

Αναλυτική Παρουσίαση του Προτεινόμενου Έργου

Εισαγωγή

Στην ελληνική κοινωνία και ιδιαίτερα στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τα σύγχρονα επιστημονικά επιτεύγματα και τις ανακαλύψεις της Σωματιδιακής και Αστροσωματιδιακής Φυσικής. Επιπλέον είναι γενικότερα αποδεκτό ότι το ενδιαφέρον των μαθητών αλλά και ο βαθμός κατανόησης των φυσικών φαινομένων αυξάνεται ραγδαία όταν ανακαλύπτουν οι ίδιοι οι μαθητές τη γνώση μέσω πειραματικών σχεδιασμών και μετρήσεων. Σε μια τέτοια προσέγγιση ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι κομβικός διότι, έχοντας την απαραίτητη εμπειρία, μεταβάλλει τη παιδαγωγική προσέγγιση ανάλογα με το γνωστικό επίπεδο των μαθητών καθοδηγώντας τους μαθητές στις πειραματικές διαδικασίες. Ωστόσο, στην περίπτωση της Σωματιδιακής και Αστροσωματιδιακής Φυσικής, η συμμετοχή των εκπαιδευτικών και των μαθητών σε ερευνητικές διαδικασίες περιορίζεται συνήθως σε σύντομες επισκέψεις σε μεγάλα ερευνητικά κέντρα (πχ CERN [1]) καθώς και στη συμμετοχή σε πειράματα επίδειξης και σε εκλαϊκευτικές διαλέξεις ειδικών προς το κοινό. Επιπλέον, ακόμα και όταν η συμμετοχή σε ερευνητικές εργασίες είναι δυνατή, πχ master classes [2], αυτή συνήθως περιορίζεται στη ανάλυση προ επεξεργασμένων δεδομένων, η πειραματική διαδικασία απλοποιείται σε προκαθορισμένες αλγοριθμικές διαδικασίες μετρήσεων φυσικών ποσοτήτων, ενώ η συμμετοχή του εκπαιδευτικού ως καθοδηγητή είναι μικρή ή ανύπαρκτη. Από την άλλη μεριά υπάρχει διεθνώς μια τάση για πιο ενεργή συμμετοχή των εκπαιδευτικών και των μαθητών τους σε πειραματικές διαδικασίες της Σωματιδιακής και Αστροσωματιδιακής φυσικής. Προς αυτή την κατεύθυνση πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού προσφέρουν ευρέα εκπαιδευτικά προγράμματα που βασίζονται στη κατασκευή εγκατάσταση και λειτουργία εκπαιδευτικών τηλεσκοπίων Κοσμικών Ακτίνων εγκατεστημένα σε σχολικά κτίρια.

Η συμμετοχή των μαθητών σε ερευνητικά προγράμματα αιχμής έχει πολλά πλεονεκτήματα, τα οποία έχουν αναπτυχθεί επαρκώς στη διεθνή βιβλιογραφία [3-6]. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων αυτών είναι η αύξηση της αυτοεκτίμησης των μαθητών, η κατανόηση της μεθοδολογίας της επιστημονικής έρευνας, η κατανόηση της πρακτικής εφαρμογής και των σφαλμάτων που προκύπτουν κατά την ερευνητική διαδικασία, η ανάπτυξη νέων νοητικών και πρακτικών δεξιοτήτων, η ανάπτυξη συνεργατικής διάθεσης και ένταξης σε ομάδες εργασίας, η σύνδεση της θεωρητικής γνώσης με πρακτικές εφαρμογές, η αλλαγή της στάσης έναντι της επιστήμης και των προβλημάτων της και η παρουσίαση προοπτικών επαγγελματικής απασχόλησης και η διεύρυνση των πιθανών εναλλακτικών δρόμων που μπορεί να ακολουθήσει ο μαθητής στον επαγγελματικό του βίο. Επιπλέον, σύμφωνα με τη Διακήρυξη της Λισσαβόνας, ένας από τους βασικούς στόχους της ευρωπαϊκής εκπαιδευτικής πολιτικής είναι η ενίσχυση της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών και η συμμετοχή των εκπαιδευτικών και μαθητών σε ερευνητικά προγράμματα αιχμής. Ωστόσο, τα πρόσφατα αποτελέσματα του PISA2018 (αλλά και προηγούμενα) δείχνουν ότι στις φυσικές επιστήμες οι Έλληνες μαθητές υστερούν σε σχέση με το μέσο όρο του ΟΑΣΑ. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών [7] δείχνει ότι ενώ στο ελληνικό σχολείο υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τις φυσικές επιστήμες (και ιδιαίτερα για το Σύμπαν), δεν υπάρχουν αρκετές ευκαιρίες για ενεργό συμμετοχή των μαθητών σε πειραματικές διαδικασίες αλλά και σε συζητήσεις για τα σύγχρονα επιστημονικά θέματα.

Με την παρούσα πρόταση επιδιώκεται η ανάπτυξη και η μακρόχρονη λειτουργία ενός σχολικού δικτύου από τηλεσκόπια Κοσμικών Ακτίνων που θα εγκατασταθούν στις σχολικές μονάδες των Νομών της Πελοποννήσου, η ανάπτυξη εκπαιδευτικών πειραματικών διατάξεων απομακρυσμένης πρόσβασης, καθώς και η διαμόρφωση του καταμετρημένου συστήματος ανιχνευτικών σταθμών Κοσμικών Ακτίνων του ΕΑΠ, ώστε να παρέχει επίσης απομακρυσμένη πρόσβαση σε οποιαδήποτε σχολική μονάδα ανεξάρτητα της γεωγραφικής της θέσης. Οι σχολικές μονάδες που θα φιλοξενούν αυτόνομο σύστημα ανίχνευσης Κοσμικών Ακτίνων καθώς και οι σχολικές μονάδες που θα λειτουργούν εξ' αποστάσεως τους ανιχνευτικούς σταθμούς του ΕΑΠ και τις ειδικές διατάξεις απομακρυσμένης πρόσβασης, θα αποτελούν το δίκτυο **μNet** το οποίο ως αντίστοιχο των δικτύων του εξωτερικού θα είναι το ελληνικό σχολικό δίκτυο εκπαιδευτικών ανιχνευτικών σταθμών Κοσμικών Ακτίνων.

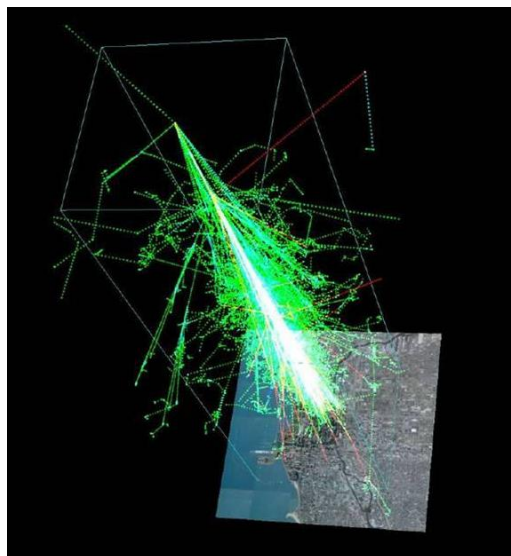
Το δίκτυο μNet δεν έχει σκοπό απλώς την εγκατάσταση και λειτουργία έτοιμων και τεχνικά ελεγμένων ανιχνευτικών συστημάτων. Το κύριο χαρακτηριστικό του δικτύου είναι ότι στοχεύει στην ενεργό συμμετοχή της μαθητικής κοινότητας σε ολόκληρη τη πειραματική διαδικασία, που περιλαμβάνει την κατασκευή του οργάνου, τη ρύθμισή του, τον έλεγχο της λειτουργίας του και τελικά την συλλογή και ανάλυση δεδομένων προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά των Κοσμικών Ακτίνων. Γι' αυτό το λόγο έχουν σχεδιαστεί εκπαιδευτικές δράσεις που εισάγουν τους μαθητές στη σύγχρονη πειραματική μεθοδολογία της αστροσωματιδιακής φυσικής και ειδικότερα της φυσικής των Κοσμικών Ακτίνων. Οι δράσεις αυτές αναφέρονται στις επιστημονικές μελέτες για τις οποίες έχει σχεδιαστεί το όργανο (πχ τη μέτρηση της διεύθυνσης των κοσμικών σωματιδίων) αλλά και σε πειραματικές διαδικασίες που προηγούνται του πειράματος (πχ εργασίες κατασκευής του οργάνου, βαθμονόμησης και ελέγχου ορθής λειτουργίας). Με την προτεινόμενη εκπαιδευτική μεθοδολογία οι μαθητές αντιλαμβάνονται άμεσα τη πειραματική διαδικασία, κατανοούν μη ορατά φυσικά φαινόμενα του μικρόκοσμου, αναδεικνύεται ο ρόλος του επιστημονικού οργάνου ως το μέσο για τη μετατροπή φυσικών διεργασιών του μικρόκοσμου σε μετρήσιμα ηλεκτρικά σήματα, ενώ ερμηνεύονται χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού σήματος ως φυσικά χαρακτηριστικά του μεγάκοσμου (Κοσμικές Ακτίνες). Επιπλέον, με τη λειτουργία και χρήση των ανιχνευτικών διατάξεων του ΕΑΠ, γίνεται η μετάβαση από μικρά πρωτότυπα συστήματα σε μεγάλες και σύνθετες πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη έρευνα της αστροσωματιδιακής φυσικής.

Αξιοποιώντας τις τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνίας το δίκτυο μNet θα συνδέει όλες τις σχολικές μονάδες που λειτουργούν δια ζώσης ή εξ' αποστάσεως ανιχνευτικούς σταθμούς, με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων. Οι μετρήσεις των σταθμών θα καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο και θα συγκρίνονται, ενώ θα μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε περισσότεροι του ενός σταθμοί να λειτουργούν ταυτόχρονα ως ένα μεγαλύτερο τηλεσκόπιο. Μέσω του δικτύου μNet οι σχολικές μονάδες θα συνεργάζονται σε επιστημονικό επίπεδο και θα συζητούν τις μεθοδολογίες και τα αποτελέσματά τους, ενώ σε σχολικές εκδηλώσεις και ημερίδες θα διαχέουν τα ερευνητικά τους αποτελέσματα στους υπόλοιπους μαθητές αλλά και στην ευρύτερη κοινωνία.

Κοσμικές Ακτίνες

Με τον όρο Κοσμικές Ακτίνες [8] εννοούμε τα υποατομικά σωματίδια και πυρήνες που βομβαρδίζουν συνεχώς τη Γη και προέρχονται από αστροφυσικά αντικείμενα εκτός του ηλιακού μας συστήματος (Ενεργοί Γαλαξιακοί Πυρήνες, κατάλοιπα υπερκαινοφανών εκρήξεων (supernovae), κβάζαρ (quasar), εκρήξεις ακτίνων γ). Οι Κοσμικές Ακτίνες αποτέλεσαν την πρώτη πηγή υπο-ατομικών σωματιδίων πριν την ανάπτυξη των επιταχυντικών συστημάτων και έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη αρχική εξερεύνηση των στοιχειωδών σωματιδίων. Στις μέρες μας, έναν αιώνα μετά την αρχική τους ανακάλυψη, οι Κοσμικές Ακτίνες παρουσιάζουν πολύ μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον για πολλούς λόγους: το μεγάλο ενεργειακό φάσμα (10^{10} - 10^{20} eV) με ενέργειες που ξεπερνούν κατά πολλές τάξεις μεγέθους την ενέργεια γήινων τεχνητών επιταχυντών (πχ CERN/LHC), η άγνωστη πηγή των υψηλο-ενεργειακών Κοσμικών Ακτίνων, οι μηχανισμοί επιτάχυνσης που μπορούν να λαμβάνουν μέρος στα αστροφυσικά αντικείμενα και να οδηγούν σε τόσο υψηλές ενέργειες, ο τύπος και το ποσοστό των σωματιδίων που αποτελούν τις Κοσμικές Ακτίνες και πολλά άλλα.

Όταν ένα σωματίδιο υψηλής ενέργειας (αρχικό ή πρωτεύον σωματίδιο) εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα συγκρούεται με τον πυρήνα ενός ατόμου της ατμόσφαιρας και τα παράγωγα της αλληλεπίδρασης παράγουν δευτερεύοντα σωματίδια τα οποία με τη σειρά τους αλληλεπιδρούν και παράγονται ακόμα περισσότερα σωματίδια κ.ο.κ. Ως αποτέλεσμα αυτής



Εικόνα 1: Αναπαράσταση ενός καταιονισμού πάνω από μία πόλη.

της διαδικασίας είναι η δημιουργία ενός

καταιονισμού (Εικόνα 1) από σωματίια, που αναπτύσσεται στην ατμόσφαιρα και κινείται με τη ταχύτητα του φωτός. Καθώς ο ατμοσφαιρικός καταιονισμός αναπτύσσεται ο αριθμός των δευτερευόντων σωματίων αυξάνει φτάνοντας ένα μέγιστο και στη συνέχεια ο καταιονισμός εξασθενεί. Για αρχικές ενέργειες μεγαλύτερες από 10^{13} eV το μέγιστο του καταιονισμού είναι βαθιά μέσα στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα πολλά σωματίδια να φτάνουν στην επιφάνεια της Γης που φτάνουν ακόμα και τις πολλές χιλιάδες, για καταιονισμούς πολύ μεγάλης ενέργειας.

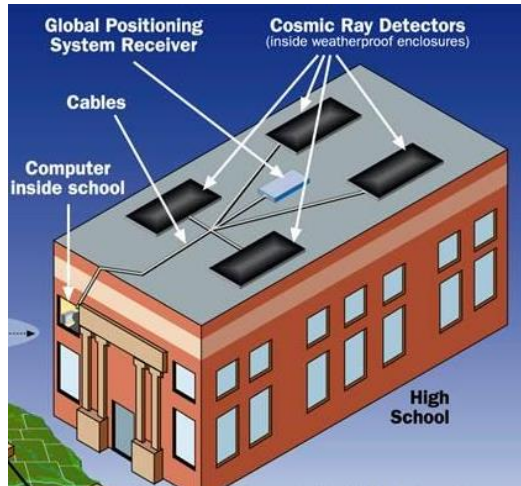
Εκπαιδευτικά τηλεσκόπια Κοσμικών Ακτίνων.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές ανίχνευσης των εκτεταμένων καταιονισμών στην ατμόσφαιρα [9]: ανιχνευτές φθορισμού που μετράνε το φως που εκπέμπεται από τη διέγερση των ατόμων της ατμόσφαιρας, τηλεσκόπια Cherenkov που μετράνε την ηλεκτρομαγνητική συνιστώσα του καταιονισμού, κεραίες ραδιοκυμάτων που μετράνε το ραδιοπαλμό από πολύ ενεργητικούς καταιονισμούς καθώς και ανιχνευτές σπινθηρισμών και ανιχνευτές τροχιάς φορτισμένων σωματιδίων που ανιχνεύουν τα σωματίια του καταιονισμού στη επιφάνεια του εδάφους ή και ακόμα και κάτω από αυτό. Ωστόσο, ο πιο απλός και διαδεδομένος τρόπος είναι η χρήση επίγειων δικτύων από ανιχνευτές σωματιδίων. Η προσφορά τέτοιων ανιχνευτών από μεγάλα ερευνητικά πειράματα που ολοκληρώθηκαν, το γενικότερο ενδιαφέρον για τις Κοσμικές Ακτίνες και η πρωτοβουλία των Πανεπιστημίων για τη διάδοση της επιστημονικής γνώσης και των τεχνολογικών επιτευγμάτων στην κοινωνία, οδήγησαν στη γέννηση των εκπαιδευτικών τηλεσκοπίων Κοσμικών Ακτίνων αρχικά στις ΗΠΑ και τον Καναδά αργότερα στην Ευρώπη και τώρα σε ολόκληρο τον κόσμο [10].

Ένα εκπαιδευτικό τηλεσκόπιο Κοσμικών Ακτίνων αποτελείται από τρεις ή τέσσερις ανιχνευτές σωματιδίων οι οποίοι καταγράφουν τα σωματίια του καταιονισμού χρησιμοποιώντας απλές ηλεκτρονικές διατάξεις. Οι ανιχνευτές τοποθετούνται σε μερικά μέτρα απόσταση μεταξύ τους στην ταράτσα ενός σχολικού κτιρίου (Εικόνα 2). Απαιτώντας τουλάχιστον τρεις ανιχνευτές να καταγράψουν σωματίια σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα μπορεί κανείς να ξεχωρίσει μεταξύ των ανεξάρτητων σωματιδίων που προέρχονται από κοσμικές ακτίνες μικρής ενέργειας και των εκτεταμένων καταιονισμών της ατμόσφαιρας που προκαλούνται από υψηλής ενέργειας αρχικά σωματίια. Μετρώντας του σχετικούς χρόνους άφιξης στους ανιχνευτές η διεύθυνση του καταιονισμού και επομένως του αρχικού σωματίου μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια μερικών μοιρών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του τριγωνισμού. Χρησιμοποιώντας το GPS για καταγραφή του απόλυτου χρόνου, δεδομένα από διαφορετικές περιοχές και σταθμούς μπορούν να συνδυαστούν έτσι ώστε να ταυτοποιούνται καταιονισμοί πολύ υψηλής ενέργειας¹.

Το προτεινόμενο σχολικό δίκτυο μNeT

Το Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ και συγκεκριμένα η ομάδα Σωματιδιακής και Αστροσωματιδιακής Φυσικής, έχοντας μεγάλη εμπειρία στην ανάπτυξη ανιχνευτικών συστημάτων, έχει ηγηθεί μεγάλων ερευνητικών κοινοπραξιών σχετικά με την έρευνα στην Αστροσωματιδιακή Φυσική και στη Φυσική των Κοσμικών Ακτίνων. Από το 2014 έχει εγκαταστήσει και λειτουργεί στη πανεπιστημιούπολη του ΕΑΠ, ένα καταμετρημένο σύστημα σταθμών ανίχνευσης εκτεταμένων ατμοσφαιρικών καταιονισμών (Astroneu) που αποτελείται από ανιχνευτές σωματιδίων και κεραίες ανίχνευσης ραδιοκυμάτων [11-17].



Εικόνα 2: Αναπαράσταση ενός εκπαιδευτικού τηλεσκοπίου στη ταράτσα ενός σχολικού κτιρίου.

¹ Όσο μεγαλώνει η ενέργεια μεγαλώνει και η επιφάνεια που καλύπτει το σωματιδιακό μέτωπο φθάνοντας ακτίνες αρκετών εκατοντάδων μέτρων στην επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 3: Στην αριστερή φωτογραφία φαίνονται τρεις σταθμοί του δικτύου Astroneu. Τα μπλε τετράγωνα αναπαριστούν τους ανιχνευτές σωματιδίων κάθε σταθμού, ενώ οι κόκκινοι κύκλοι τις κεραίες ανίχνευσης ραδιοκυμάτων. Στην δεξιά πάνω φωτογραφία φαίνεται η εσωτερική δομή του ανιχνευτή σωματιδίων ενώ στη κάτω δεξιά φωτογραφία φαίνονται η κεραία και ο ολοκληρωμένος ανιχνευτής σωματιδίων (μπλε κουτί).

Κάθε σταθμός του Astroneu αποτελείται από 3 μεγάλους (επιφάνεια περίπου 1 m^2) ανιχνευτές σωματιδίων (ανιχνευτής σπινθηρισμού-Scintillator Detector Module- SDM) τοποθετημένους στις κορυφές ενός νοητού τριγώνου, ενώ στο κέντρο του τριγώνου έχει εγκατασταθεί μια κεραία ανίχνευσης ραδιοκυμάτων που ανιχνεύει Κοσμικές Ακτίνες πολύ μεγάλης ενέργειας (Εικόνα 3). Κάθε σταθμός είναι εφοδιασμένος με σύστημα λήψης δεδομένων και ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας του. Οι σταθμοί του Astroneu ελέγχονται πλήρως από απόσταση και λειτουργούν είτε αυτόνομα (single station operation) ή συνδυαστικά με άλλους σταθμούς (multiple station operation).

Βάση της εμπειρίας αυτής και αξιοποιώντας τη νεότερη τεχνολογία, το Εργαστήριο Φυσικής προχώρησε προσφάτως στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός εκπαιδευτικού τηλεσκοπίου Κοσμικών Ακτίνων (ανιχνευτής $\mu\text{Cosmics}$ [18]). Το ανιχνευτικό σύστημα $\mu\text{Cosmics}$ είναι ένας φορητός ανιχνευτής ατμοσφαιρικών καταιονισμών που μπορεί να λειτουργεί μέσα στη σχολική τάξη ή σχολικό εργαστήριο, μπορεί να μετακινηθεί εύκολα, είναι πολύ οικονομικός ενώ δεν περιλαμβάνει ηλεκτρικά κυκλώματα με υψηλή τάση. Επιπλέον, ο ανιχνευτής $\mu\text{Cosmics}$ μπορεί να κατασκευαστεί από τους μαθητές, ενώ οι μικρές διαστάσεις του και το μικρό του βάρος επιτρέπουν να πραγματοποιηθούν πλήθος από εκπαιδευτικές δράσεις εντός της σχολικής αίθουσας ή σχολικού εργαστηρίου ανάλογες με αυτές που έχουν αναπτυχθεί για το τηλεσκόπιο του ΕΑΠ [19].



Εικόνα 4: Το ανιχνευτικό σύστημα Κοσμικών Ακτίνων $\mu\text{Cosmics}$. Τα λευκά κουτιά (διάσταση $67 \times 42 \times 7 \text{ cm}^3$) είναι οι ανιχνευτικές μονάδες του τηλεσκοπίου.

Ο ανιχνευτής μ Cosmics έχει παρουσιαστεί και βραβευτεί σε Διεθνή Επιστημονικά Συνέδρια², ενώ έχει επίσης παρουσιαστεί στο ευρύ κοινό μέσω εκθέσεων προώθησης της καινοτομίας αλλά και με αναφορές στον ημερήσιο τύπο³. Το πρωτότυπο του ανιχνευτικού σταθμού έχει κατασκευαστεί και ελεγχθεί από το Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ, αποτελείται από 3 ανιχνευτικές μονάδες και περιλαμβάνει ηλεκτρονικές μονάδες για τον έλεγχο, παρακολούθηση και λειτουργία του σταθμού οι οποίες διαχειρίζονται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης και λειτουργίας (βλ. Εικόνα 4).

Το τηλεσκόπιο Κοσμικών Ακτίνων μ Cosmics καταγράφει συνεχώς τους κοσμικούς καταιονισμούς που προέρχονται από σωματίδια που φθάνουν στην ατμόσφαιρα της Γης με πολύ μικρό ενεργειακό κατώφλι (περίπου 10 TeV) χωρίς περιορισμό στην ανώτατη ενέργεια που μπορεί να ανιχνεύσει. Μελέτες προσομοίωσης καθώς και πραγματικά δεδομένα δείχνουν ότι η ακρίβεια προσδιορισμού της διεύθυνσης πρόπτωσης του Κοσμικών Ακτίνων, για λειτουργία εντός της σχολικής αίθουσας, είναι περίπου 5 μοίρες, ενώ ο ρυθμός καταγραφής είναι περίπου 10 καταιονισμοί την ώρα που είναι αρκετός ακόμα και για τη διάρκεια μιας εκπαιδευτικής ώρας. Επιπλέον και σε συνέχεια των παραπάνω, το 2019 εγκρίθηκε η χρηματοδότηση του Εργαστηρίου Φυσικής του ΕΑΠ για την ανάπτυξη εκπαιδευτικών δράσεων με τον ανιχνευτή μ Cosmics καθώς και για την εφαρμογή τους σε σχολικές μονάδες της Πάτρας. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί 5 ανιχνευτικές διατάξεις μ Cosmics που θα λειτουργήσουν προσωρινά κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους 2019-2020, ώστε να απαλειφθούν τα όποια τεχνικά προβλήματα προκύψουν κατά τη λειτουργία τους και να ολοκληρωθεί η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού υλικού και εγχειριδίων που θα συνοδεύουν το κάθε ανιχνευτικό σταθμό.

Με την παρούσα πρόταση επιδιώκεται η ανάπτυξη και η μακρόχρονη λειτουργία ενός εκτεταμένου σχολικού δικτύου (μ Net) από ανιχνευτές μ Cosmics σε ολόκληρη τη περιοχή της Πελοποννήσου. Η πρωτοτυπία του δικτύου αυτού ακόμα και σε διεθνές επίπεδο οφείλεται στο ότι οι ανιχνευτικές μονάδες δεν απαιτούν εγκατάσταση στο εξωτερικό του κτιρίου (πχ ταράτσα) αλλά μπορούν να λειτουργούν εντός της σχολικής αίθουσας ή εργαστηρίου. Το δίκτυο μ Net θα αποτελείται από 20 ανιχνευτικούς σταθμούς σε σχολικές μονάδες όλων των Νομών της Πελοποννήσου, αποτελώντας το πρώτο δίκτυο εκπαιδευτικών τηλεσκοπίων Κοσμικών Ακτίνων στον ελλαδικό χώρο, αντίστοιχο των δικτύων που υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια σε ολόκληρη την υφήλιο και ιδιαίτερα στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Οι ανιχνευτικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν αδιαλείπτως για πολλά χρόνια, μπορούν να ελέγχονται από μακριά (πχ από το Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ) ώστε να διαπιστώνεται η ορθή λειτουργία τους, ενώ σε περίπτωση βλάβης μπορούν να επισκευαστούν από το Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το δίκτυο μ Net δεν θα περιλαμβάνει μόνο τους αυτόνομους σταθμούς που θα εγκατασταθούν στις σχολικές μονάδες. Αξιοποιώντας τις τεχνολογίες του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου οι σχολικές μονάδες που δεν έχουν ανιχνευτικό σταθμό, θα μπορούν να συμμετέχουν, χρησιμοποιώντας σταθμούς απομακρυσμένης πρόσβασης καθώς και διατάξεις απομακρυσμένης πρόσβασης που υπάρχουν αλλά και θα αναπτυχθούν στη Πανεπιστημιούπολη του ΕΑΠ. Οι ανιχνευτικοί σταθμοί και οι διατάξεις απομακρυσμένης πρόσβασης θα καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των εκπαιδευτικών/ερευνητικών δράσεων που υποστηρίζονται από το δίκτυο μ Net, ενώ θα υπάρχει δυνατότητα λειτουργίας και ελέγχου ανιχνευτικών διατάξεων πολύ μεγαλύτερων του ανιχνευτή μ Cosmics. Με αυτό το τρόπο εξασφαλίζεται η συμμετοχή πολύ περισσότερων σχολικών μονάδων από το πλήθος των ανιχνευτικών σταθμών που θα εγκατασταθούν, ενώ θα είναι συνεχώς προσβάσιμες οι νέες λειτουργικότητες και αναβαθμίσεις του ανιχνευτικού δικτύου του ΕΑΠ διευρύνοντας έτσι ακόμα περισσότερο τη βιωσιμότητα του έργου.

Η λειτουργία ενός ανιχνευτικού σταθμού Κοσμικών Ακτίνων είναι η τελευταία χρονικά μιας σειράς εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που έχουν σχεδιαστεί για το δίκτυο μ Net. Όπως έχει αναφερθεί, ο σχεδιασμός του ανιχνευτή μ Cosmics επιτρέπει τη κατασκευή του από τους μαθητές με τη χρήση απλών εργαλείων. Η πρώτη αυτή δραστηριότητα αφενός προσφέρει την ικανοποίηση της ιδιοκατασκευής, αφετέρου γίνονται αντιληπτές οι φυσικές διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τη διέλευση σωματιδίων μέσα από την ανιχνευτική διάταξη, που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού σήματος το οποίο μεταφέρει τη πληροφορία σχετικά με το χρόνο πρόπτωσης των

² HEP2018 (Recent Developments in High Energy Physics and Cosmology), ICNFP2018 (3rd prize, poster)

³ Εφημερίδα Πελοπόννησος, 29-4-2018

σωματιδίων στον ανιχνευτή καθώς και του πλήθους τους. Μετά την κατασκευή των ανιχνευτικών μονάδων, ακολουθεί ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας και ο προσδιορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του οργάνου. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται η απόκριση των ανιχνευτικών μονάδων κατά τη διέλευση μιονίων, των υποατομικών σωματιδίων που αδιάκοπα κατέρχονται ως μια βροχή σωματιδίων (ατμοσφαιρικά μόνια), ενώ προσδιορίζεται και η ακρίβεια του οργάνου στη μέτρηση της διεύθυνσης του ατμοσφαιρικού καταιονισμού. Με την ανίχνευση αυτών των σωματιδίων και του προσδιορισμού της απόκρισης των ανιχνευτικών μονάδων γίνονται αντιληπτά αυτά τα υποατομικά σωματίδια, ενώ διαπιστώνεται η λειτουργικότητα της ανιχνευτικής μονάδας που κατασκευάστηκε στο προηγούμενο βήμα. Στη συνέχεια και χρησιμοποιώντας ξανά τα ατμοσφαιρικά μόνια ως πηγή σχετικιστικών σωματιδίων, συγχρονίζονται⁴ οι τρεις ανιχνευτικές μονάδες του τηλεσκοπίου ώστε να αποκρίνονται ταυτόχρονα όταν διαπεραστούν από ένα μόνιο την ίδια πρακτικά στιγμή. Λεπτομέρειες όπως το διαφορετικό μήκος των καλωδίων που μεταφέρουν το ηλεκτρικό σήμα ή οι κατασκευαστικές διαφορές των ανιχνευτικών μονάδων, λαμβάνονται υπόψη με πολύ μεγάλη ακρίβεια και διορθώνονται, ώστε να παραδίδεται ένα όργανο μέτρησης (τηλεσκόπιο) χωρίς σημαντικά συστηματικά σφάλματα. Με τις τρεις αυτές δραστηριότητες ολοκληρώνεται η κατασκευή και ο έλεγχος του τηλεσκοπίου που είναι πια έτοιμο για χρήση.

Οι τρεις ανιχνευτικές μονάδες του τηλεσκοπίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν τα χαρακτηριστικά της ροής των ατμοσφαιρικών μιονίων που ήδη έχουν χρησιμοποιήσει οι μαθητές στις μετρήσεις τους. Με τον κατάλληλο προσανατολισμό τους (βλ. παρακάτω) προσδιορίζεται η ζενιθιακή και αζιμουθιακή εξάρτηση της μιονικής ροής, ενώ κατανοείται η επίδραση του γεωμαγνητικού πεδίου στις μετρήσεις. Η ίδια πειραματική διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις των μαθητών για τη καταγραφόμενη ροή ανάλογα με το βαθμό επικάλυψης των ανιχνευτικών μονάδων και τον προσανατολισμό τους στο χώρο, αξιοποιώντας τις γεωμετρικές γνώσεις των μαθητών. Στις δύο επόμενες δραστηριότητες οι μαθητές εξοικειώνονται με το σύστημα συλλογής δεδομένων, τη διαχείριση του λογισμικού επιλογής των λειτουργικών παραμέτρων και το λογισμικό παρακολούθησης και ποιοτικού ελέγχου των δεδομένων του τηλεσκοπίου. Οι μαθητές θα κατανοήσουν την αναγκαιότητα των προηγούμενων δραστηριοτήτων για το καθορισμό των τυπικών λειτουργικών παραμέτρων του ανιχνευτή και θα μπορούν να προβλέψουν και να επιβεβαιώσουν την επίδραση διαφορετικών τιμών από τις τυπικές στη λειτουργία του ανιχνευτή. Επιπλέον μπορούν να γίνουν μελέτες σχετικά με τη θέση που θα πρέπει να τοποθετηθούν οι ανιχνευτικές μονάδες και την επίδραση της γεωμετρίας στο ρυθμό καταγραφής και στην ακρίβεια ανακατασκευής της τροχιάς των κοσμικών πρωτευόντων σωματιών. Μετά και αυτό το στάδιο, το τηλεσκόπιο είναι έτοιμο πλέον να ξεκινήσει να λειτουργεί αδιαλείπτως για μεγάλο χρονικό διάστημα (πχ 2 μήνες) ώστε να συλλέγονται δεδομένα και να καταγραφεί πλέον η κατανομή των διευθύνσεων των Κοσμικών Ακτίνων. Κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων οι μαθητές παρακολουθούν την λειτουργία του τηλεσκοπίου συγκρίνοντας τις καταγραφόμενες κατανομές με τις αναμενόμενες που έχουν προκύψει από τη πλήρη προσομοίωση. Έτσι μπορούν να επιβλέψουν την ορθή λειτουργία του τηλεσκοπίου και να επέμβουν αν χρειάζεται προκειμένου να συνεχιστεί η απρόσκοπτη συλλογή δεδομένων.

Όλες οι προηγούμενες δραστηριότητες εκτός της 1^{ης} (κατασκευή ανιχνευτικής μονάδας) μπορούν να εκπονηθούν και εξ' αποστάσεως χρησιμοποιώντας ανιχνευτικές διατάξεις που θα βρίσκονται στο Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ. Οι διατάξεις αυτές θα είναι κατάλληλα διαμορφωμένες ώστε να είναι πλήρως τηλεχειριζόμενες (πχ οι τάσεις ελέγχονται μέσω Η/Υ), ενώ θα γίνεται διαμοιρασμός του χρόνου μεταξύ των σχολικών μονάδων ώστε αφενός να μην υπάρχει επικάλυψη, αφετέρου να εξυπηρετούνται όσο περισσότερες σχολικές μονάδες είναι δυνατόν. Με τον ίδιο τρόπο οι ανιχνευτικές μονάδες του μεγάλου κατανεμημένου τηλεσκοπίου του ΕΑΠ θα συνδυάζονται, ώστε να αποτελούν αυτόνομους σταθμούς μέτρησης των Κοσμικών Ακτίνων οι οποίοι θα λειτουργούν υπό την επίβλεψη των σχολικών μονάδων. Η δυνατότητα διαφορετικών συνδυασμών επιτρέπει τις μελέτες γεωμετρίας που αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ επίσης θα δίδεται η δυνατότητα λειτουργίας σταθμών με πάνω από τρεις ανιχνευτικές μονάδες ή συνδυασμός δεδομένων από 2 ή περισσότερους σταθμούς. Οι δραστηριότητες αυτές (που μπορούν επίσης να γίνουν και από τις σχολικές μονάδες

⁴ Αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να μπορεί το τηλεσκόπιο να μετρήσει τη διεύθυνση των Κοσμικών Ακτίνων.

που θα έχουν ανιχνευτή μCosmics) θα αναδείξουν πως από μικρά πρότυπα συστήματα περνάμε στο χειρισμό μεγαλύτερων και πολυπλοκότερων διατάξεων που χαρακτηρίζουν μεγάλα διεθνή πειράματα και πειραματικές συνεργασίες.

Επιστημονική Ομάδα-Ρόλοι-Οργάνωση του μNet

Η επιστημονική ομάδα (ΕΟ) του έργου θα αποτελείται από 1 μέλος ΔΕΠ του ΕΑΠ (Επίκουρος Καθηγητής Αντώνιος Λέισος), 1 έμπειρο μεταδιδάκτορα ερευνητή (Δρ. Απόστολος Τσιριγώτης) και 2 υποψήφιους διδάκτορες της ΣΘΕΤ του ΕΑΠ (Μιχάλης Πετρόπουλος (MSc) και Λεωνίδα Ξηρός (MSc)). Το μέλος ΔΕΠ, ως επιστημονικός υπεύθυνος και συντονιστής του έργου, θα συντονίζει τα υπόλοιπα μέλη της ΕΟ η οποία θα διοικεί το δίκτυο μNet. Ο μεταδιδάκτορας ερευνητής θα είναι υπεύθυνος για την κατασκευή των ανιχνευτικών μονάδων μCosmics και τη διαμόρφωση των ανιχνευτικών μονάδων του τηλεσκοπίου του ΕΑΠ. Ο πρώτος υποψήφιος διδάκτορας θα συντονίσει το εκπαιδευτικό μέρος των δραστηριοτήτων του μNet και την εκπαίδευση των καθηγητών των σχολικών μονάδων, ενώ ο δεύτερος υποψήφιος διδάκτορας θα αναπτύξει τις διατάξεις απομακρυσμένης πρόσβασης και θα έχει τον γενικότερο έλεγχο αυτών.

Η σύνθεση της ΕΟ εγγυάται την επίτευξη των στόχων του έργου αλλά επιπλέον δίνει τη δυνατότητα για επιστημονική έρευνα σχετικά με την εκπαιδευτική αξιοποίηση ανιχνευτικών διατάξεων αστροσωματιδιακής φυσικής καθώς και με την δυνατότητα χρήσης πειραματικών διατάξεων απομακρυσμένης πρόσβασης για την εργαστηριακή εκπαίδευση μαθητών και φοιτητών. Συγκεκριμένα, οι Δρ. Λέισος Αντώνιος και Δρ. Απόστολος Τσιριγώτης έχουν μακρόχρονη και μεγάλη εμπειρία στην ανάπτυξη ανιχνευτικών συστημάτων και συστημάτων λήψης δεδομένων σε διεθνή πειράματα σωματιδιακής και αστροσωματιδιακής φυσικής, ενώ έχουν σημαντικό εκπαιδευτικό έργο διδάσκοντας και επιβλέποντας μεταπτυχιακές διπλωματικές εργασίες καθηγητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών Επιστημών» του ΕΑΠ. Οι δύο υποψήφιοι διδάκτορες που συμμετέχουν στο έργο (απόφοιτοι του παραπάνω προγράμματος σπουδών) έχουν αντικείμενα διδακτορικών διατριβών που συμβαδίζουν πλήρως με το προτεινόμενο έργο. Ο ΥΔ Μ. Πετρόπουλος ερευνά την εκπαιδευτική αξιοποίηση (ανάπτυξη εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, εφαρμογή και αξιολόγηση) ανιχνευτικών διατάξεων σωματιδιακής και αστροσωματιδιακής φυσικής, ενώ ο ΥΔ Λ. Ξηρός ερευνά την αποδοχή και την αποτελεσματικότητα των πειραματικών διατάξεων απομακρυσμένης πρόσβασης για την εκπαίδευση μαθητών και φοιτητών σε σχέση με τις αντίστοιχες εργαστηριακές ασκήσεις που εκπονούνται δια ζώσης. Με το προτεινόμενο έργο και τη λειτουργία του δικτύου μNet θα συλλεχθούν δεδομένα που θα αξιοποιηθούν πλήρως σε αυτές τις διδακτορικές διατριβές,

Στο μοντέλο οργάνωσης και λειτουργίας του δικτύου μNet ο εκπαιδευτικός της σχολικής μονάδας έχει κομβικό ρόλο καθώς η εκπαιδευτική παρέμβαση αποτελεί τη γέφυρα μεταξύ της ειδικής γνώσης του ερευνητικού προσωπικού και του γνωστικού επιπέδου των μαθητών της σχολικής μονάδας. Οι καθηγητές των σχολικών μονάδων που θα συμμετέχουν στο δίκτυο μNet, θα εκπαιδευτούν από το επιστημονικό προσωπικό του Εργαστηρίου Φυσικής του ΕΑΠ, ενώ θα έχουν στη διάθεσή τους πλήρες πακέτο από εκπαιδευτικό υλικό, εγχειρίδια και ερωτηματολόγια που θα τους βοηθήσει στην εκπαιδευτική διαδικασία. Για την εκπαίδευση των καθηγητών θα χρησιμοποιηθεί κυρίως η μεθοδολογία της εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης καθώς και τα αντίστοιχα εργαλεία, ενώ μέρος της εκπαίδευσης θα γίνει σε εργαστηριακούς χώρους. Οι καθηγητές μαζί με το επιστημονική ομάδα του ΕΑΠ θα αποτελούν το επιστημονικό συμβούλιο του δικτύου, ενώ επιπλέον ρόλοι μπορούν να κατανεμηθούν μεταξύ των μελών και έχουν να κάνουν με την οργάνωση και τη προβολή του δικτύου.

Το δίκτυο μNet θα χρησιμοποιεί σύγχρονες και ασύγχρονες μεθόδους επικοινωνίας αξιοποιώντας ψηφιακές πλατφόρμες του ΕΑΠ που υποστηρίζουν την εξ' αποστάσεως εκπαίδευση. Στην ψηφιακή πλατφόρμα του μNet θα συμμετέχει η μαθητική κοινότητα με σκοπό την ανταλλαγή εμπειριών και πρακτικών, αλλά και για την ανάπτυξη ακαδημαϊκού κλίματος συνεργασίας μεταξύ των μαθητών. Στο πλαίσιο λειτουργίας του δικτύου μNet προβλέπονται μετακινήσεις της ΕΟ στις σχολικές μονάδες για την εκπαίδευση των καθηγητών καθώς και για την αντιμετώπιση τεχνικών προβλημάτων σχετικά με τη λειτουργία των τηλεσκοπίων. Κατά τη διάρκεια της παραμονής των μελών της ΕΟ στις περιοχές των σχολικών μονάδων του δικτύου, θα δίδονται εκλαϊκευμένες διαλέξεις για τη φυσική των Κοσμικών Ακτίνων και για τις πρόσφατες εξελίξεις στο πεδίο της Σωματιδιακής και

Αστροσωματιδιακής Φυσικής καθώς και για την λειτουργία και τους στόχους του δικτύου μNet. Καθώς οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες που περιλαμβάνει το δίκτυο μNet έχουν διάρκεια ενός ολόκληρου εκπαιδευτικού έτους (βλ. παρακάτω), μετά την ολοκλήρωση του ετήσιου εκπαιδευτικού προγράμματος θα διοργανώνονται στις σχολικές μονάδες ημερίδες και δράσεις προβολής που θα διαχέουν τα αποτελέσματα και τις δράσεις των μαθητών στις τοπικές κοινωνίες και τις σχολικές κοινότητες. Επιπλέον, κάθε χρόνο θα διοργανώνεται μια ημερίδα στη πανεπιστημιούπολη του ΕΑΠ στην Πάτρα όπου θα συμμετέχουν όλες οι σχολικές μονάδες του μNet και θα παρουσιάζονται αποτελέσματα από τις σχολικές μονάδες, ενώ θα δίδονται και εκλαϊκευμένες ομιλίες από διακεκριμένους επιστήμονες του εσωτερικού και εξωτερικού σε θέματα Σωματιδιακής και Αστροσωματιδιακής Φυσικής. Τέλος προβλέπεται ότι οι σχολικές μονάδες θα μπορούν να συμμετέχουν σε διεθνή γεγονότα προβολής αυτών των δραστηριοτήτων (πχ international cosmic day [20]), ενώ θα αναπτυχθούν δίαυλοι επικοινωνίας και συνεργασίες με άλλα αντίστοιχα δίκτυα του εξωτερικού για ανταλλαγή απόψεων και εμπειριών.

Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα

Η εκπαιδευτική αξιοποίηση των ανιχνευτικών διατάξεων μCosmics και των αυτόνομων σταθμών του Astroneu περιλαμβάνει διάφορα στάδια πειραματικών εργασιών που θα πρέπει να εκτελεστούν από τους μαθητές υπό την επίβλεψη των καθηγητών τους, τα οποία έχουν αποτυπωθεί σε 7 κύριες εκπαιδευτικές δράσεις/δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες αυτές εκπονούνται σταδιακά από τους μαθητές κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους χωρίς να αποκλείονται περισσότερες ακόμα δραστηριότητες που μπορούν να εκπονηθούν αν υπάρχει χρονική άνεση. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των δραστηριοτήτων [21] έχει ήδη εφαρμοστεί σε ομάδες μαθητών κατά τη διάρκεια 2 θερινών σχολείων⁵ που έλαβαν χώρα στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Φυσικής του ΕΑΠ τα έτη 2018 και 2019 και παρατίθενται παρακάτω:

1. Κατασκευή ανιχνευτικής μονάδας μCosmics

(8-10 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 4 μαθητών, δια ζώσης)

Η δραστηριότητα αυτή έχει ως σκοπό τη κατασκευή και συναρμολόγηση μιας από τις τρεις ανιχνευτικές μονάδες του τηλεσκοπίου. Οι μαθητές υπό την καθοδήγηση των καθηγητών τους και με τα κατάλληλα εγχειρίδια και οπτικοακουστικό υλικό συναρμολογούν τα μέρη του ανιχνευτή και μαθαίνουν τη χρησιμότητα του κάθε υλικού στη λειτουργία του. Οι μαθητές θα κατανοήσουν το ρόλο του σπινθηριστή, των οπτικών ινών και του φωτοπολλαπλασιαστή, καθώς και των φυσικών διεργασιών που πραγματοποιούνται όταν σωμάτια διαπεράσουν τον ανιχνευτή. Είναι η πιο χειρωνακτική δράση από όλες, καθώς οι μαθητές τοποθετούν τα πλαστικά πλακίδια του ανιχνευτή, τις οπτικές ίνες που μεταφέρουν το φως στον φωτοαισθητήρα, κόβουν και τοποθετούν το ανακλαστικό χαρτί μέσα στο οποίο τοποθετούνται τα πλακίδια και στη συνέχεια κάνουν τις ηλεκτρικές συνδέσεις και βιδώνουν το κουτί της κατασκευής (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Οι μαθητές κατασκευάζουν την ανιχνευτική μονάδα του τηλεσκοπίου μCosmics.

Κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας οι μαθητές χειρίζονται απλά εργαλεία (ψαλίδια, χάρακες, κατσαβίδια) αλλά επίσης μαθαίνουν να χρησιμοποιούν παχύμετρο και πολύμετρο. Η όλη διαδικασία είναι απόλυτα ασφαλής καθώς δεν υπάρχουν τοξικά υλικά ή υψηλές τάσεις. Στη συνέχεια ελέγχουν

⁵ Μαθητές που μόλις είχαν ολοκληρώσει την Α' Λυκείου εκπαιδεύτηκαν για μία εβδομάδα στους εργαστηριακούς χώρους του ΕΑΠ υπό τη καθοδήγηση καθηγητών λυκείου και εργαστηριακού επιστημονικού προσωπικού προκειμένου να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν ένα ανιχνευτή Κοσμικών Ακτίνων.

αν το κουτί που έχουν φτιάξει είναι φωτοστεγές και αν η απόκρισή του είναι ίδια με τους υπόλοιπους 2 που έχουν παραληφθεί συναρμολογημένοι (η διαδικασία αυτή γίνεται στην επόμενη δραστηριότητα).

2. Μέτρησης της απόκρισης της κάθε ανιχνευτικής μονάδας κατά τη διέλευση μιονίων.

(5-6 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 4 μαθητών, δια ζώσης & εξ' αποστάσεως)

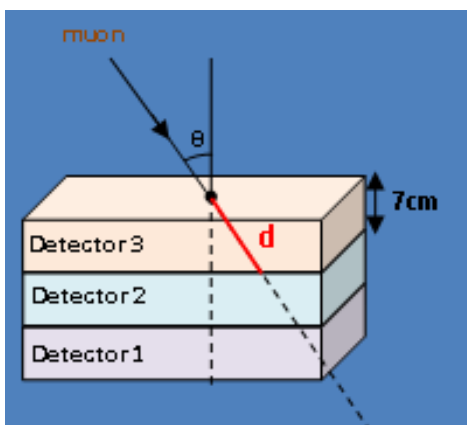
Η δράση αυτή έχει σκοπό να μετρηθεί κάποιο χαρακτηριστικό του ηλεκτρικού σήματος, πχ το ύψος του ηλεκτρικού παλμού, όταν ένα μόνο υποατομικό σωματίο (μίνιο) περνάει από την ανιχνευτική μονάδα. Περισσότερα σωματίδια που ισοδυναμούν με έναν αριθμό από ταυτόχρονα μόνια θα αντιστοιχούν σε αντίστοιχο πολλαπλάσιο ύψος παλμού με αποτέλεσμα το ύψος του παλμού να παρέχει μια εκτίμηση για το πόσα σωματίδια πέρασαν από τον ανιχνευτή που με τη σειρά του είναι μια ένδειξη της ενέργειας του αρχικού σωματίου του καταιονισμού ή της απόστασης του καταιονισμού από τον ανιχνευτή. Η απόκριση της ανιχνευτικής μονάδας καθώς εξαρτάται από τη τάση του φωτοπολλαπλασιαστή θα καθορίσει πόση τάση πρέπει να έχει η κάθε ανιχνευτική μονάδα προκειμένου να έχουν την ίδια απόκριση (ομοιογενής ανιχνευτής). Με τη δραστηριότητα αυτή οι μαθητές θα αντιληφθούν ότι κάθε στιγμή μας διαπερνάει ένας πολύ μεγάλος αριθμός αόρατων σωματιδίων που κατέρχονται ως μια αόρατη βροχή και ότι με την κατάλληλη διάταξη μπορούν να «δουν» αυτά τα αόρατα υποατομικά σωματίδια και να εκτιμήσουν το πλήθος τους από μετρήσιμα ηλεκτρικά σήματα.

3. Βαθμονόμηση του χρονισμού των ανιχνευτικών μονάδων

(5-6 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 4 μαθητών, δια ζώσης & εξ' αποστάσεως)

Η μέτρηση της διεύθυνσης των Κοσμικών Ακτίνων γίνεται μετρώντας τη χρονική διαφορά της απόκρισης (παλμών) των τριών ανιχνευτικών μονάδων (βλέπε επόμενη δραστηριότητα). Προκειμένου να αξιοποιηθεί το χαρακτηριστικό του ηλεκτρικού σήματος «χρόνος άφιξης του σήματος» θα πρέπει οι ανιχνευτικές μονάδες να συγχρονιστούν. Για παράδειγμα αν ένας καταιονισμός έρχεται ακριβώς κατακόρυφα και επομένως η διεύθυνσή του είναι κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο, τα σήματα απόκρισης των τριών ανιχνευτικών μονάδων θα πρέπει να είναι ταυτόχρονα. Για να εξασφαλιστεί αυτό θα πρέπει να έχει γίνει η αντίστοιχη βαθμονόμηση ώστε να απαλειφθούν χρονικές μικροδιαφορές λόγω της κατασκευής, λόγω των ηλεκτρονικών μονάδων καθώς και λόγω των διαφορετικών μηκών των καλωδίων. Με αυτήν τη δραστηριότητα οι μαθητές αξιοποιούν την εμπειρία τους από τη προηγούμενη δράση και σχεδιάζουν τη πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσουν. Θα αντιληφθούν τη στοχαστικότητα των μετρήσεων, την έννοια της μέσης τιμής και της διασποράς μιας τυχαίας μεταβλητής και θα καταλάβουν ότι το όργανο έχει πεπερασμένη ακρίβεια. Ο πειραματισμός με διαφορετικά μήκη καλωδίων επιβεβαιώνει τις προβλέψεις τους σχετικά με την ταχύτητα μεταφοράς των ηλεκτρικών σημάτων, ενώ επιβεβαιώνουν ότι η ταχύτητα των υποατομικών σωματιδίων είναι πρακτικά η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Οι δραστηριότητες 2 και 3 πραγματοποιούνται τόσο δια ζώσης στις σχολικές μονάδες που έχει



Εικόνα 6: (Αριστερά) Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται στις εκπαιδευτικές δραστηριότητες 2 και 3. (Δεξιά) Οι μαθητές υπολογίζουν με βάση τις μετρήσεις τους πόση τάση πρέπει να έχει η κάθε ανιχνευτική μονάδα καθώς και την χρονική καθυστέρηση που έχει.

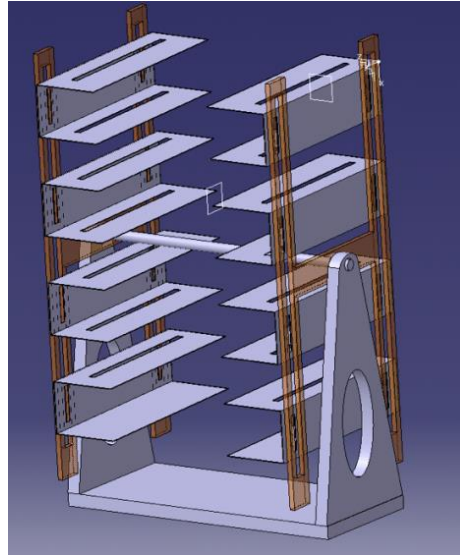
εγκατασταθεί ανιχνευτής μ Cosmics, όσο και εξ' αποστάσεως χρησιμοποιώντας ανιχνευτή που

βρίσκεται στο Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από 3 ανιχνευτικές μονάδες που τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και συλλέγονται δεδομένα υπό τη συνθήκη ότι δύο από τις τρεις ανιχνευτικές διατάξεις καταγράφουν τη διέλευση ενός μιονίου, ενώ καταγράφεται ο παλμός του τρίτου (υπό εξέταση) ανιχνευτή. Η ίδια διάταξη χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό των ανιχνευτών (Εικόνα 6).

4. Κατασκευή και Λειτουργία ενός τηλεσκοπίου μιονίων

(10-12 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 10 μαθητών, δια ζώσης & εξ' αποστάσεως)

Οι δύο προηγούμενες δραστηριότητες χρησιμοποιούν τα ατμοσφαιρικά μόνια, τα υποατομικά σωματία, που κινούμενα με την ταχύτητα του φωτός αφήνουν το αποτύπωμά τους στις ανιχνευτικές μονάδες. Η μιονική ροή είναι πολύ υψηλή επιτρέποντας μετρήσεις με μεγάλη στατιστική και μελέτες όπως ο προσδιορισμός της ζενιθιακής κατανομής, ο ρυθμός της, η αζιμουθιακή της ασυμμετρία λόγω της επίδρασης του μαγνητικού πεδίου της Γης κτλ. Έχοντας μάθει οι μαθητές πώς να ανιχνεύουν αυτά τα σωματία, μπορούν να φτιάξουν ένα μιονικό τηλεσκόπιο χρησιμοποιώντας δύο ή τρεις ανιχνευτικές μονάδες $\mu\text{Cosmics}$. Με την κατάλληλη διάταξη (βλ Εικόνα 7) οι ανιχνευτικές μονάδες τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους με δυνατότητα «στόχευσης» σε καθορισμένη ζενιθιακή και αζιμουθιακή γωνία. Με τη διάταξη αυτή που θα συνοδεύει το ανιχνευτή $\mu\text{Cosmics}$ αλλά και με την αντίστοιχη που θα αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Φυσικής του ΕΑΠ (η οποία επιπλέον θα έχει δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης και λειτουργίας), οι μαθητές θα μπορέσουν να πάρουν ευκολότερα μετρήσεις και να διαπιστώσουν την ύπαρξη αυτής της αδιάκοπης βροχής σωματιδίων, καθώς και από που προέρχονται. Η ίδια διάταξη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψουν οι μαθητές ρυθμούς καταμέτρησης ανάλογα με το βαθμό επικάλυψης των ανιχνευτικών μονάδων αλλά και τη επίδραση της απόστασης μεταξύ τους, επιβεβαιώνοντας έτσι τις γνώσεις τους από τη γεωμετρία.



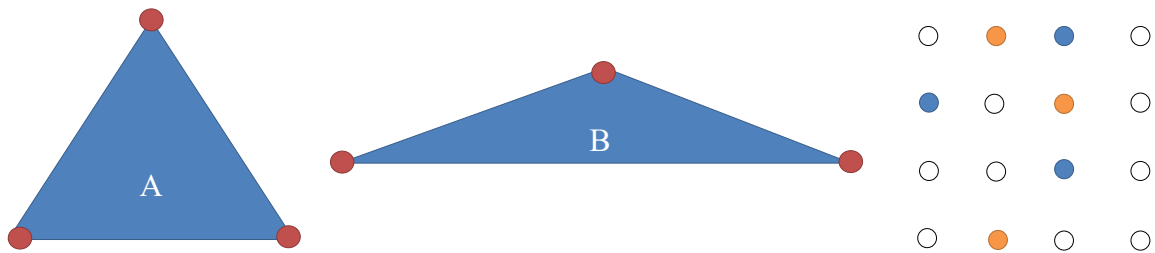
Εικόνα 7: Τηλεσκόπιο μιονίων με 4 θέσεις για ισάριθμες ανιχνευτικές μονάδες.

5. Μελέτες γεωμετρίας του τηλεσκοπίου Κοσμικών Ακτίνων

(8-10 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 10 μαθητών, δια ζώσης & εξ' αποστάσεως)

Η δραστηριότητα αυτή έχει ως σκοπό τη μελέτη της επίδρασης της θέσης των ανιχνευτικών μονάδων τόσο στο ρυθμό καταγραφής όσο και στην ακρίβεια προσδιορισμού της διεύθυνσης των Κοσμικών Ακτίνων. Η μεγάλη απόσταση των ανιχνευτικών σταθμών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνειας του νοητού τριγώνου που σχηματίζουν (και επομένως αυξάνεται η ενεργός επιφάνεια ανίχνευσης του αποτυπώματος του καταιονισμού), απαιτώντας έτσι μεγαλύτερη ενέργεια του πρωτεύοντος σωματίου και μικρότερες ζενιθιακές γωνίες (ώστε να μην απορροφηθεί από την ατμόσφαιρα). Από την άλλη μεριά η μεγάλη απόσταση των ανιχνευτικών μονάδων έχει ως αποτέλεσμα τον ακριβέστερο προσδιορισμό της διεύθυνσης του πρωτεύοντος σωματιδίου καθώς οι μικρές ανακρίβειες στη μέτρηση του χρόνου διέλευσης των σωματίων του καταιονισμού από τις ανιχνευτικές μονάδες δεν επηρεάζουν δραστικά τον προσδιορισμό της διεύθυνσης όταν οι αποστάσεις των ανιχνευτών είναι μεγάλες.

Οι μελέτες αυτές μπορούν να γίνουν αρχικά με πειράματα προσομοίωσης χρησιμοποιώντας απλές γεωμετρικές σχέσεις και λογιστικά φύλλα όπως παρουσιάζεται στην [22]. Οι ίδιες μελέτες προσομοίωσης μπορούν να αναδείξουν την επίδραση της συμμετρικότητας του τηλεσκοπίου (Εικόνα 8) στην μέτρηση της αζιμουθιακής κατανομής των Κοσμικών Ακτίνων. Σε πειραματικό επίπεδο, η ευκολία μετακίνησης των ανιχνευτικών μονάδων του $\mu\text{Cosmics}$ επιτρέπει την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, ενώ στην περίπτωση της απομακρυσμένης πρόσβασης στις ανιχνευτικές διατάξεις του ΕΑΠ, οι μελέτες γεωμετρίας μπορούν να γίνουν επιλέγοντας διαφορετικές ανιχνευτικές μονάδες που θα απαρτίζουν τον ανιχνευτικό σταθμό (Εικόνα 8).

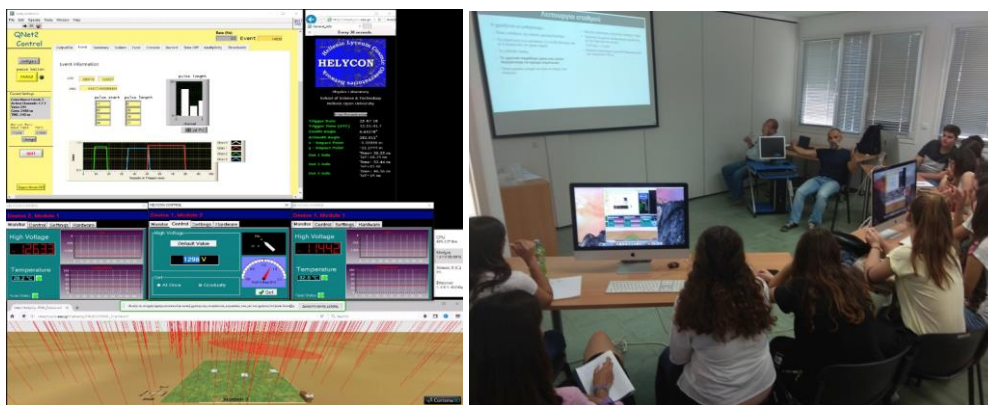


Εικόνα 8: Δύο υποτιθέμενες διατάξεις (A και B) των ανιχνευτικών μονάδων του μ Cosmics όπου η πρώτη (A) αντιστοιχεί σε ισόπλευρο τρίγωνο ενώ η δεύτερη (B) σε ασυμμετρικό ανιχνευτή. Στη δεξιά πλευρά φαίνεται μια συστοιχία από 16 ανιχνευτικές μονάδες του τηλεσκοπίου του ΕΑΠ όπου έχουν επιλεγθεί 2 τριάδες (μπλέ και πορτοκαλί κύκλοι) ώστε να γίνει η μελέτη της γεωμετρίας ενός σταθμού που αποτελείται από 3 ανιχνευτικές μονάδες.

6. Λήψη δεδομένων καταιονισμών-Επισκόπηση λειτουργίας-Έλεγχος ποιότητας δεδομένων (5-6 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 10 μαθητών, δια ζώσης & εξ' αποστάσεως)

Η δράση αυτή περιλαμβάνει τη διαχείριση του συστήματος λήψης δεδομένων, τη διαχείριση του λογισμικού επιλογής των λειτουργικών παραμέτρων του ανιχνευτή καθώς και το λογισμικό παρακολούθησης λειτουργίας και ποιοτικού ελέγχου των δεδομένων. Οι μαθητές θα κατανοήσουν την αναγκαιότητα των προηγούμενων δραστηριοτήτων για το καθορισμό των λειτουργικών παραμέτρων του ανιχνευτή και θα μπορούν να προβλέψουν και να επιβεβαιώσουν την επίδραση διαφορετικών τιμών από τις τυπικές στη λειτουργία του ανιχνευτή.

Το σύστημα λήψης δεδομένων ενός σταθμού Astroneu βασίζεται στο Quarknet-board [23], ενώ για τον ανιχνευτή μ Cosmics υπάρχει και η δυνατότητα χρησιμοποίησης ψηφιακού παλμογράφου υψηλού ρυθμού δειγματοληψίας. Το Quarknet-board καταχωρεί τους χρόνους που οι ηλεκτρικοί παλμοί των φωτοπολλαπλασιαστών περνούν ένα προκαθορισμένο επίπεδο τάσης επιτρέποντας έτσι το καθορισμό του χρόνου άφιξης του σήματος και την εκτίμηση του μεγέθους του χρησιμοποιώντας το χρόνο πάνω από το κατώφλι. Στη περίπτωση της πλήρους ψηφιοποίησης το μέγεθος του παλμού είναι άμεσα μετρήσιμο από το ολοκλήρωμα του παλμού παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια. Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και παρακολούθηση του σταθμού, για τη λήψη των πρωτογενών δεδομένων και για την επιλογή των λειτουργικών παραμέτρων του ανιχνευτή.

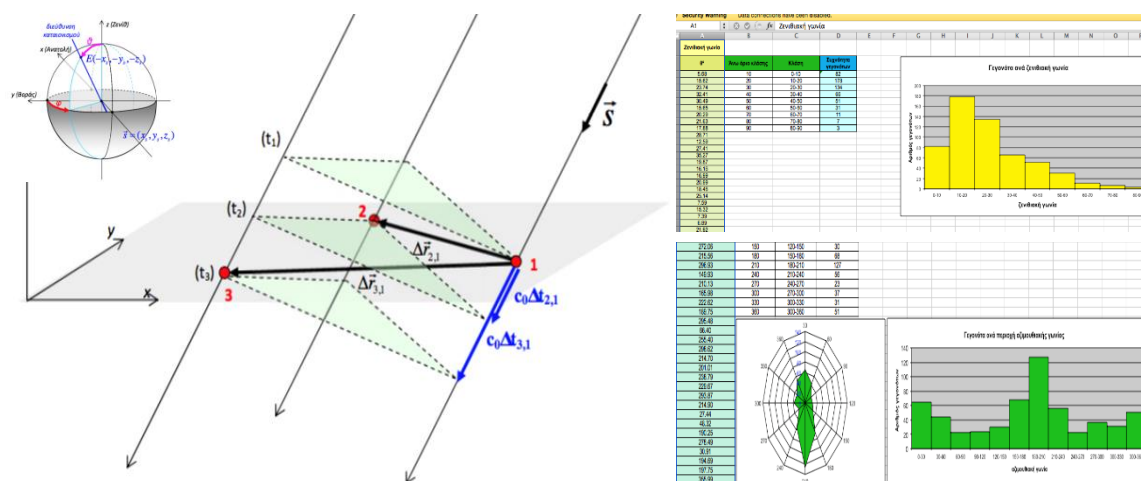


Εικόνα 9: Αριστερά: Ένα στιγμιότυπο της κύριας οθόνης διαχείρισης του σταθμού Astroneu. Δεξιά: Οι μαθητές εκπαιδεύονται στη χρήση του λογισμικού.

Επιπλέον, το λογισμικό αναπαριστά σε πραγματικό χρόνο τις τρέχουσες τιμές και το ιστορικό των τιμών σε ιστογράμματα, αποκωδικοποιεί τα πρωτογενή δεδομένα και εκτελεί αλγορίθμους ανακατασκευής της διεύθυνσης των καταιονισμών σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες του χρονισμού των παλμών καθώς και η τρισδιάστατη 3D γραφική αναπαράσταση του καταιονισμού παρουσιάζονται σε φυλλομετρητή ενώ τα αποκωδικοποιημένα δεδομένα χρησιμοποιούνται επίσης για επισκόπηση της ποιότητας δεδομένων (Εικόνα 9).

7. Ανάλυση δεδομένων. Ανακατασκευή διεύθυνσης καταιονισμού
 (15 εκπαιδευτικές ώρες, ανά ομάδα 10 μαθητών, δια ζώσης & εξ' αποστάσεως)

Η συγκεκριμένη δράση μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο σημαντική καθώς περιλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από το τηλεσκόπιο. Τα πρωτογενή δεδομένα μετατρέπονται αυτόματα από το λογισμικό του σταθμού και παρουσιάζονται σε λογιστικά φύλλα ή σε άλλο γραφικό περιβάλλον, ενώ με τη συλλογή της απαραίτητης στατιστικής είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη γωνιακή κατανομή των Κοσμικών Ακτίνων και του ρυθμού καταγραφής δεδομένων (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Η παρουσίαση των δεδομένων σε γραφικό περιβάλλον και σε λογιστικά φύλλα. Αριστερά παρουσιάζεται σε γραφικό περιβάλλον ο προσδιορισμός της διεύθυνσης των Κοσμικών Ακτίνων με τη μέθοδο του τριγωνισμού. Στο δεξί μέρος φαίνονται τα ιστογράμματα (σε περιβάλλον λογιστικών φύλλων) της ζενιθιακής και αζιμουθιακής διεύθυνσης των Κοσμικών Ακτίνων μετά τη συλλογή δεδομένων μερικών εβδομάδων.

Οι δυο τελευταίες δραστηριότητες μπορούν να πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια συλλογής δεδομένων χωρίς να διακόπτεται η λειτουργία του τηλεσκοπίου. Η σχολική μονάδα παρακολουθεί τη λειτουργία του τηλεσκοπίου, αναλύει τα δεδομένα που συλλέγονται και τα συγκρίνει με αυτά της προσομοίωσης ή τα δεδομένα προηγούμενων περιόδων. Ιστογράμματα ποιότητας δεδομένων καθώς και λειτουργικών παραμέτρων αναρτώνται στην ιστοσελίδα της σχολικής μονάδας και του δικτύου μNet για σύγκριση και έλεγχο με τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου.

Βιβλιογραφία

[1] <http://visit.cern/>
 [2] <https://physicsmasterclasses.org/>
 [3] Helen Walkington, Students as researchers: Supporting undergraduate research in the disciplines in higher education, The Higher Education Academy, 2015
 [4] Lisa Towne, Laress L. Wise, and Tina M. Winters, Advancing Scientific Research in Education, National Academies Press, 2005
 [5] Heidi A.Wayment and K. Laurie Dickson, Increasing Student Participation in Undergraduate Research Benefits Students, Faculty, and Department, Teaching of Psychology, 35: 194–197, 2008
 [6] John Straker, International Student Participation in Higher Education: Changing the Focus From “International Students” to “Participation”, Journal of Studies in International Education 2016, Vol. 20(4) 299 –318
 [7] Χ. Σοφianoπούλου κ.α., Μια ανάλυση των αποτελεσμάτων του PISA2015: Οι επιδόσεις των Ελλήνων μαθητών και οι παράγοντες που τις επηρεάζουν, διαNEOΣις, Νοέμβριος 2019
 [8] Todor Stanev, High Energy Cosmic Rays, Springer-Verlag, DOI 10.1007/978-3-540-85148-6
 [9] Peter K.F. Grieder, Extensive Air Showers, Springer-Verlag, DOI 10.1007/978-3-540-76941-5
 [10] Ενδεικτική λίστα:

VICTA (<https://www.uvic.ca/science/physics/vispa/outreach/victa/index.php>),
 TRIUMF (<http://www.triumf.ca/headlines/current-events/triumf-science-education-outreach>),
 QuarkNet (<https://quarknet.i2u2.org/home>),
 WALTA (<http://neutrino.phys.washington.edu/~walta/>),
 T.W.Lynn et al, (CHICOS) arXiv:astro-ph/0509256,
 CROP (<http://crop.unl.edu>),
 SALTA (<https://faculty.washington.edu/wilkes/salta/>),
 CLASA (<http://physicsweb.phy.uic.edu/quarknet/>),
 L.A. Anchordoqui, et al, (SCROD) arXiv:hep-ex/0106002,
 The Cosmic Ray Project
 (<https://www.kcl.ac.uk/nms/depts/physics/newsold/events/TheCosmicRayProject.aspx>),
 QuarkNet Cymru (<http://blogs.cardiff.ac.uk/physicsoutreach/2016/11/03/quarknet-cymru/>),
 Sky-View (<http://skyview.uni-wuppertal.de/index.html>),
 Cosmic@Web
 (https://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_teilchen/cosmicweb/index_ger.html),
 TheNetzwerkTeilchenwelt (<http://www.teilchenwelt.de>),
 Cosmos a l Ecole (<http://www.sciencesalecole.org/plan-cosmos-a-lecole-materiel/>),
 e-PERON (<https://www.labex-ocevu.univ-amu.fr/?q=fr/content/e-peron>),
 HiSPARC (<http://www.hisparc.nl/en/>),
 SEASA (<http://gluon.particle.kth.se/SEASA/>),
 MAZE (<http://maze.u.lodz.pl/ang/index.html>),
 CZELTA (<http://czelta.utef.cvut.cz/publicweb/?language=en>),
 SKALTA (<http://astronomy.science.upjs.sk>),
 Extreme Energy Events (EEE), Abbrescia et. al., Journal of Physics: Conference Series 718 (2016), Maria Krause et al, arXiv:1508.03968
 [11] T. Avgitas et al , The Astroneu Extensive Air Shower Array, submitted to NIM A, e-print: arXiv:1702.04902 [physics.ins-det]
 [12] T. Avgitas et al, Calibration procedures for accurate timing and directional reconstruction of EAS particle-fronts with Astroneu stations, submitted to NIM A, e-print: arXiv:1702.04902 [physics.ins-det]
 [13] T. Avgitas et al, Performance of the autonomous stations of the Astroneu extensive air shower array, submitted to NIM A, e-print: arXiv:1801.04768 [physics.ins-det]
 [14] T. Avgitas et al, Detection of high energy showers by the Astroneu extensive air shower array, submitted to NIM A, e-print: arXiv:1801.04768 [physics.ins-det]
 [15] G. Bourlis et al, Cosmic Ray RF detection with the Astroneu array, submitted to NIM A, e-print: arXiv:1702.05794 [physics.ins-det]
 [16] A. Leisos et al, Hybrid detection of high energy air showers in urban environments, MDPI, Universe 2019, 5(1), 3
 [17] S. Nonis et al, Studies for High Energy air shower identification using RF measurements with the ASTRONEU array, EPJ Web OF Conferences 210, 05010 (2019), DOI: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921005010>
 [18] A.G. Tsirigotis and A.Leisos, μ Cosmics: A Low-Cost Educational Cosmic Ray Telescope, Universe 2019, 5(1), 23; <https://doi.org/10.3390/universe5010023>
 [19] A. Leisos et al, The Hellenic Open University Cosmic Ray Telescope: Research and Educational Activities, EPJ Web Conf. Volume 182, 2018 <https://doi.org/10.1051/epjconf/201818202072>
 [20] <https://icd.desy.de/>
 [21] A. Leisos et al, Hellenic Lyceum Cosmic Observatories Network: Status Report and Outreach Activities, Universe 2019, 5(1), 4; <https://doi.org/10.3390/universe5010004>
 [22] Παπαδάτος-Γιγάντες Αγησίλαος, “Εκπαιδευτική αξιοποίηση του τηλεσκοπίου Κοσμικών Ακτίνων του ΕΑΠ”, ΜΔΕ ΚΦΕ ΕΑΠ, Πάτρα 2019
 [23] S. Hansen et al, Low-cost data acquisition card for school-network cosmic ray detectors, IEEE Transactions on Nuclear Science, Volume 51, Issue: 3 (2004), pages 926-930