



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη Εργαστηρίου Απομακρυσμένης Πρόσβασης για τη μελέτη
των Κοσμικών Ακτίνων**

Ριζόγιαννης Γεώργιος, Φυσικός

A.M. 142619

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΛΕΪΣΟΣ

ΚΟΡΙΝΘΟΣ

Σεπτέμβριος, 2021

*Με Αγάπη στη γυναίκα μου Μαρίνα
και τις κόρες μου Ευαγγελία και Μαρία*

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	9
Περίληψη.....	10
Summary.....	11
1. Κοσμική ακτινοβολία.....	12
1.1 Ορισμός Κοσμικής ακτινοβολίας	12
1.2 Κοσμικά Νετρίνα.....	12
1.3 Αλληλεπιδράσεις ακτινοβολίας με την ύλη	15
1.4 Ιστορική αναδρομή	16
1.5 Σύσταση κοσμικής ακτινοβολίας	20
1.6 Τροχιές των σωματιδίων της κοσμικής ακτινοβολίας.....	23
2. Εκτεταμένοι καταιονισμοί στην ατμόσφαιρα	26
2.1 Δημιουργία καταιονισμών.....	26
2.1.1 Ηλεκτρομαγνητική Συνιστώσα.....	28
2.1.2 Αδρονική Συνιστώσα.....	29
2.1.3 Μιονική Συνιστώσα.....	30
2.2 Ανίχνευση Καταιονισμών.....	32
3. Πειραματική διάταξη.....	34
3.1 Οι ανιχνευτές.....	34
3.2 Κάρτα ψηφιοποίησης.....	37

3.4	Υπολογιστικό σύστημα.....	35
4.	Τηλεργαστήρια.....	38
4.1	Τηλεργαστήριο ανιχνευτικής διάταξης μCosmics.....	39
5.	Πλατφόρμα Moodle	40
5.1	Περιεχόμενα Μαθήματος.....	42
5.2	Είσοδος στην πλατφόρμα Moodle	43
5.3	Ερωτήσεις σε αντιστοίχιση με τα βίντεο.....	50
6.	Διαχείριση πλατφόρμας Moodle "ως συντονιστής"	57
6.1	Γενικές οδηγίες	57
6.2	Upload Video	61
6.3	Upload Ερωτήσεων συνδεδεμένων με το Video.....	65
7.	Το πείραμα.....	69
7.1	Μέρος Α: Βαθμονόμηση ανιχνευτικής μονάδας.....	69
7.2	Πρόσβαση στο λογισμικό της κάρτας QuarkNet.....	70
7.3	Επεξεργασία δεδομένων.....	82
8.	Κατανομή ύψους παλμών.....	83
8.1	Μετατροπή των δεδομένων σε δεκαδικό σύστημα	83
8.2	Επεξεργασία δεδομένων	87

8.2.1 Τα δεδομένα στα αρχεία results	87
8.2.2 Εισαγωγή και επεξεργασία στο Excel.....	87
9. Χρονισμός των παλμών	100
9.1 Εισαγωγή	100
9.2 Επεξεργασία δεδομένων	101
9.2.1 Μετατροπή των δεδομένων σε δεκαδικό σύστημα	101
9.2.2 Εισαγωγή και επεξεργασία στο Excel.....	101
10. Μελέτη Καταιονισμών.....	105
10.1 Εισαγωγή	105
10.2 Μετατροπή των Δεδομένων.....	105
10.3 Εισαγωγή των Δεδομένων στο Excel.....	106
10.4 Ανάλυση δεδομένων	110
11. Σύνοψη.....	117
12. Βιβλιογραφία.....	118

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή εντάσσεται στο πλαίσιο του Εργαστηρίου Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή μου κ. Αντωνίου Λέισου, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγηση και την υποστήριξη του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους επιστημονικούς συνεργάτες στο Εργαστήριο Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, Λεωνίδα Ξηρό, Μιχαήλ Πετρόπουλο, Νεκτάριο Μαυρογιαννάκη και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Μίνο Αλέξιο και Αντωνίου Ευστράτιο για τις χρήσιμες υποδείξεις τους όσον αφορά την αρχή λειτουργίας των πειραματικών διατάξεων του ανιχνευτικού σταθμού $\mu\text{Cosmics}$.

Η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να έρθει σε πέρας χωρίς την στήριξη της γυναίκας μου, η οποία με την αγάπη της και την υπομονή της με στήριξε ψυχολογικά, την ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου.

Περίληψη

Αυτή η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία περιγράφει τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθήσει ένας φοιτητής για να εκτελέσει μια εξ' αποστάσεως εργαστηριακή άσκηση για ανίχνευση εκτεταμένων καταιονισμών. Πρώτον, ο μαθητής καλείται να εισαχθεί στην ειδική πλατφόρμα Moodle που φιλοξενεί το σχετικό εκπαιδευτικό υλικό. Στη συνέχεια, δίνονται λεπτομερείς οδηγίες για το πώς να αποκτήσει πρόσβαση στο τηλεσκόπιο μCosmics, πώς να το βαθμονομήσει και τέλος πώς να συλλέξει δεδομένα καταιονισμών. Το πρώτο κεφάλαιο είναι μια εισαγωγή στη φυσική των κοσμικών ακτίνων παρουσιάζοντας τα κύρια χαρακτηριστικά τους, όπως τη χημική τους σύνθεση καθώς και την προέλευσή τους. Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τις φυσικές διαδικασίες που διέπουν την ανάπτυξη των καταιονισμών και περιγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει την πειραματική διάταξη και το τέταρτο τα βασικά χαρακτηριστικά καθώς και τα πλεονεκτήματα των τηλεεργαστηρίων. Στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο υπάρχουν λεπτομερείς οδηγίες για τον τρόπο εγγραφής στην πλατφόρμα Moodle και στην εκπαιδευτική διαδικασία. Παρέχονται επίσης οδηγίες για λειτουργία σε επίπεδο διαχειριστή. Το έβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη διαδικασία για τη λειτουργία του τηλεσκοπίου μCosmics και την εκτέλεση του πειράματος. Τα υπόλοιπα τέσσερα κεφάλαια περιγράφουν τα εξ' αποστάσεως εργαστηριακά πειράματα, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού της κατανομής του ύψους των παλμών του ανιχνευτή, το συγχρονισμό των ανιχνευτών και τέλος, την ανίχνευση και ανάλυση των δεδομένων των εκτεταμένων καταιονισμών. Αυτά τα τέσσερα κεφάλαια περιλαμβάνουν επίσης οδηγίες σχετικά με τη χρήση της πλατφόρμας Moodle, τη λειτουργία του συστήματος συλλογής δεδομένων καθώς και το λογισμικό για την ανάλυση τους.

Summary

This master thesis describes the procedures that should be followed by a student in order to perform a remote laboratory exercise for extensive air shower detection. First, the student is required to sign in the dedicated Moodle platform that hosts the relevant educational material. Then, detailed instructions are given on, how to gain access to the μ Cosmics telescope, how to calibrate it and finally how to collect shower data. The first chapter is an introduction to the physics of cosmic rays presenting their main characteristics such as their chemical composition as well as their origin. The second chapter presents the physical processes that govern the development of air showers and describes their main components. The third chapter describes the experimental set-up and, the fourth, the basic features as well as the advantages of tele-laboratories. In the fifth and sixth chapters there are detailed instructions how to register to the Moodle platform and enroll in the training process. Administrator mode instructions are given as well. Chapter 7 includes the procedure for operating the μ Cosmics telescope and performing the experiment. The rest four chapters describe the tele-laboratory experiments including the determination of the pulse height distribution of the detector unit, the synchronization of the detectors and finally, the detection and analysis of air shower data. Those four chapters also list instructions concerning the use of the Moodle platform, the operation of the Data Acquisition system as well as the data analysis software.

1. Κοσμική ακτινοβολία

1.1 Ορισμός Κοσμικής ακτινοβολίας

Με τον όρο κοσμική ακτινοβολία, εννοούμε τη ροή σωματιδίων υψηλής ενέργειας που προέρχεται από το διάστημα και βομβαρδίζει τη Γη από όλες τις διευθύνσεις. Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κυρίως από φορτισμένα σωματίδια με μάζα ηρεμίας διάφορη του μηδενός. Το μεγαλύτερο μέρος (99%) των σωματιδίων αυτών είναι θετικά φορτισμένοι πυρήνες διαφόρων στοιχείων με διαφορετική αναλογία που εξαρτάται από την ενέργειά τους. Ανάμεσα σε αυτούς συναντάμε και ηλεκτρόνια (1%) αλλά και σωματίδια αντύλης όπως αντιπρωτόνια και ποζιτρόνια (αντιηλεκτρόνια).

Η κοσμική ακτινοβολία είναι διαφορετική της ηλεκτρομαγνητικής. Τα φωτόνια (κβάντα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) είναι σωματίδια με μηδενική μάζα ηρεμίας, ταξιδεύουν στο κενό με την ταχύτητα του φωτός και η ενέργειά τους εξαρτάται μόνο από την συχνότητά τους. Η υψηλότερη ενέργεια που έχει καταγραφεί να μεταφέρει ένα φωτόνιο (της περιοχής γ) είναι της τάξης 10^{14} eV όπως αναφέρει ο Roman Fleysheer του πανεπιστημίου Νέας Υόρκης στη διατριβή του ενώ το σωματίδιο κοσμικής ακτινοβολίας υψηλότερης ενέργειας που καταγράφηκε μέχρι σήμερα χαρακτηρίστηκε ως "Oh My God Particle" και είχε ενέργεια $3 \cdot 10^{20}$ eV [1].

1.2 Κοσμικά Νετρίνα

Οι περισσότερες πληροφορίες που έχουμε για το σύμπαν προέρχονται από τις παρατηρήσεις φωτονίων καθ' όλο το εύρος του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος. Οι πληροφορίες που παίρνουμε από παρατηρήσεις γυμνών πυρήνων ή πρωτονίων είναι λιγοστές αφού αυτά αλληλεπιδρούν με μαγνητικά πεδία του γαλαξία και εκτρέπονται της αρχικής τους πορείας. Εκείνα τα σωματίδια τα οποία παραμένουν ανεπηρέαστα καθώς διέρχονται μέσα από μαγνητικά πεδία, σκόνη και αέρα είναι τα νετρίνα. Αποτελούν μεγάλο μέρος των στοιχειωδών σωματιδίων του σύμπαντος και αλληλεπιδρούν πολύ ασθενικά με την υπόλοιπη ύλη με αποτέλεσμα να φτάνουν σχεδόν χωρίς να αλλάζουν την πορεία τους ως τη Γη.

Οι κυριότερες γήινες πηγές νετρίνων είναι:

Νετρίνα της ατμόσφαιρας που δημιουργούνται κατά την είσοδο κοσμικών σωματιδίων σ' αυτήν. Τα φορτισμένα σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας αλληλεπιδρούν με τα μόρια της ατμόσφαιρας της Γης και μέσω αδρονικών αλληλεπιδράσεων παράγονται φορτισμένα ή ουδέτερα μεσόνια τα οποία με τη σειρά τους διασπώνται σε μίονια, νετρίνα και ακτίνες γ δημιουργώντας έτσι ατμοσφαιρικούς καταιονισμούς σωματιδίων. Τα ελαφρά μεσόνια (π και K) που παράγονται κατά τους καταιονισμούς διασπώνται δίνοντας νετρίνα σύμφωνα με τις διασπάσεις.

Καόνια:

$$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \text{και} \quad K^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e \quad \text{και} \quad K^- \rightarrow \pi^0 + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$K^+ \rightarrow \pi^0 + \mu^+ + \nu_\mu \quad \text{και} \quad K^- \rightarrow \pi^0 + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e \quad \text{και} \quad K_L^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$$

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad \text{και} \quad K_L^0 \rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu$$

πιόνια:

$$\left. \begin{array}{l} \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \end{array} \right\} (99,99\% \text{ πιθανότητα})$$

$$\left. \begin{array}{l} \pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e \\ \pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e \end{array} \right\} (0,01\% \text{ πιθανότητα})$$

Σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, επιταχυντές και κατά τις φυσικές ραδιενεργές διασπάσεις.

Οι κυριότερες εξωγήινες πηγές νετρίνων είναι:

Ο γαλαξιακός δίσκος. Κατά τη διέλευση κοσμικών σωματιδίων από την ύλη του γαλαξιακού δίσκου παράγονται μιονία τα οποία με τη σειρά τους διασπώνται σε διάφορα προϊόντα, ένα εκ των οποίων είναι τα νετρίνα.

Εκρήξεις υπερκαινοφανών. Με την κατάρρευση του πυρήνα ενός αστεριού εκτοξεύεται πλάσμα το δημιουργεί εκλάμψεις ακτίνων γ . Τα πρωτόνια και ηλεκτρόνια που περιλαμβάνονται στο πλάσμα επιταχύνονται και αλληλεπιδρώντας με φωτόνια του περιβάλλοντα χώρου δημιουργούν μεσόνια τα οποία με τη σειρά τους μας δίνουν νετρίνα και υψηλής ενέργειας ακτινοβολία γ .

Οι ενεργειακοί γαλαξιακοί πυρήνες. Πρόκειται για πολύ λαμπρά κέντρα γαλαξιών στα οποία έχουμε αποδεχτεί πως υπάρχει μια μελανή οπή με μάζα περίπου 8 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη του ήλιου μας. Από το κέντρο εκπέμπεται ενέργεια με μορφή φωτονίων σε όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ενέργεια αυτή παρέχεται από την ύλη του γαλαξιακού δίσκου η οποία κινείται ελικοειδώς προς την μελανή οπή. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας αποβάλλεται μέσω πίδακα σε διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα περιστροφής της οπής. Στην διεύθυνση αυτή μπορούν να ανιχνευτούν νετρίνα και ακτίνες γ υψηλής ενέργειας. Καθώς φορτισμένα σωματίδια που επιταχύνονται μέσα στο πίδακα αλληλεπιδρούν με τα φωτόνια παράγοντας μεσόνια τα οποία με τη σειρά τους παράγουν νετρίνα και ακτινοβολία γ μεγάλης ενέργειας.

Το εσωτερικό του Ηλίου. Κατά τη διαδικασία της θερμοπυρηνικής σύντηξης δημιουργούνται ηλιακά νετρίνα. Η ενέργειά τους είναι της τάξεως των μερικών MeV και μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις.

Νετρίνα από την εξαύλωση των WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) τα οποία τα ονομάζουμε ασθενώς αλληλεπιδρώντα βαρέα σωματίδια και είναι πιθανοί υποψήφιοι της ψυχρής σκοτεινής ύλης. Κατά την διάσπαση των προϊόντων της εξαύλωσης παράγονται νετρίνα του μιονίου με μεγάλες ενέργειες [2].

1.3 Αλληλεπιδράσεις ακτινοβολίας με την ύλη

Ο Röntgen το 1895 ανακάλυψε τις ακτίνες X και έλαβε το βραβείο Nobel το 1901. Το 1896 ο Henri Becquerel ανακάλυψε τη φυσική ραδιενέργεια, και μαζί με την υποψήφια διδάκτορα Marie Curie, στην οποία ανήκει και ο όρος «ραδιενέργεια» και τον σύζυγό της Pierre Curie μοιράστηκαν το Nobel φυσικής του 1903. Ο J.J. Thomson το 1897 ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο στις καθοδικές ακτίνες.

Σε πειράματα λοιπόν παρατηρήθηκε ότι αυτές οι αόρατες ακτινοβολίες, προκαλούν έντονο ιονισμό του αέρα. Οι ακτίνες-α δημιουργούν πυκνό ιονισμό κατά μήκος της διαδρομής τους και γι' αυτό απορροφώνται μετά από λίγα cm διαδρομής μέσα στον αέρα και ανάλογα με την ενέργεια τους. Έτσι λέμε ότι οι ακτίνες-α είναι **άμεσα ιονιστικές**. Οι ακτίνες-β δημιουργούν λιγότερο πυκνό ιονισμό κατά μήκος της διαδρομής τους και γι' αυτό απορροφώνται μετά από λίγα m της διαδρομής μέσα στον αέρα και ανάλογα με την ενέργεια τους. Λέμε και για τις ακτίνες-β ότι είναι **άμεσα ιονιστικές**. Οι ακτίνες-γ και X δεν δημιουργούν ιονισμό κατά μήκος της διαδρομής τους αλλά το κάθε φωτόνιο μπορεί να αλληλεπιδράσει πολύ δραστικά σε ένα σημείο του υλικού με φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με σκέδαση Compton ή με δίδυμη γένεση και να δώσει όλη, ή ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας του σε ένα ηλεκτρόνιο. Λέμε λοιπόν ότι οι ακτίνες-γ και X δεν είναι άμεσα ιονιστικές, αλλά **έμμεσα ιονιστικές**.

Η απορρόφηση μιας δέσμης μονοενεργειακών σωματιδίων α, μιας δέσμης σωματιδίων β και μιας δέσμης ακτινοβολίας γ, της ίδιας ενέργειας, γίνεται μετά από κάποια διαδρομή σε διαφορετικά πάχη υλικού. Η εμβέλεια των γ είναι μεγαλύτερη από των β και αυτή μεγαλύτερη από των α.

Οι ακτίνες-γ και X δεν έχουν συγκεκριμένη εμβέλεια μέσα στα υλικά. Η εξασθένηση μίας δέσμης με αρχική ένταση I_0 λόγω απορρόφησης της μέσα σε κάποιο υλικό, μετά από διαδρομή μήκους d, ακολουθεί την εκθετική σχέση:

$$I(d) = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (1.1)$$

όπου $I(d)$ η ένταση στο τέλος της διαδρομής d και μ (σε m^{-1}) ο συντελεστής απορρόφησης των φωτονίων δεδομένης ενέργειας μέσα στο υλικό.

1.4 Ιστορική αναδρομή

Πειράματα που πραγματοποιήθηκαν τον προηγούμενο αιώνα για τον ιονισμό και την αγωγιμότητα των αερίων επιβεβαίωσαν την ύπαρξη υποατομικών σωματιδίων και εισήγαγαν την έννοια της φυσικής ραδιενέργειας (α , β , γ ακτινοβολία), ενώ παράλληλα ανακαλύφθηκαν και οι ακτίνες X.

Στη ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας βοήθησε η παρατήρηση της εκφόρτισης ηλεκτροσκοπίου ακόμα και στο σκοτάδι μακριά από πηγές φυσικής ραδιενέργειας. Εφόσον η ραδιενέργεια και οι ακτίνες-X προκαλούν ιονισμό του αέρα, ένα φορτισμένο ηλεκτροσκόπιο θα εκφορτίζεται τόσο πιο γρήγορα όσο περισσότερη ακτινοβολία υπάρχει στο χώρο. Το παράξενο που παρατηρήθηκε είναι ότι τα ηλεκτροσκόπια εξακολουθούσαν να εκφορτίζονται ακόμη και όταν δεν υπήρχε καμιά πηγή ακτινοβολίας τριγύρω, γεγονός που οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι πάντοτε ιονισμένος.



Εικόνα 1.1: Ηλεκτροσκόπιο φύλλων

Η χρήση του ηλεκτροσκοπίου (**Εικόνα 1.1**) οδήγησε σε μια σειρά από υποθέσεις και ανακαλύψεις που παρουσιάζονται παρακάτω:

Το 1901 Ο C.T.Wilson (Nobel Φυσικής 1927) παρατήρησε πως τα ηλεκτροσκόπια εκφορτίζονταν ακόμα και όταν βρίσκονταν μέσα στη σήραγγα του σιδηροδρομικού σταθμού Caledonian. Αποδεικνύει λοιπόν την ύπαρξη ακτινοβολίας που διασχίζει την ατμόσφαιρα. Ανακαλύπτει το συνεχή ατμοσφαιρικό ιονισμό με τον αέρα να ιονίζεται σε ένα σχετικά υψηλό ποσοστό. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι 10 έως 20 ιόντα παρήχθησαν κάθε ένα δευτερόλεπτο σε ένα κυβικό εκατοστόμετρο του αέρα. Το

ερώτημα ήταν αν ο ιονισμός προερχόταν από το ίδιο το υλικό ή είναι προϊόν της φυσικής ραδιενέργειας της γης; Λανθασμένα θεωρεί ότι οφείλεται μόνο στη φυσική ραδιενέργεια της γης.

Ο Wulf το 1910 παρατηρεί με τα ηλεκτρόμετρά του ότι ο ιονισμός ελαττώνεται από 6 ιόντα/cm³ σε 3,5 ιόντα/cm³ ανεβαίνοντας τον πύργο του Eiffel με ύψος 330 m. Από τη σχέση (1.1) υπολόγισε πως θα έπρεπε στα 330 m να είχε μείνει μόνο το 20% της ακτινοβολίας του εδάφους, αντί του 60%. Προφανώς, υπήρχε μια περίσσεια ακτινοβολίας στο ύψος των 330 m άγνωστης προέλευσης [3].

Το 1912 Οι Hess και Kolhorster πραγματοποιούν πειράματα με αερόστατα και δίνουν την πρώτη επίσημη απόδειξη για την ύπαρξη κοσμικών ακτίνων: ο μέσος ιονισμός του αέρα αυξάνεται με το ύψος στην ατμόσφαιρα από το 1.5 km πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Το συμπέρασμα είναι ότι υπάρχει ακτινοβολία που έρχεται έξω από την ατμόσφαιρα και καταρρίφθηκε η άποψη πως η μόνη πηγή ακτινοβολίας είναι το έδαφος. Ο συντελεστής εξασθένισης αυτής της ακτινοβολίας υπολογίζεται να είναι μικρότερος του αντίστοιχου της ακτινοβολίας -γ. Πρόκειται λοιπόν για ακτινοβολία πολύ πιο διεισδυτική από την ακτινοβολία -γ της φυσικής ραδιενέργειας και επιβεβαίωσαν ότι υπάρχει μεγάλη αύξηση του ατμοσφαιρικού ιονισμού με το ύψος.

Ο Hess προσπάθησε επίσης να ανακαλύψει αν η πηγή της κοσμικής ακτινοβολίας είναι ο ήλιος. Για το σκοπό αυτό έκανε συγκριτικές μετρήσεις του ιονισμού του αέρα μεταξύ μέρας και νύκτας, αλλά και κατά τη διάρκεια μιας έκλειψης ηλίου, στις 12 Απριλίου 1912. Δεν παρατήρησε καμιά μεταβολή, οπότε συμπέρανε ότι η κοσμική ακτινοβολία προέρχεται κυρίως από το εξώτερο διάστημα. Ο Hess τιμήθηκε για την ανακάλυψη του, με το βραβείο Nobel, το 1936. Μαζί με τον Hess, τιμήθηκε με το Nobel και ο C.Anderson για την ανακάλυψη στην κοσμική ακτινοβολία, του ποζιτρονίου ή αντι-ηλεκτρονίου και γενικά της αντι-ύλης. Η ανακάλυψη του ποζιτρονίου στην κοσμική ακτινοβολία, το 1932, έδειξε τις μεγάλες δυνατότητες της έρευνας αυτής για την κατανόηση της φυσικής των θεμελιωδών συστατικών της ύλης.

Το 1925 ο Millikan υποστηρίζει ότι οι “Κοσμικές ακτίνες” είναι ακτίνες-γ πιο διεισδυτικές από αυτές της φυσικής ραδιενέργειας και ο επιπλέον ιονισμός που προκαλούν οφείλεται σε ελαστική σκέδαση με τα ατομικά ηλεκτρόνια. Τοποθέτησε

όργανα μέτρησης σε διαφορετικά βάθη σε λίμνες βουνών θεωρώντας πως οι μετρήσεις στο νερό θα καθορίσουν καλύτερα το μήκος απορρόφησης της κοσμικής ακτινοβολίας. Σκοπός του ήταν να αποκαλύψει την προέλευση των κοσμικών ακτίνων μέσω της ενέργειας που έχουν. Τα πειραματικά αποτελέσματα δεν τον βοήθησαν, επειδή οι κοσμικές ακτίνες έχουν διαφορετικά μήκη απορρόφησης στην ατμόσφαιρα και στο νερό.

Το 1928 ο J. Clay ανακάλυψε ότι το ποσοστό ιονισμού αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος, υποθέτοντας ότι ο ιονισμός οφείλεται σε φορτισμένα σωματίδια τα οποία κατά την είσοδο τους στην ατμόσφαιρα εκτρέπονται από το μαγνητικό πεδίο της γης.

Το 1929 ο D. Skobelzyn χρησιμοποιώντας θάλαμο νεφών (Cloud Chamber) παρατηρεί για πρώτη φορά ίχνη που αφήνει η κοσμική ακτινοβολία κατά τη διέλευση της μέσα από το θάλαμο. Την ίδια χρονιά οι Both και Kolhorster αποδεικνύουν ότι πρόκειται για σωματιδιακή ακτινοβολία με ανιχνευτές Geiger-Müller. Σημειώνουν επίσης ότι πρόκειται για πολύ ενεργητικά σωματίδια, λόγω της μεγάλης διαδρομής τους στην ύλη, με ενέργειες 10^9 - 10^{10} eV.

Το 1930 οι Anderson και Millikan χρησιμοποιώντας ισχυρό ηλεκτρομαγνήτη, παρατηρούν καμπυλωμένες τροχιές σωματιδίων που είναι ίδια με τα ηλεκτρόνια αλλά έχουν αντίθετο φορτίο.

Το 1933 πειράματα βασισμένα σε βελτιωμένη τεχνική των Blackett-Occhialini επιβεβαιώνουν την παραπάνω ανακάλυψη. Η τεχνική αυτή βασίζεται στο ότι ο θάλαμος αερίου ενεργοποιείται μόνο αφού είναι σίγουρο ότι μια κοσμική ακτίνα πέρασε. Η ανακάλυψη αυτή συμπίπτει χρονικά με τη θεωρία του ηλεκτρονίου του Dirac. Σε μια από τις πιο μεγάλες επεκτάσεις της κβαντικής μηχανικής, ο Dirac έδωσε τη σχετικιστική εξίσωση κύματος του ηλεκτρονίου προβλέποντας το spin, τη μαγνητική ροπή αλλά και την ύπαρξη επίσης ενός “αντισωματιδίου” του ηλεκτρονίου, του ποζιτρονίου.

Το 1936 οι Anderson και Neddermeyer συνεχίζοντας τα πειράματα με θαλάμους αερίου ανακάλυψαν τα "mesotrons" με μάζα ενδιάμεση αυτής του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου. Η ανακάλυψη αυτή συμπίπτει με τη θεωρία του Yukawa για τις ισχυρές δυνάμεις που υποχρεώνουν πρωτόνια και νετρόνια να συνυπάρχουν στον

πυρήνα. Οι δυνάμεις αυτές κατανοούνται μέσω ανταλλαγής σωματιδίων μάζας περίπου $250m_e$.

Το 1938 ο Pierre Auger, τοποθέτησε ανιχνευτές σωματιδίων στις Άλπεις και παρατήρησε ότι δύο ανιχνευτές τοποθετημένοι αρκετά μέτρα μακριά μεταξύ τους ανίχνευσαν ταυτόχρονα προσπίπτοντα σωματίδια. Ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε εκτενείς καταιγισμούς στην ατμόσφαιρα, οι οποίοι προέρχονται από τη σύγκρουση ενός αρχικού σωματιδίου υψηλής ενέργειας με τα μόρια του αέρα. Αλλάζοντας την απόσταση μεταξύ των ανιχνευτών κατάφερε να παρατηρήσει κοσμική ακτινοβολία ενέργειας πάνω από 10^{15}eV .

Το 1947 αρχίζει η ανακάλυψη μια νέας σειράς "παράξενων" σωματιδίων. Πρόκειται για ουδέτερα και φορτισμένα σωματίδια. Τα περισσότερα από αυτά έχουν μάζα σχεδόν το μισό της μάζας του πρωτονίου. Αναφέρονται σαν Καόνια (K^+ , K^- , K^0). Τα ουδέτερα έχουν μάζα μεγαλύτερη αυτής του πρωτονίου και αναφέρονται σαν σωματίδια λάμδα (Λ), με χρόνο ζωής $10^{-8} - 10^{-10}\text{ sec}$.

Το 1948 ο Phyllis Frier ανακαλύπτει πυρήνες ηλίου και βαρύτερα στοιχεία στις κοσμικές ακτινοβολίες.

Στις 11 Μαΐου 1950 το U.S. Naval Research Lab εκτοξεύει το πρώτο ερευνητικό πύραυλο για να συλλέξει κοσμικές ακτίνες, καθώς και δεδομένα πίεσης του αέρα και θερμοκρασίας.

Το 1952 στα πυρηνικά γαλακτώματα (emulsions) ανακαλύπτονται Πιόνια (π^- , π^+) και τα σωματίδια Ξ^- και Σ .

Το 1953 αναπτύσσεται η τεχνολογία των επιταχυντών κι έτσι παράγονται στο εργαστήριο ενέργειες συγκρίσιμες με αυτές των κοσμικών ακτίνων.

Από τη δεκαετία του 60 και μετά ανιχνευτές σωματιδίων κοσμικής ακτινοβολίας τοποθετούνται σε δορυφόρους και δίνουν πληροφορίες για την κοσμική ακτινοβολία χαμηλών ενεργειών, καθώς η παρατήρηση για υψηλότερες ενέργειες γίνεται από το έδαφος μέσω των δευτερογενών σωματιδίων που παράγονται και φθάνουν στην επιφάνεια της Γης.

Τις επόμενες δεκαετίες η μελέτη της κοσμικής ακτινοβολίας χαμηλής ενέργειας πραγματοποιείται με τη χρήση διαστημικών σκαφών τα οποία φέρουν ανιχνευτές

κοσμικών ακτίνων ή τους τοποθετούν σε δορυφόρους παρέχοντας στους επιστήμονες πληροφορίες στα επίγεια εργαστήρια. Αντίθετα κοσμική ακτινοβολία υψηλής ενέργειας μπορούμε να παρατηρήσουμε μόνο επίγεια.

1.5 Σύσταση κοσμικής ακτινοβολίας

Οι πηγές των σωματιδίων που κατευθύνονται προς τη Γη μπορεί να είναι ενδογαλαξιακές όπως τα άστρα του γαλαξία μας σαν τον Ήλιο, εκρήξεις *supernova* και τα κατάλοιπά τους, αστέρες νετρονίων και μαύρες τρύπες. Επίσης μπορεί να είναι εξωγαλαξιακές δηλαδή απομακρυσμένοι ενεργοί γαλαξιακοί πυρήνες, κβάζαρς κ.α.

Τα κοσμικά σωματίδια που φτάνουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος τους πυρήνες ατόμων που έχουν χάσει όλα τους τα ηλεκτρόνια καθώς ταξιδεύουν με υψηλές ταχύτητες που προσεγγίζουν την ταχύτητα του φωτός δια μέσου του γαλαξία και ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια. Από τους πυρήνες το 90% περίπου είναι πρωτόνια, δηλαδή πυρήνες υδρογόνου (H^+), το 9% είναι πυρήνες ηλίου (He^{+2}) και το υπόλοιπο 1% πυρήνες βαρύτερων στοιχείων.

Η αναλογία των στοιχείων στις κοσμικές ακτίνες ακολουθεί εν γένη την αναλογία των στοιχείων στο ηλιακό μας σύστημα και γενικότερα στο σύμπαν σύμφωνα με τις βασικές διαδικασίες της **νουκλεοσύνθεσης**.

Σύμφωνα με αυτές τις διαδικασίες κατά τα πρώτα 20 min της γένεσης του σύμπαντος μετά το Big Bang σχηματίστηκε όλη σχεδόν η ποσότητα των ισοτόπων του Υδρογόνου (H) και του Ηλίου (He) και λιγότερο Λίθιο (Li) και Βηρύλλιο (Be). Η νουκλεοσύνθεση συνεχίστηκε στον πυρήνα των αστερών (αστρική νουκλεοσύνθεση) πυροδοτούμενη από την βαρυτική κατάρρευση της ύλης, οπότε με μια σειρά πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης παράγονται οι πυρήνες των βαρύτερων στοιχείων από τον Άνθρακα (C) μέχρι τον Σίδηρο (Fe) και το (Ni). Τα στοιχεία αυτά διασκορπίζονται στον διαστρικό χώρο, είτε μέσω του αστρικού ανέμου, είτε κατά το τέλος της ζωής των μικρών αστερών που καταλήγουν σε λευκούς νάνους και δημιουργούν τα πλανητικά νεφελώματα. Σε μερικά βαρύτερα αστέρια (μεγαλύτερα από 8-10 ηλιακές μάζες) ο θάνατός τους συνοδεύεται από ένα εκρηκτικό γεγονός που λέγεται έκρηξη υπερκαινοφανούς (*Supernova*), στην οποία, κατά την διάρκεια των

τελευταίων δευτερολέπτων της, συμβαίνει η νουκλεοσύνθεση όλων σχεδόν των βαρύτερων στοιχείων από τον Σίδηρο (Fe) και το Νικέλιο (Ni), με μια διαδικασία γνωστή ως r-process (γρήγορη διαδικασία). Τα στοιχεία αυτά διασκορπίζονται στον διαστρικό χώρο με ταχύτητες μέχρι 10% της ταχύτητας του φωτός. Στην καρδιά του κατάλοιπου υπερκαινοφανούς απομένει ένας αστέρας νετρονίων ή μια μαύρη τρύπα. Επίσης νουκλεοσύνθεση των βαρύτερων στοιχείων γίνεται κατά τις συγκρούσεις δύο αστέρων νετρονίων είτε στους δίσκους προσαύξησης των μαύρων τρυπών [4][5].

Τα περισσότερα στοιχεία που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της νουκλεοσύνθεσης διασκορπίζονται στο σύμπαν αποτελώντας τις πρωτογενείς κοσμικές ακτίνες. Όμως, στις κοσμικές ακτίνες που φτάνουν στην ατμόσφαιρα της Γης εντοπίζουμε δύο ομάδες στοιχείων με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να δικαιολογήσει ο μηχανισμός της νουκλεοσύνθεσης. Αυτά είναι προϊόντα κοσμικού θρυμματισμού (cosmic spallation) κατά την αλληλεπίδραση των βαρύτερων πυρήνων με την μεσοαστρική ύλη και αποτελούν τις δευτερογενείς κοσμικές ακτίνες.

Στην πρώτη ομάδα έχουμε το Λίθιο (Li), το Βηρύλλιο (Be) και το Βόριο (B), που προέρχονται από τον θρυμματισμό του Άνθρακα (C) και του Οξυγόνου (O). Στη δεύτερη ομάδα έχουμε το Σκάνδιο (Sc), το Τιτάνιο (Ti), το Βανάδιο (V) και το Μαγγάνιο (Mn), που προέρχονται από τον θρυμματισμό του Σιδήρου (Fe) και του Νικελίου (Ni). Στις δευτερογενείς κοσμικές ακτίνες πρέπει να συμπεριλάβουμε τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια παρόλο που μερικά από αυτά μπορεί να έχουν και πρωτογενή προέλευση [6].

Τα είδη των πρωτογενών κοσμικών ακτίνων που μπορούμε να διακρίνουμε είναι τρία:

- Οι γαλαξιακές και εξωγαλαξιακές κοσμικές ακτίνες που δημιουργούνται μακριά έξω από το ηλιακό μας σύστημα. Είναι τα πιο ενεργητικά σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας με ενέργειες που μπορούν να φτάσουν μέχρι 10^{21} eV. Αποτελούνται κυρίως από πρωτόνια με 7 έως 10% ήλιο (He) και 1% βαρύτερα στοιχεία. Η πηγή των πολύ ενεργητικών κοσμικών ακτίνων δεν είναι ακριβώς γνωστή.
- Οι ηλιακές κοσμικές ακτίνες (Solar cosmic rays, SCR), αποκαλούμενες επίσης ηλιακά ενεργητικά σωματίδια, δημιουργούνται συνήθως από τις ηλιακές εκλάμψεις. Οι στεμματικές εκπομπές μάζας από τον ήλιο και η δημιουργία

ωστικών κυμάτων στο διαπλανητικό μέσο μπορεί επίσης να παραγάγει τα ενεργητικά σωματίδια. Τα SCR σωματίδια έχουν ενέργειες έως μερικές εκατοντάδες MeV/νουκλεόνιο, μερικές φορές μέχρι μερικά GeV/νουκλεόνιο. Η σύνθεση τους είναι κατά προσέγγιση παρόμοια με των GCR.

- Οι ανώμαλες κοσμικές ακτίνες (Anomalous cosmic rays ACR) προέρχονται από το διαστρικό διάστημα πέρα την ηλιόπauση. Η σύνθεση των ACR είναι αρκετά διαφορετική από των GCR και των SCR, περιλαμβάνουν περισσότερο ήλιο από πρωτόνια, και πολύ περισσότερο οξυγόνο από άνθρακα.

Γενικά ο όρος "πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία" περιλαμβάνει όλα τα είδη σωματιδίων αστρικής προέλευσης, που φτάνουν με υψηλές ενέργειες στα ανώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας. Τυπικό σωματίδιο της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας είναι ένα πρωτόνιο ενέργειας 1-10 GeV χωρίς αυτό να είναι απόλυτο.

Τα πρωτόνια αποτελούν το 85% της κοσμικής ακτινοβολίας, ενώ το 12% είναι σωματίδια α. Το υπόλοιπο 3% αποτελείται κυρίως από πυρήνες όλων των άλλων γνωστών στοιχείων με πιθανότητα όμως που μειώνεται δραστικά με τον ατομικό αριθμό (Z) των πυρήνων.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα κυριότερα φορτισμένα σωματίδια της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας και τα ποσοστά τους προσεγγιστικά.

ΕΙΔΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Πρωτόνια, p^+	85 %
Σωματίδια α	12 %
Ελαφρείς πυρήνες (Li, Be, B, C, N, O)	1 %
Βαρείς πυρήνες ($Z > 8$)	< 1 %
Ηλεκτρόνια	1 %
Ποζιτρόνια	0,2 %
Αντιπρωτόνια	0,1 %

Πίνακας 1.1: Σύσταση της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας

Το συνολικό ποσό ύλης που καταφθάνει στη γη ως κοσμική ακτινοβολία υπολογίζεται ότι είναι της τάξης του 1kg ανά έτος, με συνολική ισχύ, λόγω της μεγάλης ενέργειας, 10 Watt/km².

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κοσμικά σωματίδια αποτελούν το μοναδικό δείγμα ύλης εκτός ηλιακού συστήματος και επομένως η πληροφορία που παίρνουμε από αυτά είναι πολύτιμη, π.χ. για τη διαδικασία πυρηνοσύνθεσης στους αστέρες, για τη μεσοαστρική ύλη, για την αστρική εξέλιξη και την κοσμολογία.

Εκτός από τους γυμνούς πυρήνες οι οποίοι δημιουργούνται στο εσωτερικών των αστερών (πλην των πολύ ελαφρών H, He, Li, Be, B), στην κοσμική ακτινοβολία υπάρχουν και πολλά άλλα σταθερά και μη σωματίδια που παράγονται από την αλληλεπίδραση των πυρήνων μεγάλης ενέργειας με τη μεσοαστρική ύλη κατά τη διαδρομή τους από την πηγή τους μέχρι τη γη. Τέτοια είναι τα ηλεκτρόνια, τα αντιπρωτόνια, τα ποζιτρόνια αλλά και πυρήνες Li, Be, B. Τα μόνα σωματίδια που λείπουν είναι τα βραχύβια, επειδή διασπώνται πριν προλάβουν να φτάσουν στη γη, π.χ. τα νετρόνια. Τέλος, υπάρχουν και πλήθος αφόρτιστων σωματιδίων, όπως τα νετρίνα και τα φωτόνια γ με εξαιρετικά υψηλές ενέργειες, αλλά ενδεχομένους και σωματίδια σκοτεινής ύλης των οποίων όμως η ανίχνευση δεν έχει ακόμη επιτευχθεί.

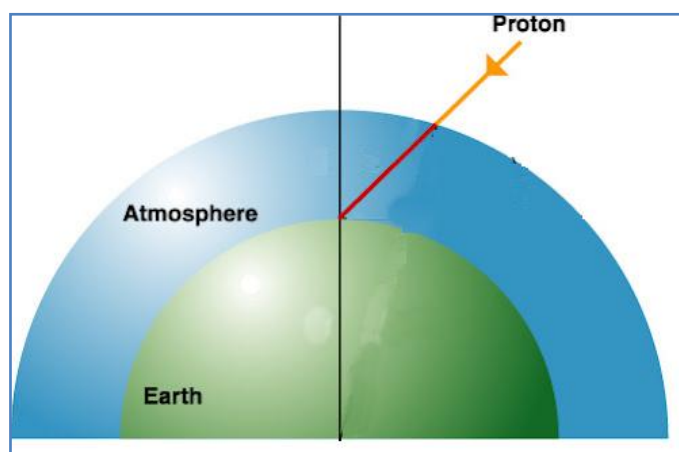
1.6 Τροχιές των σωματιδίων της κοσμικής ακτινοβολίας

Στο ταξίδι τους προς τη Γη, πολύ έξω από την ατμόσφαιρα, τα σωματίδια της πρωτογενούς κοσμικής ακτινοβολίας συναντούν το μαγνητικό πεδίο της Γης. Λόγω της φοράς των μαγνητικών γραμμών από νότο προς βορρά, θα αποκλίνουν ανατολικά ή δυτικά, ανάλογα με το αν είναι θετικά ή αρνητικά φορτισμένα. Τα αφόρτιστα σωματίδια δεν θα αποκλίνουν καθόλου. Η τροχιά που ακολουθεί ένα κοσμικό σωματίδιο που προσεγγίζει τη Γη εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ενέργεια του, η αρχική του διεύθυνση, η μάζα του, το φορτίο του και η μορφή του μαγνητικού πεδίου της γης. Σωματίδια που κατευθύνονται προς τους μαγνητικούς πόλους της γης, επειδή έχουν τροχιά σχεδόν παράλληλη με τις δυναμικές γραμμές, μπορούν να πλησιάσουν πιο εύκολα την ατμόσφαιρα και έτσι στους πόλους

ανιχνεύονται περισσότερα σωματίδια από ότι στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη. Οι τροχιές των σωματιδίων γίνονται όλο και πιο πολύπλοκες καθώς αυτά πλησιάζουν τη γη και επομένως η πληροφορία που παίρνουμε από τα τηλεσκόπια ανιχνευτών δεν σχετίζεται καθόλου με την αρχική διεύθυνση κίνησης των σωματιδίων και, πολύ περισσότερο, με το σημείο προέλευσης τους.

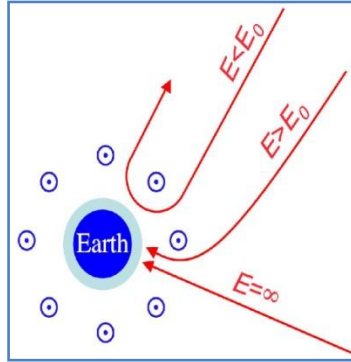
Γενικά υπάρχουν τρεις πιθανές τροχιές ανάλογα με την ενέργεια του εισερχόμενου σωματιδίου:

- Εισερχόμενα πρωτόνια πολύ υψηλής ενέργειας ταξιδεύουν κατά μήκος μιας σχεδόν ευθείας γραμμής μέχρι την ατμόσφαιρα (**Εικόνα 1.2**).



(Εικόνα 1.2)

- Αν η ενέργεια είναι πολύ χαμηλή ($E < E_0$), η τροχιά του θα καμφθεί από το μαγνητικό πεδίο και θα γίνει ημικυκλική με τόσο μικρή ακτίνα ώστε το πρωτόνιο να μην καταφέρει να φτάσει στην ατμόσφαιρα. Θα κάνει μισή τροχιά γύρω από την δυναμική γραμμή και θα ξαναβρεθεί εκτός μαγνητόσφαιρας. Αυτό σημαίνει ότι θα ανακλαστεί πίσω στον διαπλανητικό χώρο.
- Σωματίδια με ενδιάμεσες ενέργειες φτάνουν στην ατμόσφαιρα κατά μήκος μιας καμπύλης τροχιάς. Όσο χαμηλότερη είναι η ενέργεια τόσο η καμπύλη είναι πιο έντονη – έως το γεωμαγνητικό κατώφλι E_0 όπου κανένα σωματίδιο δεν μπορεί να εισέλθει στην ατμόσφαιρα (**Εικόνα 1.3**). [7].



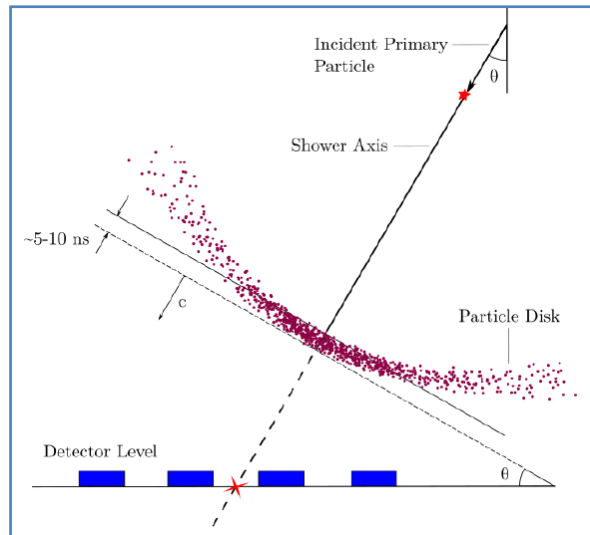
Εικόνα 1.3: Απεικονίζεται η Γη όπως φαίνεται σε ένα παρατηρητή από το Βόρειο Πόλο. Με μπλε κύκλους απεικονίζεται η φορά του μαγνητικού πεδίου. Με E_0 απεικονίζουμε την ελάχιστη ενέργεια κατωφλίου που πρέπει να έχει η ακτίνα προκειμένου να περάσει από το μαγνητικό πεδίο της Γης.

2. Εκτεταμένοι καταιονισμοί στην ατμόσφαιρα

Στα τέλη της δεκαετίας του 1930 η επιστημονική ομάδα του Pierre Auger ανακάλυψε τους εκτεταμένους ατμοσφαιρικούς καταιονισμούς (extensive air showers). Κατά τη διάρκεια των καταιονισμών των κοσμικών ακτίνων πραγματοποιείται συνεχή παραγωγή σωματιδίων που προκαλείται από τα κοσμικά σωματίδια που αλληλεπιδρούν μέσα στην ατμόσφαιρα. Η ροή κοσμικών ακτίνων είναι πάρα πολύ μικρή στις πολύ υψηλές ενέργειες, έτσι ο μόνος τρόπος να τις μελετήσουμε είναι μέσω των καταιονισμών που παράγουν.

2.1 Δημιουργία καταιονισμών

Καθώς ένα σωματίδιο υψηλής ενέργειας (συνήθως πρωτόνιο ή βαρύτερος πυρήνας) εισέρχεται στην ατμόσφαιρα (πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία) αλληλεπιδρά με άτομα και μόρια του αέρα και διασπάται σε θυγατρικά σωματίδια (δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία) διαμοιράζοντας την ενέργειά του σε αυτά, στη συνέχεια τα θυγατρικά σωματίδια αλληλεπιδρούν με την σειρά τους με την ατμόσφαιρα παράγοντας νέα σωματίδια και η διαδικασία συνεχίζεται πολλαπλασιάζοντας τα δευτερογενή σωματίδια μέχρις ότου οι ενέργειες των σωματιδίων πάρουν τιμές που δεν τους επιτρέπουν περαιτέρω δημιουργία νέων σωματιδίων. Κατά την εξέλιξη του καταιονισμού τα δευτερογενή σωματίδια κινούνται περίπου στην ίδια διεύθυνση με αυτή του πρωταρχικού κοσμικού σωματιδίου με σχετικιστικές ταχύτητες περίπου ίδιου μέτρου, δημιουργώντας έτσι ένα λεπτό δίσκο (**Εικόνα 2.1**) που διαρκώς αυξάνει την ακτίνα του μέχρι ένα βάθος στην γήινη ατμόσφαιρα που του επιτρέπεται από την ενέργεια των δευτερογενών σωματιδίων που έχουν παραχθεί μέχρι τότε.

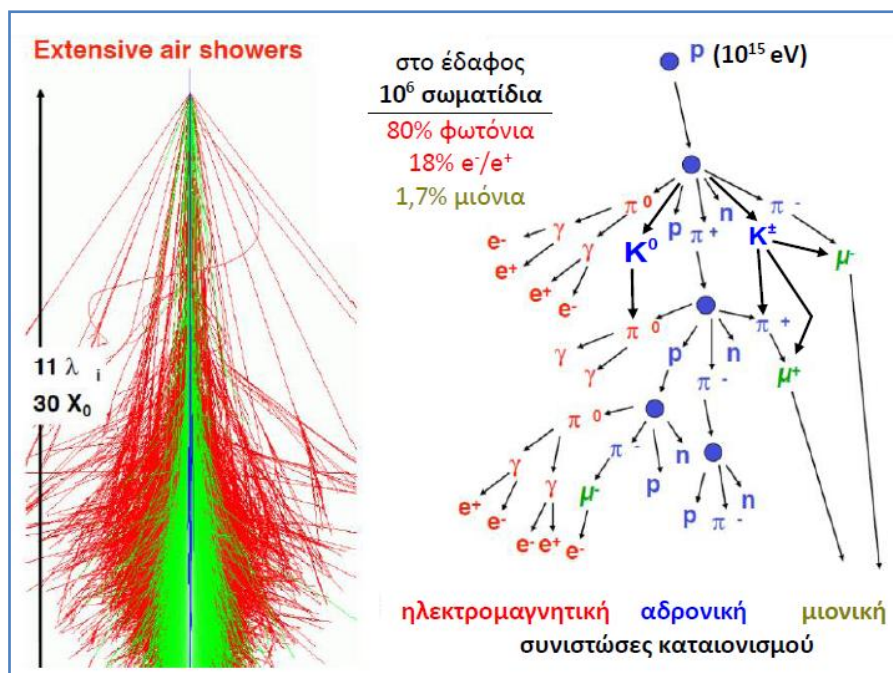


Εικόνα 2.1 Τα σωματίδια ενός καταιονισμού κατανέμονται σε έναν δίσκο με πάχος μερικών μέτρων στην κεντρική περιοχή και λίγο περισσότερο στα άκρα. Οι χρονική διαφορά είναι της τάξης λίγων nsec.

Ο εκτεταμένος ατμοσφαιρικός καταιονισμός που προκύπτει αποτελείται από ένα πλήθος σωματιδίων τα οποία περιλαμβάνουν νετρίνα, φωτόνια, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια, μίονια, καόνια, πρωτόνια, νετρόνια, αντιπρωτόνια, και πυρήνες όπως τα σωματίδια α.

Το πόσο βαθιά μέσα στην ατμόσφαιρα φτάνουν τα σωματίδια πριν απορροφηθούν εξαρτάται από την ενέργεια του αρχικού σωματιδίου. Αν αυτή είναι μεγαλύτερη από 10^{15} eV περίπου, μπορούν να καταγραφούν από επίγειους ανιχνευτές δίνοντας σχεδόν ταυτόχρονα γεγονότα (με διαφορά λίγων nanoseconds). Αυτά τα γεγονότα ήταν που κατέγραψαν πρώτοι οι Rossi και Auger ανεξάρτητα την δεκαετία του 1930 σε ζεύγη ανιχνευτών τους και ήταν οι πρώτοι που μίλησαν για ατμοσφαιρικούς καταιονισμούς. Η έκταση που κτυπά ο καταιονισμός έχει ακτίνα από εκατοντάδες μέτρα μέχρι και χιλιόμετρα.

Τα σωματίδια που παράγονται σε έναν καταιονισμό μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες που καθορίζουν και τους τρόπους που αυτά αλληλεπιδρούν με την ύλη και χάνουν ενέργεια. Έτσι σε έναν καταιονισμό διακρίνουμε την ηλεκτρομαγνητική συνιστώσα, την αδρονική συνιστώσα και την μιονική συνιστώσα (Εικόνα 2.2) [8].



Εικόνα 2.2 Οι τρεις συνιστώσες του ατμοσφαιρικού καταιονισμού.

2.1.1 Ηλεκτρομαγνητική Συνιστώσα

Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων ενός καταιονισμού μεταφέροντας περίπου το 90% της ενέργειας. Προέρχεται από την διάσπαση των ουδέτερων πιονίων που παράγονται από τις πυρηνικές αλληλεπιδράσεις των αδρονίων. Κατά την διάσπαση ενός πιονίου παράγονται ζεύγη φωτονίων που με την σειρά τους με διάφορες αλληλεπιδράσεις με την ύλη παράγουν ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και φωτόνια με χαμηλότερη ενέργεια [7]. Μπορεί να πυροδοτηθεί και από την είσοδο στην ατμόσφαιρα φωτονίων γ από το διάστημα.

Ένα φωτόνιο αλληλεπιδρά με την ύλη διάφορους τρόπους:

α) **Δίδυμη γένεση.** Το φωτόνιο αλληλεπιδρά με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του πυρήνα ενός ατόμου ή ενός ηλεκτρονίου, οπότε παράγονται συνήθως ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο.

β) Σκέδαση **Compton**. Ονομάζεται η ανελαστική σκέδαση φωτονίων από ένα ελεύθερο φορτισμένο σωματίδιο, όπου το μήκος κύματος του σκεδαζόμενου φωτός είναι μεγαλύτερο από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας καθώς μέρος της ενέργειας του φωτονίου μεταβιβάζεται στο σωματίδιο.

γ) **Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.** Περιγράφει την διαδικασία εξαγωγής ηλεκτρονίων από ένα υλικό ή από ένα ελεύθερο άτομο εξαιτίας ενός φωτονίου που προσπίπτει σε αυτά. Όταν ένα φωτόνιο ορατού φωτός ή μαλακών ακτίνων X έχει χαμηλή ενέργεια της τάξης eV μέχρι keV αλληλεπιδράσει σε ένα δέσμιο ηλεκτρόνιο ενός ατόμου, του μεταβιβάζει όλη την ενέργεια και το ηλεκτρόνιο εξέρχεται από το άτομο εφόσον η ενέργειά του φωτονίου είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια δέσμευσης του ηλεκτρονίου.

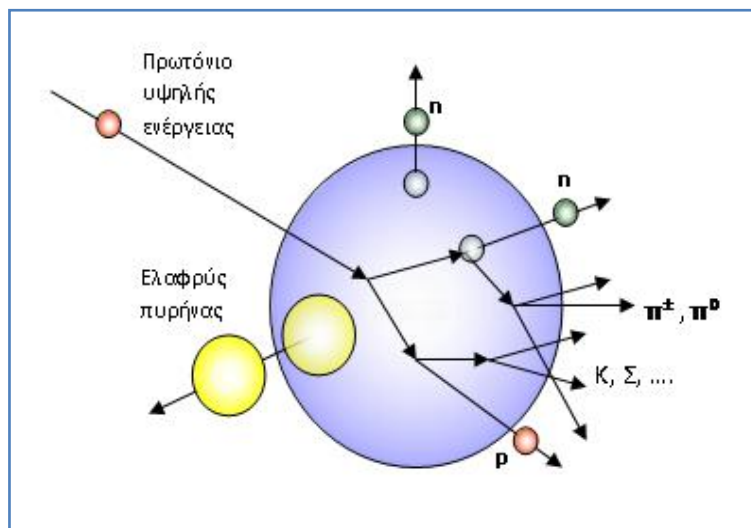
Έτσι κατά την ανάπτυξη του ηλεκτρομαγνητικού καταιονισμού τα φαινόμενα της δίδυμης γένεσης και της ακτινοβολίας πέδησης αυξάνουν τα φωτόνια και τα ηλεκτρόνια – ποζιτρόνια του καταιονισμού, μειώνοντας παράλληλα την ενέργειά τους μέχρι αυτή να πέσει κάτω από ένα όριο που δεν θα μπορούν να δημιουργήσουν νέα σωματίδια, οπότε θα απορροφηθούν από τα μόρια του αέρα.

Λόγω της μικρής τους μάζας τα ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια εκτρέπονται ισχυρά από τις σκεδάσεις Coulomb και διασπείρονται αρκετά κατά την εγκάρσια διεύθυνση μεγαλώνοντας την ακτίνα του δίσκου. Η διασπορά τους είναι αντίστροφα ανάλογη της ενέργειάς τους κι έτσι όσο μακρύτερα βρισκόμαστε από τον άξονα του καταιονισμού όλο και μικρότερης ενέργειας ηλεκτρόνια συναντάμε. Ο δίσκος των σωματιδίων που φτάνουν στο έδαφος έχει πάχος λίγα μέτρα κοντά στον άξονα και γίνεται παχύτερος όσο απομακρυνόμαστε από αυτόν [9].

2.1.2 Αδρονική Συνιστώσα

Η αδρονική συνιστώσα αποτελείται από τα σωματίδια που παράγονται από την αλληλεπίδραση του αρχικού κοσμικού σωματιδίου με κάποιο νουκλεόνιο του πυρήνα ενός ατόμου (**Εικόνα 2.3**) από τα συστατικά του αέρα. Κατά την ανελαστική αλληλεπίδραση αποσπώνται θραύσματα των πυρήνων (αδρόνια) που μεταφέρουν το 50% της αρχικής ενέργειας. Συνήθως αυτά είναι πιόνια (π^0 , π^+ , π^-) και ένα μικρό ποσοστό «παράξενα» καόνια (K) και άλλα αδρόνια.

Αυτά τα σωματίδια και τα υπόλοιπα νουκλεόνια από τους πυρήνες της αλληλεπίδρασης κινούνται στην αρχική διεύθυνση του κοσμικού σωματιδίου με μικρή εγκάρσια απόκλιση,



Εικόνα 2.3. Ισχυρή αλληλεπίδραση ενός πρωτονίου μεγάλης ενέργειας με ένα πυρήνα.

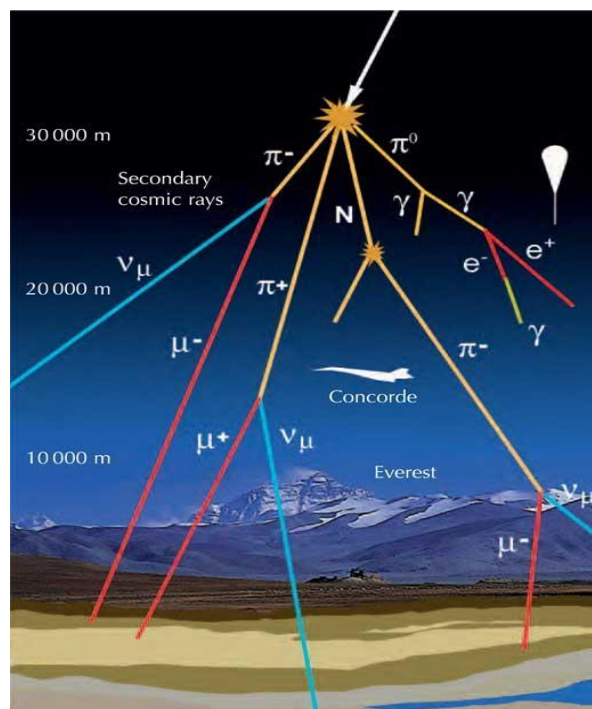
Συνήθως τα ουδέτερα πόνια (π^0) επειδή έχουν πολύ μικρό χρόνο ημιζωής διασπώνται σχεδόν αμέσως δίνοντας φωτόνια που αποτελούν την πηγή της ηλεκτρομαγνητικής συνιστώσας. Τα φορτισμένα πόνια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα αλληλεπίδρασης, αλλά αν δεν αλληλεπιδράσουν διασπώνται σε μόνια και νετρίνα. Ομοίως τα καόνια αν διασπασθούν πριν αλληλεπιδράσουν παράγουν πόνια, μόνια και νετρίνα. Τα μόνια που παράγονται είτε από την διάσπαση των πιονίων είτε των καονίων αποτελούν την μιονική συνιστώσα των καταιονισμών.

Τα νετρίνα που παράγονται δεν συνεισφέρουν στον καταιονισμό καθώς έχουν πολύ μικρή πιθανότητα αλληλεπίδρασης με την ύλη αλληλεπιδρώντας μόνο ασθενώς με αυτή [8].

2.1.3 Μιονική Συνιστώσα

Τα μόνια, τα οποία παράγονται είτε από την διάσπαση των πιονίων είτε των καονίων, είναι μια πολύ σημαντική συνιστώσα των ατμοσφαιρικών καταιονισμών. Μικρός αριθμός τους παράγεται από πολύ ενεργητικά φωτόνια γ , είτε απευθείας με δίδυμη γένεση μιονίων είτε έμμεσα με δίδυμη γένεση πιονίων, τα οποία διασπώνται σε μόνια. Παράγονται κατά τις πρώτες αλληλεπιδράσεις του καταιονισμού δηλαδή σε μεγάλο ύψος και επειδή έχουν μεγάλη μάζα, συγκρινόμενη με αυτή των

ηλεκτρονίων, αλληλεπιδρούν ασθενέστερα με την ύλη (σκεδάσεις Coulomb) και δεν αποβάλουν ενέργεια μέσω ακτινοβολίας πέδησης. Έχουν μεγάλο χρόνο ημιζωής που τους επιτρέπει να φτάσουν στην επιφάνεια της Γης. Έτσι τα μίονια αποτελούν τα πιο διεισδυτικά φορτισμένα σωματίδια ενός ατμοσφαιρικού καταιονισμού (Εικόνα 2.4). Έχουν εγκάρσια διασπορά λόγω της εγκάρσιας ορμής των σωματιδίων που τα δημιούργησαν και επειδή δημιουργούνται σε μεγάλο ύψος απλώνονται ομοιόμορφα γύρω από τον άξονα του καταιονισμού και φτάνουν σε μεγάλες αποστάσεις από αυτόν [9].

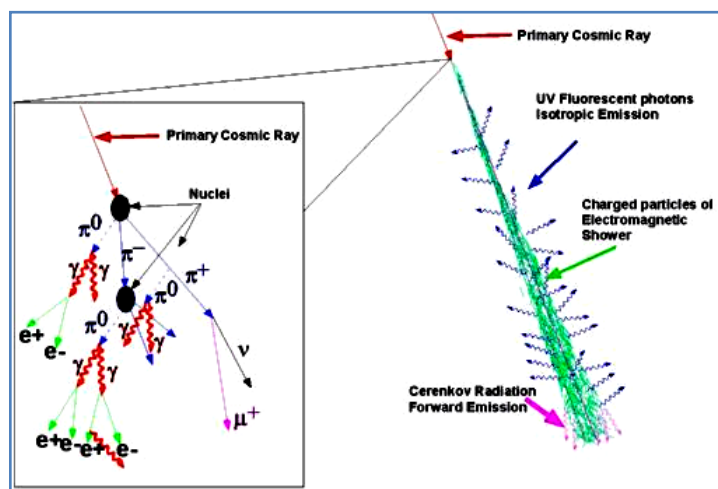


Εικόνα 2.4 Κάποια από τα σωματίδια του καταιονισμού φτάνουν πάντοτε στο έδαφος. Από αυτά τα μίονια μπαίνουν σε μεγάλο βάθος μέσα στη γη και τα νετρίνα διασχίζουν τη γη και φεύγουν στο διάστημα.

2.2 Ανίχνευση Καταιονισμών

Καθώς τα σμήνη των σωματιδίων ενός καταιγισμού διέρχονται μέσα από την ατμόσφαιρα παράγεται ακτινοβολία Cherenkov και εκπέμπεται ακτινοβολία φθορισμού από τα άτομα και μόρια του αέρα που έχουν διεγερθεί (Εικόνα 2.5). Ένα άλλο αποτέλεσμα ηλεκτρομαγνητικής φύσης, σε μεγάλα μήκη κύματος, είναι η εκπομπή σύμφωνης ακτινοβολίας ραδιοκυμάτων. Η ακτινοβολία Cerenkov εκπέμπεται, στα ορατά μήκη κύματος, με τη μορφή δέσμης σχεδόν παράλληλης με την κατεύθυνση κίνησης του καταιγισμού ενώ η εκπομπή της ακτινοβολίας φθορισμού (στο υπεριώδες).

Ο ρυθμός έλευσης αυτών των σωματιδίων είναι πολύ μικρός, κάνοντας την ανίχνευση τους από συνήθεις ανιχνευτικές διατάξεις στοιχειωδών σωματιδίων εντελώς απίθανη. Άρα, οι μεγάλοι καταιγισμοί στην ατμόσφαιρα είναι το μόνο φαινόμενο που επιτρέπει την ανίχνευση των κοσμικών σωματιδίων πολύ υψηλών ενεργειών.



Εικόνα 2.5 Η διέλευση του σμήνους σωματιδίων μέσα από την ατμόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα: α. Την εκπομπή ακτινοβολίας Cherenkov, κατά την κατεύθυνση κίνησης του καταιγισμού και β. την εκπομπή ακτινοβολίας φθορισμού, ισότροπα.

Τα οπτικά πειράματα ανίχνευσης της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή πειράματα ανίχνευσης της ακτινοβολίας Cerenkov και της ακτινοβολίας φθορισμού από

καταιγισμούς, χρησιμοποιούν μεγάλα κάτοπτρα με τα οποία μπορεί να ανιχνευτούν μεγάλοι, αλλά και σχετικά μικροί καταιγισμοί, της τάξης των 10^{12} eV. Το κάθε κάτοπτρο έχει σχετικά μικρό οπτικό πεδίο και γι' αυτό χρησιμοποιείται συνήθως συστοιχία κατόπτρων. Τα πειράματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά μόνο σε καθαρές ανέφελες νύκτες, χωρίς σελήνη και μακριά από την ανθρώπινη φωτορύπανση.

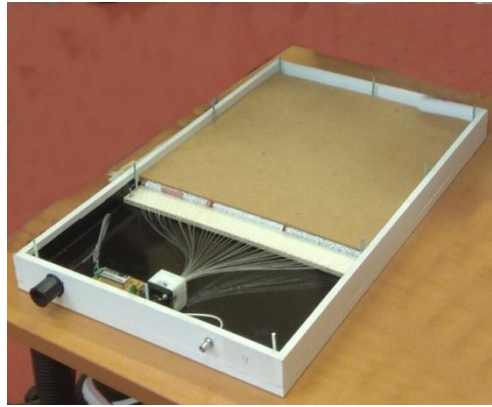
Τα πειράματα κοσμικής ακτινοβολίας με ανιχνευτές στοιχειωδών σωματιδίων επί του εδάφους, μετρούν απ' ευθείας τα σωματίδια των μεγάλων καταιγισμών που φτάνουν στο έδαφος, πράγμα που είναι δυνατόν μόνο για κοσμικά σωματίδια με ενέργεια πάνω από 10^{14} eV. Ο τύπος των ανιχνευτών μπορεί να είναι πολύ διαφορετικός από πείραμα σε πείραμα και εξαρτάται από το είδος των σωματιδίων που πρόκειται να ανιχνευθούν. Έχουν χρησιμοποιηθεί ανιχνευτές αερίου, σπινθηριστές, ανιχνευτές Cherenkov (δοχεία με νερό και φωτοπολλαπλασιαστές) κ.ά. Τα πειράματα αυτά μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες και από το αν υπάρχει ηλιακό φως στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένοι οι ανιχνευτές ή όχι [10].

3. Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη του τηλεργαστηρίου αποτελείται από τρεις σωματιδιακούς ανιχνευτές και την κάρτα ψηφιοποίησης (Quarknet). Τα δεδομένα που εξάγει η κάρτα Quarknet αποθηκεύονται αυτόματα σε αρχείο επέκτασης .txt μέσα σε καθορισμένο από εμάς φάκελο του υπολογιστή στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου. Λαμβάνοντας τα δεδομένα από το αρχείο κειμένου, τροφοδοτούμε υπολογιστικά φύλλα του Excel ειδικά προγραμματισμένα ώστε να μας παρέχουν στατιστικές αναλύσεις με τελικό σκοπό τη μελέτη του καταινισμού ή στην περίπτωση της βαθμονόμησης τα χαρακτηριστικά του σήματος όταν ένα μόνιο διέλθει από τους ανιχνευτές. Ο υπολογιστής του εργαστηρίου είναι εφοδιασμένος με προγράμματα που μας επιτρέπουν τον τηλεχειρισμό του από υπολογιστή που έχουμε στο σπίτι μας ή από οποιοδήποτε άλλο χώρο αρκεί να υπάρχει πρόσβαση στο διαδίκτυο.

3.1 Οι ανιχνευτές

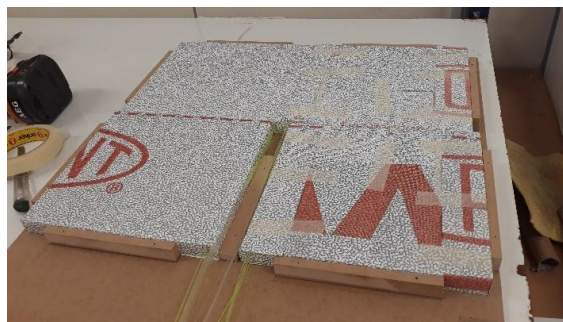
Οι ανιχνευτικές μονάδες του τηλεσκοπίου μCosmics αποτελούνται από 12 πλακίδια πλαστικού σπινθηριστή διαστάσεων 10x12x1 cm. Τα πλακίδια του σπινθηριστή παράγουν φως (σπινθηρισμός) με τη διαδικασία διέγερσης και αποδιέγερσης των ατόμων στο εσωτερικό των πλαστικών πλακιδίων όταν κάποιο διερχόμενο σωματίδιο μεταφέρει μέρος της ενέργειάς του στο υλικό τους. Διαθέτουν μικρά αυλάκια στα οποία τοποθετούνται οπτικές ίνες (**Εικόνα 3.1**) που συλλέγουν το παραγόμενο φως και το οδηγούν σε ένα σημείο όπου τοποθετείται ένας φωτοαισθητήρας. Η όλη κατασκευή τοποθετείται σε ξύλινο κουτί (**Εικόνα 3.2**) ενώ τα πλακάκια του σπινθηριστή επιπλέον μέσα σε ανακλαστικό χαρτί (**Εικόνα 3.3**) ώστε να παγιδεύεται το φως που παράγεται και να μη διαφύγει στο περιβάλλον.



Εικόνα 3.1 Το εσωτερικό του ανιχνευτή όπου φαίνονται οι οπτικές ίνες.



Εικόνα 3.2 Ξύλινη κατασκευή διαμορφωμένη ώστε να φιλοξενεί τα πλακίδια του σπινθηριστή.

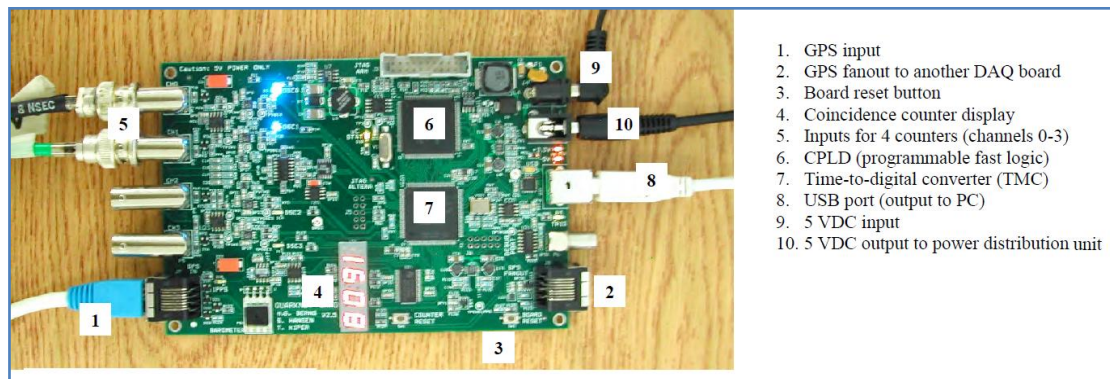


Εικόνα 3.3 Τοποθετημένα πλακίδια στην ξύλινη βάση αφού έχουν τυλιχθεί με ανακλαστικό χαρτί.

Ο φωτοπολλαπλασιαστής είναι μια συσκευή που μετατρέπει το φως που προσλαμβάνει σε ηλεκτρικό σήμα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι φωτοαισθητήρων (όπως αλλιώς λέγονται) με τους κυριότερους να είναι οι φωτοαισθητήρες αερίου, οι ανόργανοι και οι οργανικοί. Υπάρχουν επίσης και οι φωτοαισθητήρες ημιαγωγών που ανήκουν στην κατηγορία των ανιχνευτών στερεάς κατάστασης. Κατασκευάζονται από διάφορα ημιαγώγιμα υλικά μεταξύ των οποίων είναι το Πυρίτιο (Si), το Γερμάνιο (Ge) και άλλα. Στο τηλεργαστήριο χρησιμοποιούμε έναν, με ημιαγωγό Πυριτίου SiPMT (Silicon Photomultiplier).

Οι φωτοπολλαπλασιαστές πυριτίου (Silicon Photomultipliers - SiPMs) είναι σύνθετες ημιαγώγιμες φωτοδιόδους. Αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό μικροκυψελίδων (pixels - $10^3 / \text{mm}^2$) συνδεδεμένων παράλληλα και τοποθετημένων πάνω σε ένα κοινό υπόστρωμα πυριτίου. Σε κάθε pixel περιέχεται μια φωτοδίοδος χιονοστιβάδας (APD), που λειτουργεί σε Geiger mode και μια αντίσταση, που ρυθμίζει την τάση κάθε φωτοδιόδου και συνδέει τα γειτονικά pixels. Οι SiPMs δεν επηρεάζονται από τα μαγνητικά πεδία, σε αντίθεση με τους PMTs. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι το μέγεθος, η λειτουργία σε χαμηλή τάση και η σταθερότητα.

3.2 Κάρτα ψηφιοποίησης



Εικόνα 3.4 Κάρτα ψηφιοποίησης

Το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται από το φωτοπολλαπλασιαστή οδηγείται μέσω καλωδίων στην κάρτα ψηφιοποίησης Quarknet (**Εικόνα 3.4**) η οποία συνοδεύεται με αντίστοιχο λογισμικό. Η κάρτα τροφοδοτείται με τάση 5V και συνδέεται μέσω USB με τον υπολογιστή. Διαθέτει είσοδο GPS μέσω της οποίας συνδέεται με δέκτη GPS ο οποίος παρέχει τον απόλυτο χρόνο καταγραφής του γεγονότος αλλά και συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας μέσω των ειδικών αισθητήρων που διαθέτει. Έχει δυνατότητα να δεχθεί δεδομένα από τέσσερις ανιχνευτές ενώ επιπλέον έχει έξοδο σκανδαλισμού NIM.

4. Τηλεργαστήρια

Η εκπαίδευση εξ' αποστάσεως (τηλεκπαίδευση) είναι ένας τρόπος διδασκαλίας-μάθησης που εφαρμόζεται με τη χρήση τεχνολογικών μέσων όπως για παράδειγμα βίντεο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και άλλα. Κατ' αντιστοιχία ορίζεται και ο όρος "τηλεργαστήριο" ως τον εξ' αποστάσεως χειρισμό εργαστηριακών διατάξεων, τη λήψη μετρήσεων εκτελώντας τις διαδικασίες που ορίζει ο εκάστοτε "τηλεργαστηριακός οδηγός".

Στην ανάπτυξη των τηλεργαστηρίων συνέβαλαν εκτός της επικείμενης πανδημίας Covid-19 και άλλοι παράγοντες όπως η εξοικονόμηση χρόνου, η μείωση του κόστους, η ασφάλεια χειρισμού του εργαστηριακού εξοπλισμού, η ελαστικότητα που παρέχει ο τηλεχειρισμός στα ωρολόγια προγράμματα και διάφοροι άλλοι παράγοντες.

Λόγω της παγκόσμιας έκτασης που πήρε η διάδοση του Κορωνοϊού (2020-2021) με πολύ υψηλούς ρυθμούς μεταβολής της μεταδοτικότητάς του, τα εκπαιδευτικά, επιστημονικά και ερευνητικά ιδρύματα παγκοσμίως εισήγαγαν ταχύτατα στα προγράμματά τους την εξ' αποστάσεως διδασκαλία. Όσον αφορά όμως τις εργαστηριακές ασκήσεις που πρέπει να πραγματοποιούνται οι διαδικασίες χρήζουν βελτίωσης. Επιστήμονες και διοικητικά μέλη προσπαθούν να αναζητήσουν τρόπους ώστε να συνεχίσουν οι διαδικασίες ομαλά μεν, εξ' αποστάσεως δε. Η εισαγωγή των τηλεργαστηρίων δίνει απτές λύσεις σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που έχουν προκύψει στην παγκόσμια κοινότητα.

Τα τηλεργαστήρια συνιστούν ένα προτρεπτικό παράγοντα που συμβάλλει καθοριστικά στη δια βίου μάθηση. Συγκεκριμένα, άνθρωποι οι οποίοι θέλουν να εμβαθύνουν και να εξειδικευτούν στο αντικείμενό τους ανταποκρινόμενοι στις νέες και συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς εργασίας που τείνει προς την απόλυτη εξειδίκευση μπορούν να ωθηθούν μέσω των τηλεργαστηρίων. Το πρόγραμμα αυτών είναι ευέλικτο καθώς κάποια από αυτά μπορεί να είναι ασύγχρονης μορφής. Με αυτόν τον τρόπο, άτομα με υποχρεώσεις κοινωνικές, οικογενειακές και επαγγελματικές μπορούν να προσαρμόσουν την παρακολούθηση αυτών στο δικό τους πρόγραμμα. Άμεση απόρροια αυτής της ευελιξίας στο ωράριο είναι η εξοικονόμηση χρόνου, ο αρμονικός συνδυασμός και η συμπόρευση γνώσης και ροής της υφιστάμενης κανονικότητας του κάθε ατόμου.

Αξίζει να αναφερθεί ότι μια τέτοια μορφή εργαστηριακής προσέγγισης περιορίζει μεγάλο μέρος του κόστους μετακίνησης, κόπωσης που πολλές φορές οδηγεί σε εγκατάλειψη της προσπάθειας λόγω φόρτου μεγάλης χιλιομετρικής απόστασης. Ας μη λησμονηθεί η σημαντικότητα που έχουν τα εργαστήρια αυτά σε άτομα τα οποία παρουσιάζουν φυσική αδυναμία μετακίνησης λόγω κάποιας αναπηρίας και εύκολης πρόσβασης στο φυσικό χώρο του εργαστηρίου. Άτομα με αναπηρία που μέχρι πριν λίγα χρόνια αποκλείονταν ή αδυνατούσαν να προσεγγίσουν τέτοιους χώρους στερούνταν τη δύναμη της γνώσης και της διεκδίκησης διεύρυνσης των οριζόντων τους. Με τα τηλεεργαστήρια περιορίζεται ο αποκλεισμός αυτών των ατόμων και η γνώση μπορεί να γίνει κτήμα όλων χωρίς εξαιρέσεις.

Τέλος τα τηλεεργαστήρια μπορούν να ενισχύσουν τη δια βίου μάθηση και τη διάθεση του κάθε ανθρώπου για αυτομόρφωση αφού τα τεχνολογικά μέσα έχουν τεθεί στην υπηρεσία του σύγχρονου ανθρώπου, ο οποίος αντιλαμβάνεται πια το εύρος των δυνατοτήτων που μπορούν να του δοθούν. Συνοπτικά θα λέγαμε ότι μέσω των τηλεεργαστηρίων πραγματοποιείται η χρήση νέων τεχνολογιών για την επιτάχυνση της διάχυσης γνώσης αλλά και υπηρεσιών από τον εκπαιδευτή προς τους εκπαιδευόμενους, μέσα σε ένα ευέλικτο περιβάλλον όπου οι ίδιοι οι εκπαιδευόμενοι επιλέγουν τον τρόπο, τον τόπο, τον χρόνο και την ποσότητα της γνώσης που θέλουν να πάρουν [11][12].

4.1 Τηλεεργαστήριο ανιχνευτικής διάταξης μ Cosmics

Το τηλεεργαστήριο της ανιχνευτικής διάταξης του τηλεσκοπίου μ Cosmics απευθύνεται σε μαθητές οι οποίοι θα εκπαιδευτούν ασύγχρονα ώστε να λάβουν τις απαραίτητες γνώσεις προτού αρχίσει η διαδικασία εκτέλεσης του πειράματος. Για το σκοπό αυτό τα παιδιά έρχονται σε επαφή με τα κατάλληλα εκπαιδευτικά εργαλεία και ελέγχουν αν πραγματικά κατανόησαν τις καινούργιες έννοιες που έμαθαν μετά την εκπαίδευση ακολουθεί η εκτέλεση του πειράματος κατά την οποία οι μαθητές θα καταφέρουν να επιτύχουν τη λήψη μετρήσεων μέσω των υπολογιστικών συστημάτων και να εξάγουν συμπεράσματα από τις στατιστικές αναλύσεις που θα φέρουν εις πέρας.

5. Πλατφόρμα Moodle

Η ονοματοδοσία Moodle προέρχεται από το ακρωνύμιο των Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment. Το Moodle είναι ένα πακέτο λογισμικού όπου δημιουργούνται διαδικτυακά μαθήματα και ιστοσελίδες. Είναι ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο έργο το οποίο σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την συνεργατική μάθηση. Το Moodle παρέχετε δωρεάν σαν λογισμικό Open Source (κάτω από την GNU Public License).

Τα γενικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Προωθεί τη συνεργατική μάθηση.
- Είναι κατάλληλο για διαδικτυακά μαθήματα καθώς είναι εύκολο να εγκατασταθεί σχεδόν σε όλες τις πλατφόρμες που υποστηρίζουν PHP.
- Θέλει μόνο μια βάση δεδομένων.
- Δουλεύει με όλες τις βάσεις δεδομένων.
- Η λίστα μαθημάτων δείχνει περιγραφή για κάθε μάθημα που υπάρχει στον server.
- Δίνεται έμφαση στην ασφάλεια σε όλα τα σημεία.
- Οι φόρμες ελέγχονται όλες, τα δεδομένα επικυρώνονται, τα cookies κρυπτογραφούνται κλπ.
- Όσον αφορά την διαχείριση του θα μπορούσαμε να επισημάνουμε τα εξής:
- Η ιστοσελίδα διαχειρίζεται από ένα διαχειριστή.
- Ενσωματωμένα θέματα επιτρέπουν την αλλαγή των χαρακτηριστικών για να ταιριάζουν στις ανάγκες κάθε χρήστη.

- Φτιαγμένα πακέτα γλωσσών επιτρέπουν πλήρη προσαρμογή σε κάθε τοπική γλώσσα.
- Ο κώδικας είναι γραμμένος καθαρά σε PHP κάτω από GPL άδεια - εύκολο να τροποποιηθεί για να καλύψει τις ανάγκες κάθε χρήστη.

Όσον αφορά τις δυνατότητες που μπορούν να έχουν οι χρήστες ισχύει:

- Ένας λογαριασμός διαχειριστή ελέγχει την δημιουργία μαθημάτων και δημιουργεί καθηγητές αναθέτοντας χρήστες στα μαθήματα.
- Προσφέρεται βασική μέθοδος για email: οι μαθητές μπορούν να δημιουργούν τους δικούς τους λογαριασμούς χρηστών.
- Υπάρχουν εξωτερικές βάσεις δεδομένων: κάθε βάση δεδομένων που περιέχει τουλάχιστον δυο πεδία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια εξωτερική πηγή πιστοποίησης.
- Κάθε πρόσωπο χρειάζεται μόνο ένα λογαριασμό για ολόκληρο το server - Κάθε λογαριασμός μπορεί να έχει διαφορετικά δικαιώματα.
- Παρέχεται ασφάλεια. Οι καθηγητές μπορούν να προσθέσουν ένα "enrolment key" στο μάθημα τους. Μπορούν να δώσουν αυτό το κλειδί είτε προσωπικά είτε μέσω του προσωπικού e-mail κτλ.
- Οι καθηγητές μπορούν να διαγράψουν μαθητές εάν το επιθυμούν, διαφορετικά διαγράφονται αυτόματα αφού περάσει μια συγκεκριμένη περίοδος όπου οι μαθητές είναι ανενεργοί.
- Οι μαθητές ενθαρρύνονται να φτιάξουν ένα διαδικτυακό προσωπικό προφίλ.

Τέλος όσον αφορά χαρακτηριστικά των μαθημάτων που μπορεί κάποιος να δημιουργήσει στη πλατφόρμα moodle ισχύει:

- Ο καθηγητής έχει τον πλήρη έλεγχο πάνω σε όλες τις ρυθμίσεις ενός μαθήματος.
- Υπάρχει εύκαμπτος πίνακας δραστηριοτήτων των μαθημάτων όπως ομάδες συζητήσεων, Journals, ερωτήματα, πηγές, επιλογές, έρευνες, αναθέσεις.
- Πρόσφατες αλλαγές στο μάθημα από την τελευταία πιστοποιημένη είσοδο μπορούν να παρουσιάζονται στην αρχική σελίδα του μαθήματος.
- Όλοι οι βαθμοί για τις ομάδες συζητήσεων, τα Journals, τα Ερωτήματα και τις αναθέσεις μπορούν να εμφανιστούν σε μια σελίδα.
- Πλήρης κατανομή και logging των χρηστών - αναφορές δραστηριοτήτων για κάθε χρήστη είναι διαθέσιμες με γραφικές απεικονίσεις και λεπτομέρειες για κάθε module (τελευταία πρόσβαση, πόσες φορές έχει διαβαστεί) καθώς και ένα λεπτομερές ιστορικό για κάθε χρήστη που εμπλέκετε στο μάθημα όπως δημοσιεύσεις, εισαγωγές ημερολογίου, στατιστική αναφορά βαθμολογίας των χρηστών στα κουίζ που έχει ο διδάσκων αναρτήσει κτλ σε μια σελίδα [13].

5.1 Περιεχόμενα Μαθήματος

Το μάθημα ξεκινά με συνοπτική θεωρία σε μορφή κειμένου που αφορά την κοσμική ακτινοβολία. Αναφέρονται στοιχεία θεωρίας για τους εκτεταμένους καταιονισμούς ώστε ο ενδιαφερόμενος να αποκτήσει γνώσεις που αφορούν το πείραμα που θα ακολουθήσει. Τέλος στην έντυπη θεωρία αναφέρονται τα στοιχεία της πειραματικής διάταξης που θα χειριστεί ο πειραματιστής. Αυτά περιλαμβάνονται σε ένα αρχείο pdf με τίτλο "Εισαγωγή". Το επόμενο αρχείο pdf με τίτλο "Οδηγίες Κάρτας Quarknet" ξεκινά με ένα σύντομο ιστορικό της ανάπτυξης της κάρτας. Στη συνέχεια υπάρχουν οδηγίες για τον καθορισμό της τάσης κατωφλίου στον ανιχνευτή και εξαγωγής των δεδομένων προς επεξεργασία. Τα επόμενα αρχεία pdf περιέχουν

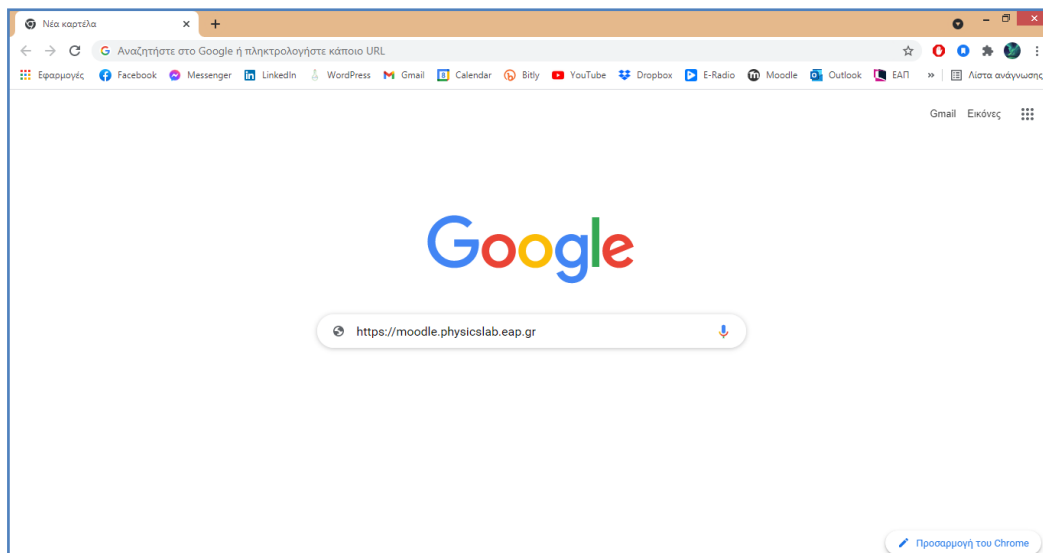
οδηγίες για τον καθορισμό του ύψους των παλμών, τον χρονισμό των παλμών καθώς και για τη μελέτη των καταιονισμών.

Μετά την έντυπη θεωρία ακολουθούν δύο βίντεο των 2 λεπτών περίπου στα οποία ο διδασκόμενος μπορεί να πληροφορηθεί για την αρχή λειτουργίας του τηλεσκοπίου μCosmics και να λάβει πληροφορίες για την κάρτα Quarknet. Στα επόμενα βίντεο αναφέρονται στοιχεία των ηλεκτρικών παλμών καθώς και το πώς γίνεται η επιλογή των παλμών με τη χρήση της λειτουργίας του κατωφλίου. Ακολουθούν βίντεο με την αρχιτεκτονική του πειράματος, τον καθορισμό της κατανομής του ύψους των παλμών, το χρονισμό των παλμών και τέλος τρία βίντεο που περιγράφουν τη διαδικασία ανάλυσης δεδομένων για τη μελέτη των καταιονισμών.

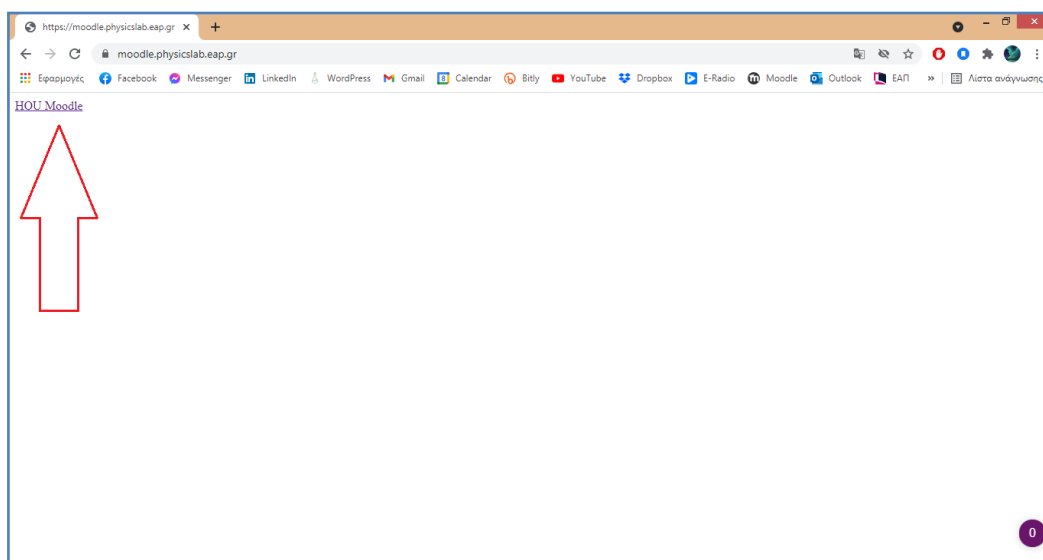
Μετά την ολοκλήρωση της παρακολούθησης κάθε βίντεο και πριν την έναρξη του επόμενου παρεμβάλλεται μία ερώτηση πολλαπλής επιλογής βασισμένη στις πληροφορίες που μόλις δόθηκαν. Αν η ερώτηση απαντηθεί σωστά η εκπαιδευτική διαδικασία προχωρά με το επόμενο βίντεο. Αν απαντηθεί λάθος, επαναλαμβάνεται το βίντεο ακριβώς στο σημείο που αναφέρει τη σωστή απάντηση και αναπαράγεται τόσο χρόνο όσο απαιτεί η απάντηση της ερώτησης. Η διαδικασία συνεχίζεται με τα επόμενα βίντεο. Μετά το τέλος όλων των βίντεο ακολουθούν δύο σειρές των 10 ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής που αφορούν όλες τις παρεχόμενες πληροφορίες κι έτσι ολοκληρώνεται η διαδικασία της εκπαίδευσης.

5.2 Είσοδος στην πλατφόρμα Moodle

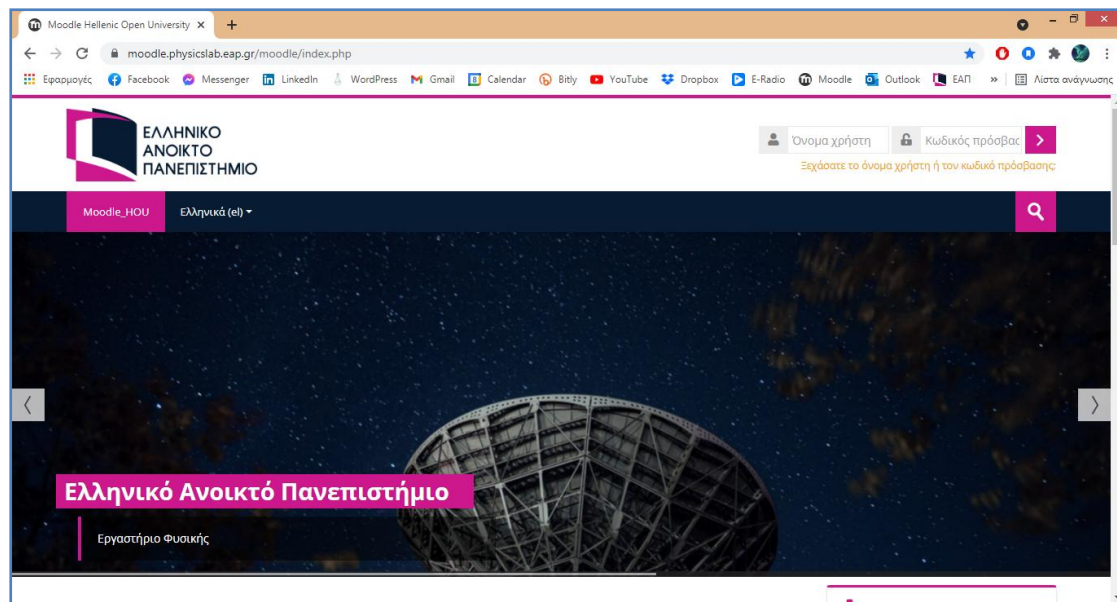
Πληκτρολογούμε στο Google τη διεύθυνση: <https://moodle.physicslab.eap.gr/>



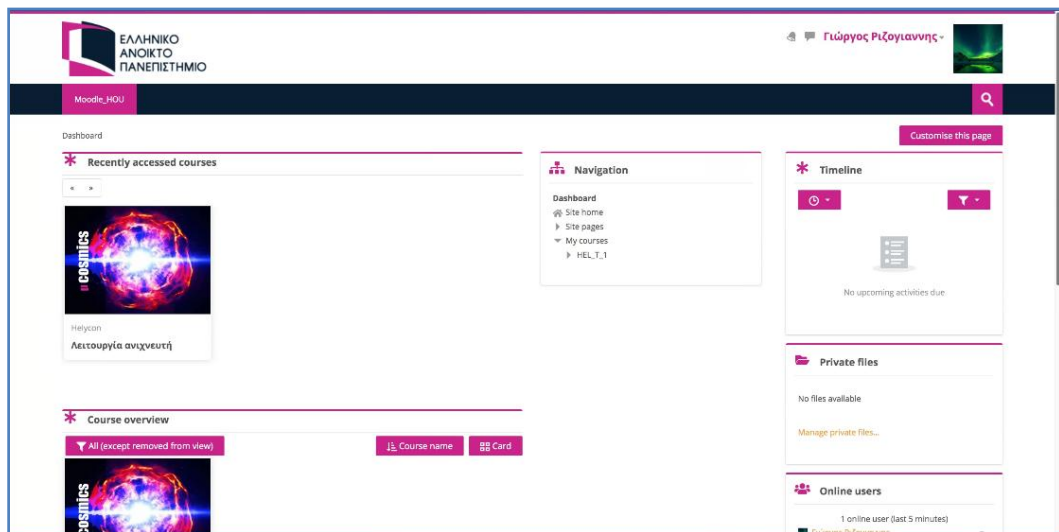
και επιλέγουμε **HOU Moodle**



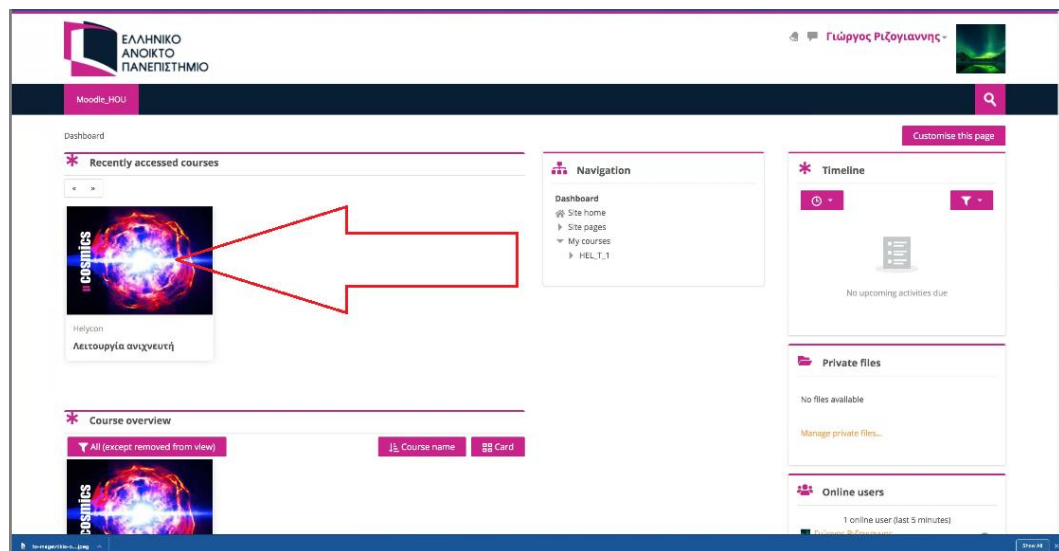
Μόλις εισέλθουμε θα ζητηθεί κωδικός. Πληκτρολογούμε **Username** και **Password** σύμφωνα με τις οδηγίες που έχουν δοθεί



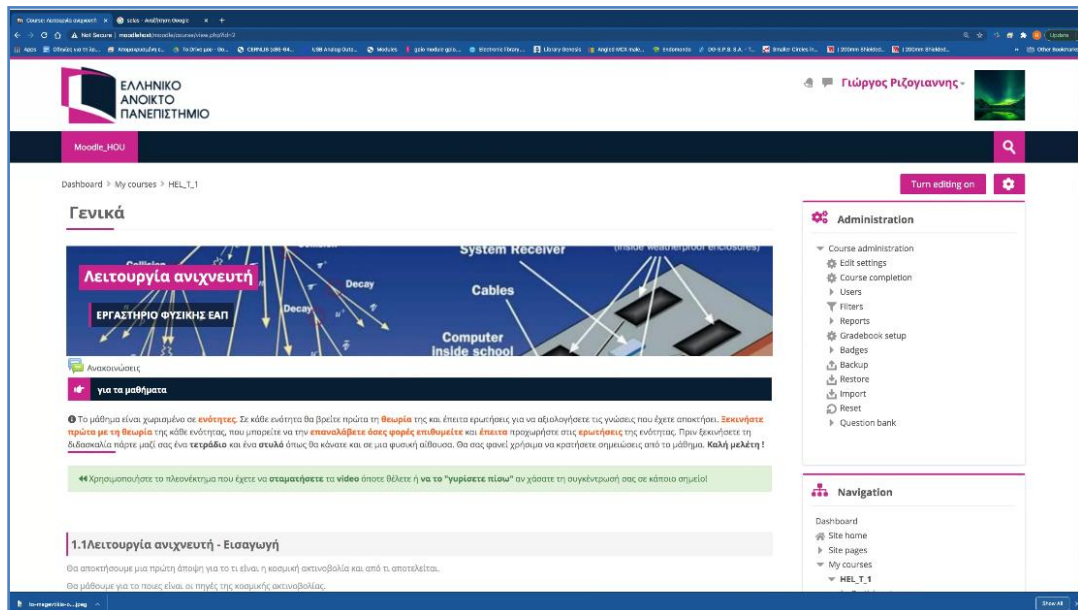
και έχουμε εισέλθει στην πλατφόρμα τηλεεκπαίδευσης Moodle.



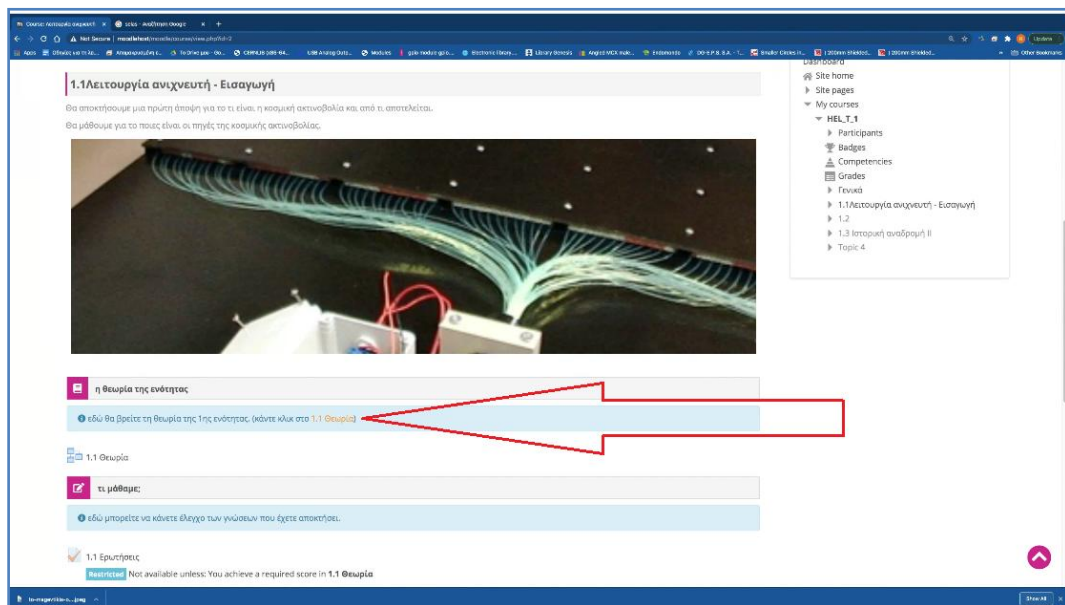
Για να ξεκινήσουμε την εκπαίδευση επιλέγουμε **Course Overview**



Πραγματοποιούμε μια περιήγηση για να εξοικειωθούμε με το περιβάλλον της πλατφόρμας και διαβάζουμε κάποιες εισαγωγικές έννοιες



Λίγο πιο κάτω υπάρχει η **Θεωρία** σε βιντεοσκοπημένη μορφή



Παρακολουθούμε το **Βίντεο** "Αρχή λειτουργίας τηλεσκοπίου $\mu\text{Cosmics}$ " και πατάμε **Επόμενο**

The screenshot shows the Moodle LMS interface for a course titled "1.1 Θεωρία". The main content area displays a video player for the lesson "Αρχή λειτουργίας τηλεσκοπίου $\mu\text{Cosmics}$ ". The video frame shows a diagram of the $\mu\text{Cosmics}$ telescope system with handwritten Greek notes: "Λειτουργία ανιχνευτικής διάταξης τηλεσκοπίου $\mu\text{Cosmics}$ ", "Κοσμικό σώμα (Μέριο)", "Ανιχνευτής", "Φωτιστικό ΣΗΜΤ", "Κάρτα ψηφιοποίησης", "Quarknet", and "Υπολογιστικό σύστημα". A red arrow points to the "Επόμενο" (Next) button below the video player. A message below the button states: "You will not see the progress bar because you can edit this lesson". The right sidebar contains the "Lesson menu" and "Administration" sections.

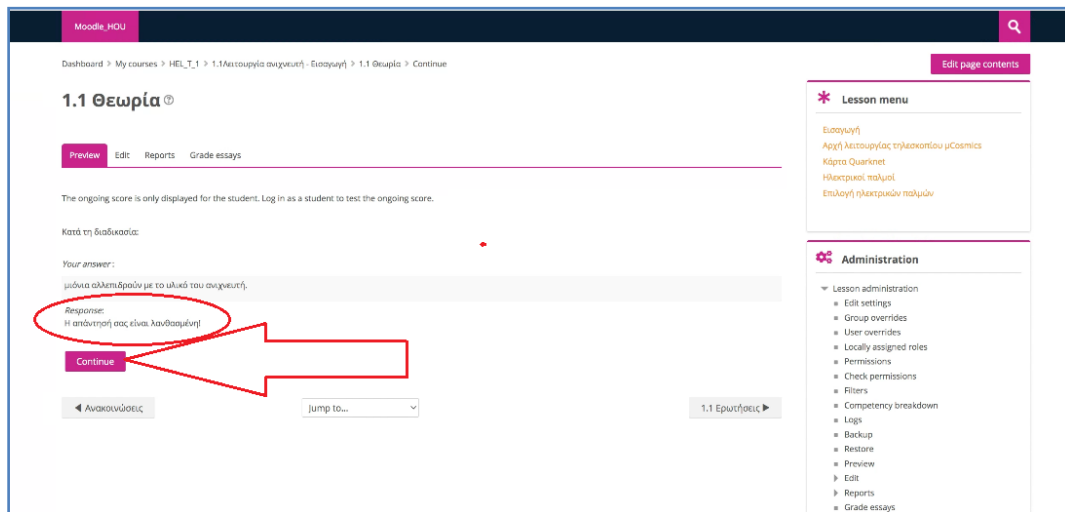
Η ερώτηση Θεωρίας που ακολουθεί βασίζεται στο Βίντεο που μόλις είδαμε, την απαντάμε επιλέγοντας τη σωστή πρόταση και προχωράμε με Submit

The screenshot shows the Moodle LMS interface for the same course. The main content area displays a multiple-choice question titled "Κατά τη διαδικασία:". The question text is: "παράγεται φως στο σπινθηριστή το οποίο οδηγείται, με οπτικές ίνες στο φωτοπολλαπλασιαστή." The options are:

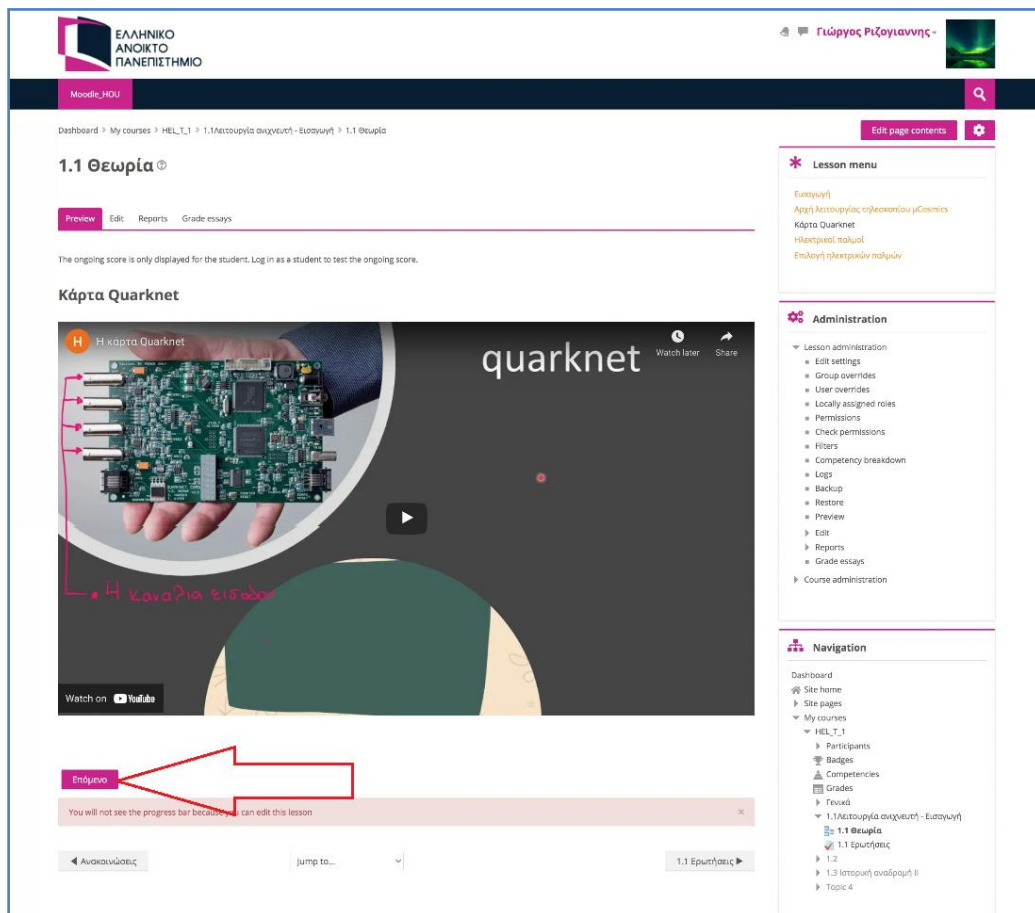
- ☐ το φως ψηφιοποιείται σε κάρτα ψηφιοποίησης και το σήμα οδηγείται σε υπολογιστικό σύστημα όπου το επεξεργάζμαστε και παίρνουμε πληροφορίες για τα κοσμικά σώματα.
- ☐ όλες οι προτάσεις.
- ☐ μόνον αλληλεπιδρούν με το υλικό του ανιχνευτή.

 A red arrow points to the "Submit" button at the bottom of the question area. A message below the button states: "You will not see the progress bar because you can edit this lesson". The right sidebar contains the "Lesson menu" and "Administration" sections.

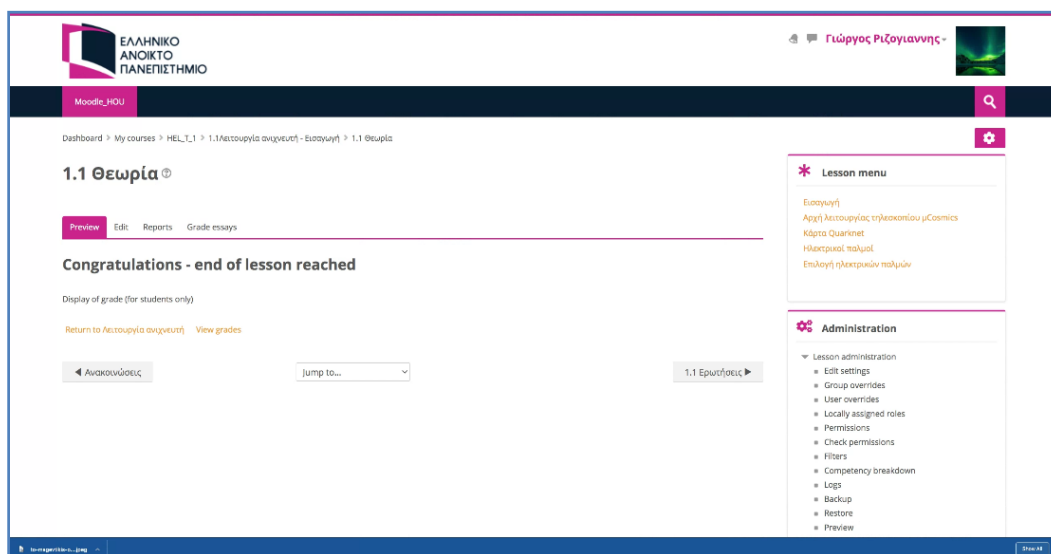
Εάν απαντήσουμε λάθος εμφανίζεται η ένδειξη "Η απάντησή σας είναι λανθασμένη" και πατώντας **Continue** εμφανίζεται και πάλι το ίδιο Βίντεο.



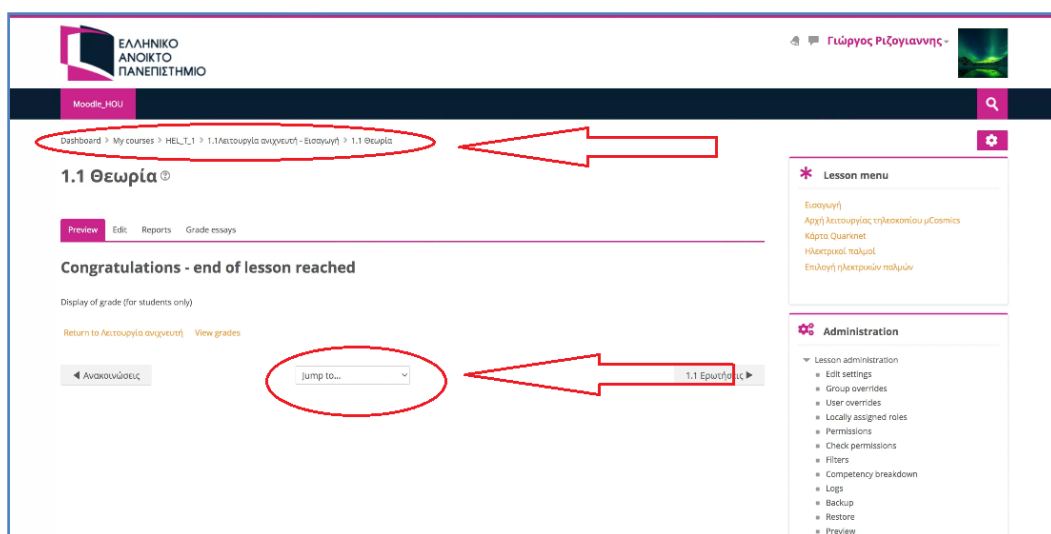
Εάν απαντήσουμε σωστά μεταβαίνουμε στο επόμενο Βίντεο και αφού το παρακολουθήσουμε επιλέγουμε **Επόμενο**



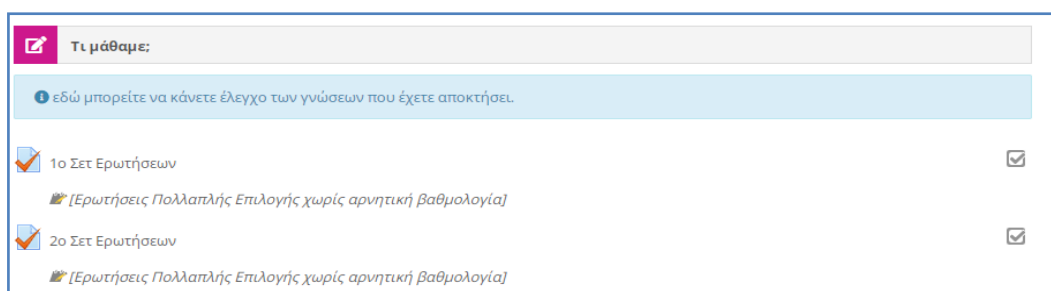
Ακολουθεί ερώτηση βασισμένη στο βίντεο και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι τέλους όπου εμφανίζεται το μήνυμα "Congratulations - end of lesson reached".



Σε οποιοδήποτε σημείο της διαδικασίας μπορούμε να μεταβούμε σε όποιο σημείο της διαδικασίας επιλέγοντας το **"Jump to..."** στο σχετικό παράθυρο ή μέσω της **"γραμμής ροής"**.



Η διαδικασία ολοκληρώνεται με δύο σετ των 10 ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής. Με την ολοκλήρωσή τους εμφανίζεται και το ποσοστό επιτυχίας.



5.3 Ερωτήσεις σε αντιστοίχιση με τα Βίντεο

Το κάθε Σετ Ερωτήσεων που έχει ανέβει στο Moodle βασίζεται σε θεωρία που βρίσκεται σε έντυπη ή βιντεοσκοπημένη μορφή. Παρακάτω παρατίθενται οι ερωτήσεις και το αντίστοιχο βίντεο στο οποίο υπάρχει η σχετική θεωρία:

1. Για ποιο λόγο το υλικό του ανιχνευτή παράγει φωτόνια;

- α. Επειδή τα φωτόνια συλλέγονται από τις οπτικές ίνες.
- β. Λόγω του λευκού χρώματος των ανιχνευτών.
- γ. Επειδή τα κοσμικά σωμάτια εναποθέτουν ενέργεια στο υλικό του ανιχνευτή.
- δ. Επειδή το φωτόνιο έχει μηδενική μάζα ηρεμίας.

2. Το υλικό του ανιχνευτή που παράγει το φως λέγεται

- α. σπινθηριστής.
- β. φωτοπολλαπλασιαστής.
- γ. κάρτα ψηφιοποίησης.
- δ. οπτική ίνα.

3. Πως οδηγείται το φως που παράγεται από το υλικό του ανιχνευτή στο φωτοαισθητήρα;

- α. Με χάλκινα καλώδια.
- β. Με οπτικές ίνες.
- γ. Το φως ταξιδεύει προς κάθε κατεύθυνση με σταθερή ταχύτητα άρα ούτως ή άλλως φτάνει στο φωτοαισθητήρα.
- δ. Με ειδικούς σωλήνες.

4. Ποια η λειτουργία του φωτοαισθητήρα;

- α. Μετατρέπει το φως που λαμβάνει σε ηλεκτρικό σήμα.
- β. Μας πληροφορεί αν έχει προσπέσει ένα ή περισσότερα κοσμικά σωμάτια.
- γ. Μετατρέπει σε ψηφιοποιημένη μορφή το σήμα που λαμβάνει.
- δ. Επεξεργάζεται το σήμα που λαμβάνει και μας δίνει διάφορες πληροφορίες.

5. Μετά το φωτοαισθητήρα

- α. το φως οδηγείται σε υπολογιστικό σύστημα.
- β. το φως ψηφιοποιείται σε κάρτα ψηφιοποίησης.

- γ. το ηλεκτρικό σήμα ψηφιοποιείται σε κάρτα ψηφιοποίησης.
- δ. το ηλεκτρικό σήμα οδηγείται σε υπολογιστικό σύστημα.

6. Κατά τη διαδικασία

- α. μίονια αλληλεπιδρούν με το υλικό του ανιχνευτή.
- β. παράγεται φως στο σπινθηριστή το οποίο οδηγείται με οπτικές ίνες στο φωτοπολλαπλασιαστή.
- γ. το φως ψηφιοποιείται σε κάρτα ψηφιοποίησης και το σήμα οδηγείται σε υπολογιστικό σύστημα όπου το επεξεργαζόμαστε και παίρνουμε πληροφορίες για τα κοσμικά σωμάτια.
- δ. όλα τα παραπάνω.

7. Η καμπύλη που κατασκευάζουμε για τη μελέτη της κατανομής των παλμών:

- α. προέρχεται από τη θεωρία αλληλεπιδράσεων ύλης ακτινοβολίας.
- β. προέρχεται από τη θεωρία των οπτικών ινών.
- γ. είναι χαρακτηριστική του οδοσκόπιου που έχουμε κατασκευάσει.
- δ. είναι ανεξάρτητη των σωματιδίων που διήλθαν από το οδοσκόπιο.

Οι παραπάνω ερωτήσεις αναφέρονται στη θεωρία που παρουσιάζεται στο Βίντεο "Αρχή λειτουργίας του τηλεσκοπίου mCosmics".

8. Με πόσους το πολύ ανιχνευτές μπορεί να συνδεθεί η κάρτα Quarknet;

- α. Με 2 ανιχνευτές.
- β. Με 4 ανιχνευτές.
- γ. Με 1 ανιχνευτή.
- δ. Με 3 ανιχνευτές.

9. Πόση είναι η τάση τροφοδοσίας της κάρτας Quarknet;

- α. 2V
- β. 110V
- γ. 5V
- δ. 220V

10. Πως χειριζόμαστε την κάρτα QuarkNet;

- α. Αποκτώντας πρόσβαση στους υπολογιστές του εργαστηρίου. Μέσω του λογισμικού qnet_control.
- β. Χρησιμοποιούμε αρχεία Excel.
- γ. Μέσω προγράμματος που αποκωδικοποιεί τα δεδομένα που εξάγει η κάρτα QuarkNet.
- δ. Από την πλατφόρμα Moodle

11. Time Over Threshold (ToT) καλείται:

- α. η χρονική διάρκεια του παλμού πάνω από το κατώφλι.
- β. η χρονική στιγμή που ήρθε ο παλμός στον ανιχνευτή.
- γ. η χρονική στιγμή που έφυγε ο παλμός από τον ανιχνευτή.
- δ. ο χρόνος ζωής του σωματιδίου που πέρασε από τον ανιχνευτή.

12. Η κάρτα QuarkNet εξάγει δεδομένα:

- α. τα οποία αποκωδικοποιούμε και εισάγουμε στο Excel ώστε να τα επεξεργαστούμε.
- β. έτοιμα να τα επεξεργαστούμε μέσω αρχείου Excel.
- γ. σε δεκαδικό σύστημα.
- δ. τάσης κατωφλίου.

Οι ερωτήσεις 8 έως 12 αναφέρονται στη θεωρία που παρουσιάζεται στο Βίντεο "Η Κάρτα Quarknet".

13. Ποιος χρόνος καλείται Time Over Threshold;

- α. Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο παλμός βρίσκεται πάνω από το κατώφλι.
- β. Η χρονική στιγμή που περνά από το κατώφλι ο παλμός προς τα πάνω.
- γ. Η χρονική στιγμή που περνά από το κατώφλι ο παλμός προς τα κάτω.
- δ. Όλα τα παραπάνω

14. Πως βρίσκουμε το Time Over Threshold;

- α. Προσθέτοντας το χρόνο ανόδου του παλμού στο χρόνο καθόδου.
- β. Αφαιρώντας το χρόνο ανόδου του παλμού από το χρόνο καθόδου.
- γ. Διαιρώντας το χρόνο ανόδου του παλμού με το χρόνο καθόδου.

- δ. Βρίσκοντας τη μέση τιμή του χρόνου ανόδου του παλμού και του χρόνου καθόδου.

Οι ερωτήσεις 13 και 14 αναφέρονται στη θεωρία που παρουσιάζεται στο Βίντεο "Ηλεκτρικοί Παλμοί".

15. Η εφαρμογή που αποκωδικοποιεί τα δεδομένα που εξάγει η κάρτα QuarkNet:

- α. λέγεται PHD.exe
- β. λέγεται psync.exe
- γ. είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό της κάρτας.
- δ. είναι ενσωματωμένη στο αρχείο Excel.

16. Το peak της καμπύλης που κατασκευάζουμε για τη μελέτη της κατανομής των παλμών:

- α. δείχνει τη μεγαλύτερη πυκνότητα ποσοστού των παλμών στο αντίστοιχο κανάλι.
- β. δείχνει πόσο συχνά περνούν σωματίδια από τον αντίστοιχο ανιχνευτή.
- γ. εξαρτάται από το υλικό των ανιχνευτών.
- δ. εξαρτάται από το μήκος καλωδίωσης του αντίστοιχου ανιχνευτή.

17. Η καμπύλη που κατασκευάζουμε για τη μελέτη της κατανομής των παλμών:

- α. προσεγγίζει την κατανομή Landau.
- β. προσεγγίζει την κανονική κατανομή.
- γ. είναι διαφορετική για κάθε σερ μετρήσεων.
- δ. δίνει ισοπίθανους παλμούς για κάθε σωματίδιο.

18. Οι άξονες της γραφικής παράστασης κατανομής ύψους παλμών στο Excel είναι:

- α. Τάση και πυκνότητα ποσοστού.
- β. Τάση και χρόνος έλευσης σωματιδίου.
- γ. Πυκνότητα ποσοστού και χρονική διάρκεια του παλμού πάνω από το κατώφλι.
- δ. Πυκνότητα ποσοστού και χρόνος έλευσης σωματιδίου.

Οι ερωτήσεις 15 έως 18 αναφέρονται στη θεωρία που παρουσιάζεται στο Βίντεο "Pulse Height Distribution".

19. Η εφαρμογή που αποκωδικοποιεί τα δεδομένα για το χρονισμό των ανιχνευτών:

- α. λέγεται psync.exe
- β. λέγεται PHD.exe
- γ. είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό της κάρτας.
- δ. είναι ενσωματωμένη στο αρχείο Excel.

20. Το offset για κάθε κανάλι που παίρνουμε κατά τη διαδικασία του χρονισμού των ανιχνευτών εκφράζει:

- α. το μέσο όρο των διαφορών χρόνων σε σχέση με τον υπό εξέταση ανιχνευτή.
- β. τη διαφορά χρόνου σε σχέση με τον υπό εξέταση ανιχνευτή.
- γ. την πυκνότητα ποσοστού των παλμών στον υπό εξέταση ανιχνευτή.
- δ. τη διαφορά τάσης κατωφλίου σε σχέση με τον υπό εξέταση ανιχνευτή.

21. Η διαδικασία του χρονισμού των ανιχνευτών:

- α. θα πρέπει να πραγματοποιηθεί προτού τοποθετήσουμε τους ανιχνευτές σε διάταξη μετρήσεων καταιονισμών.
- β. χρειάζεται μόνο για τη διάταξη του οδοσκόπιου.
- γ. είναι προαιρετική.
- δ. είναι απαραίτητη αρκεί να χρονίσουμε ένα από τους ανιχνευτές με τον ανιχνευτή αναφοράς.

22. Επιλέξτε τη σωστή.

- α. Για το ίδιο γεγονός ο κάθε ανιχνευτής δίνει διαφορετικούς παλμούς.
- β. Για το ίδιο γεγονός ο κάθε ανιχνευτής δίνει ίδιους παλμούς.
- γ. Για κάθε γεγονός ο ίδιος ανιχνευτής δίνει ίδιους παλμούς.
- δ. Για κάθε γεγονός ο ανιχνευτής δίνει οπωσδήποτε παλμούς ανεξάρτητα της τάσης κατωφλίου που έχουμε ορίσει.

23. Για το χρονισμό των ανιχνευτών:

- α.** πρέπει να αποκωδικοποιήσουμε τα γεγονότα των ανιχνευτών.
- β.** εισάγουμε τα γεγονότα των ανιχνευτών ως έχουν σε αρχείο Excel.
- γ.** χαράσσουμε την καμπύλη που προσεγγίζει η κατανομή Landau.
- δ.** υπολογίζουμε τη μέση τιμή της χρονικής διαφοράς των γεγονότων που δίνουν οι ανιχνευτές.

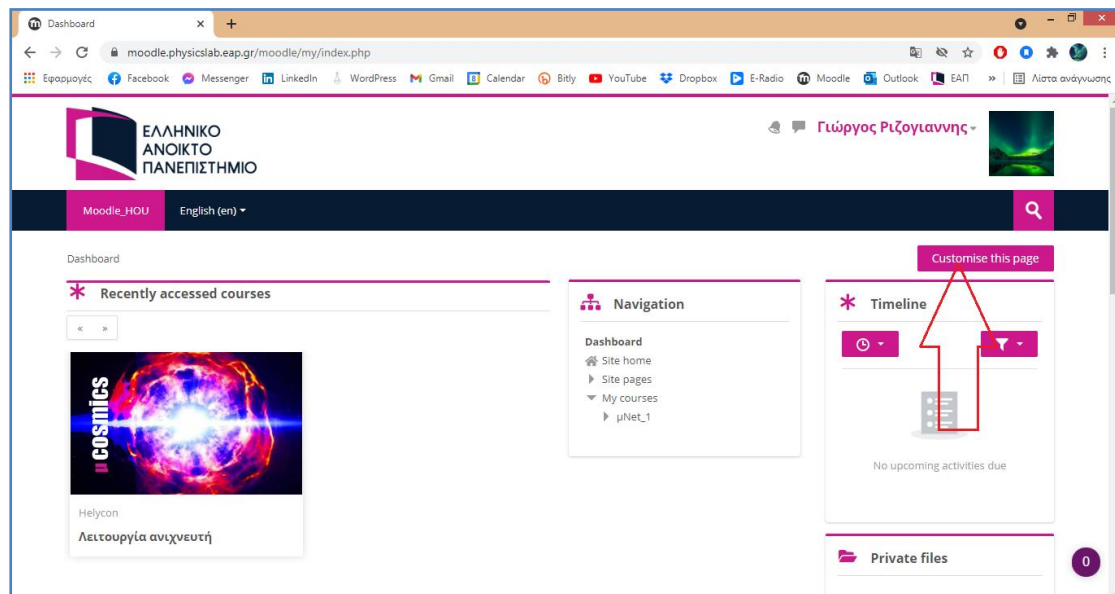
Οι ερωτήσεις 19 έως 23 αναφέρονται στη θεωρία που παρουσιάζεται στο Βίντεο "Χρονισμός Παλμών".

6. Διαχείριση πλατφόρμας Moodle "ως συντονιστής"

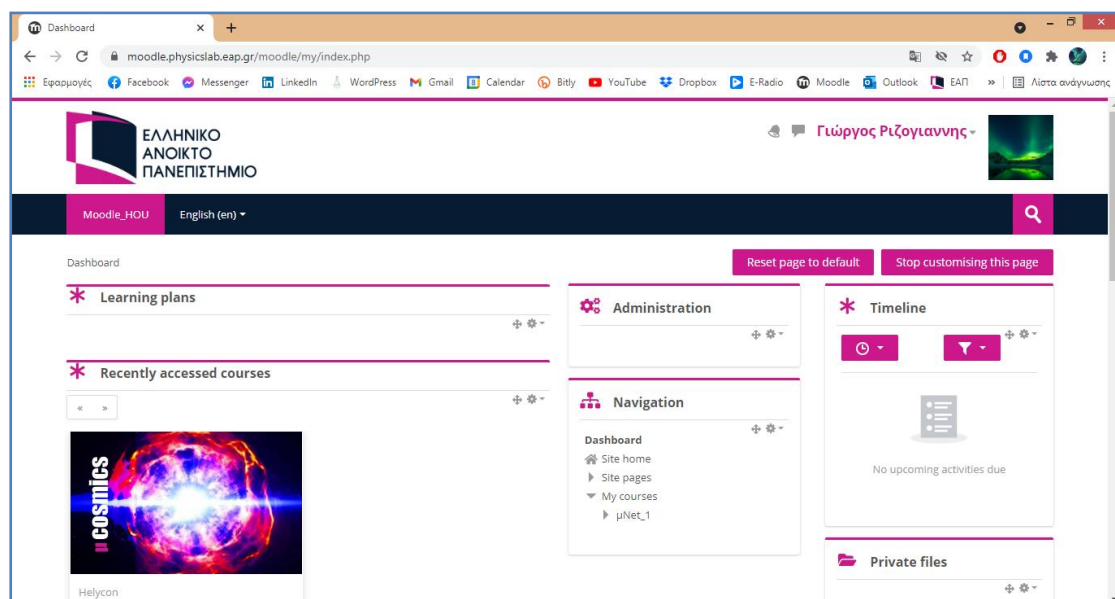
Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται διαδικασίες που μπορεί να ακολουθήσει κάποιος ως συντονιστής του τηλεργαστηρίου για την παραγωγή-δημοσίευση εκπαιδευτικού υλικού μέσω της πλατφόρμας Moodle.

6.1 Γενικές οδηγίες

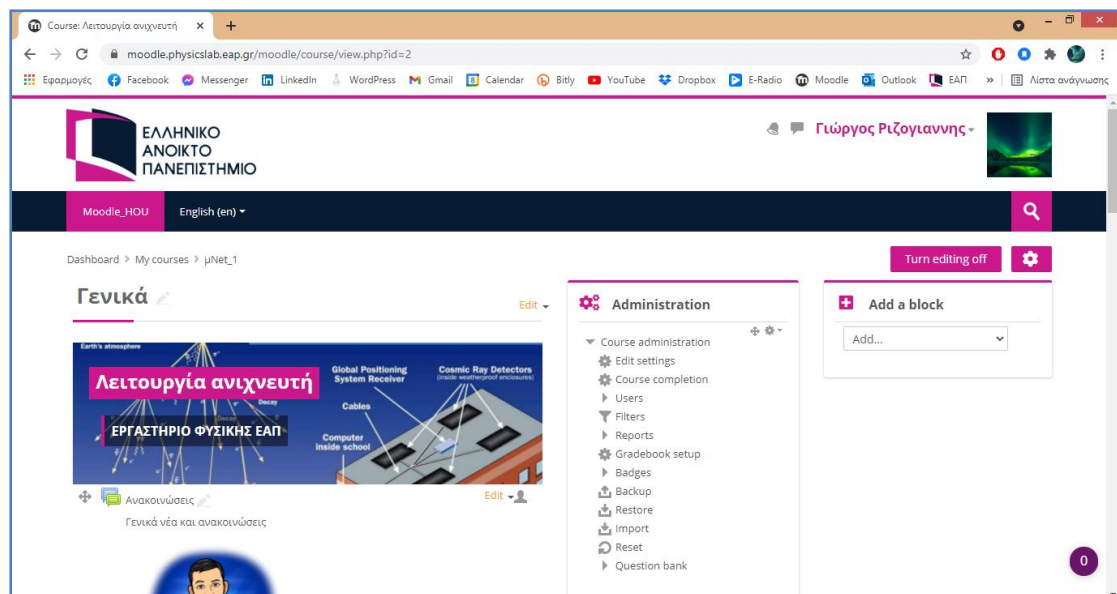
Αρχικά πατάμε **Customise this page**



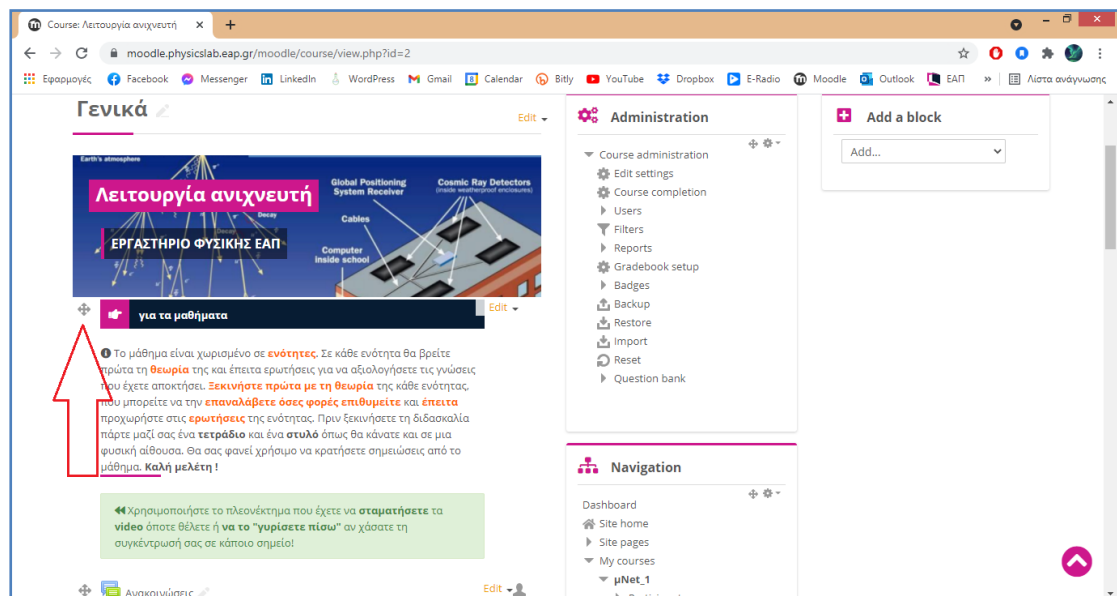
και εμφανίζονται οι επιλογές διαχείρισης **Administration**



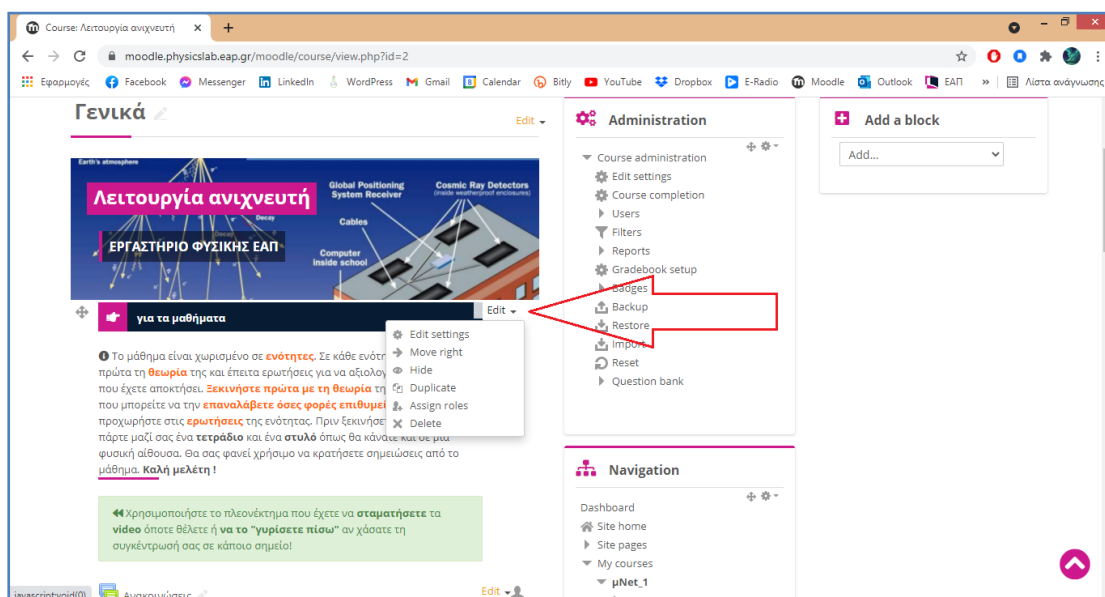
Όταν μπούμε στην καρτέλα mcosmics εμφανίζονται όλες οι επιλογές:



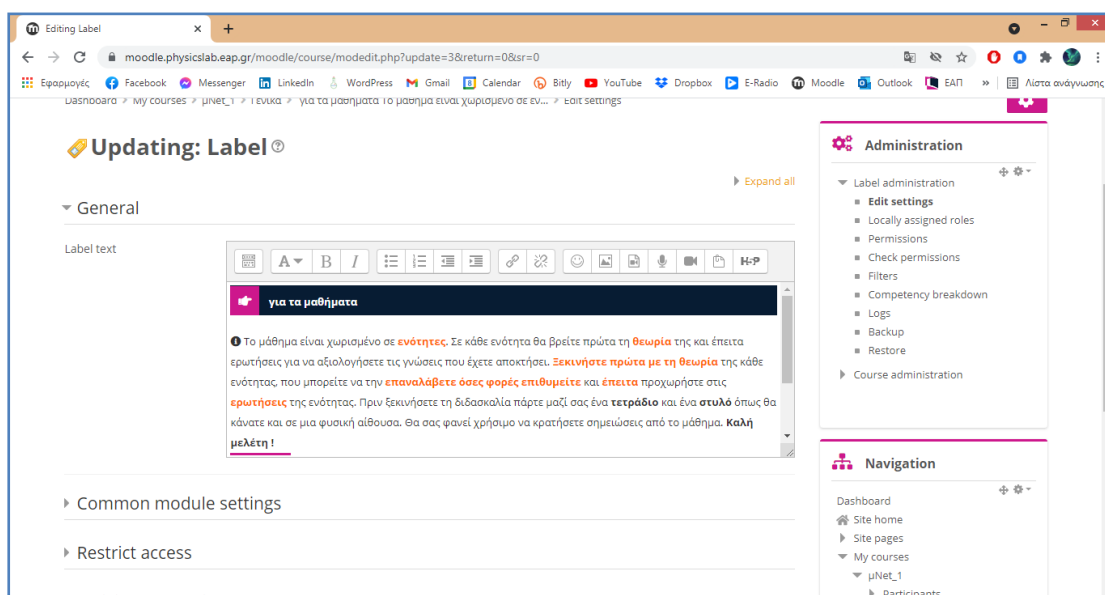
Μπορούμε να μεταφέρουμε καρτέλες ώστε να τις τοποθετήσουμε στη σωστή σειρά σύροντάς τες με το ποντίκι από το κουμπί που εμφανίζεται παρακάτω:



Στα δεξιά της κάθε καρτέλας πατώντας το **edit** εμφανίζεται menu για την επεξεργασία της καρτέλας:



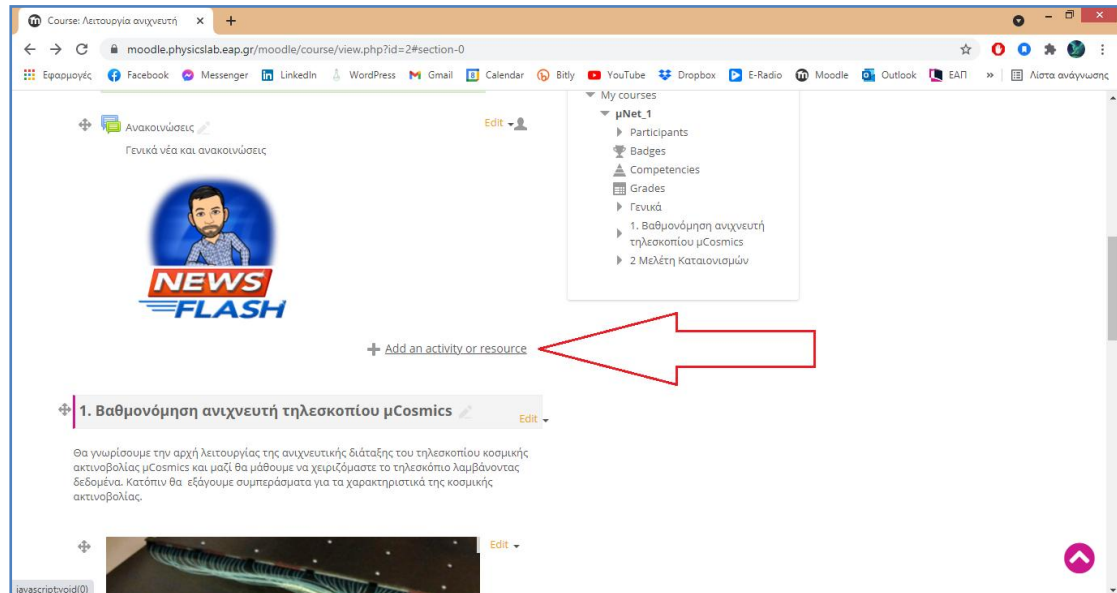
πατώντας **edit settings** εμφανίζεται κειμενογράφος που μας επιτρέπει την καταχώρηση και επεξεργασία κειμένου περιγραφής της συγκεκριμένης καρτέλας:



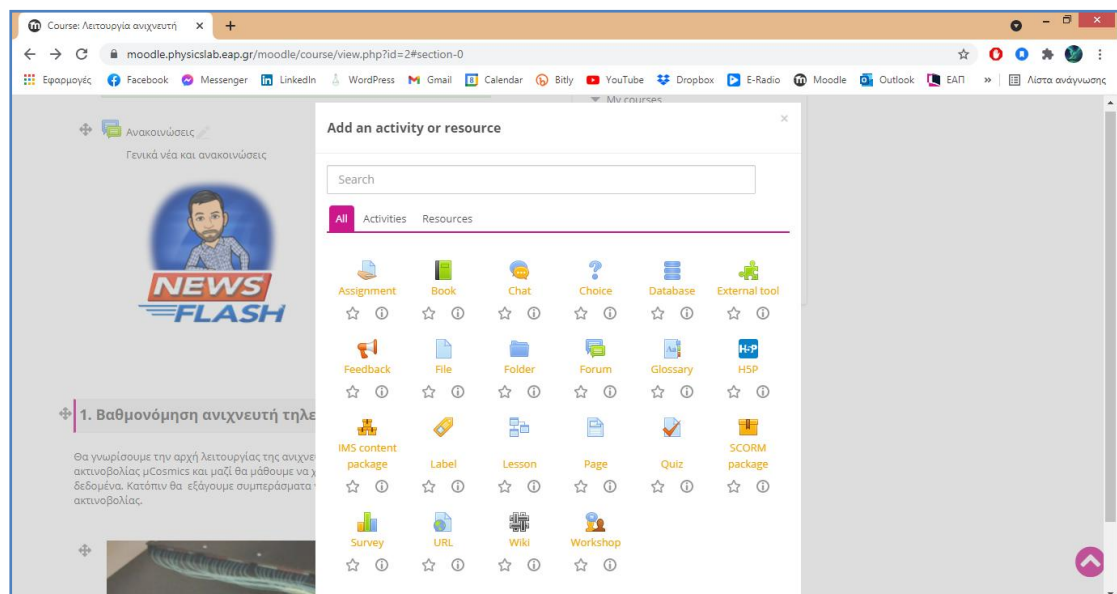
ένα χρήσιμο εργαλείο είναι το **Duplicate** το οποίο αντιγράφει την καρτέλα ακριβώς κάτω από την ίδια κληρονομώντας της ακριβώς τις ίδιες ρυθμίσεις. Αυτό βοηθά πολύ ώστε να φτιάξουμε μια νέα καρτέλα χωρίς να χρειαστεί να προσθέτουμε τίτλους, χρώμα γραμματοσειράς και λοιπές ρυθμίσεις. Αφού έχουμε αντιγράψει τη νέα

καρτέλα αλλάζουμε τον τίτλο, το κείμενο και τα υπόλοιπα στοιχεία. Έτσι έχουμε πλέον τη νέα καρτέλα που μπορούμε να μεταφέρουμε σε όποια θέση επιθυμούμε. Μπορούμε επίσης να διαγράψουμε καρτέλα με το **Delete** από το ίδιο menu: **Edit**.

Στο τέλος κάθε καρτέλας υπάρχει η επιλογή **Add an activity or resource**



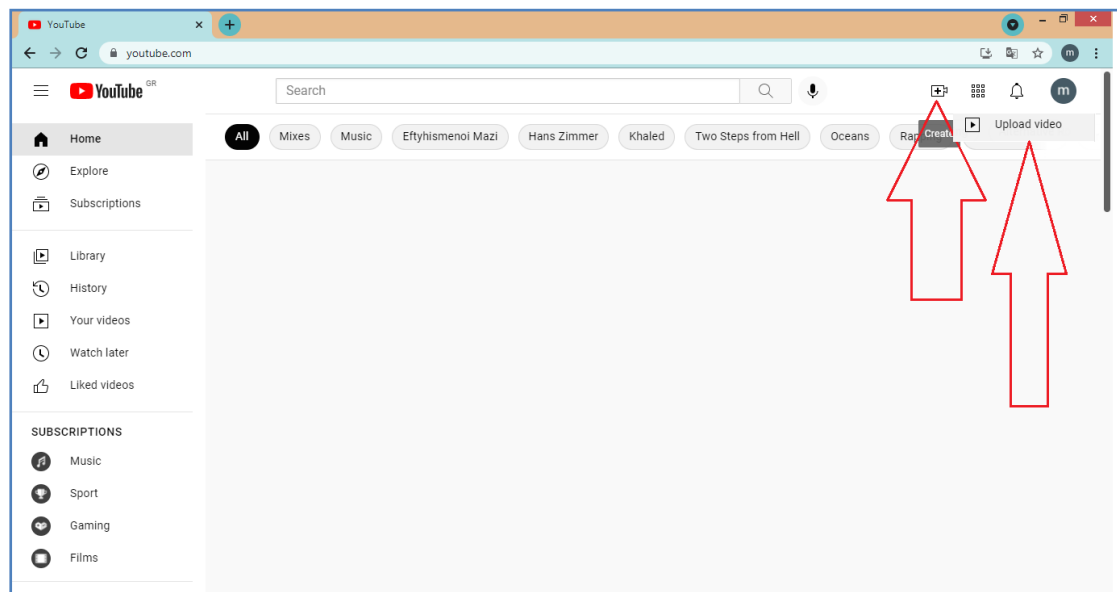
πατώντας την μπορούμε να προσθέσουμε διάφορες δραστηριότητες ακριβώς σε αυτό το σημείο αμέσως μετά την προηγούμενη και πριν την επόμενη καρτέλα:



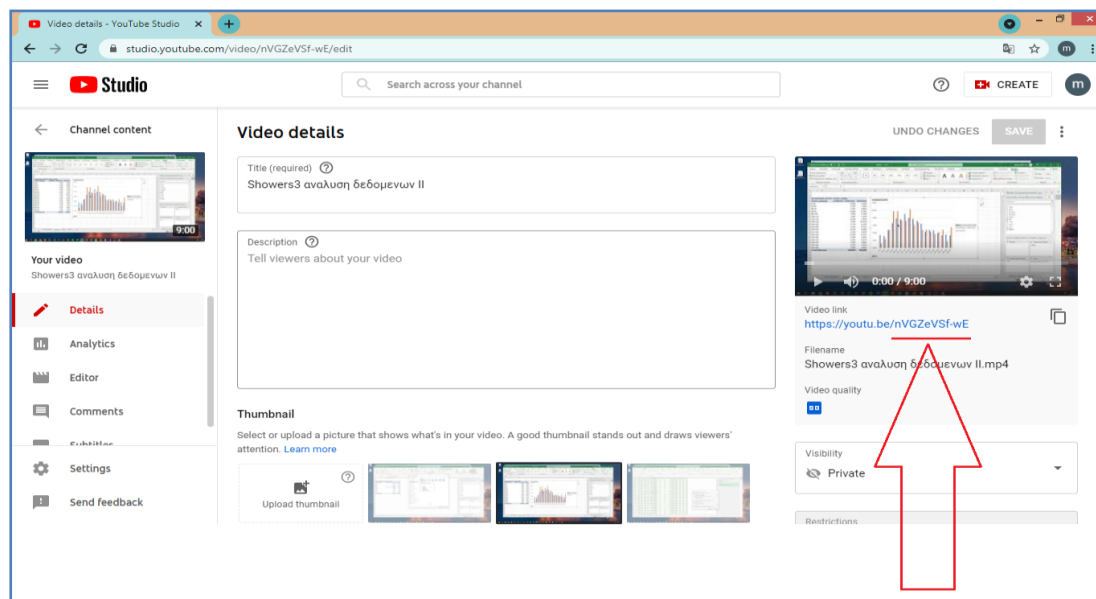
6.2 Upload Video

Καθότι τα videos είναι πολύ εύχρηστα παρέχοντας πληθώρα πληροφοριών θα μπορούσαν να είναι μέρος της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Θα ήταν χρήσιμο λοιπόν να δούμε πως μπορούμε να καταχωρίσουμε ένα video στην πλατφόρμα.

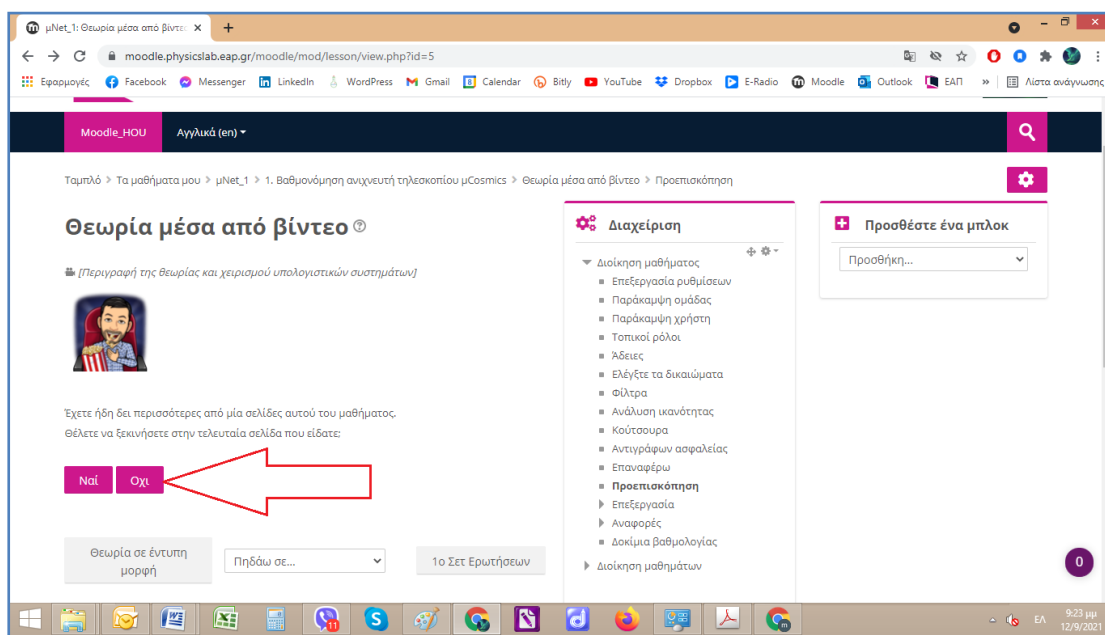
Αρχικά θα πρέπει να ανεβάσουμε το video που έχουμε επιλέξει στο Youtube μέσω του προφίλ mnet. Μπαίνουμε στο Youtube (από το προφίλ mnet), επιλέγουμε **Create** και έπειτα **Upload video**:



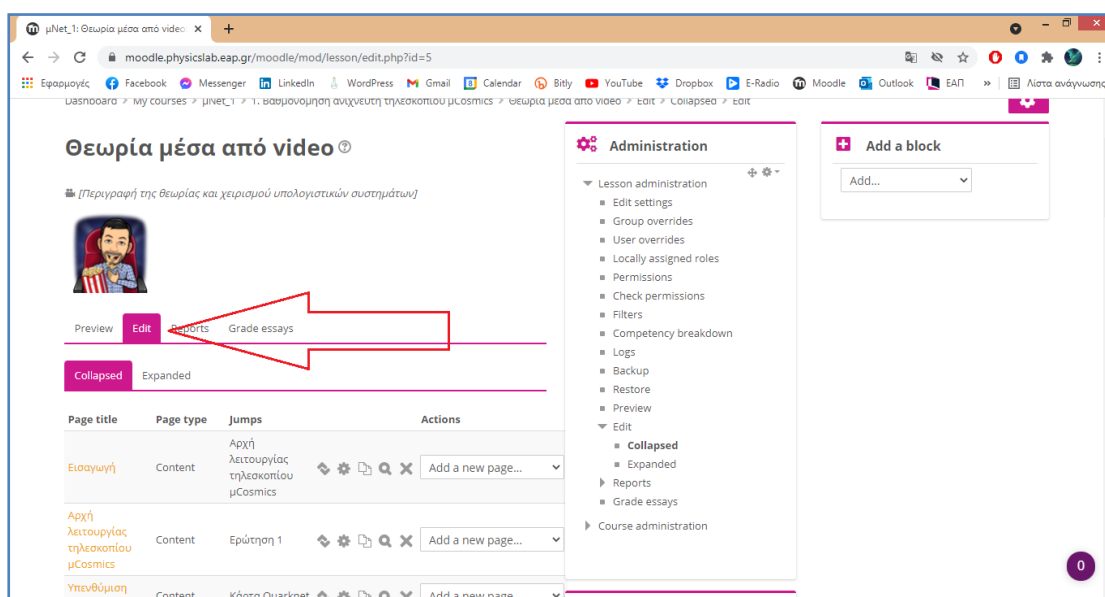
επιλέγουμε το video που θέλουμε και αφού ανέβει αντιγράφουμε **μόνο το μέρος του URL που βρίσκεται μετά το <https://youtu.be/>** και όχι ολόκληρο:



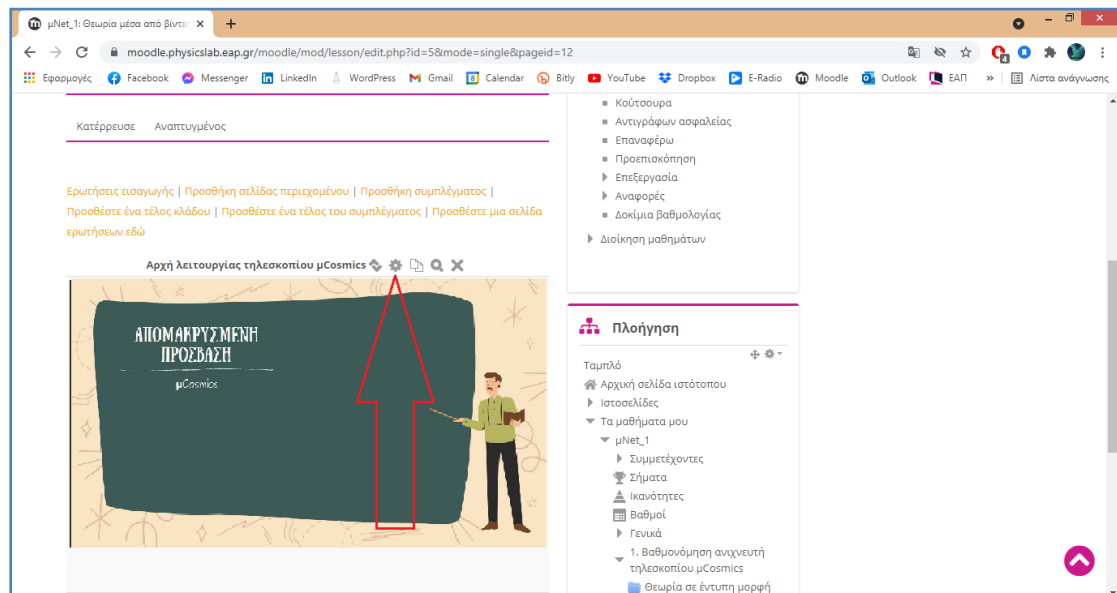
Μεταβαίνουμε τώρα στο Moodle (το οποίο είναι ανοιχτό από το δικό μας προφίλ) ώστε να φορτώσουμε το video που έχουμε ανεβάσει το Youtube του mnet. Μπορούμε να προσθέσουμε νέα δραστηριότητα και να επιλέξουμε Video ή μπορούμε να αναδιπλασιάσουμε μία ολόκληρη καρτέλα. Αναδιπλασιάζοντας την καρτέλα εμφανίζεται το υπάρχον video το οποίο καλούμαστε να αντικαταστήσουμε. Μπαίνοντας στο video ενδεχομένως να εμφανιστεί το παρακάτω μήνυμα (μας ρωτάει αν θέλουμε να συνεχίσει η αναπαραγωγή του βίντεο από το σημείο που σταμάτησε την τελευταία φορά) στο οποίο επιλέγουμε **No**.



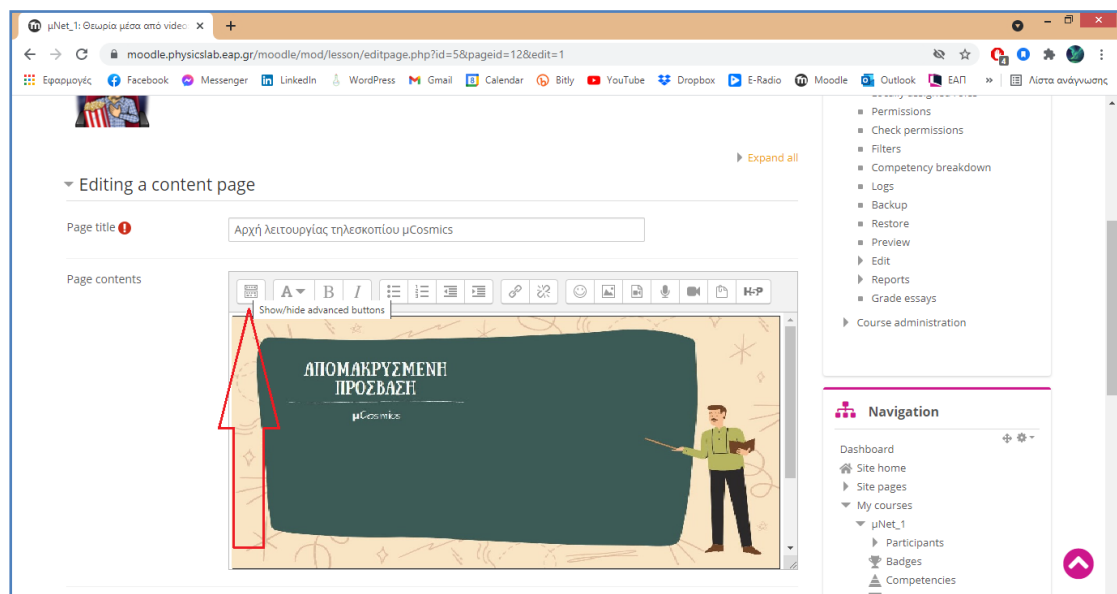
Επιλέγουμε την καρτέλα **Edit**:



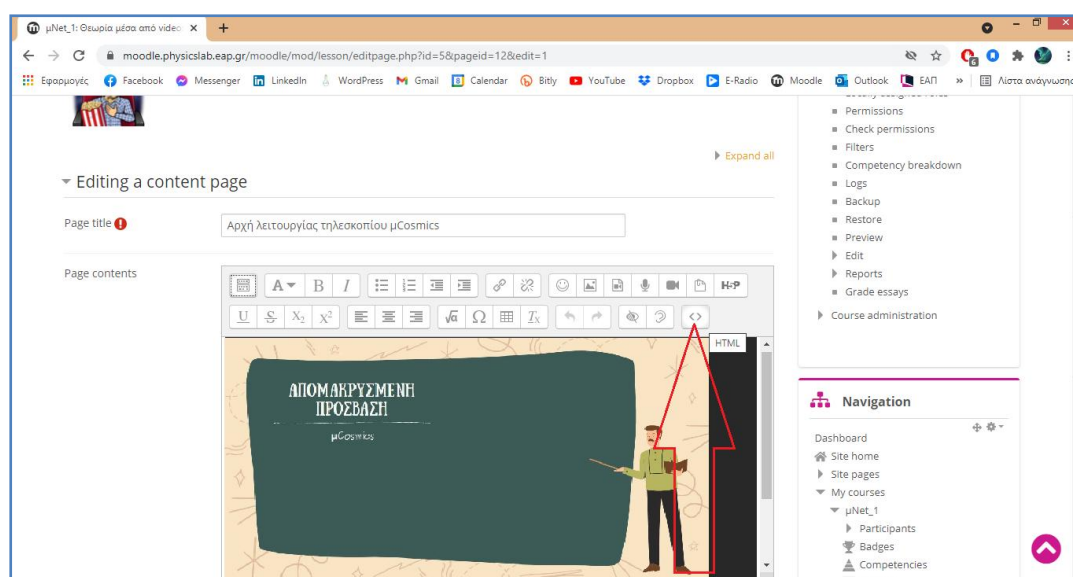
και επιλέγουμε το video που θέλουμε να αντικαταστήσουμε και μπαίνοντας πατάμε στις ρυθμίσεις (εικονίδιο με γρανάζι):



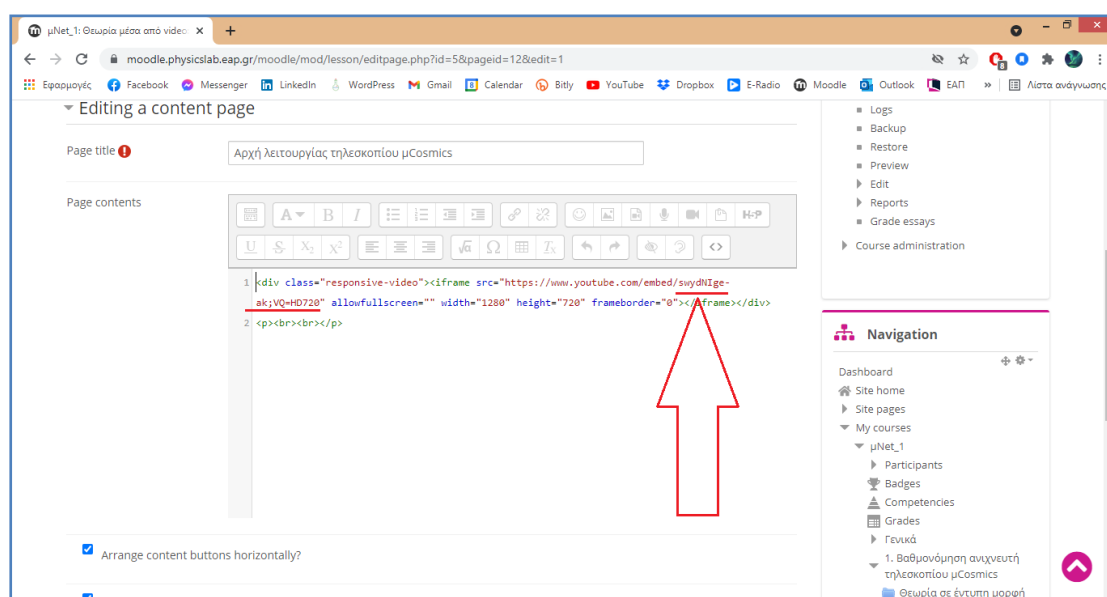
Στον κειμενογράφο που εμφανίζεται επιλέγουμε **Show/hide advanced buttons**



και επιλέγουμε **HTML**:



στο παράθυρο που ανοίγει αντικαθιστούμε το URL που βρίσκεται μετά το embed με αυτό που έχουμε αντιγράψει από στο Youtube. Προσοχή το υπάρχον URL πιθανών να συνεχίζει και στην επόμενη γραμμή του κώδικα.



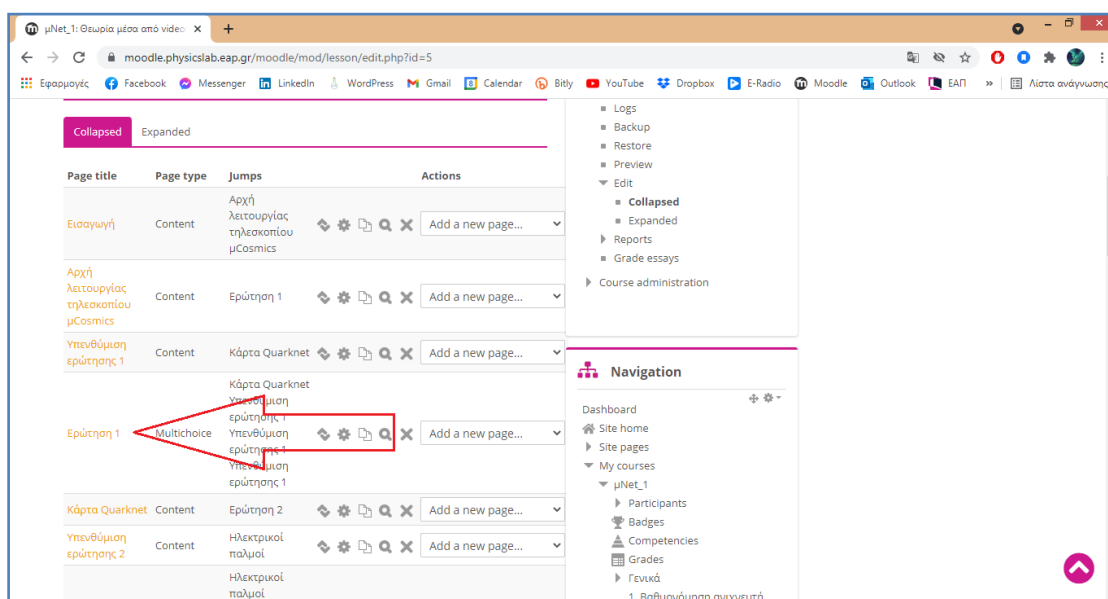
Θα επιστρέψουμε σε αυτόν τον κώδικα αφού ανεβάσουμε τις ερωτήσεις που ακολουθούν του video.

Στο τέλος επιλέγουμε **Save page** στο κάτω μέρος της σελίδας.

6.3 Upload Ερωτήσεων συνδεδεμένων με το Video

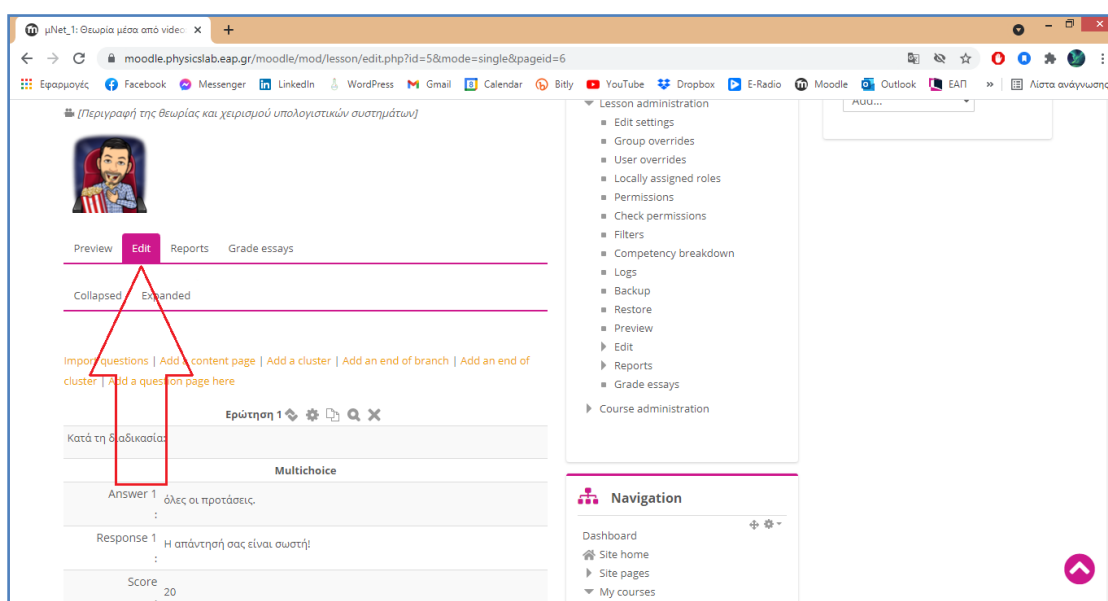
Μετά το Video ακολουθεί μία ερώτηση. Μπορούμε να προσθέσουμε όσες ερωτήσεις θέλουμε και με όποια μορφή (συμπλήρωσης κενού, πολλαπλής επιλογής κλπ). Έχουμε επιλέξει να έχουμε ερώτηση πολλαπλής επιλογής ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχος της απάντησης.

Ας δούμε πως μπορούμε να γράψουμε την ερώτηση στη σωστή θέση. Έχοντας αντιγράψει ολόκληρη την καρτέλα ώστε να φορτώσουμε το νέο video κληρονομήσαμε, εκτός από τις ρυθμίσεις και την ερώτηση του προηγούμενου. Το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να αντικαταστήσουμε αυτήν με τη νέα ερώτηση. Μπαίνοντας στην Ερώτηση:



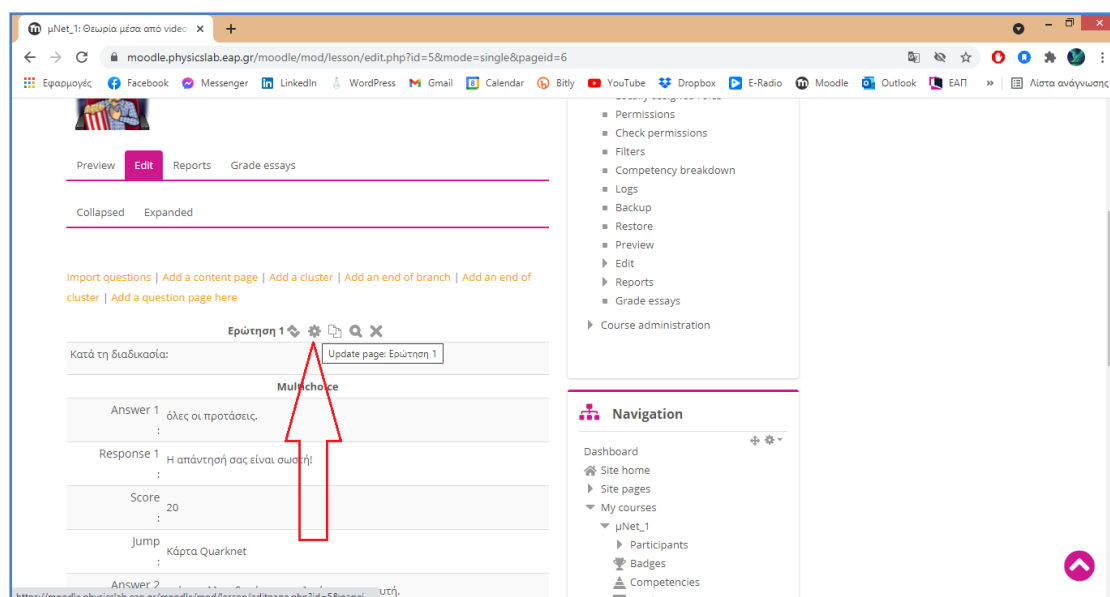
The screenshot shows the Moodle course editor interface. The main table lists the course pages. The 'Ερώτηση 1' row is highlighted with a red box, and a red arrow points to the 'Edit' icon (a pencil) in the 'Actions' column. The right sidebar shows the 'Navigation' menu with options like 'Dashboard', 'Site home', 'Site pages', 'My courses', and 'µNet_1'.

επιλέγουμε το **Edit**:



The screenshot shows the Moodle course editor interface for editing a question. The 'Edit' button in the top navigation bar is highlighted with a red box, and a red arrow points to the 'Edit' icon in the 'Actions' column. The right sidebar shows the 'Lesson administration' menu with options like 'Edit settings', 'Group overrides', 'User overrides', 'Locally assigned roles', 'Permissions', 'Check permissions', 'Filters', 'Competency breakdown', 'Logs', 'Backup', 'Restore', 'Preview', 'Edit', 'Reports', 'Grade essays', and 'Course administration'.

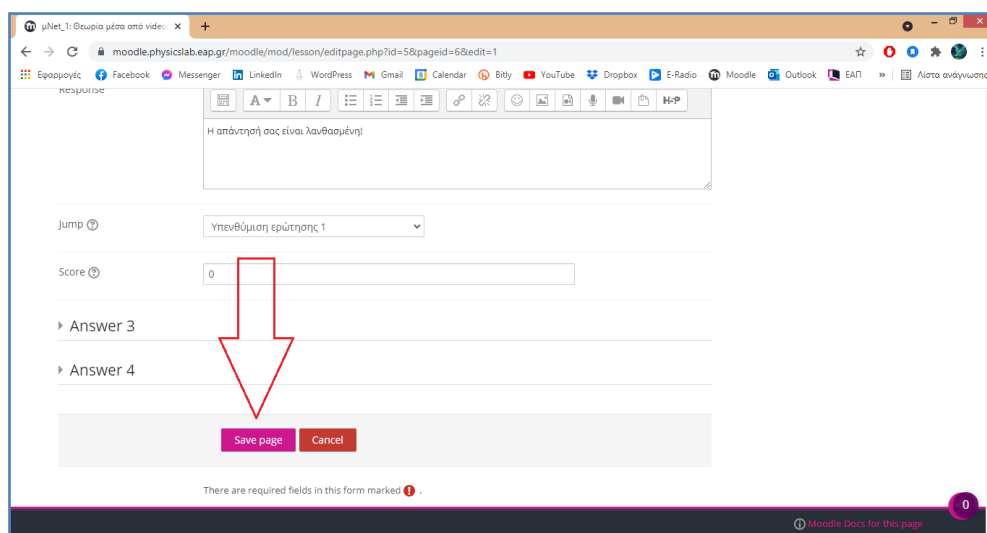
στη συνέχεια Update page:



όπου καταγράφουμε τη νέα ερώτηση καθώς και τις επιλογές απαντήσεων. Γράφουμε τη σωστή επιλογή στην Απάντηση 1 και τις λάθος στις επόμενες. Η πλατφόρμα διαθέτει σύστημα τυχαιοποίησης απαντήσεων και θα τοποθετεί σε διαφορετική θέση κάθε φορά τη σωστή απάντηση. Μετά την Απάντηση 1 ακολουθεί το "Η απάντησή σας είναι Σωστή" ενώ μετά τις απαντήσεις 2,3 και 4 το "Η απάντησή σας είναι Λανθασμένη."

Μετά από κάθε Σωστή απάντηση του χρήστη η διαδικασία προχωρά με το επόμενο Video. Μετά από κάθε Λανθασμένη απάντηση προβάλλεται το ίδιο Video ακριβώς στο σημείο που βρίσκεται η σωστή Απάντηση. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να ρυθμίσουμε σε ποιο ακριβώς δευτερόλεπτο θα πρέπει να γίνει play το video. Γι' αυτό το λόγο έχουμε επιλέξει μετά από κάθε λανθασμένη απάντηση την επιλογή "Jump to.. Υπενθύμιση Ερώτησης".

Στο τέλος κάθε αλλαγής επιλέγουμε **Save page**.



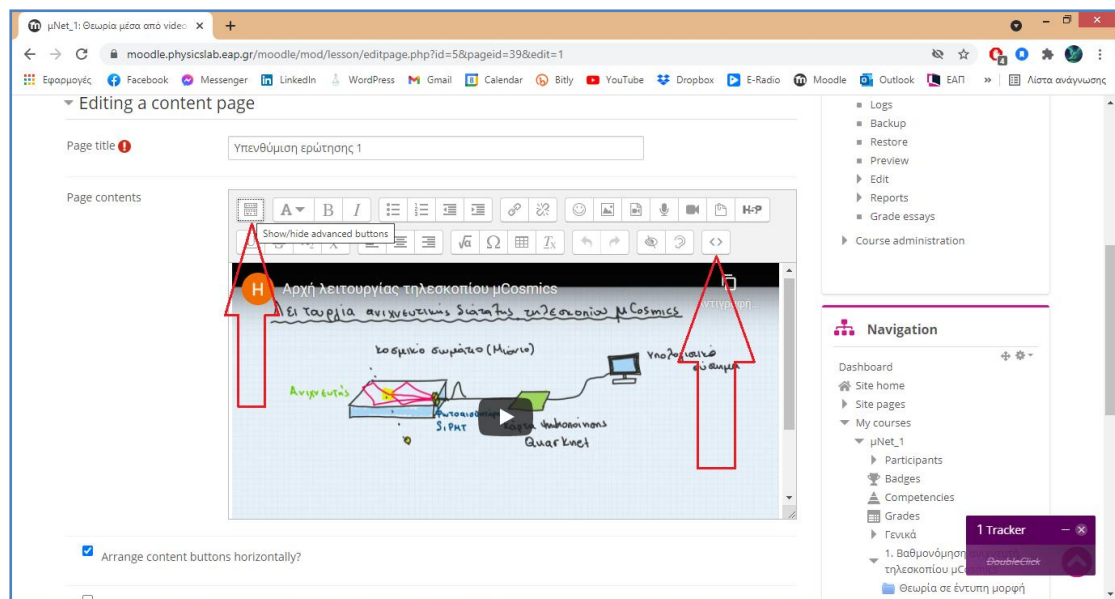
Θα πρέπει τώρα να ρυθμίσουμε την "Υπενθύμιση Ερώτησης". Πρόκειται για την ερώτηση που εμφανίζεται μετά το βίντεο.

Τίτλος σελίδας	Τύπος σελίδας	Άλλα	Ενέργειες
Εισαγωγή	Περιεχόμενο	Αρχή λειτουργίας τηλεσκοπίου μCosmics	Προσθήκη νέας
Αρχή λειτουργίας τηλεσκοπίου μCosmics	Περιεχόμενο	Ερώτηση 1	Προσθήκη νέας
Υπενθύμιση ερώτησης 1	Περιεχόμενο	Κάρτα Quarknet	Προσθήκη νέας
Ερώτηση 1	Πολυεπιλογή	Κάρτα Quarknet Υπενθύμιση ερώτησης 1 Υπενθύμιση ερώτησης 1 Υπενθύμιση ερώτησης 1	Προσθήκη νέας
Κάρτα Quarknet	Περιεχόμενο	Ερώτηση 2	Προσθήκη νέας
Υπενθύμιση ερώτησης 2	Περιεχόμενο	Ηλεκτρικοί πόλμοι	Προσθήκη νέας
		Ηλεκτρικοί	

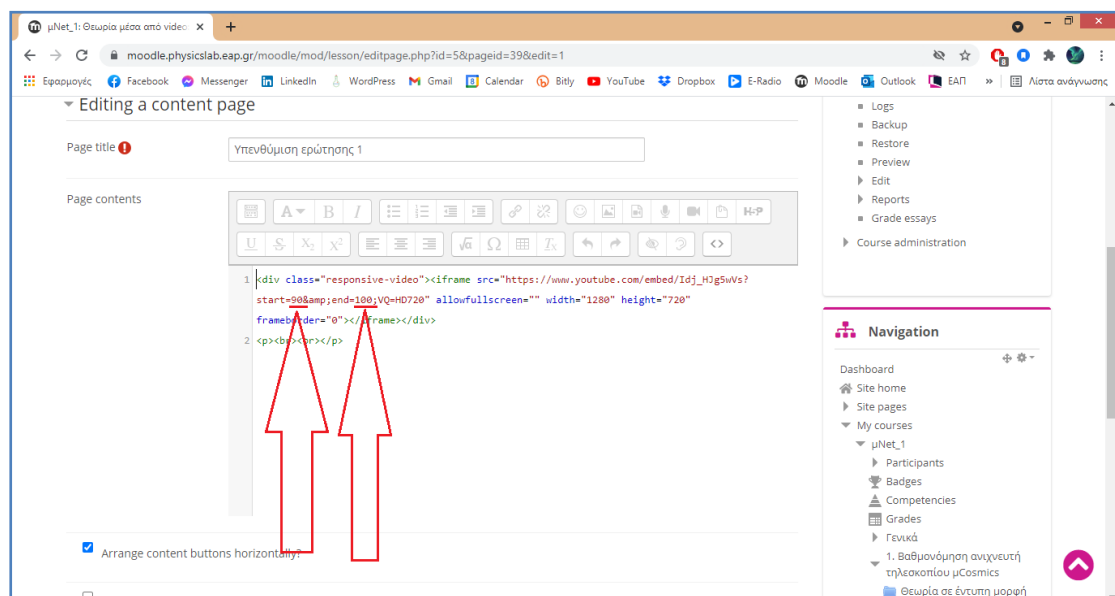
Αφού πατήσουμε Υπενθύμιση Ερώτησης πηγαίνουμε στην καρτέλα Edit πατάμε το **Update page**:

Update page: Υπενθύμιση ερώτησης 1

Στον κειμενογράφο επιλέγουμε **Show/hide advanced buttons** και κατόπιν **HTML**:



Στον κώδικα του Video και αφού έχουμε βρει σε ποιο δευτερόλεπτο βρίσκεται η σωστή απάντηση και σε ποιο τελειώνει, την γράφουμε (προσοχή θα πρέπει να μετατρέψουμε τη χρονική στιγμή σε δευτερόλεπτα, πχ. 1:24 = 84 sec, δηλαδή η σωστή απάντηση βρίσκεται στο 84) αντίστοιχα στις θέσεις:

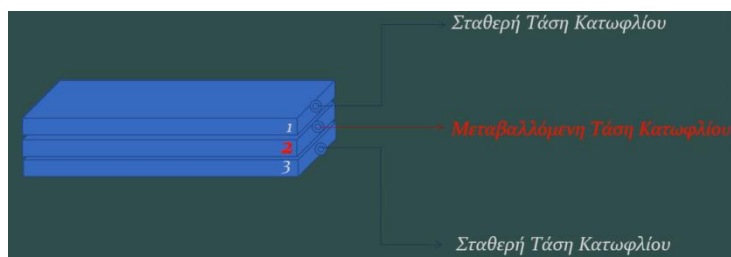


7. Το πείραμα

7.1 Μέρος Α: Βαθμονόμηση ανιχνευτικής μονάδας

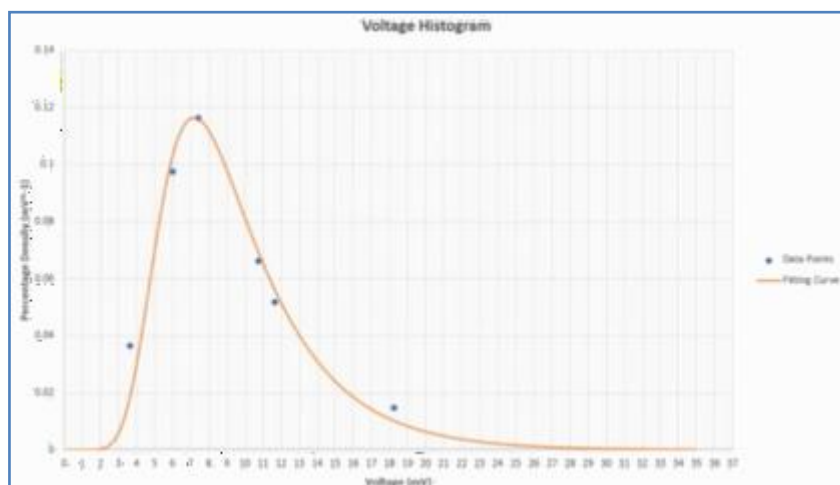
Στη διαδικασία βαθμονόμησης της ανιχνευτικής μονάδας αρχικά μελετάμε την απόκρισή της όταν τη διαπεράσει ένα ατμοσφαιρικό μίονιο. Σκοπός μας είναι να εκτιμήσουμε την κατανομή του ύψους (peak) των παλμών που καταγράφονται όταν ένα μίονιο διέλθει μέσα από την ανιχνευτική μονάδα. Το ύψος του παλμού είναι γνωστό ότι ακολουθεί κατανομή Landau. Επομένως με τη βαθμονόμηση αυτή αφενός οι μαθητές επιβεβαιώνουν την ύπαρξη των ατμοσφαιρικών μιονίων που διαπερνούν συνεχώς το σώμα τους και αφ' αιτέρου ότι η απόκριση του ανιχνευτή δεν είναι σταθερή από γεγονός σε γεγονός.

Τοποθετώντας τους τρεις ανιχνευτές τον έναν πάνω στον άλλον δημιουργούμε μια διάταξη που ονομάζεται οδοσκόπιο. Επιλέγοντας γεγονότα όπου ο $1^{\text{ος}}$ και ο $3^{\text{ος}}$ ανιχνευτής (οι εξωτερικοί δηλαδή) δίνουν ηλεκτρικό παλμό αρκετά μεγάλο (ώστε να εξασφαλίσουμε ότι προήλθαν και οι δύο από το ίδιο διερχόμενο μίονιο και όχι από θόρυβο) μετράμε το ποσοστό των γεγονότων που ο υπό εξέταση ανιχνευτής έδωσε παλμό πάνω από ένα κατώφλι. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα αντίστοιχα ποσοστά σε άλλα διαφορετικά κατώφλια (**Εικόνα 7.1**). Από τα ποσοστά που έχουμε καταγράψει για τα διάφορα κατώφλια μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανομή του ύψους των παλμών. Ακολουθώντας τοποθετούμε διαδοχικά και τους άλλους ανιχνευτές στη μέση και επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία.



(Εικόνα 7.1) Οδοσκόπιο

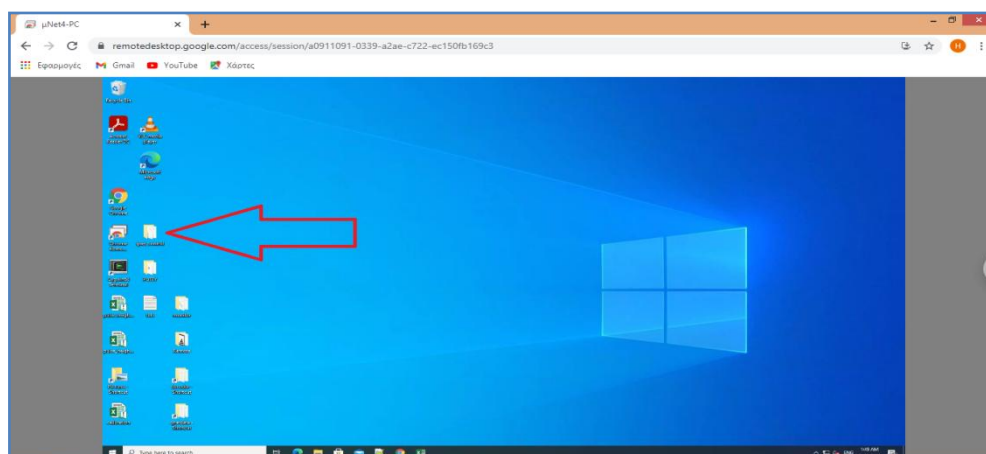
Για παράδειγμα στην **Εικόνα 7.2** φαίνεται η κατανομή του ύψους παλμών για μία από τις ανιχνευτικές μονάδες.



(Εικόνα 7.2) Κατανομή ύψους παλμών

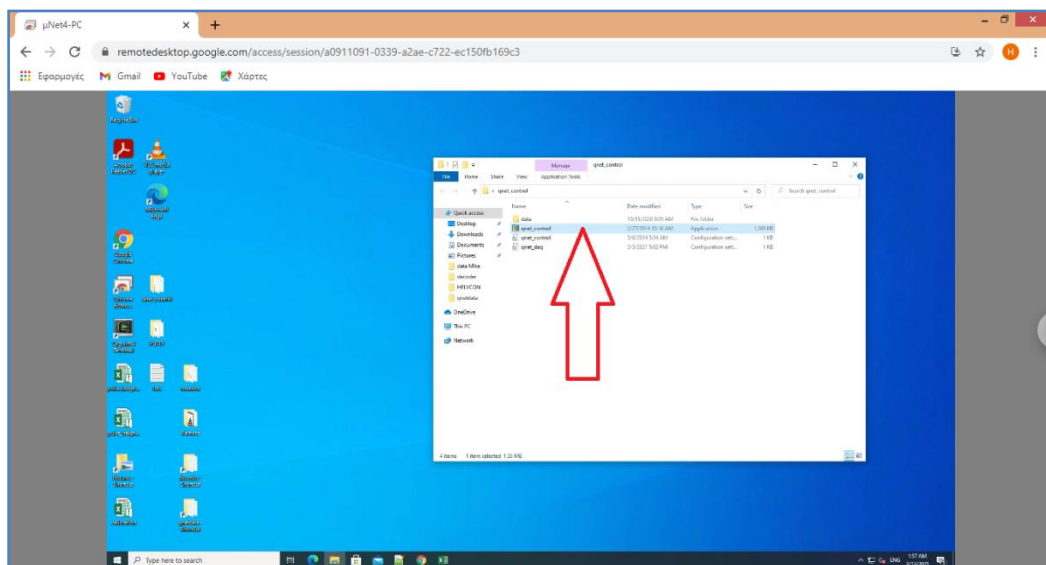
7.2 Πρόσβαση στο λογισμικό της κάρτας QuarkNet

Για την έναρξη της παρακάτω διαδικασίας θεωρούμε πως ο υπολογιστής του σταθμού είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο και είναι προσβάσιμος μέσω του Google Chrome. Στην Επιφάνεια Εργασίας του υπολογιστή (**Εικόνα 7.3**) υπάρχει ο φάκελος με όνομα **qnet_control**.

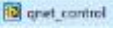


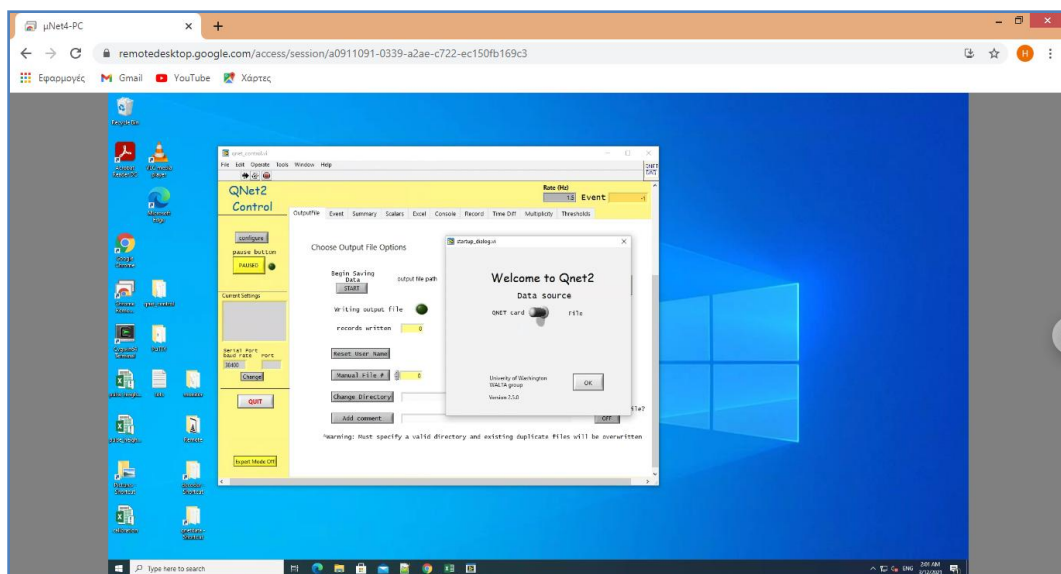
(Εικόνα 7.3) Φάκελος qnet_control

Με διπλό κλικ μπαίνουμε σε αυτόν. Εκεί υπάρχει το αρχείο .exe με όνομα **qnet_control** (**Εικόνα 7.4**) το οποίο μας βάζει στο λογισμικό της κάρτας QuarkNet.



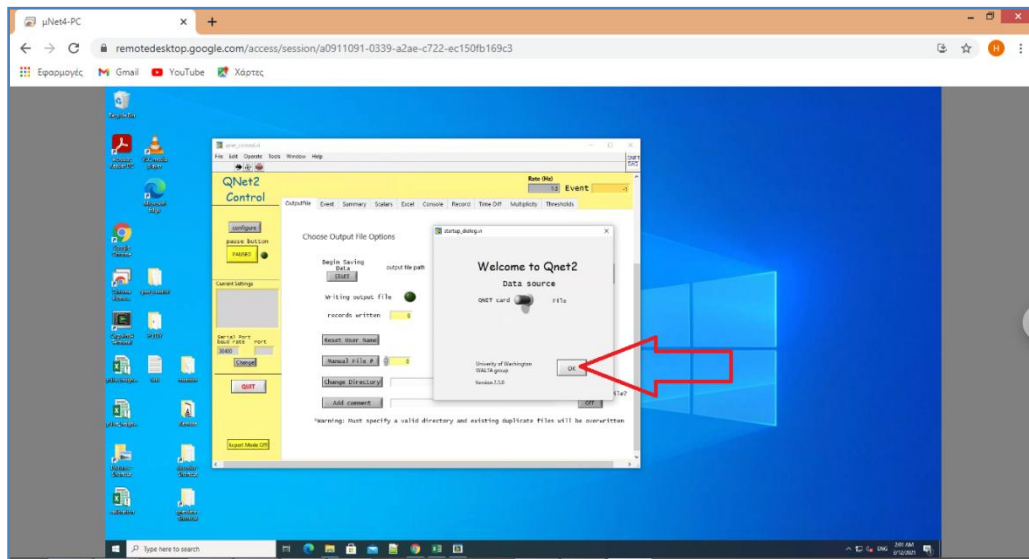
(Εικόνα 7.4) qnet_control.exe

Με διπλό κλικ στο εικονίδιο **qnet_control** (αρχείο .exe μεγέθους 1360 kB με χρωματιστό εικονίδιο ) εμφανίζεται το πρόγραμμα χειρισμού της κάρτας QuarkNet. (Εικόνα 7.5)



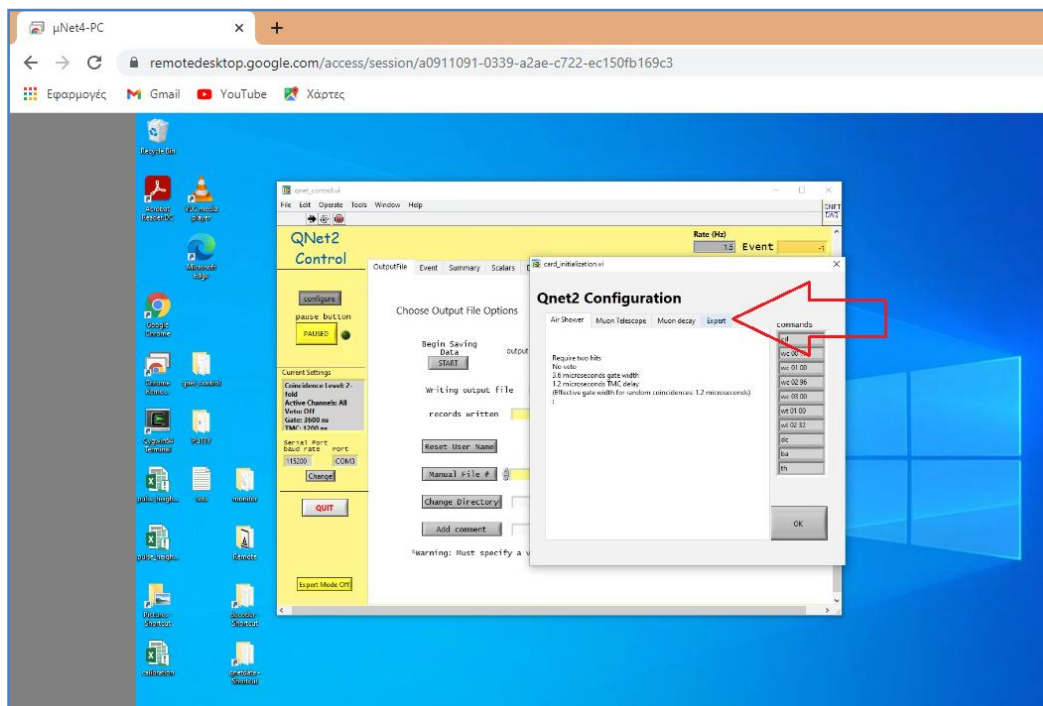
(Εικόνα 7.5) Πρόγραμμα χειρισμού της κάρτας

Στο παράθυρο καλωσορίσματος ο διακόπτης πρέπει να βρίσκεται στη θέση QNET card. Πατάμε **OK** ώστε να κλείσουμε το παράθυρο καλωσορίσματος. (Εικόνα 7.6)



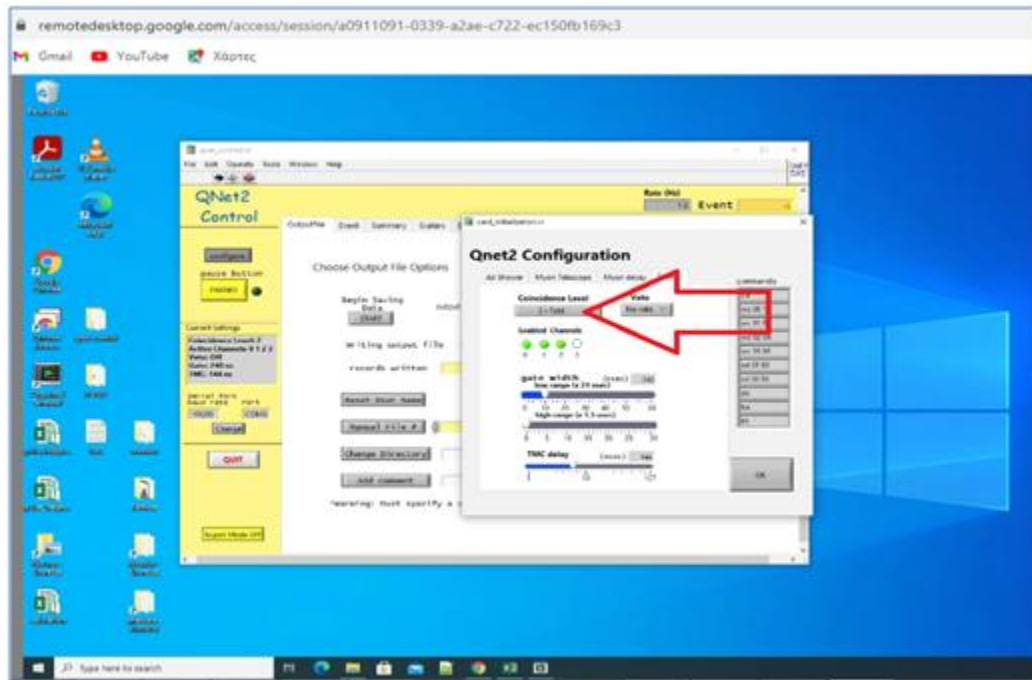
(Εικόνα 7.6) Παράθυρο καλωσορίσματος

Εμφανίζεται το παράθυρο Qnet2 Configuration (Εικόνα 7.7). Επιλέγουμε το παράθυρο **Expert** για να ρυθμίσουμε την κάρτα, πριν την εκκίνηση της καταγραφής γεγονότων.



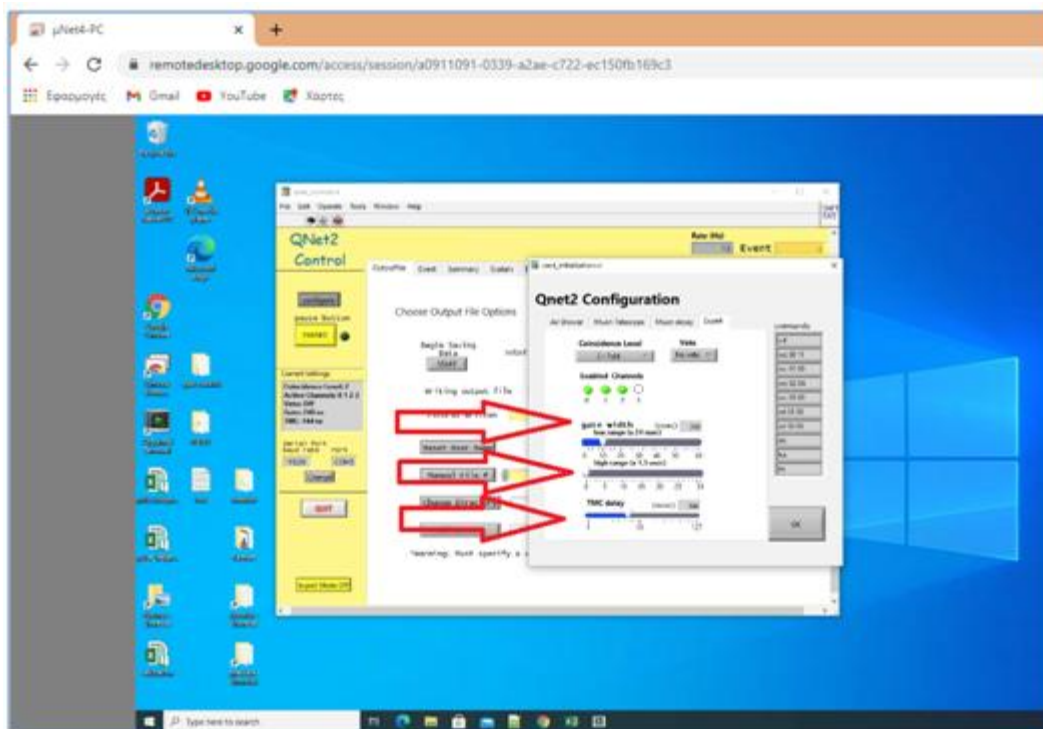
(Εικόνα 7.7) Qnet2 Configuration

Στο Coincidence Level επιλέγουμε **2-fold** (Εικόνα 7.8). Με την επιλογή αυτή δίνουμε εντολή στην κάρτα να καταγράφει όλα τα γεγονότα, που γίνονται αντιληπτά ταυτόχρονα από δύο εκ των τριών ανιχνευτών της διάταξής μας. Είναι δυνατοί όλοι οι συνδυασμοί (κανάλια 0 – 1, 0 – 2, 1 – 2). Το κανάλι 3 δεν μας ενδιαφέρει, μιας και δε συνδέουμε σε αυτό κάποιον ανιχνευτή συνεπώς δεν το επιλέγουμε.



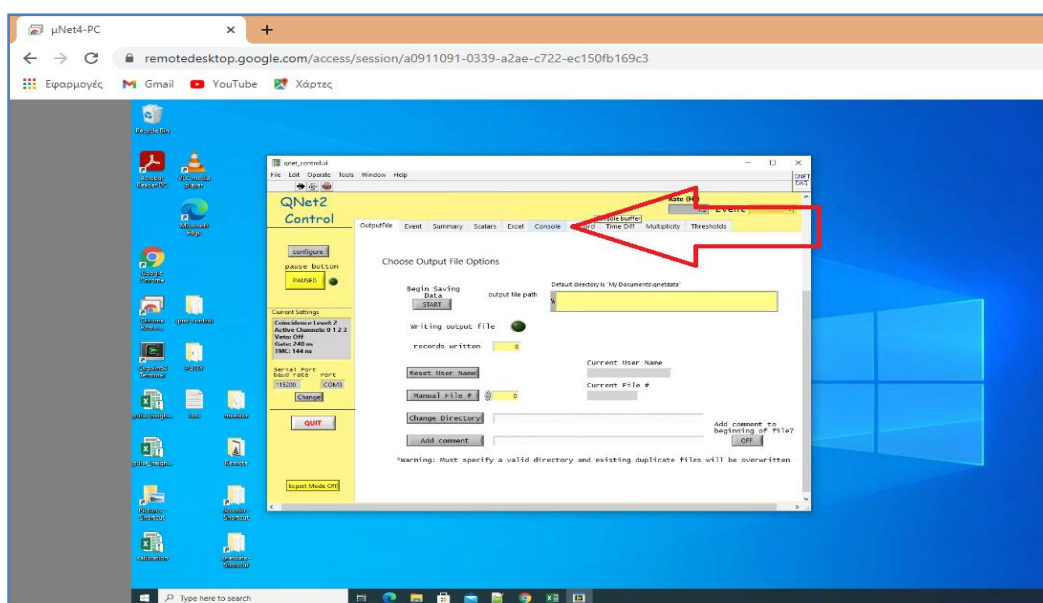
(Εικόνα 7.8) 2-fold

Θέτουμε gate width 2400, high range 1 και TMC delay 144 (Εικόνα 7.9). Οι μονάδες είναι σε nsec και επί της ουσίας καθορίζουν τα «παράθυρα» (τα εύρη) χρόνου μεταξύ των γεγονότων που η κάρτα θα καταμετρά ως γεγονότα που ανήκουν στον ίδιο καταιονισμό. Πατάμε **OK**.



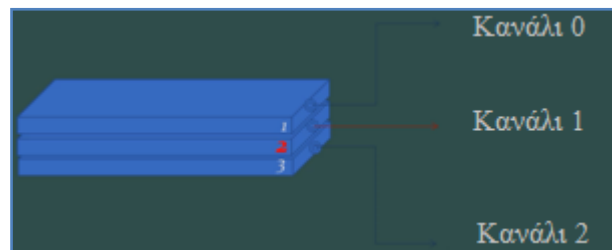
(Εικόνα 7.9) Gate width 2400, high range 1 και TMC delay 144

Τώρα θα ανοίξει το κυρίως μενού της κάρτας καταγραφής Quarknet όμως δεν θα μας απασχολήσουν όλες οι δυνατές επιλογές της καρτέλας OutPutFile και θα επιλέγουμε το παράθυρο **Console** (Εικόνα 7.10), όπου και θα ρυθμίσουμε τις τάσεις κατωφλίου για κάθε σειρά μετρήσεων στους ανιχνευτές μας. Αφού πατήσουμε START γίνεται αποθήκευση.



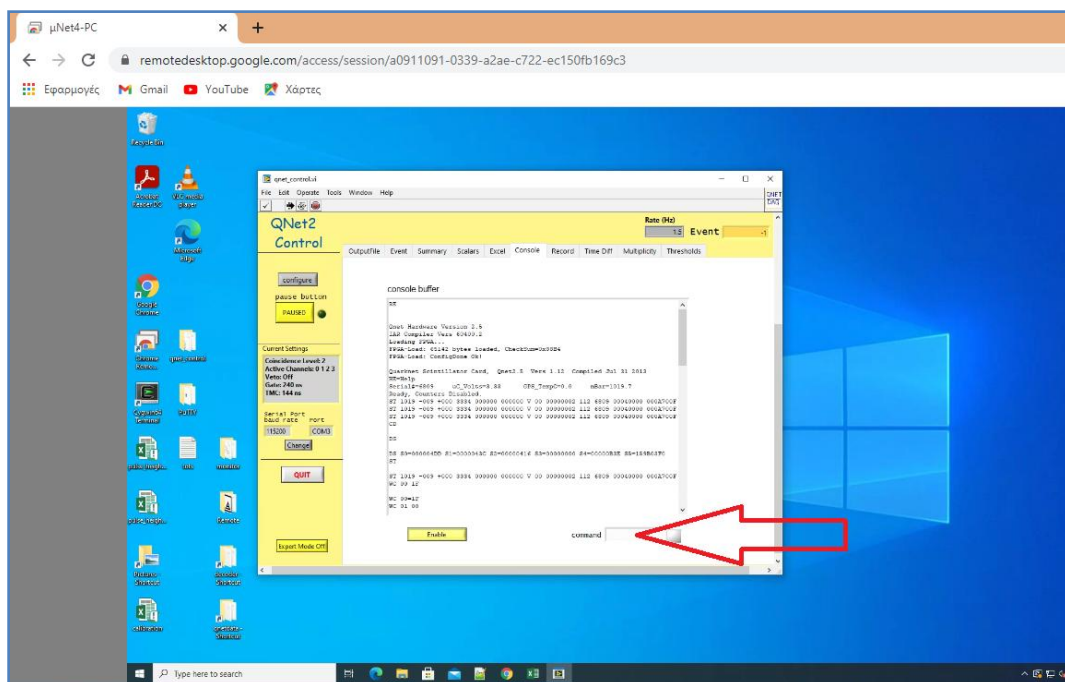
(Εικόνα 7.10) Console

Εδώ, επειδή μελετάμε τον ανιχνευτή του καναλιού 1 (δηλαδή το μεσαίο ανιχνευτή που είναι συνδεδεμένος στο κανάλι 1), θα θέσουμε σταθερές τιμές τάσης κατωφλίου για τα κανάλια 0 και 2 (των πάνω και κάτω ανιχνευτών) και θα αλλάζουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα την τάση κατωφλίου στο κανάλι 1 (ανιχνευτής 2). Θεωρούμε πως ο πάνω ανιχνευτής (No1) είναι συνδεδεμένος στο κανάλι 0, ο μεσαίος (No 2) στο κανάλι 1 και ο κάτω (No 3) στο κανάλι 2. **(Εικόνα 7.11)**



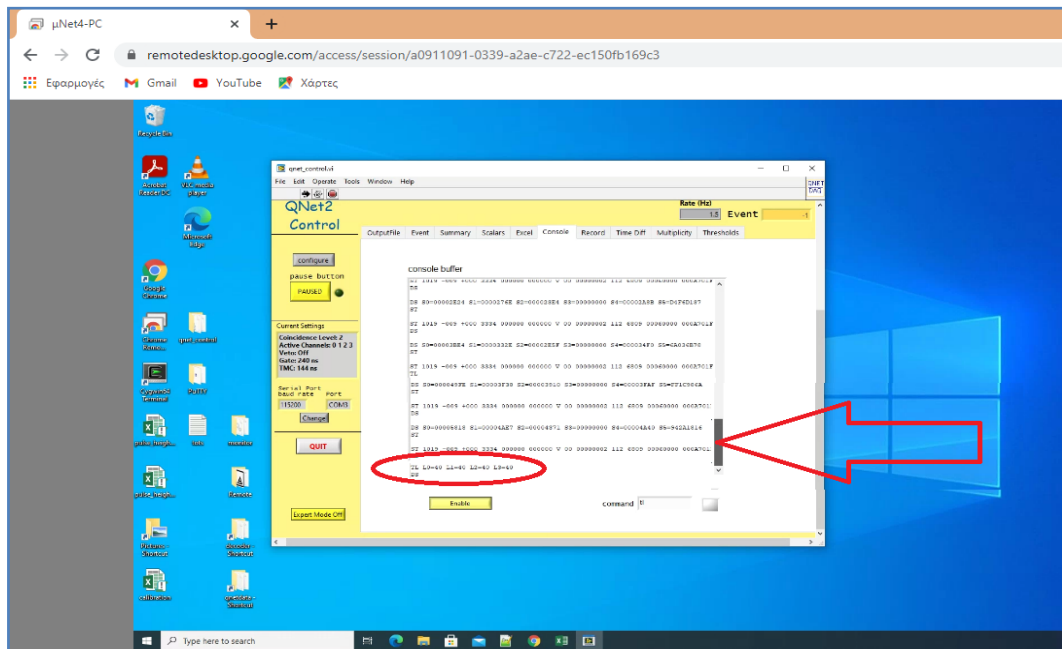
(Εικόνα 7.11) Αντιστοιχία ανιχνευτών - καναλιών

Κάτω δεξιά, στο παράθυρο **command** (Εικόνα 7.12) πληκτρολογούμε την εντολή **tl** που σημαίνει Threshold level και πατάμε στο πληκτρολόγιο **Enter**.



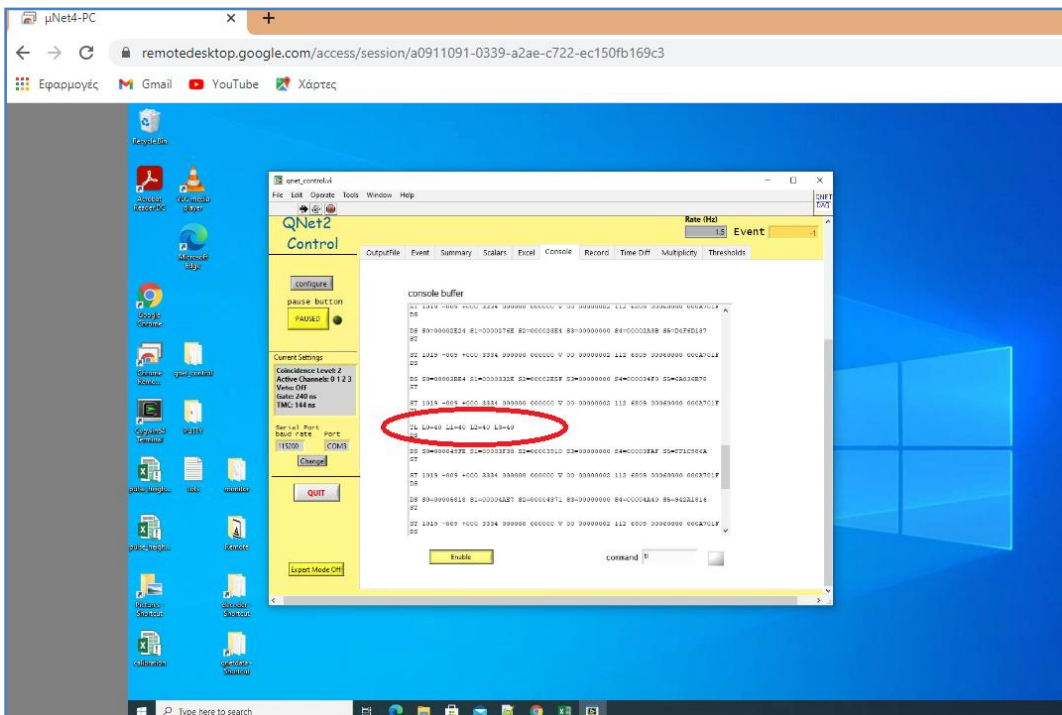
(Εικόνα 7.12) Παράθυρο command

Με το ποντίκι κατεβάζουμε τη μπάρα ώστε να φτάσουμε στην τελευταία γραμμή των πληροφοριών (**Εικόνα 7.13**) ώστε να δούμε τα TL του κάθε καναλιού.



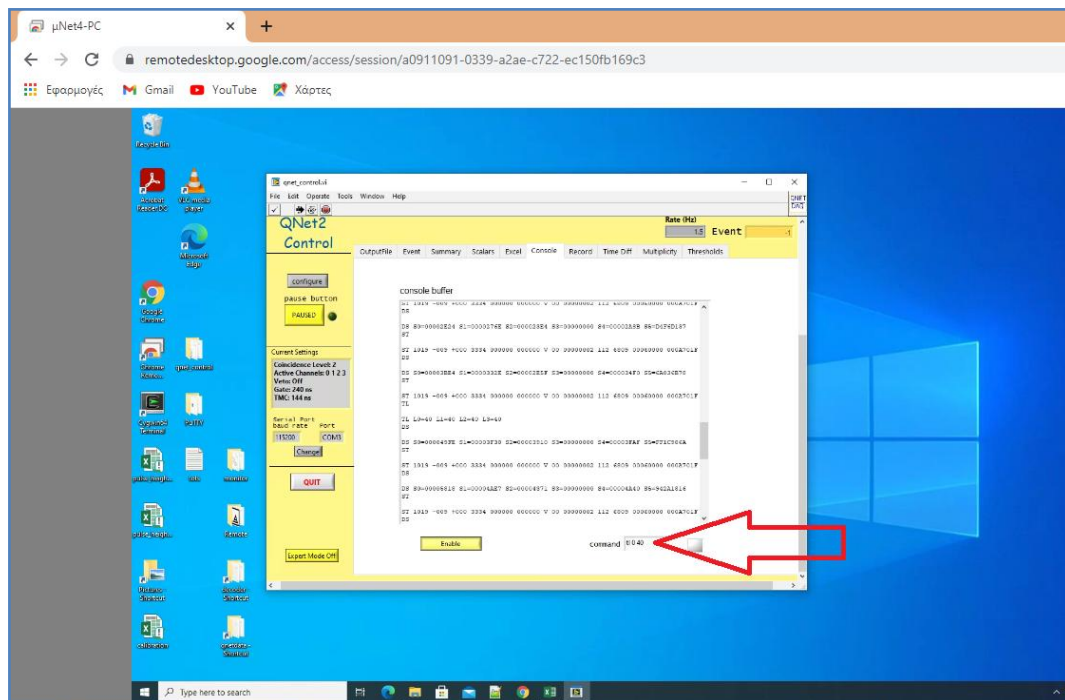
(Εικόνα 7.13) Τελευταία γραμμή των πληροφοριών

Ενδεχομένως οι πληροφορίες που ψάχνουμε για τα TL (**Εικόνα 7.14**) των καναλιών να βρίσκεται λίγο παραπάνω:



(Εικόνα 7.14) TL καναλιών

Εμείς θα αλλάξουμε τις τιμές στις δικές μας προτιμήσεις. Πηγαίνουμε στο παράθυρο Command και γράφουμε **tl 0 40 (Εικόνα 7.15)** (δηλαδή καθορίζουμε την τιμή του tl στο κανάλι 0 -πάνω ανιχνευτή- ίση με 40) και πατάμε **Enter**.

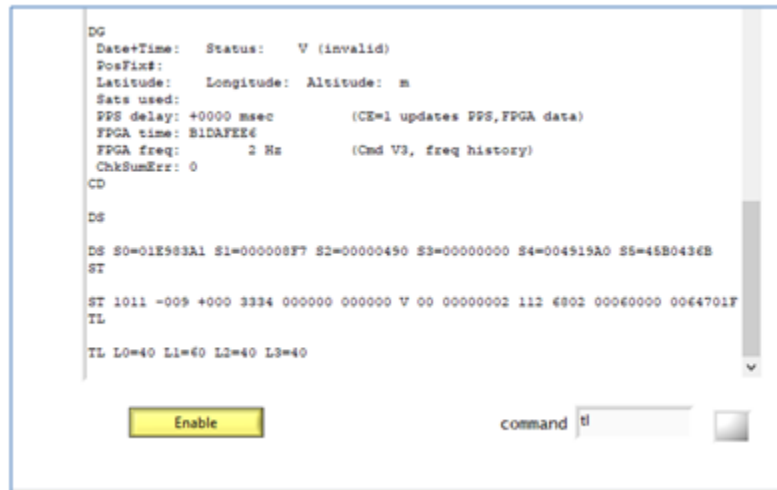


(Εικόνα 7.15) Ορισμός νέου tl

Έπειτα κάνουμε το ίδιο για τον επόμενο κανάλι. Και πάλι στο παράθυρο Command γράφουμε **tl 1 60** (δηλαδή καθορίζουμε την τιμή του tl στο κανάλι 1 - μεσαίου ανιχνευτή- ίση με 60) και πατάμε **Enter**.

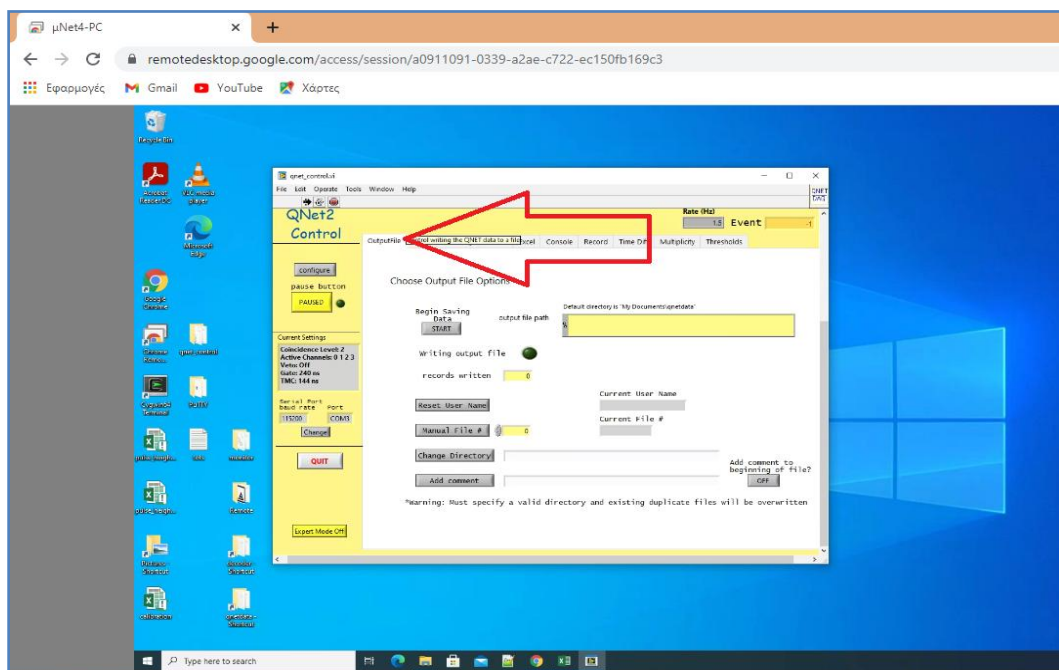
Τέλος πράττουμε το αυτό για τον 3^ο ανιχνευτή: στο παράθυρο Command γράφουμε **tl 2 40** και πατάμε **Enter**.

Ελέγχουμε τις τιμές μας δίνοντας μια τελευταία φορά την εντολή **tl** και πατάμε στο πληκτρολόγιο **Enter**. Με το ποντίκι κατεβάζουμε τη μπάρα ώστε να φτάσουμε στην τελευταία γραμμή των πληροφοριών ώστε να δούμε τα νέα TL (Εικόνα 7.16) που ορίσαμε για κάθε κανάλι.



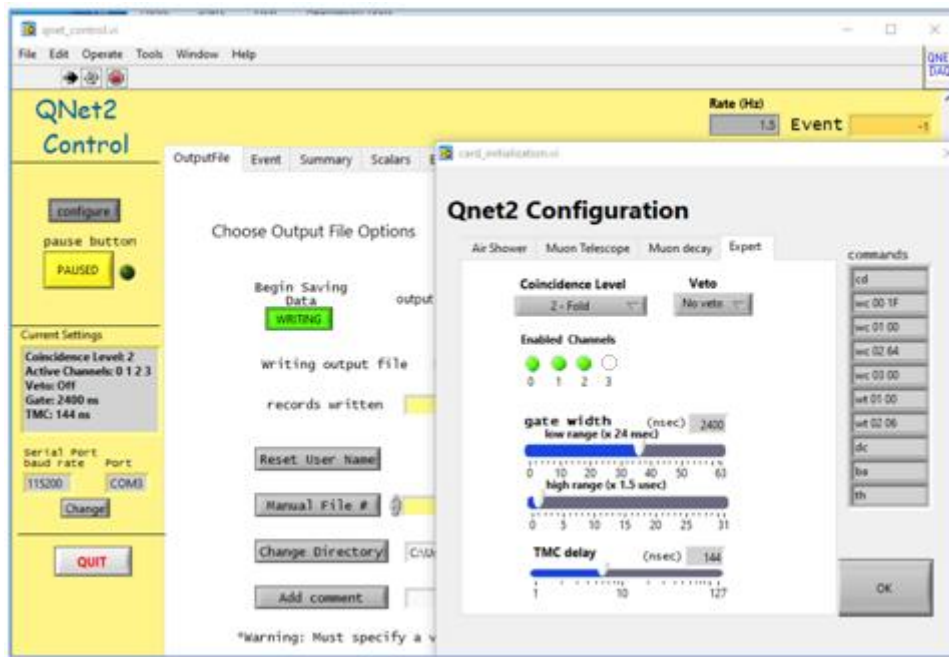
(Εικόνα 7.16) Νέες τιμές TL

Αφού τελειώσουμε με τις ρυθμίσεις των τάσεων, επιλέγουμε την καρτέλα **OutputFile** (Εικόνα 7.17)



(Εικόνα 7.17) OutputFile

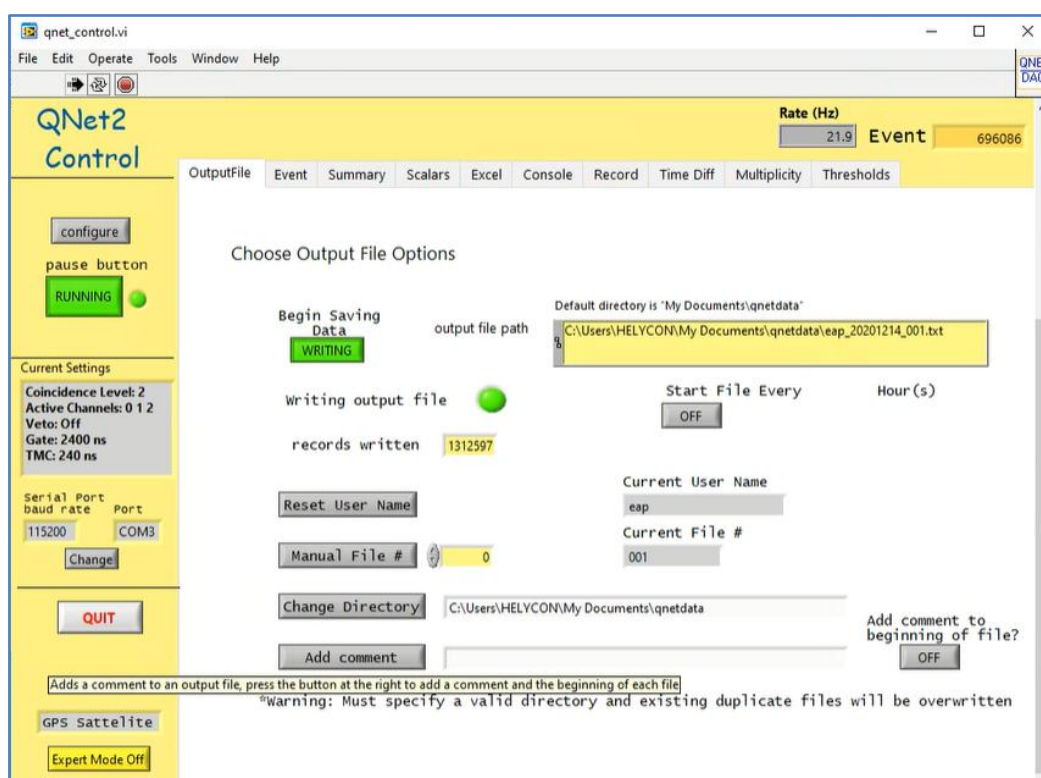
Πατάμε το πλήκτρο **START** σε γκρι φόντο κι αμέσως αρχίζει η καταγραφή γεγονότων. Το πλήκτρο START μετονομάζεται σε **WRITING**, με πράσινο φόντο. Επανεμφανίζεται η κάρτα Qnet2 Configuration (Εικόνα 7.18), προς επιβεβαίωση των επιλογών μας και πατάμε **OK**.



(Εικόνα 7.18) Qnet2 Configuration

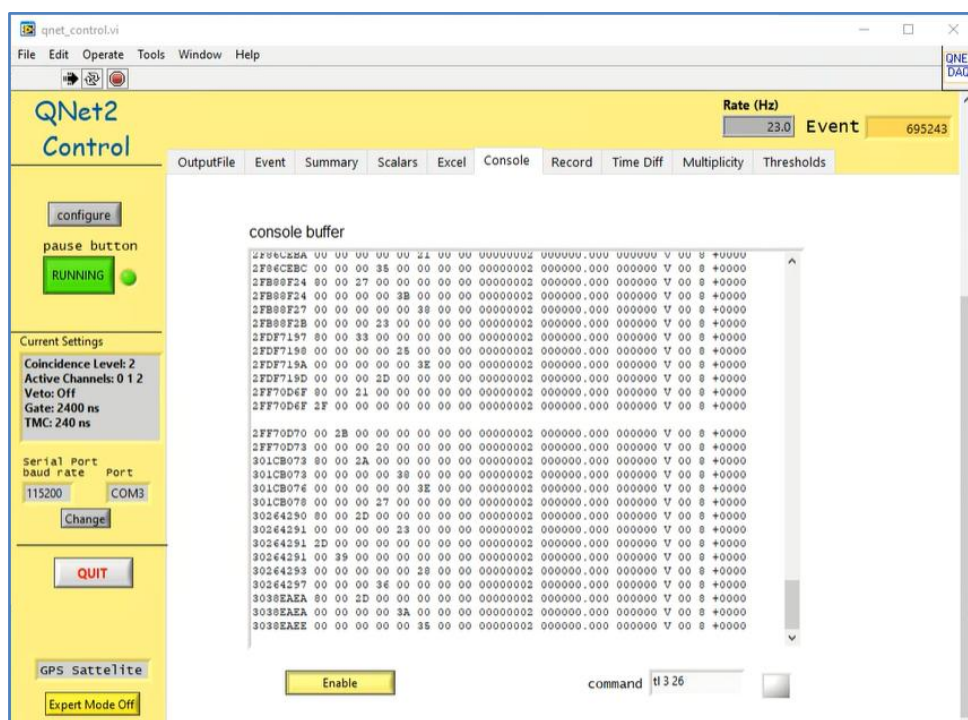
Η κάρτα τώρα καταγράφει, αλλά ακόμα δεν αποθηκεύει δεδομένα. Πριν την έναρξη της αποθήκευσης συνηθίζουμε να επιστρέφουμε στην καρτέλα Console και δίνουμε ξανά την εντολή tl, ώστε να αποθηκευτούν οι επιλογές και στο αρχείο που θα εγγραφούν τα δεδομένα.

Για την έναρξη αποθήκευσης των δεδομένων πατάμε στο πλήκτρο **PAUSED** της καρτέλας OutputFile, που αρχικά βρίσκεται σε κίτρινο φόντο. Με το πάτημα, μετονομάζεται σε **RUNNING** (Εικόνα 7.19), με πράσινο φόντο κι αρχίζει η αποθήκευση των δεδομένων σε αρχείο.



(Εικόνα 7.19) Το PAUSED έχει μετονομαστεί σε RUNNING

Κατά τη διάρκεια της καταγραφής γεγονότων μπορούμε να βλέπουμε στην καρτέλα Console την εξέλιξη της καταγραφής (Εικόνα 7.20).



(Εικόνα 7.20) Εξέλιξη καταγραφής

Μετά την παρέλευση του προσυμφωνημένου χρόνου (π.χ. 6 ώρες) πρέπει να αλλάξουμε το tl στο μεσαίο ανιχνευτή ώστε να καταγράψουμε γεγονότα με νέα τάση κατωφλίου. Ακολουθούμε την αντίστροφη διαδικασία: Πατάμε το πλήκτρο **RUNNING**, οπότε σταματά η αποθήκευση δεδομένων. Κι αυτόματα μετατρέπεται σε **PAUSED**, και μετά το πλήκτρο **WRITING**, οπότε μετατρέπεται σε **START**.

Παύει η καταγραφή γεγονότων κι επιστρέφουμε στην καρτέλα **Console**, όπου και θα ρυθμίσουμε νέα τιμή tl ανάλογα με το βήμα που έχουμε συμφωνήσει. Για παράδειγμα αν έχουμε βήμα 5, πηγαίνουμε στο παράθυρο Command γράφουμε **tl 1 45** (δηλαδή καθορίζουμε την τιμή του tl στο κανάλι 1 -μεσαίου ανιχνευτή- ίση με 45) και πατάμε **Enter**.

Επιστρέφουμε στην καρτέλα **OutputFile**, πατάμε το πλήκτρο **START** το οποίο μετατρέπεται σε **WRITING** και έπειτα το **PAUSED** που μετατρέπεται σε **RUNNING**.

Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι τιμές tl που μας ενδιαφέρουν. Θα χρειαστούμε 12 διαφορετικά TL ώστε να χαράξουμε την κατανομή των παλμών για το συγκεκριμένο ανιχνευτή.

7.3 Επεξεργασία δεδομένων

Ο προκαθορισμένος φάκελος αποθήκευσης των μετρήσεων που έχει το λογισμικό qnet_control είναι ο qnetdata με path (θέση φακέλου)

C:\Users\HELYCON\Documents\qnetdata

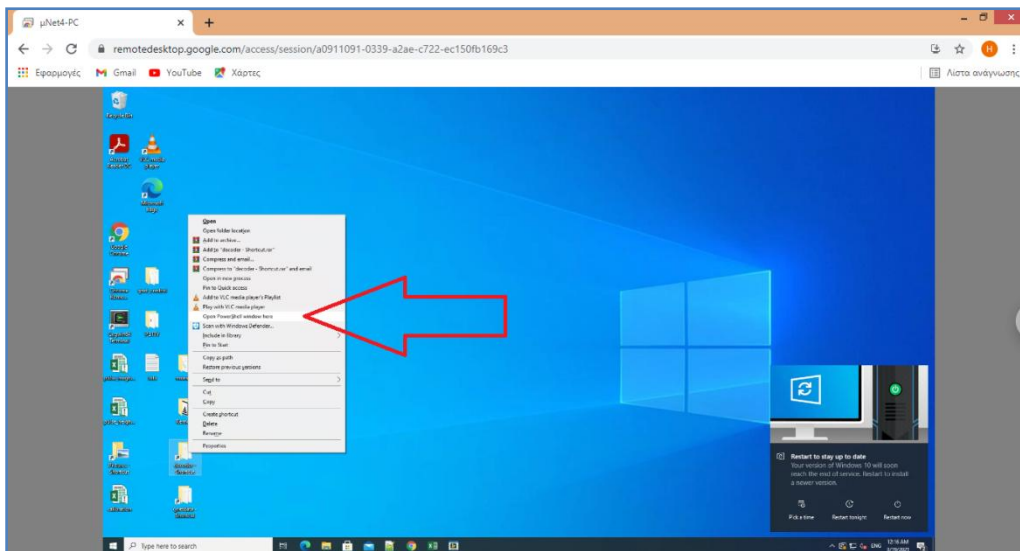
Αν ανοίξουμε ένα αρχείο θα δούμε πως περιέχει αριθμούς δίχως να ξέρουμε τη σημασία τους. Στην πραγματικότητα είναι δεδομένα που εξάγει η κάρτα quarknet σε δεκαεξαδικό σύστημα. Αρχικά θα πρέπει να μετατραπούν τα δεδομένα σε χρήσιμη μορφή τέτοια ώστε να είναι χρήσιμα. Πρόκειται για χρόνους που δίνονται σε δεκαεξαδικό σύστημα και πρέπει να μετατραπούν στο γνωστό μας δεκαδικό. Επιπλέον δεν πρέπει να ξεχνάμε πως μας ενδιαφέρουν οι ταυτόχρονοι παλμοί που καταγράφησαν στα κανάλια 0 και 2 (των πάνω και κάτω ανιχνευτών) έτσι ώστε να μελετήσουμε τι καταγράφηκε τότε στο κανάλι 1, εκεί όπου συνδέεται ο μεσαίος ανιχνευτής. Το σκεπτικό είναι ότι εάν έχουμε παλμό και στο κανάλι 1 τότε σίγουρα θα πέρασε μίονιο αφού είναι εξαιρετικά απίθανο να έχουμε τρία σήματα, σχεδόν ταυτόχρονα, πάνω από το εκάστοτε κατώφλι που να οφείλονται σε θόρυβο. Οπότε χρειαζόμαστε εκείνους τους αριθμούς από το αρχείο όπου δίνουν παλμό τα κανάλια 0 και 2 και επιπλέον θέλουμε οι τιμές να είναι στο δεκαδικό σύστημα. Το εργαστήριο του ΕΑΠ έχει αναπτύξει ένα πρόγραμμα που κάνει ακριβώς αυτή την δουλειά.

Πριν προχωρήσουμε στη διαδικασία μετονομάζουμε το αρχείο που μας ενδιαφέρει αντικαθιστώντας τα τρία τελευταία ψηφία με πληροφορίες που θα μας βοηθήσουν σε παρακάτω βήματα της διαδικασίας. Για παράδειγμα από **eap_20201230_001** σε **eap_20201230_TL_1_85** που σημαίνει πως το αρχείο δημιουργήθηκε στις 30/12/2020, αφορά το κανάλι 1 στο οποίο θέσαμε TL 85.

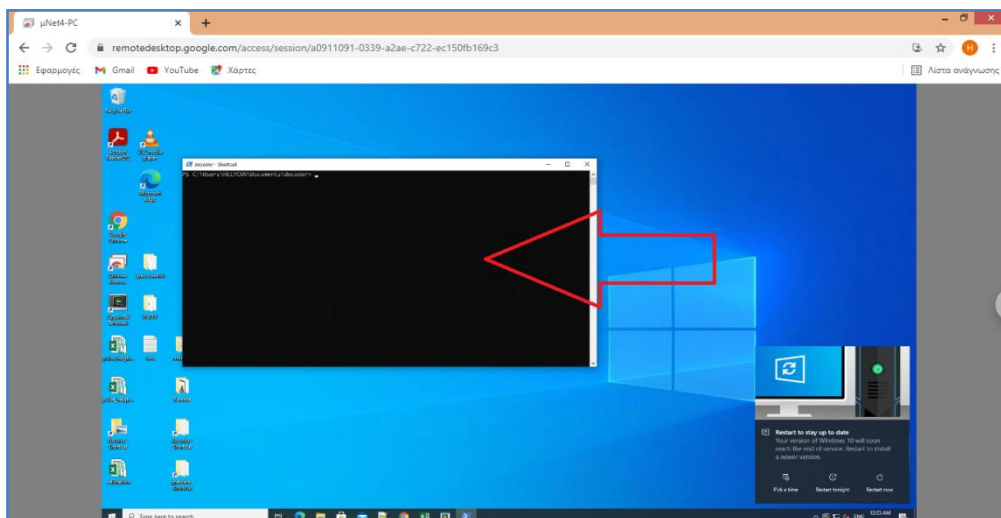
8. Κατανομή ύψους παλμών

8.1 Μετατροπή των δεδομένων σε δεκαδικό σύστημα

Βρισκόμαστε σε απομακρυσμένη πρόσβαση του υπολογιστή μNet4-PC. Στην επιφάνεια εργασίας θα βρείτε μια συντόμευση του φακέλου με όνομα **decoder – Shortcut**. Πατάμε το πλήκτρο Shift του πληκτρολογίου και ταυτόχρονα κάντε δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο. Θα εμφανιστεί ένα μενού όπου πρέπει να πατήσουμε πάνω στο **Open PowerShell window here**.



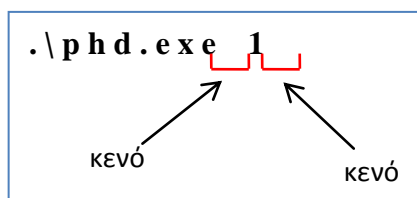
Τότε θα ανοίξει ένα περιβάλλον γραμμής εντολών.



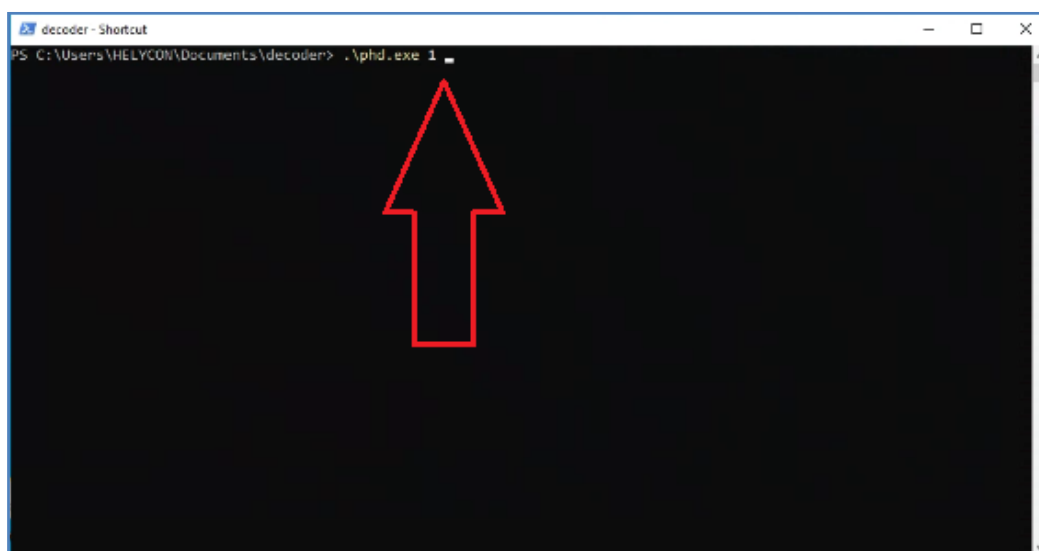
Το πρόγραμμα ονομάζεται phd.exe από το Pulse height distribution. Δέχεται τρία ορίσματα που διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα κενό διάστημα. Το πρώτο όρισμα είναι πάντοτε 1 για τη συγκεκριμένη άσκηση αφού μας ενδιαφέρει το κανάλι 1. Το δεύτερο όρισμα είναι η διαδρομή (path) του αρχείου καταγραφής της κάρτας quarknet που θέλουμε να μετατρέψουμε. Και τέλος το τρίτο όρισμα είναι το όνομα που θέλουμε να δώσουμε στο τελικό αρχείο που θα δημιουργηθεί.

Ξεκινάμε πληκτρολογώντας **.\phd.exe 1**

Προσοχή υπάρχει ένα κενό διάστημα μετά τη λέξη **exe** και άλλο ένα μετά τον αριθμό **1** δηλαδή

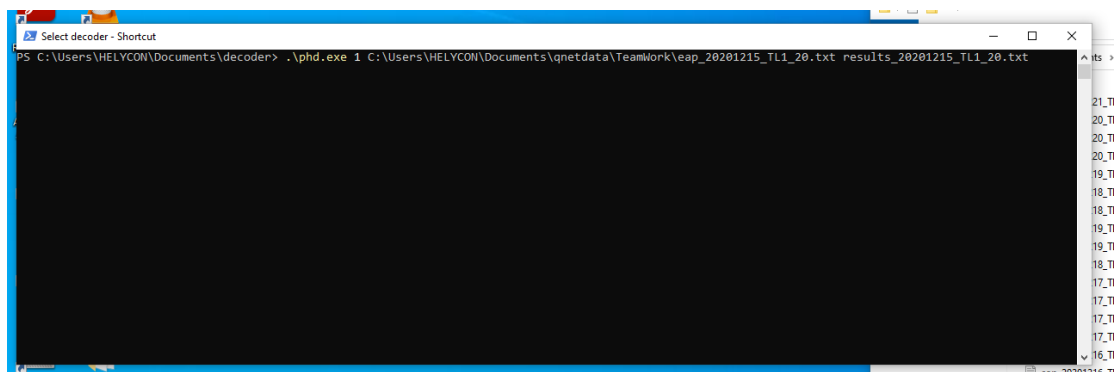
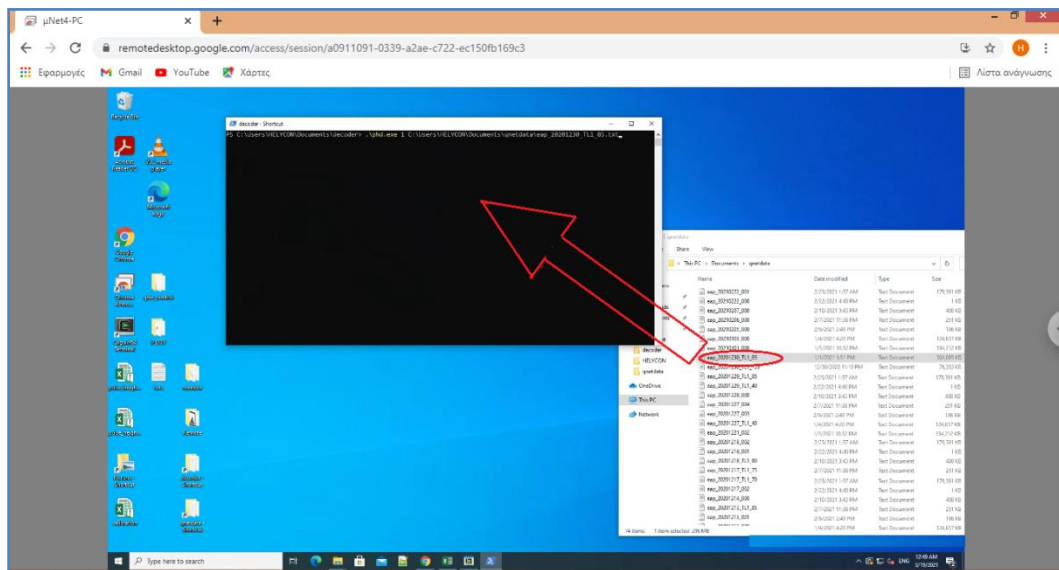


Για ευκολία μπορούμε να πληκτρολογήσουμε μόνο το **ph** και να πατήσουμε το πλήκτρο Tab στο πληκτρολόγιο. Το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται πως θέλουμε να γράψουμε **.\phd.exe 1** και το συμπληρώνει αυτόματα το **.\phd.exe** οπότε πληκτρολογούμε μόνο **το κενό διάστημα 1 κενό διάστημα.**



Τώρα πρέπει να τραβήξουμε από το φάκελο όπου υπάρχουν τα αρχεία που εξάγει η κάρτα Quarknet (C:\Users\HELYCON\Documents\qnetdata) το αρχείο που μας ενδιαφέρει. Το πετυχαίνουμε με αριστερό κλικ στο αρχείο και κρατώντας το, το

μεταφέρουμε στη μαύρη οθόνη του decoder. ΠΡΟΣΟΧΗ! Μετά τον αριθμό **1** πρέπει να υπάρχει κενό διάστημα πριν τραβήξουμε το αρχείο μέσα στο decoder. Μπορούμε να κινούμε τον κέρσορα στη γραμμή μόνο με τα βελάκια και όχι με το ποντίκι.



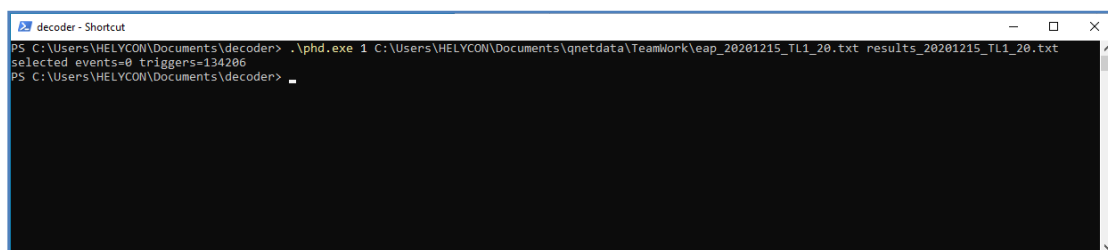
Στη συνέχεια αφήνουμε ένα κενό διάστημα και πληκτρολογούμε το όνομα του εξαγόμενου αρχείου. Η ονοματοδοσία θα πρέπει να είναι: results (κενό) και το όνομα του αρχείου όπως ακριβώς φαίνεται αφού το τραβήξαμε στο decoder. Δηλαδή:

Εάν η εντολή δε χωράει σε μια γραμμή τότε θα συνεχιστεί στην επόμενη αλλά σας προτείνουμε να μεγαλώσετε το παράθυρο κατά πλάτος ώστε να χωρέσει ολόκληρη σε μία γραμμή. Μόλις τελειώσετε με την εντολή κοιτάζτε την προσεκτικά και βεβαιωθείτε ότι όλα είναι σωστά. Το παραμικρό λάθος θα οδηγήσει σε σφάλμα οπότε εάν δεν έχετε την εμπειρία να ξεχωρίζετε κενά διαστήματα ή να ελέγχετε μεγάλα paths δώστε λίγο χρόνο παραπάνω.

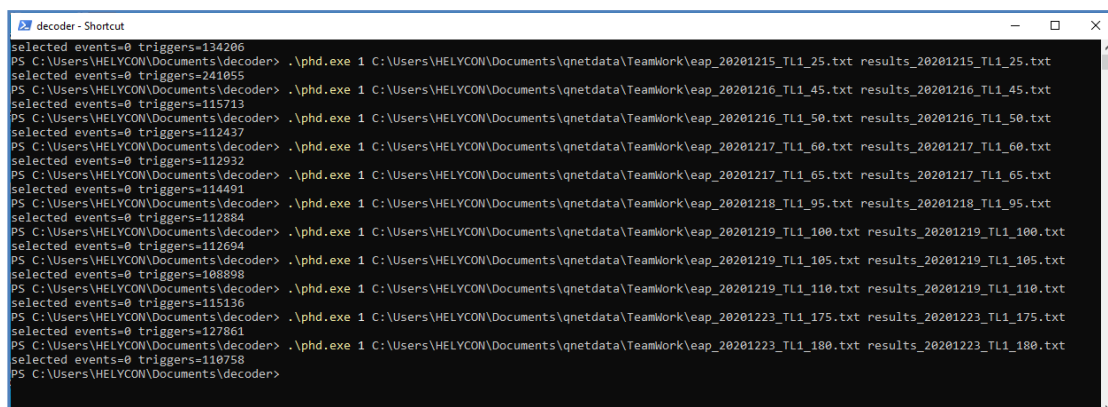
`.\phd.exe 1 C:\Users\HELYCON\Documents\qnetdata\eap_20201215_TL1_20.txt results_20201215_TL1_20.txt`

ΚΕΝΟ ΚΕΝΟ ΚΕΝΟ

Πατάμε enter και θα βλέπουμε τον κέρσορα να βρίσκεται στην κάτω γραμμή και να αναβοσβήνει. Το πρόγραμμα εκτελείται. Θα πρέπει να περιμένουμε γύρω στα 1–2 λεπτά. Μόλις τελειώσει θα δούμε:



Θα επαναλάβουμε την παραπάνω διαδικασία άλλες 11 φορές χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα αρχεία καταγραφής. Όταν τελειώσετε η γραμμή εντολών θα πρέπει να είναι κάπως έτσι:



Η διαδικασία μετατροπής των δεδομένων μας σε δεκαδικό σύστημα έχει τελειώσει.

8.2 Επεξεργασία δεδομένων

8.2.1 Τα δεδομένα στα αρχεία results

Στο φάκελο C:\Users\HELYCON\Documents\decoder που βρίσκεται στην επιφάνεια εργασίας έχουμε 12 αρχεία **results**. Τα αρχεία αυτά, ανοίγοντάς τα βλέπουμε πως αποτελούνται από πολλές γραμμές κάθε μία εκ των οποίων είναι μια διπλή σύμπτωση στα κανάλια 0 και 2. Έχει 6 αριθμούς που χωρίζονται με ένα κενό διάστημα. Η υποδιαστολή εδώ συμβολίζεται με τελεία «.» και όχι με κόμμα.

results_20201215_TL1_20.txt - Notepad

File Edit Format View Help

12.5 83.75 2.5 155 18.75 106.25

23.75 152.5 17.5 246.25 47.5 63.75

48.75 81.25 35 298.75 63.75 87.5

11.25 360 5 176.25 28.75 130

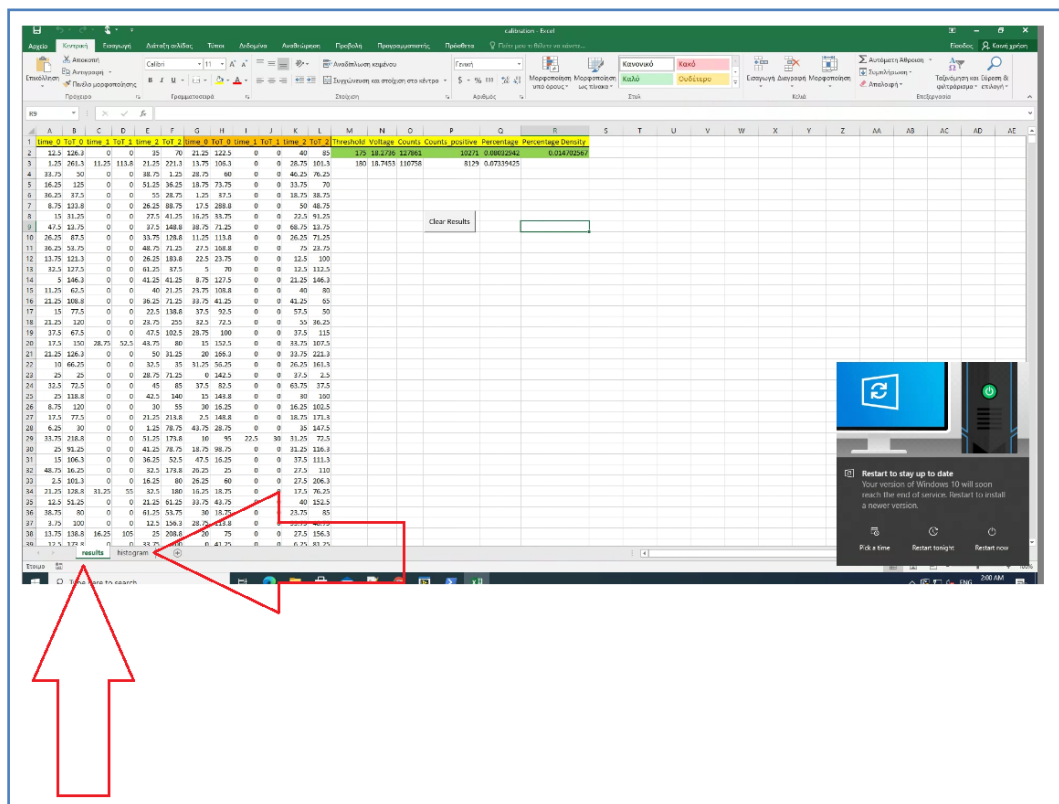
27.5 272.5 35 68.75 78.75 1.25

Οι 6 αυτοί αριθμοί αποτελούνται από 3 ζευγάρια. Το πρώτο ζευγάρι είναι ο χρόνος που ήρθε παλμός στο κανάλι 0 (πάνω ανιχνευτής) και το ToT (time over threshold) δηλαδή η διάρκεια του παλμού πάνω από το κατώφλι. Το δεύτερο ζευγάρι είναι ο χρόνος που ήρθε παλμός στο κανάλι 1 (μεσαίος ανιχνευτής) και το ToT (time over threshold) δηλαδή η διάρκεια του παλμού πάνω από το κατώφλι. Το τρίτο ζευγάρι είναι ο χρόνος που ήρθε παλμός στο κανάλι 2 (κάτω ανιχνευτής) και το ToT (time over threshold) δηλαδή η διάρκεια του παλμού πάνω από το κατώφλι.

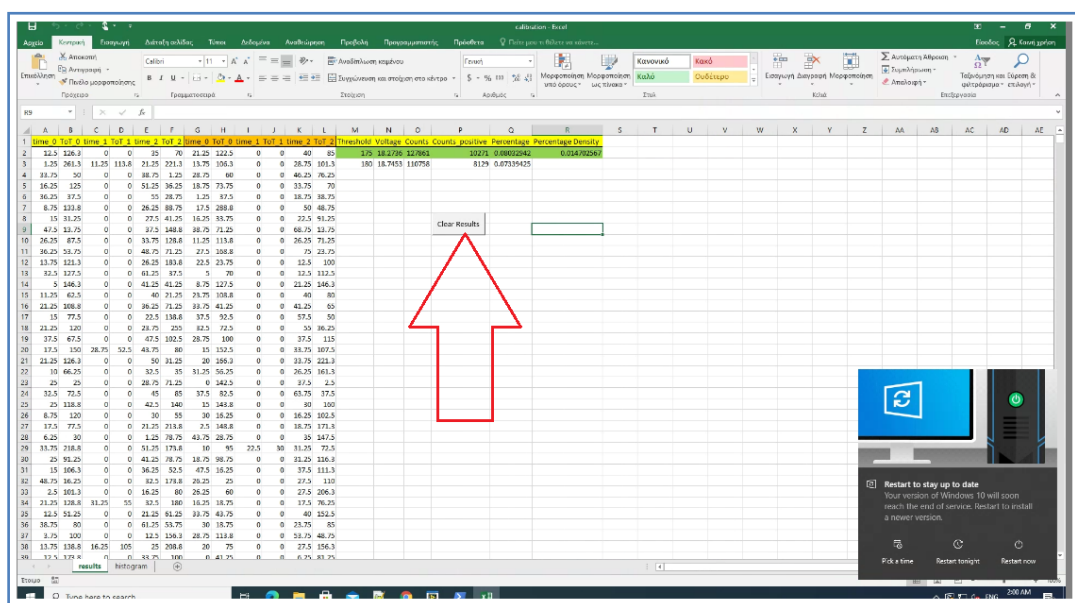
8.2.2 Εισαγωγή και επεξεργασία στο Excel

Στην επιφάνεια εργασίας υπάρχει ένα αρχείο Excel με όνομα **calibration** που έχει ετοιμαστεί ειδικά για να διευκολύνει την επεξεργασία. Το μόνο που χρειάζεται είναι να εισάγουμε τα αρχεία **results** σε συγκεκριμένα κελιά, τα υπόλοιπα θα γίνουν αυτόματα ή με το πάτημα ενός κουμπιού.

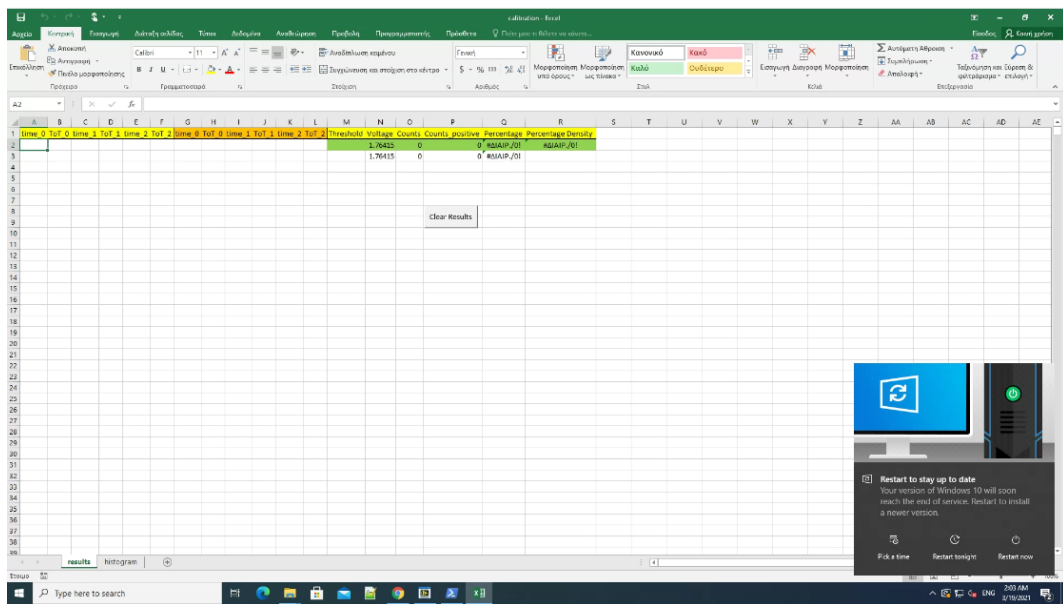
Μπαίνουμε στο αρχείο **calibration** και βλέπουμε πως το βιβλίο εργασίας (workbook) αποτελείται από δύο φύλλα



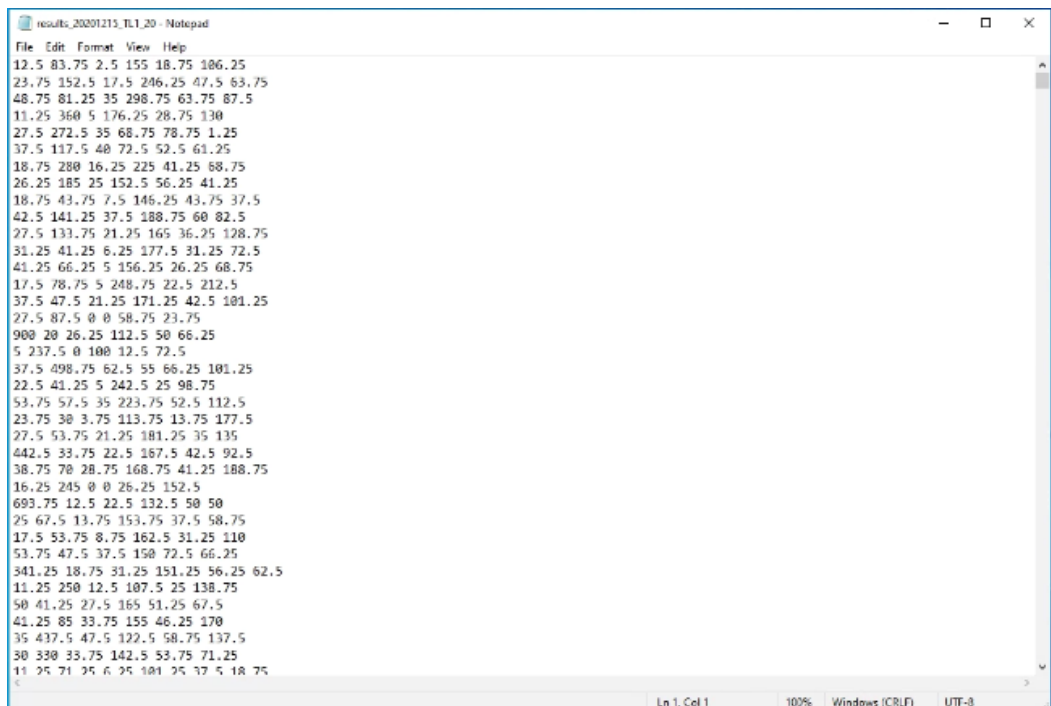
Πηγαίνουμε στο φύλλο **results** και πατάμε το κουμπί **Clear Results** ώστε να καθαρίσουμε τα γεμάτα με τιμές κελιά.



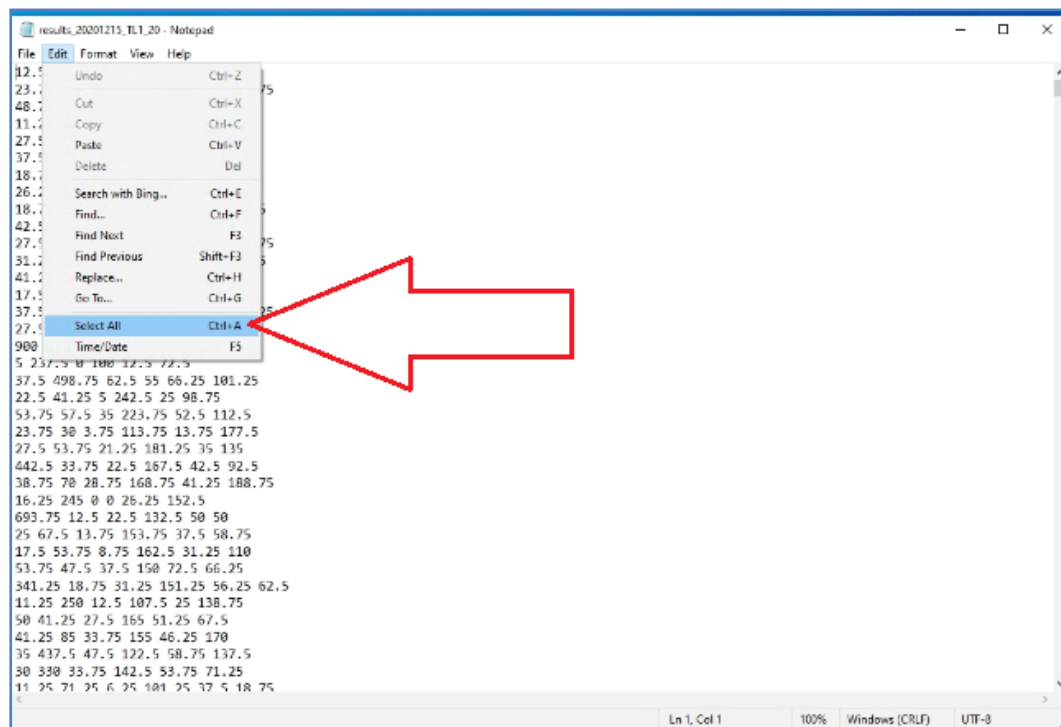
Η εικόνα που παίρνουμε είναι:



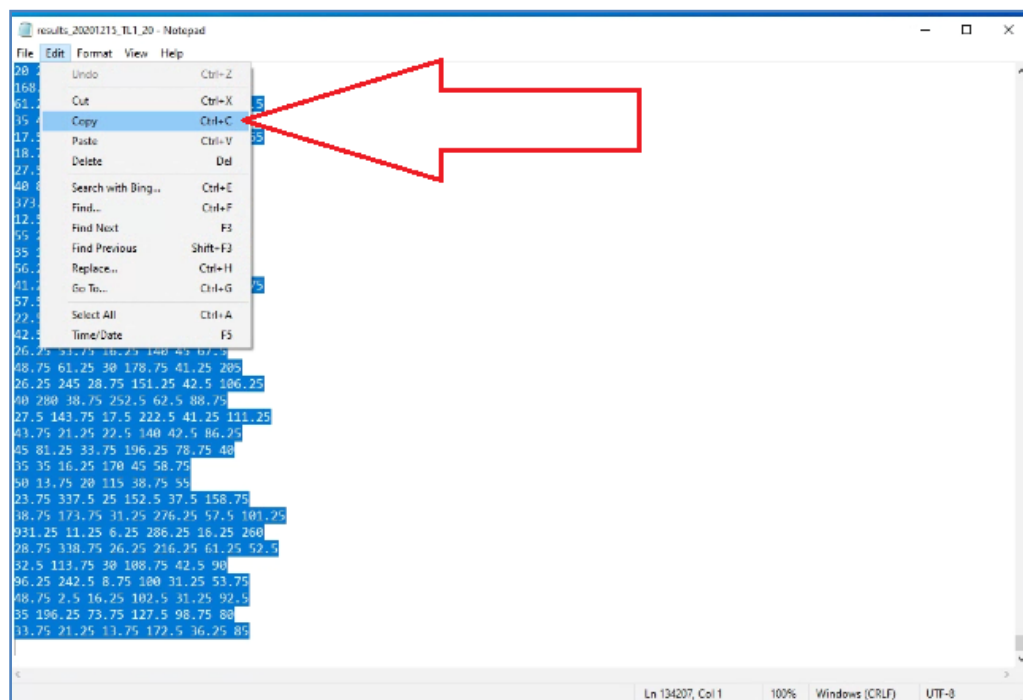
Ελαχιστοποιούμε το Excel και ανοίγουμε (με διπλό αριστερό κλικ) το πρώτο αρχείο (αυτό με το μικρότερο TL) στον φάκελο decoder όπου βρίσκονται τα αρχεία results.



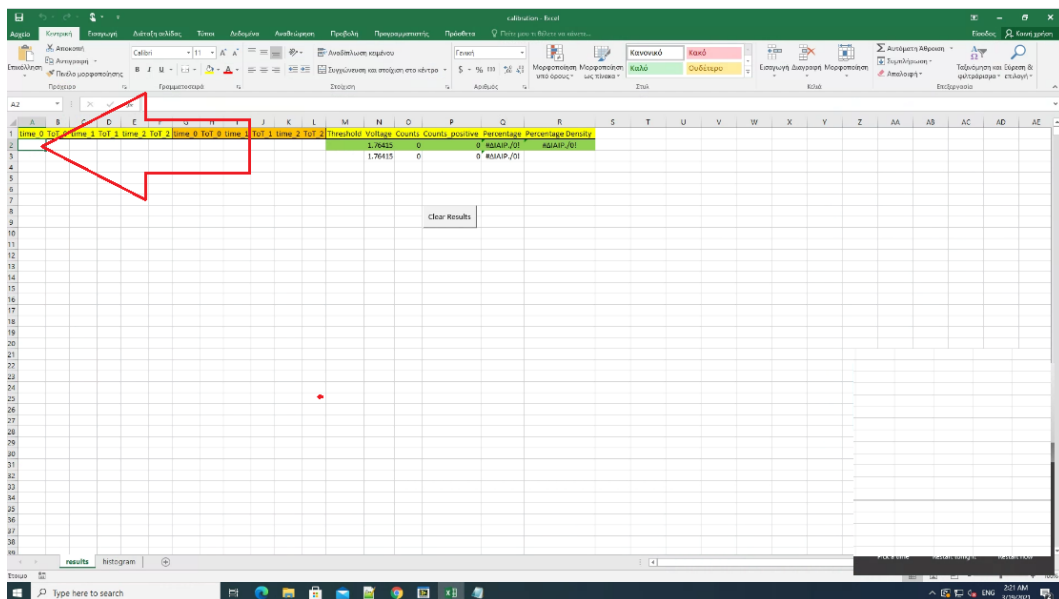
Μεταβαίνουμε στην καρτέλα Edit και επιλέγουμε **Select All**. Εναλλακτικά πληκτρολογούμε Ctrl+A.



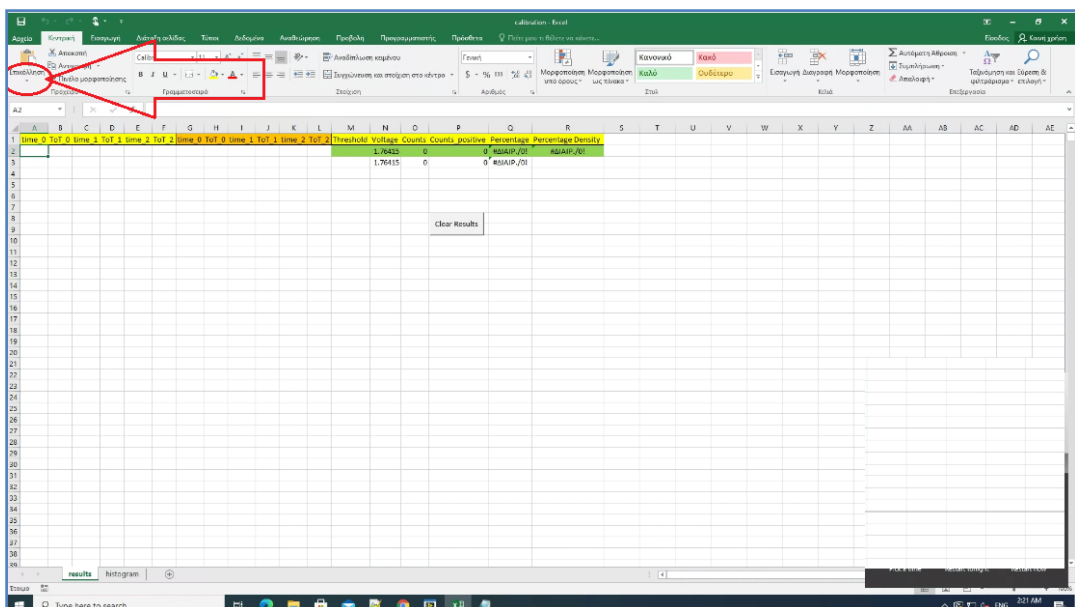
Πάμε και πάλι στο Edit και πατάμε **Copy**. Εναλλακτικά πατάμε Ctrl+C.



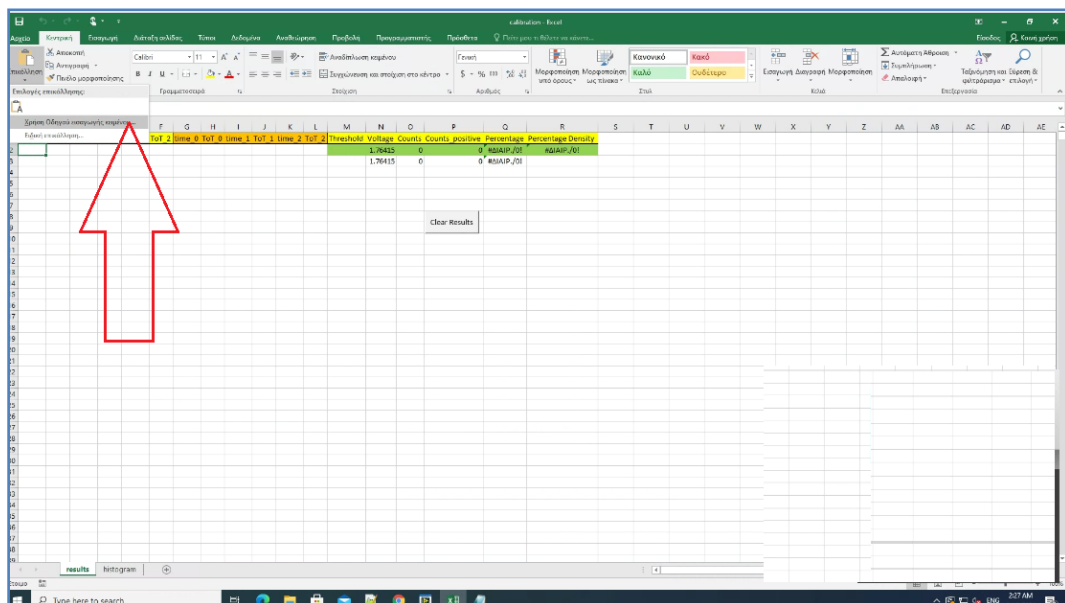
Μεταβαίνουμε στο Excel και συγκεκριμένα στο φύλλο **results**. Πατάμε πάνω στο κελί **A2**.



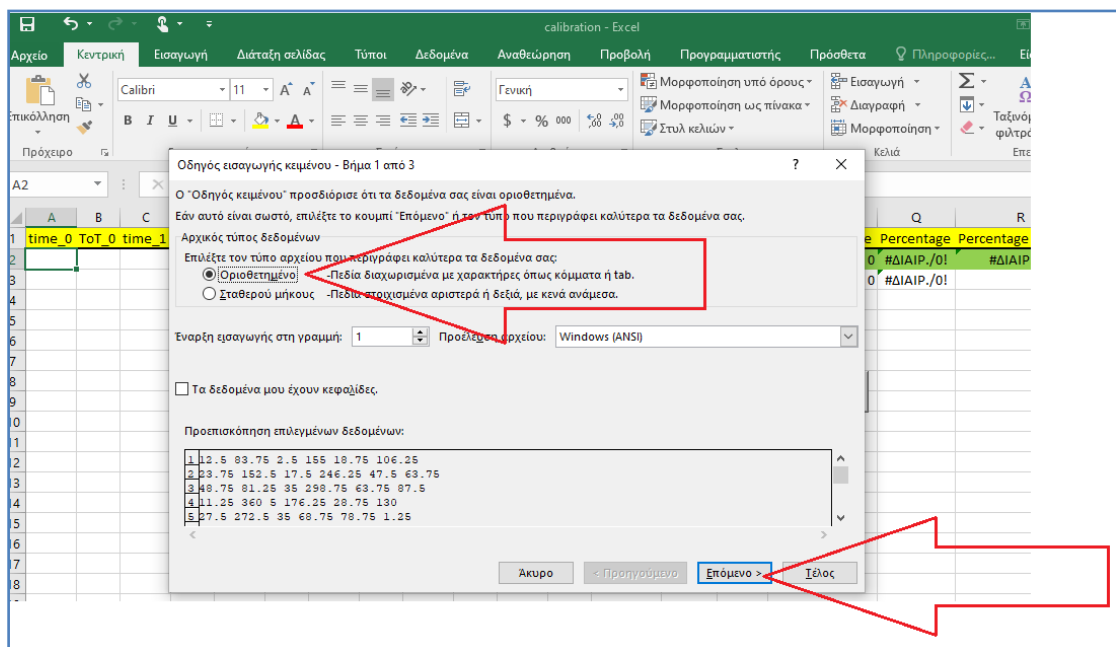
Στην κεντρική κορδέλα (ribbon) πατάμε «**Επικόλληση**» (τη λέξη, όχι το εικονίδιο!)



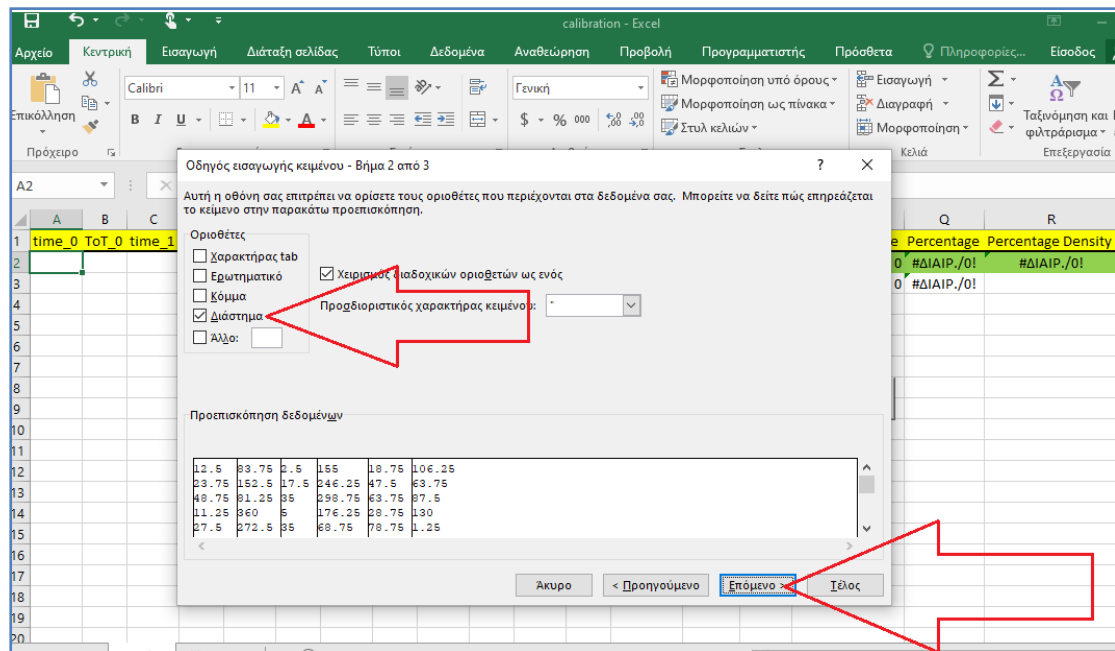
Πατάμε στη «Χρήση οδηγού εισαγωγής κειμένου» για να ξεκινήσει το πρώτο βήμα του οδηγού (wizard).



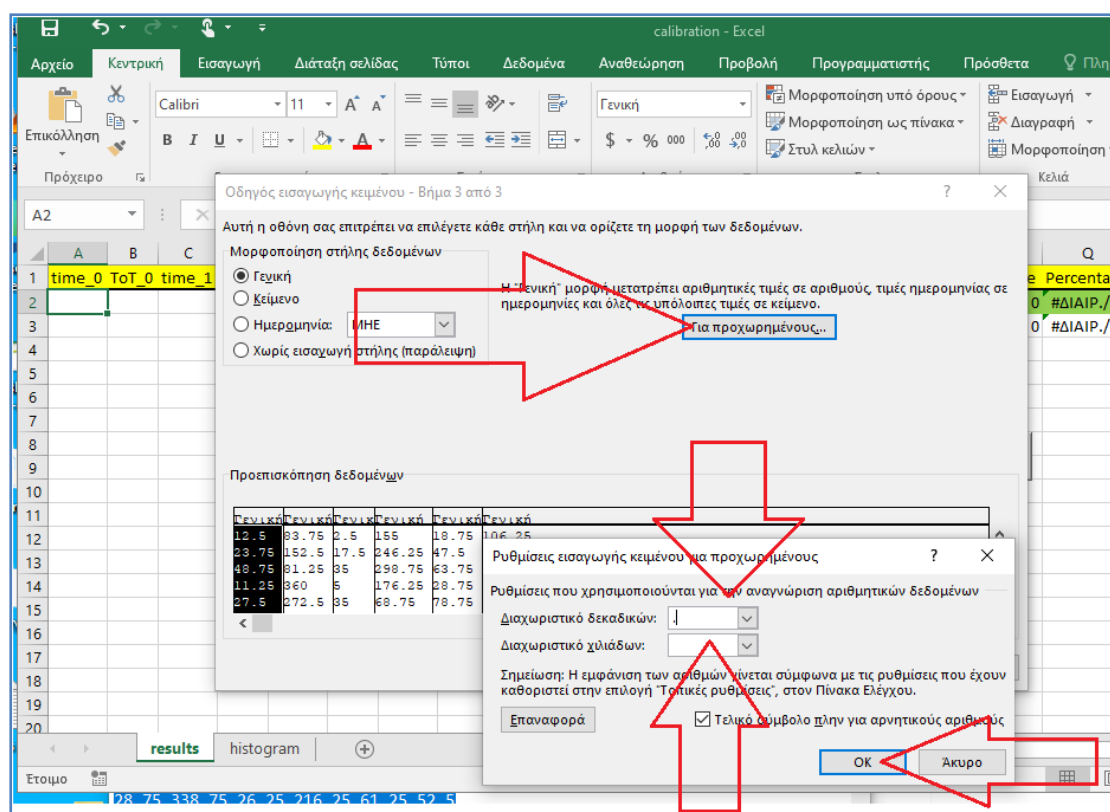
Στο παράθυρο που ανοίγει πατάμε «Επόμενο».



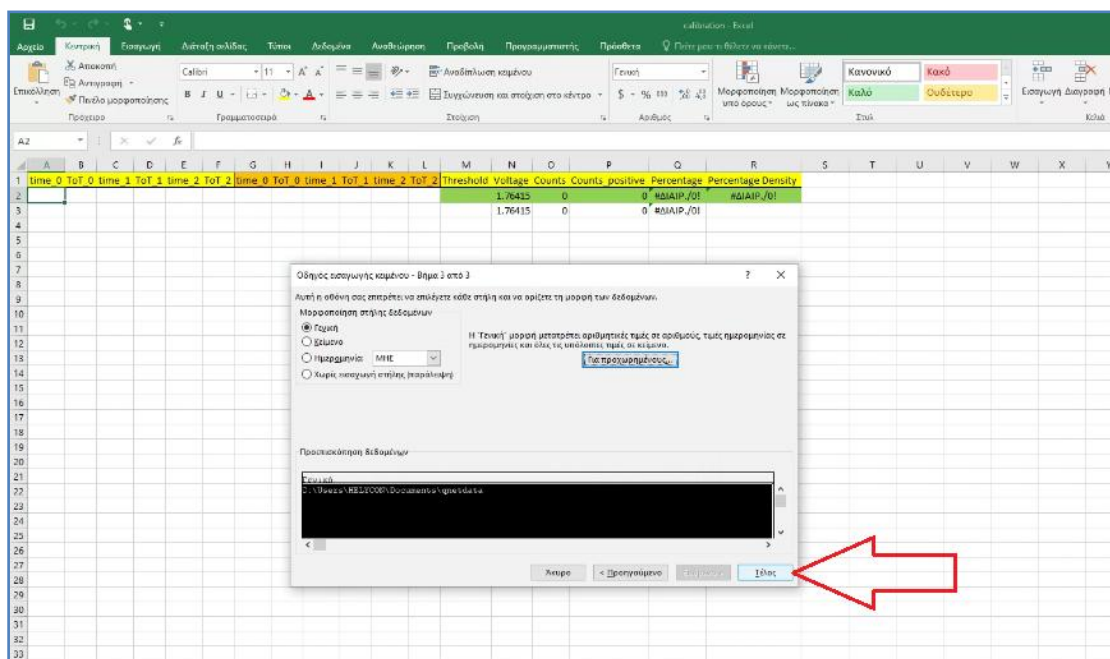
Στο δεύτερο βήμα διαλέγουμε ως οριοθέτη το **Διάστημα** και πατάμε **Επόμενο**.



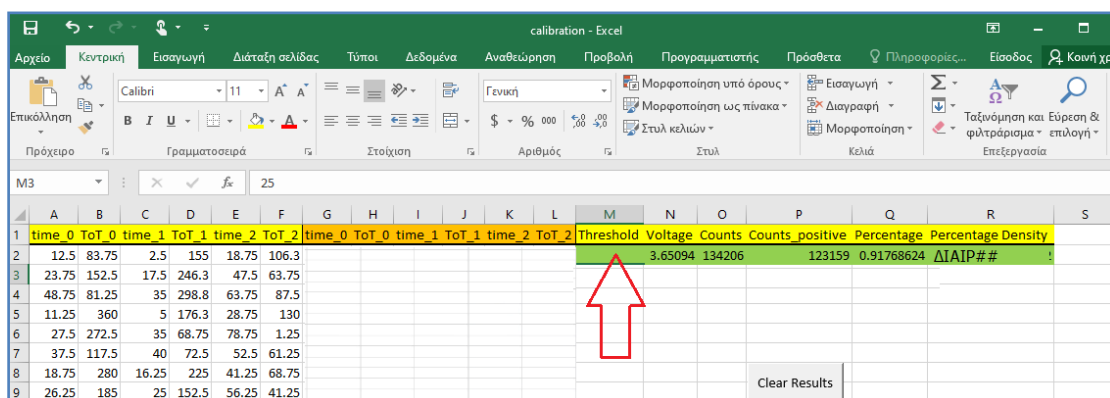
Και στο τρίτο βήμα πατάμε «Για προχωρημένους», μετά επιλέγουμε ως διαχωριστικό δεκαδικών την **τελειά** (αφού έτσι είναι στα αρχεία result) και ως διαχωριστικό χιλιάδων το **κενό**, δηλαδή τίποτα. Αυτό το βήμα είναι σημαντικό διότι εάν έχετε ελληνικές ρυθμίσεις στα Windows όπου η υποδιαστολή δηλώνεται με κόμμα τότε το Excel ΔΕΝ θα αναγνωρίσει τους αριθμούς ως δεκαδικούς αλλά ως κείμενο.



Πατάμε **Τέλος** και με αναμονή λίγων δευτερολέπτων οι τιμές έχουν αντιγραφεί στα κελιά.



Τα δεδομένα έχουν εισαχθεί σωστά για το συγκεκριμένο κατώφλι που έχουμε επιλέξει. Γράφουμε στο κελί M2 τον αριθμό του κατωφλίου που έχουμε επιλέξει. Τα διπλανά κελιά περιέχουν τύπους (formulas) και θα ανανεωθούν. Το percentage density δίνει σφάλμα προς το παρόν, θα ανανεωθεί μόλις εισάγετε και τα δεδομένα για το επόμενο κατώφλι.



Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία αντιγράφοντας από το επόμενο αρχείο results (αυτό με την επόμενη τιμή tl) τα δεδομένα στο κελί G2

Αρχείο

Κεντρική

Εισαγωγή

Διάταξη αλφάβας

Τύποι

Δεδομένα

Αναθεώρηση

Προβολή

Προγραμματιστής

Πρόσθετα

Πληροφορίες...

Εισαδος

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

Επικολόηση

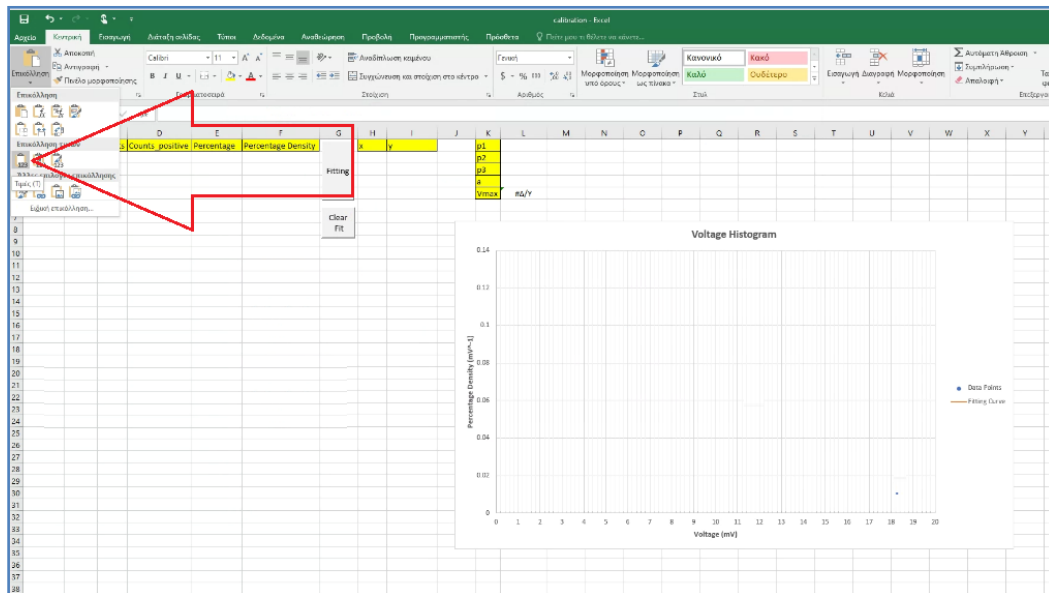
Επικολόηση

και καταγράφουμε στο κελί M3 τον αριθμό του κατωφλίου που έχουμε επιλέξει.

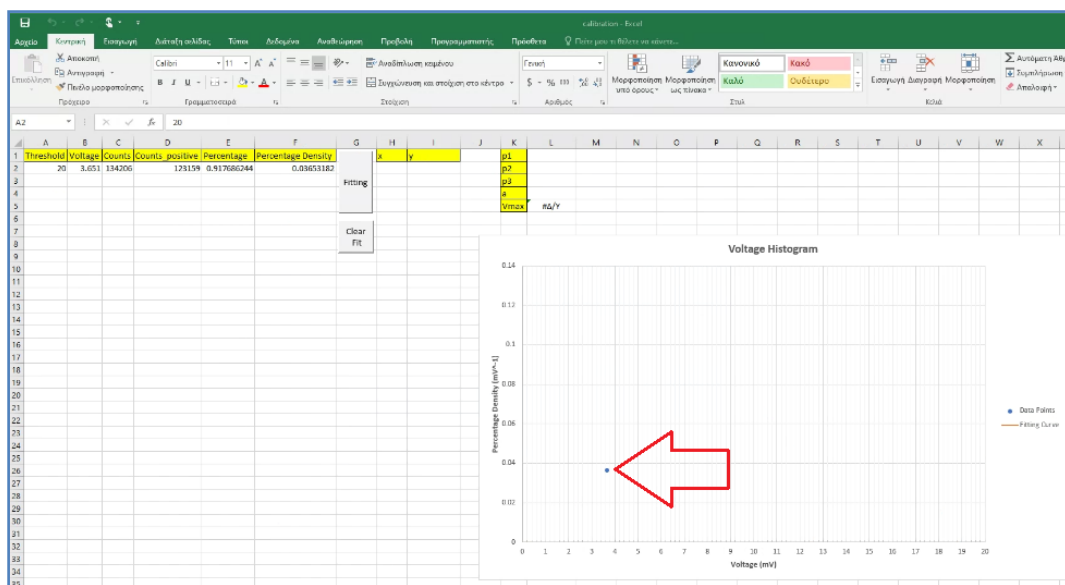
</

Για να χαράξουμε την καμπύλη θα πρέπει να μεταφέρουμε τις τιμές των πράσινων κελιών στο επόμενο φύλλο που λέγεται histogram. Επιλέγουμε όλα τα πράσινα κελιά με το ποντίκι και πατάμε **Ctrl+C** (ή από την Κεντρική Κορδέλα **Αντιγραφή**).

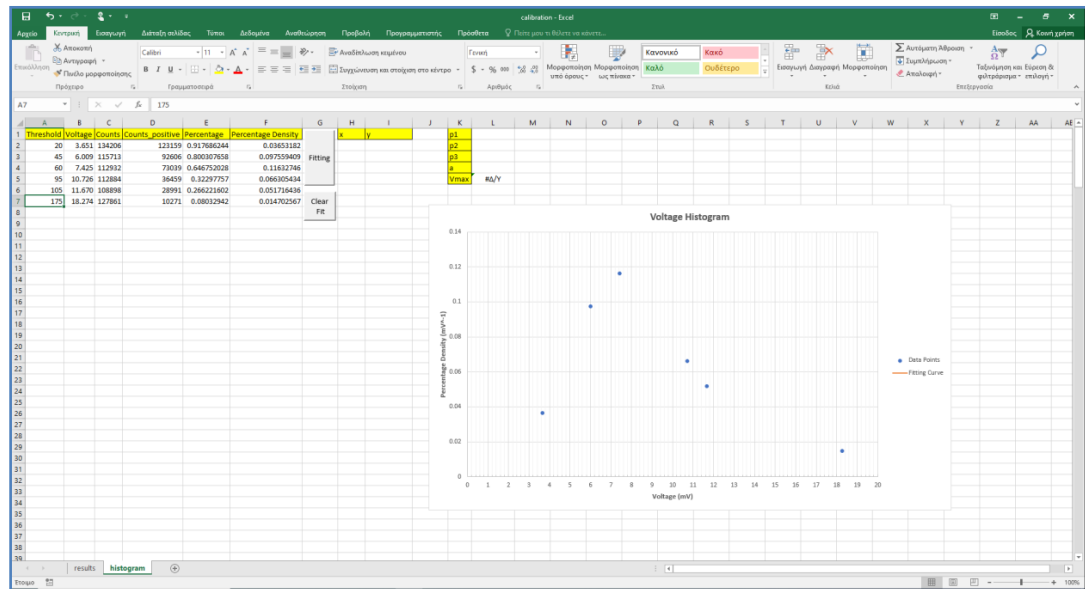
Στη συνέχεια μεταβαίνουμε στο φύλλο histogram και πατάμε το κελί A2. Επειδή θέλουμε μόνο τις τιμές και όχι τυχόν τύπους, δεν αρκεί να κάνουμε απλή επικόλληση με Ctrl+V. Πρέπει να πατήσουμε τη λέξη «**Επικόλληση**» στην κεντρική κορδέλα και να διαλέξουμε **Επικόλληση Τιμών**.



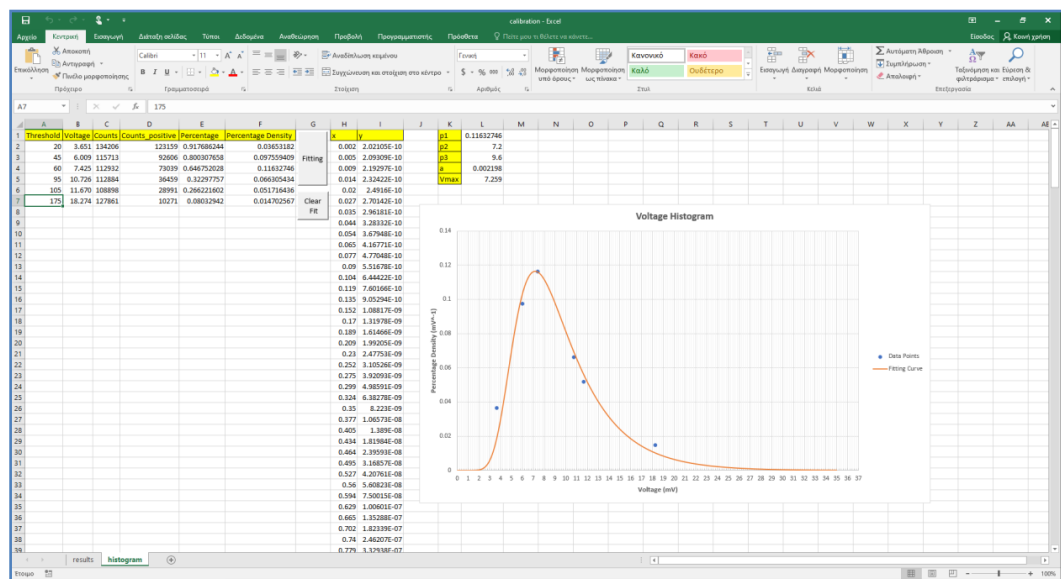
Τότε βλέπουμε στο διπλανό γράφημα ότι σχεδιάστηκε ένα σημείο με τις συντεταγμένες (τάση, πυκνότητα ποσοστού).



Έχουμε το πρώτο σημείο της γραφικής παράστασης! Θα πρέπει τώρα να ακολουθήσουμε τη διαδικασία από την αρχή αντιγράφοντας τα δεδομένα από τα επόμενα αρχεία results για να έχουμε και τα υπόλοιπα σημεία. Η τελική εικόνα που θα λάβουμε στο διάγραμμα θα είναι:



Τώρα μπορούμε να πατήσουμε το κουμπί **Fitting** και το Excel θα υπολογίσει την καμπύλη που ταιριάζει καλύτερα στα σημεία σας. Η καμπύλη που χρησιμοποιείται προέρχεται από τη θεωρία των αλληλεπιδράσεων ύλης-ακτινοβολίας και προσεγγίζει τη κατανομή πιθανοτήτων Landau.



Στο κελί L5 υπολογίζεται το μέγιστο της καμπύλης και είναι το τελικό νούμερο που μας ενδιαφέρει για τη βαθμονόμηση του τηλεσκοπίου. Σε αυτήν την τάση έχουμε τη μεγαλύτερη πυκνότητα ποσοστού των παλμών στο κανάλι 1, δηλαδή στον υπό εξέταση ανιχνευτή. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένα ατμοσφαιρικό μίονιο περάσει μέσα από τον ανιχνευτή μας, το πιο πιθανό είναι να δώσει παλμό με ύψος όσο αυτό. Προκειμένου να μην συλλέξουμε παλμούς από θόρυβο, επιλέγουμε ως κατώφλι για τους παλμούς για παράδειγμα το μισό της τιμής αυτής. Δηλαδή αποφεύγουμε το θόρυβο, κρατώντας ένα σημαντικό ποσοστό γεγονότων. Για μικρότερο κατώφλι θα καταγραφεί σίγουρα και περισσότερος θόρυβος οπότε το ποσοστό θα πέφτει. Αυτό συμβαίνει διότι με χαμηλό κατώφλι θα αφήνουμε να περνούν πολλά σωματίδια άρα και θόρυβος. Για μεγαλύτερο κατώφλι δε θα επιτρέπεται η έλευση μιονίων σημαντικού ποσοστού, επομένως ισοδύναμα είναι σαν να θέτουμε ένα κάτω όριο στην επιφανειακή πυκνότητα των σωματιδίων του καταιονισμού και επομένως στην ενέργεια του κοσμικού σωματίου.

Αυτή η μέγιστη τάση εξαρτάται από τους παλμούς οι οποίοι βεβαίως εξαρτώνται από την τάση λειτουργίας του φωτοπολλαπλασιαστή (PMT). Για μεγαλύτερη τάση PMT όλα τα σημεία και η καμπύλη θα μετατοπίζονται προς τα δεξιά και αντίστοιχα για μικρότερη τάση PMT προς τα αριστερά. Γνωρίζοντας την κατανομή αυτή PHD ξέρουμε πόσο είναι κατά μέσο όρο το ύψος του παλμού από ένα MIP και επομένως μπορούμε να κινηθούμε με την αντίστροφη διαδικασία: μετρώντας το ύψος του παλμού από ένα καταιονισμό πιθανολογούμε πόσα σωματίδια MIP πέρασαν από τον ανιχνευτή.

9. Χρονισμός των παλμών

9.1 Εισαγωγή

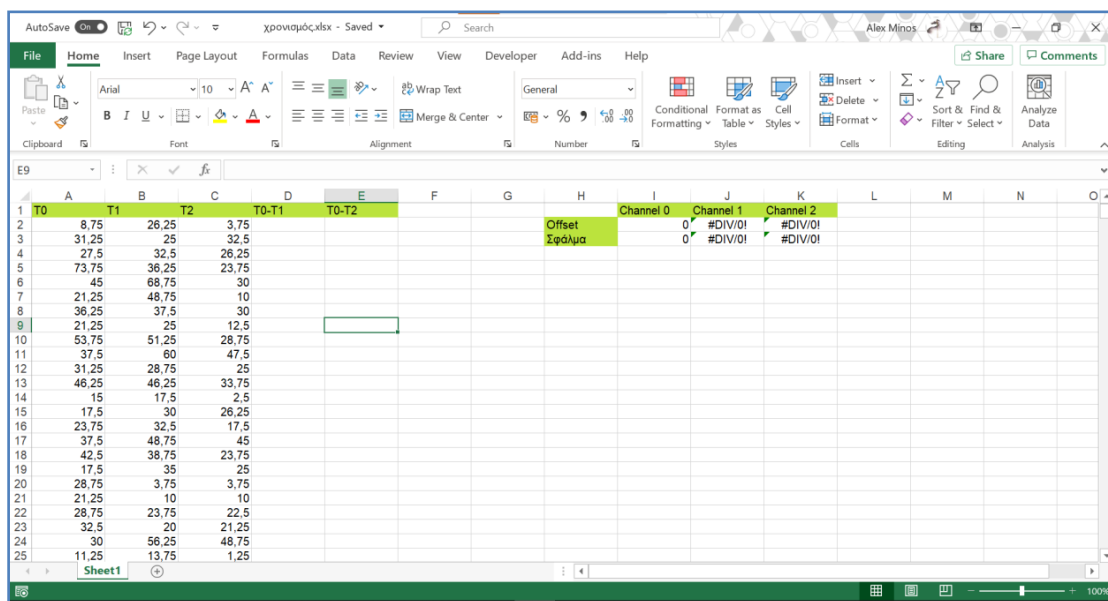
Η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύουν τα μόνια είναι σχεδόν ίση με την ταχύτητα του φωτός. Ύστερα από απλούς υπολογισμούς βρίσκουμε πως σε κάθε nsec διανύουν περίπου 30cm. Όταν οι ανιχνευτές βρίσκονται σε διάταξη οδοσκοπίου (ένας πάνω στον άλλον) εύκολα αντιλαμβανόμαστε πως το ίδιο μόνιο θα δίνει παλμούς την ίδια χρονική στιγμή αν αγνοήσουμε τις μικροδιαφορές λόγω της κάθετης διάταξης. Θα πρέπει λοιπόν να συγχρονίσουμε τους ανιχνευτές προσθαφαιρώντας αυτές τις χρονικές διαφορές (που οφείλονται σε διαφορετικά καλώδια και σε κατασκευαστικές διαφορές) μεταξύ των ανιχνευτών ώστε να προβούμε στον υπολογισμό της διεύθυνσης καταιονισμών.

Κάποιοι βασικοί λόγοι για τους οποίους προκύπτουν χρονικές διαφορές είναι το μήκος των καλωδίων των ανιχνευτών, τα ηλεκτρονικά στοιχεία καθώς εξάγουν δεδομένα χωρίς να αφαιρούν το θόρυβο του σήματος αλλά και η έλλειψη γνώσης της ακριβούς απόστασης που διανύει κάθε μόνιο διαπερνώντας τους ανιχνευτές καθότι δε μπορούμε να γνωρίζουμε την ακριβή του διεύθυνση.

Αφού έχουμε καθορίσει τις τάσεις των ανιχνευτών προχωρούμε στη διαδικασία χρονισμού. Ας υποθέσουμε ότι οι τάσεις που προέκυψαν στους ανιχνευτές είναι 21, 26 και 11 σε TL.

Τώρα θα πρέπει να λάβουμε άλλη μία μέτρηση με αυτά τα συγκεκριμένα TL. Όταν τελειώσουμε τη μέτρηση καλό θα είναι να μετονομάσουμε τα αρχεία ώστε να εμφανίζονται και τα κατώφλια. Για παράδειγμα εάν το προεπιλεγμένο όνομα του αρχείου ήταν **eap_20265127_000.txt** τότε προτείνουμε να μετονομαστεί σε **eap_202104_TL_21_26_11.txt**.

Επιλέγουμε το κελί A2 του excel και πατάμε στην λέξη επικόλληση (paste) στην κεντρική κορδέλα. Προσοχή, δεν πατάμε το εικονίδιο αλλά τη λέξη.



Επιλέγουμε τη χρήση οδηγού εισαγωγής κειμένου (Use text import wizard). Στο πρώτο βήμα του οδηγού πατάμε επόμενο (next).

Διαλέγουμε ως οριοθέτη (delimiters) το διάστημα και πατάμε επόμενο.

Πατάμε για προχωρημένους (advanced) και θα διαλέγουμε την τελεία ως υποδιαστολή και το κενό για διαχωρισμό χιλιάδων (όπως ακριβώς και στο calibration).

Μας ενδιαφέρουν οι στήλες 1, 3 και 5 που περιέχουν τους χρόνους ανόδου σε κάθε κανάλι. Οι στήλες 2, 4 και 6 περιέχουν τα ToT που δεν τα χρειαζόμαστε οπότε μπορούμε να τα παραβλέψουμε. Γι' αυτό τις διαλέγουμε μια προς μια και επιλέγουμε «Do not import column (skip)» και πατάμε Finish.

Text Import Wizard - Step 3 of 3

This screen lets you select each column and set the Data Format.

Column data format

☐ General
☐ Text
☐ Date: DMY
☒ Do not import column (skip)

'General' converts numeric values to numbers, date values to dates, and all remaining values to text.

Advanced...

Data preview

General	Skip Column	General	Skip Column	General	Skip Column
25	227.5	28.75	180	40	87.5
20	180	22.5	187.5	23.75	140
28.75	161.25	27.5	197.5	32.5	131.25
23.75	178.75	20	227.5	30	138.75
37.5	262.5	40	158.75	33.75	303.75
38.75	180	45	248.75	50	236.25
26.25	238.75	37.5	145	37.5	127.5

Cancel < Back Next > Finish

Στις στήλες D και E θα υπολογίσουμε τις διαφορές στους χρόνους ανόδου. Πατάμε στο κελί D2, πληκτρολογούμε «=A2-B2» και μετά πατήστε το πλήκτρο Tab. Έτσι θα υπολογιστεί η διαφορά T0-T1 για το πρώτο γεγονός και θα μεταφερθούμε στο κελί E2. Πληκτρολογούμε «=A2-C2» και πατάμε Enter. Για να εφαρμόσουμε την ίδια πράξη σε όλα τα κελιά παρακάτω επιλέγουμε πρώτα τα κελιά D2 και E2 με το ποντίκι και βλέπουμε ένα μικρό τετραγωνάκι κάτω δεξιά. Τοποθετούμε εκεί το ποντίκι τότε ο κέρσορας θα γίνει σταυρός κάνουμε διπλό κλικ και θα υπολογιστούν όλες οι επόμενες γραμμές.

	B	C	D	E
	T1	T2	T0-T1	T0-T2
25	28,75	40	-3,75	-15
20	22,5	23,75		
,75	27,5	32,5		
,75	20	30		
7,5	40	33,75		
75	45	50		

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	T0	T1	T2	T0-T1	T0-T2		Channel 0	Channel 1	Channel 2
2	8,75	26,25	3,75	-17,5	5	Offset	0	-1,38990461	6,35532591
3	31,25	25	32,5	6,25	-1,25	Σφάλμα	0	9,24690644	9,261917
4	27,5	32,5	26,25	-5	1,25				
5	73,75	36,25	23,75	37,5	50				
6	45	68,75	30	-23,75	15				
7	21,25	48,75	10	-27,5	11,25				
8	36,25	37,5	30	-1,25	6,25				
9	21,25	25	12,5	-3,75	8,75				
10	53,75	51,25	28,75	2,5	25				
11	37,5	60	47,5	-22,5	-10				
12	31,25	28,75	25	2,5	6,25				
13	46,25	46,25	33,75	0	12,5				
14	15	17,5	2,5	-2,5	12,5				
15	17,5	30	26,25	-12,5	-8,75				
16	23,75	32,5	17,5	-8,75	6,25				
17	37,5	48,75	45	-11,25	-7,5				
18	42,5	38,75	23,75	3,75	18,75				
19	17,5	35	25	-17,5	-7,5				
20	28,75	3,75	3,75	25	25				
21	21,25	10	10	11,25	11,25				
22	28,75	23,75	22,5	5	6,25				
23	32,5	20	21,25	12,5	11,25				
24	30	56,25	48,75	-26,25	-18,75				
25	11,25	13,75	1,25	-2,5	10				

Στα κελιά J2 και K2 υπολογίστηκε το offset για κάθε κανάλι δηλαδή ο μέσος όρος των διαφορών χρόνου σε σχέση με το κανάλι 0. Στα κελιά J3 και K3 υπολογίστηκε το στατιστικό σφάλμα των διαφορών. Αυτές οι τιμές με το σφάλμα τους πρέπει να ληφθούν υπόψιν όταν κάνουμε τον τριγωνισμό για τον υπολογισμό της διεύθυνσης καταιονισμού.

10. Μελέτη Καταιονισμών

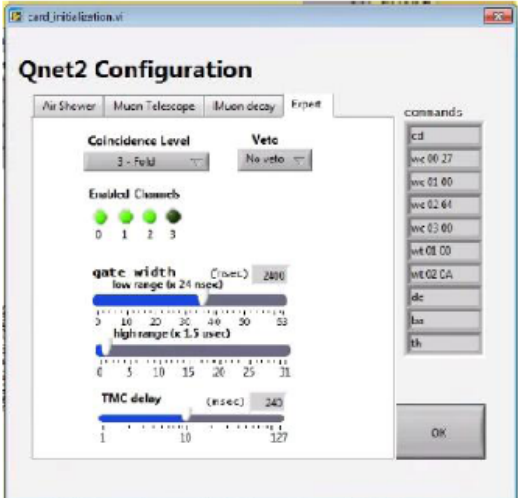
10.1 Εισαγωγή

Αφού έχουμε καθορίσει τη βέλτιστη τάση λειτουργίας για κάθε έναν ανιχνευτή και αφού έχουμε ολοκληρώσει τη διαδικασία του χρονισμού τοποθετούμε τους ανιχνευτές σε τριγωνική διάταξη για τη μελέτη των καταιονισμών. Οι τιμές που λαμβάνουμε από την κάρτα Quarknet μετατρέπονται και η επεξεργασία πραγματοποιείται στο Excel με τη βοήθεια συγκεντρωτικών πινάκων (Pivot tables).

10.2 Μετατροπή των δεδομένων

Με χρήση του λογισμικού της κάρτας Quarknet λαμβάνουμε δεδομένα αφού ρυθμίσουμε τις κατάλληλες παραμέτρους που φαίνονται στην **Εικόνα 10.1**.

Coincidence Level :	3-Fold	θεωρεί ως γεγονός καταιονισμού την περίπτωση σχεδόν ταυτόχρονης καταγραφής και στους τρεις ανιχνευτές. (Αυτό είναι απαραίτητο αν σκοπός είναι να γίνει ανακατασκευή της διεύθυνσης)
Veto	No Veto	
Enabled Channel	0,1,2	πιέστε πάνω στα κουμπιά ώστε να μείνουν αναμμένα τα επιθυμητά
High range	1	
Gate width	2400	Σέρνοντας το slider του Low range στο 36
TMC delay	240	



(Εικόνα 10.1) Παράμετροι κάρτας Quarknet για λήψη δεδομένων (Καταιονισμός)

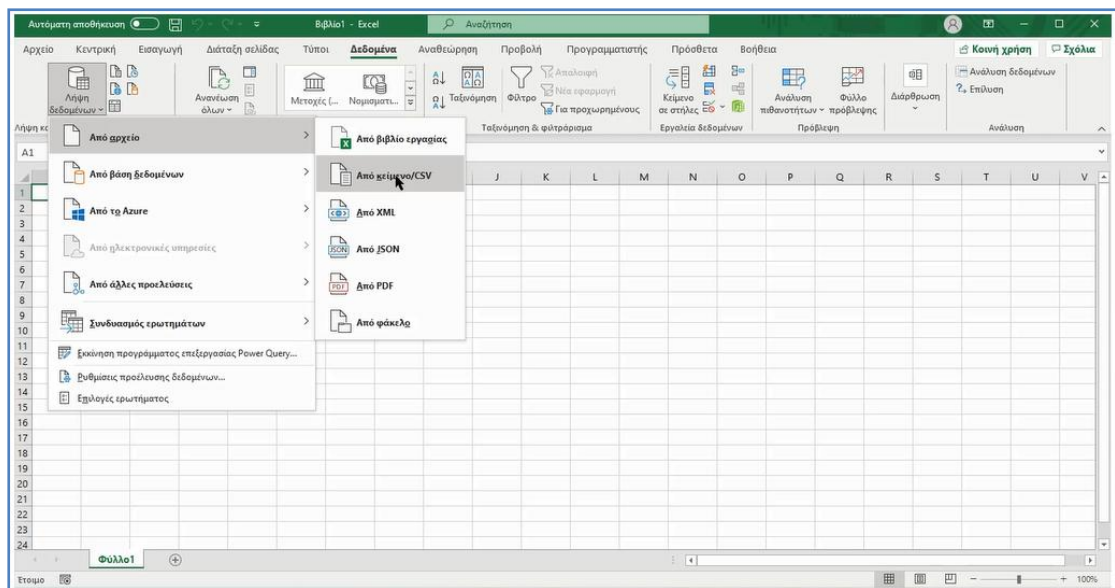
Το πρόγραμμα που μετατρέπει τα δεδομένα ονομάζεται Showers Decode. Ομοίως με τις προηγούμενες διαδικασίες (βλ. 7.1) ανοίγουμε με Shift και δεξί κλικ ένα **PowerShell window**. Το πρόγραμμα αυτό χρειάζεται δύο (και όχι τρία σαν τα προηγούμενα) ορίσματα. Πληκτρολογούμε τα αρχικά γράμματα της λέξης shower και πατώντας το πλήκτρο tab εμφανίζεται το **.\showers.exe** αφήνουμε ένα κενό και εισάγουμε το αρχείο της κάρτας Quarknet τραβώντας το από το φάκελο όπου εξάγει η κάρτα. Έχουμε το πρώτο όρισμα. Αφήνουμε ένα κενό και πληκτρολογούμε το όνομα του αρχείου που θα δημιουργηθεί (για παράδειγμα **results.txt**). Αυτό είναι το δεύτερο και τελευταίο όρισμα. Πατώντας Enter ολοκληρώνεται η διαδικασία. Το αρχείο που θα δημιουργηθεί αποθηκεύεται στο φάκελο απ' τον οποίο ανοίξαμε το **PowerShell window**, δηλαδή το φάκελο Showers Decode.

Οι αριθμοί που εξάγει το πρόγραμμα είναι ο χρόνος ανόδου, το ToT (Time Over Threshold) για κάθε κανάλι, η γωνία Ζενίθ και η Αζιμουθιακή γωνία. Η γωνία Ζενίθ είναι εκείνη που περιγράφει την γωνία που σχηματίζει η κατακόρυφος του παρατηρητή και η διεύθυνση του καταιονισμού. Αν ο καταιονισμός προέρχεται ακριβώς πάνω από τον παρατηρητή έχουμε γωνία Ζενίθ ίση με το μηδέν. Το δεύτερο νούμερο είναι η Αζιμουθιακή γωνία η οποία είναι μηδέν ξεκινώντας μέτρηση από τον άξονα X και μετρά αντίστροφα των δεικτών του ρολογιού. (Ανατολή - Βορράς - Δύση - Νότος). Με αυτές τις γωνίες μπορούμε να έχουμε τη διεύθυνση του καταιονισμού.

Στο εξαγόμενο αρχείο **results.txt** υπάρχουν σε κάθε γραμμή ο χρόνος ανόδου, το ToT για κάθε κανάλι, η ημερομηνία, η ακριβής ώρα, η γωνία Ζενίθ και η Αζιμουθιακή γωνία.

10.3 Εισαγωγή των Δεδομένων στο Excel

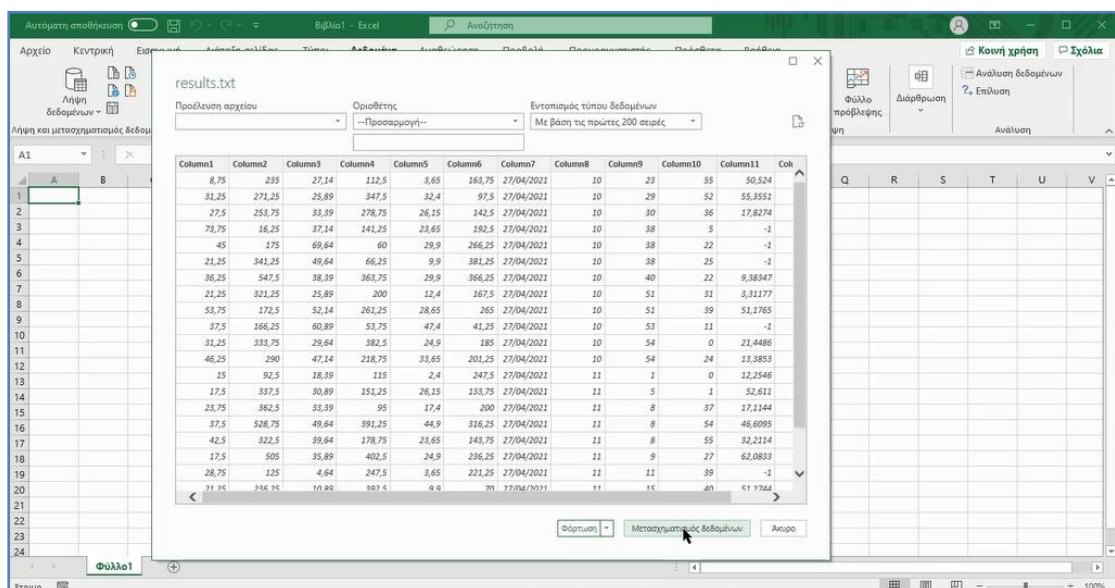
Η διαδικασία ξεκινά με ένα κενό αρχείο Excel. Αυτή τη φορά δε θα αντιγράψουμε τα δεδομένα όπως τις προηγούμενες. Μεταβαίνουμε στην καρτέλα **Δεδομένα** του Excel και επιλέγουμε **Λήψη Δεδομένων**. Πατάμε **Από Αρχείο**, επιλέγουμε **Από Κείμενο-CSV**. (Εικόνα 10.2)



(Εικόνα 10.2)

Στο παράθυρο που αναδύεται επιλέγουμε το αρχείο **results.txt** που έχει εξάγει το decoder. Πριν εισάγουμε τα δεδομένα επιλέγουμε **Μετασχηματισμός Δεδομένων**.

(Εικόνα 10.3)



(Εικόνα 10.3)

Γράφουμε τι περιγράφει κάθε στήλη πληκτρολογώντας t1 για το χρόνο του πρώτου παλμού, ToT1 για το Time Over Threshold κοκ. Γράφουμε την Ημερομηνία, την Ώρα και τις γωνίες θ (Ζενιθ), ϕ (Αζιμουθιακή). (Εικόνα 10.4)

[illegible]

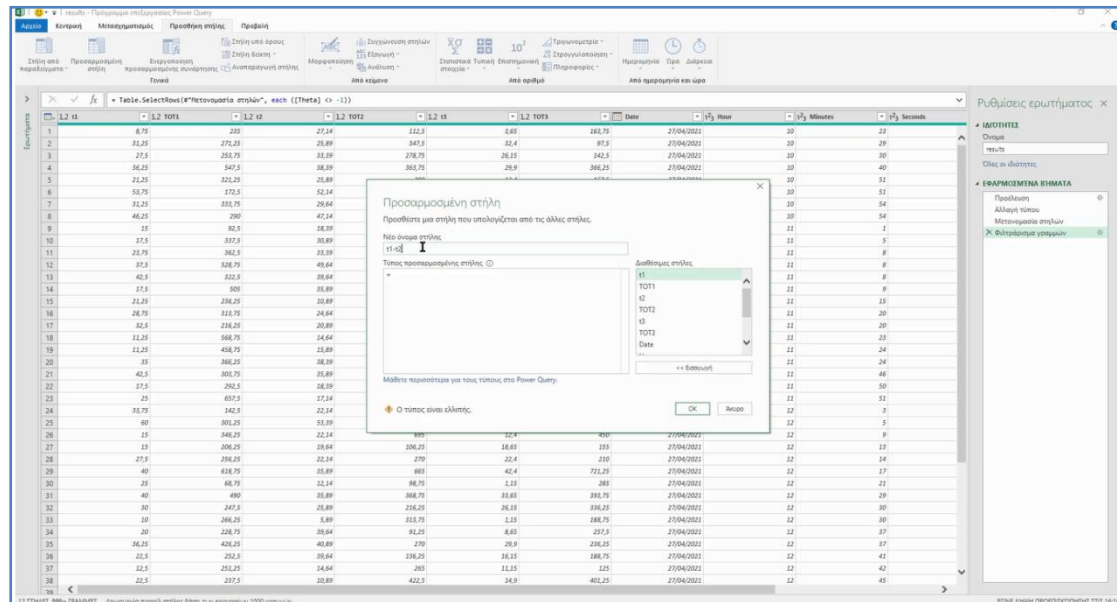
(Εικόνα 10.4)

Σε αυτό το σημείο θα εξηγήσουμε πως φιλτράρουμε τις αρνητικές τιμές των γωνιών αν και είναι πολύ λίγες που δεν επηρεάζουν την ανάλυσή μας. Στο πάνω μέρος κάθε στήλης πατώντας το βελάκι εμφανίζονται τα φίλτρα. Απεπιλέγουμε την τιμή -1 και πατάμε **οκ.** (Εικόνα 10.5)

[illegible]

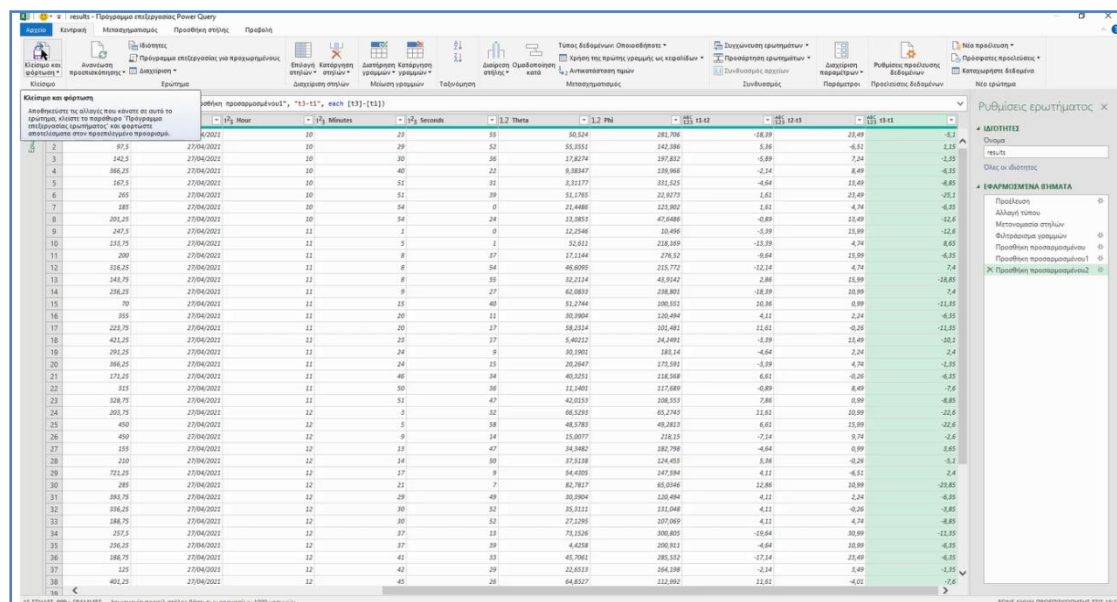
(Εικόνα 10.5)

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την κατασκευή ιστογραμμάτων για τις γωνίες και για τις διαφορές των χρόνων έλευσης των σημάτων. Για τις διαφορές θα πρέπει να εισάγουμε μια στήλη (Επιλέγουμε **Προσαρμοσμένη Στήλη**) με την απλή συνάρτηση $=T1 - T2$. (Εικόνα 10.6) Άλλη μια με $=T3 - T2$ και άλλη μια $=T1 - T3$.



(Εικόνα 10.6)

Αφού ονομάσουμε τις στήλες μας πηγαίνουμε στην καρτέλα **Κεντρική** και επιλέγουμε **Κλείσιμο και φόρτωση**. (Εικόνα 10.7)



(Εικόνα 10.7)

10.4 Ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση πραγματοποιείται με τη βοήθεια συγκεντρωτικών πινάκων οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα σε συγκεκριμένη μορφή (**Εικόνα 10.8**) ανεξάρτητων, μεταξύ τους, στηλών που ονομάζονται πεδία. Η γραμμές που δημιουργούνται ονομάζονται Εγγραφές και περιγράφουν ένα συγκεκριμένο γεγονός, εν προκειμένω έναν καταιονισμό.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a data table. The table has columns labeled A through V. The first column (A) contains row numbers. The second column (B) contains the word 'TOTAL'. The third column (C) contains the word 'TOTAL'. The fourth column (D) contains the word 'TOTAL'. The fifth column (E) contains the word 'TOTAL'. The sixth column (F) contains the word 'TOTAL'. The seventh column (G) contains the word 'TOTAL'. The eighth column (H) contains the word 'TOTAL'. The ninth column (I) contains the word 'TOTAL'. The tenth column (J) contains the word 'TOTAL'. The eleventh column (K) contains the word 'TOTAL'. The twelfth column (L) contains the word 'TOTAL'. The thirteenth column (M) contains the word 'TOTAL'. The fourteenth column (N) contains the word 'TOTAL'. The fifteenth column (O) contains the word 'TOTAL'. The sixteenth column (P) contains the word 'TOTAL'. The seventeenth column (Q) contains the word 'TOTAL'. The eighteenth column (R) contains the word 'TOTAL'. The nineteenth column (S) contains the word 'TOTAL'. The twentieth column (T) contains the word 'TOTAL'. The twenty-first column (U) contains the word 'TOTAL'. The twenty-second column (V) contains the word 'TOTAL'. The bottom row (row 32) contains the word 'results' in column A, and various numerical values in columns B through V.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL
2	235	27,14	112,5	3,65	163,75	27/04/2021	10	23	55	50,524	281,706	-16,39	23,49	-5,1								
3	271,25	25,89	347,5	32,4	97,5	27/04/2021	10	29	52	55,5551	142,386	5,36	-6,51	1,15								
4	253,75	33,39	276,75	26,15	140,5	27/04/2021	10	30	36	12,8224	197,832	-5,89	7,24	-1,35								
5	547,5	38,39	362,75	29,9	366,25	27/04/2021	10	40	22	9,38347	135,966	-2,14	8,49	-6,35								
6	321,25	25,89	200	12,4	167,5	27/04/2021	10	51	31	3,31177	331,525	-4,64	13,49	-8,85								
7	172,5	52,14	261,25	28,65	285	27/04/2021	10	51	39	51,1765	22,9273	1,61	23,49	-25,1								
8	333,75	29,64	382,5	24,9	185	27/04/2021	10	54	0	21,4486	123,902	1,61	4,74	-6,35								
9	290	47,14	218,75	33,65	201,25	27/04/2021	10	54	24	13,3853	47,6486	-0,89	13,49	-12,6								
10	92,5	18,39	115	2,4	247,5	27/04/2021	11	1	0	12,2546	10,496	-3,39	15,99	-12,6								
11	337,5	30,89	151,25	26,15	133,75	27/04/2021	11	5	1	52,611	218,169	-13,39	4,74	8,65								
12	362,5	33,39	95	17,4	200	27/04/2021	11	8	37	17,1144	276,52	-5,64	15,99	-6,35								
13	528,75	49,64	391,25	44,9	316,25	27/04/2021	11	8	54	46,6095	215,772	-12,14	4,74	7,4								
14	322,5	39,64	178,75	23,65	143,75	27/04/2021	11	8	55	32,2114	43,9342	2,86	15,99	-18,85								
15	305	35,89	401,5	24,9	236,25	27/04/2021	11	9	27	62,0813	218,801	-18,39	10,99	7,4								
16	236,25	10,89	392,5	9,9	70	27/04/2021	11	15	40	51,2744	100,551	10,36	0,99	-11,35								
17	313,75	24,64	600	22,4	355	27/04/2021	11	20	11	30,3904	120,494	4,11	2,24	-6,35								
18	216,25	20,89	398,75	21,15	223,75	27/04/2021	11	20	17	58,2314	101,481	11,61	-0,26	-11,35								
19	568,75	14,64	451,25	1,15	421,25	27/04/2021	11	23	17	5,40212	24,3491	-1,39	13,49	-10,1								
20	458,75	15,89	382,5	13,65	291,25	27/04/2021	11	24	9	30,1901	181,14	-4,64	2,24	2,4								
21	366,25	38,39	368,75	33,65	366,25	27/04/2021	11	24	15	20,2647	173,591	-3,39	4,74	-1,35								
22	303,75	35,89	385	36,15	171,25	27/04/2021	11	46	34	40,3251	118,568	6,61	-0,26	-6,35								
23	292,5	18,39	466,25	9,9	315	27/04/2021	11	50	36	11,1401	117,689	-0,89	8,49	-7,6								
24	657,5	17,14	780	16,15	328,75	27/04/2021	11	51	47	42,0153	108,553	7,86	0,99	-8,85								
25	142,5	22,14	237,5	11,15	203,75	27/04/2021	12	3	32	66,5283	65,2343	11,61	10,99	-22,6								
26	301,25	53,39	288,75	37,4	450	27/04/2021	12	5	58	48,5783	49,2813	6,61	15,99	-22,6								
27	346,25	22,14	695	12,4	450	27/04/2021	12	9	14	15,0077	218,15	-7,14	9,74	-2,6								
28	206,25	19,64	106,25	18,65	155	27/04/2021	12	13	47	34,8482	182,798	-4,64	0,99	3,65								
29	256,25	22,14	270	22,4	210	27/04/2021	12	14	50	37,5138	124,455	5,36	-0,26	-5,1								
30	618,75	35,89	665	42,4	721,25	27/04/2021	12	17	9	54,4905	147,594	4,11	-6,51	2,4								
31	68,75	12,14	98,75	1,15	385	27/04/2021	12	21	7	82,7817	65,0346	12,86	10,99	-23,85								
32	490	35,89	368,75	33,65	393,75	27/04/2021	12	29	49	30,3904	120,494	4,11	2,24	-6,35								

(Εικόνα 10.8)

Έχοντας εισάγει τα δεδομένα στο Excel και αφού τα έχουμε επεξεργαστεί όπως περιγράφουμε παραπάνω κατασκευάζουμε Συγκεντρωτικούς πίνακες. Στην καρτέλα **Εισαγωγή** πατάμε **Συγκεντρωτικός πίνακας**. (Εικόνα 10.8)

Συγκεντρωτικός Πίνακας

Τεκτοποίηση εύκολα και συνοψισμένο περιεχόμενο δεδομένων σε ένα Συγκεντρωτικό Πίνακα.

Παραπομπή: Μπορείτε να κάνετε διπλό κλικ σε μια τιμή για να δείτε τους επιμέρους τιμές συνθέτουν το σύνολο.

Περισσότερες πληροφορίες

	Date	Hour	Minutes	Seconds	Theta	Phi	t1-t2	t2-t3	t3-t1
1	1/04/2021	10	23	55	50,524	281,706	-18,39	23,49	-5,1
2	1/04/2021	10	29	52	55,3551	142,386	5,36	-6,51	1,15
3	1/04/2021	10	30	36	12,8274	197,832	-5,89	7,24	-1,35
4	1/04/2021	10	40	22	9,38347	139,966	-2,14	8,49	-6,35
5	1/04/2021	10	51	31	3,31177	331,525	-4,64	13,49	-8,85
6	21,25	321,25	25,89	200	12,4	167,5	27/04/2021	10	51
7	53,75	172,5	52,14	261,25	28,65	265	27/04/2021	10	51
8	31,25	333,75	29,64	382,5	24,9	185	27/04/2021	10	54
9	46,25	296	47,14	218,75	33,65	201,25	27/04/2021	10	54
10	15	92,5	18,39	115	2,4	247,5	27/04/2021	11	1
11	17,5	337,5	30,89	151,25	26,15	133,75	27/04/2021	11	5
12	23,75	362,5	33,39	95	17,4	200	27/04/2021	11	8
13	37,5	528,75	49,64	391,25	44,9	316,25	27/04/2021	11	8
14	42,5	322,5	39,64	178,75	23,65	145,75	27/04/2021	11	8
15	17,5	505	35,89	402,5	24,9	236,25	27/04/2021	11	9
16	21,25	236,25	10,89	392,5	9,9	70	27/04/2021	11	15
17	28,75	313,75	24,64	600	22,4	355	27/04/2021	11	20
18	32,5	216,25	20,89	398,75	21,15	223,75	27/04/2021	11	20
19	11,25	568,75	14,64	451,25	1,15	421,25	27/04/2021	11	23
20	11,25	438,75	15,89	382,5	13,65	291,25	27/04/2021	11	24
21	35	366,25	38,39	368,75	33,65	366,25	27/04/2021	11	24
22	42,5	303,75	35,89	385	36,15	171,25	27/04/2021	11	46
23	17,5	292,5	18,39	466,25	9,9	315	27/04/2021	11	50
24	25	657,5	17,14	780	16,15	328,75	27/04/2021	11	51
25	33,75	142,5	22,14	237,5	11,15	203,75	27/04/2021	12	3
26	60	301,25	53,39	288,75	37,4	450	27/04/2021	12	5
27	15	346,25	22,14	695	12,4	450	27/04/2021	12	9
28	15	206,25	19,64	106,25	18,65	155	27/04/2021	12	13
29	27,5	256,25	22,14	270	22,4	210	27/04/2021	12	14
30	40	618,75	35,89	665	42,4	721,25	27/04/2021	12	17
31	25	68,75	12,14	98,75	1,15	285	27/04/2021	12	21
32	40	490	35,89	368,75	33,65	393,75	27/04/2021	12	29

(Εικόνα 10.8)

Τα δεδομένα εισάγονται αυτόματα αφού το Excel αναγνωρίζει τι θέλουμε να κάνουμε. Ο Συγκεντρωτικός πίνακας εμφανίζεται σε καινούριο φύλλο.

Σε αυτό το φύλλο θα κατασκευάσουμε το συγκεκριμένο πίνακα που θα μας οδηγήσει στο ιστόγραμμα θ γωνιών. Δεξιά του φύλλου επιλέγουμε τη γωνία θ και το σέρνουμε στο πλαίσιο των Σειρών. (Εικόνα 10.9)

Πεδία Συγκεντρωτικού Πίνακα

Επιλογή πεδίων για προσθήκη στην αναφορά:

Αναζήτηση

☐ t012
☐ t013
☐ Date
☐ Hour
☐ Minutes
☐ Seconds
☒ Theta
☐ Phi
☐ t1-t2
☐ t2-t3
☐ t3-t1

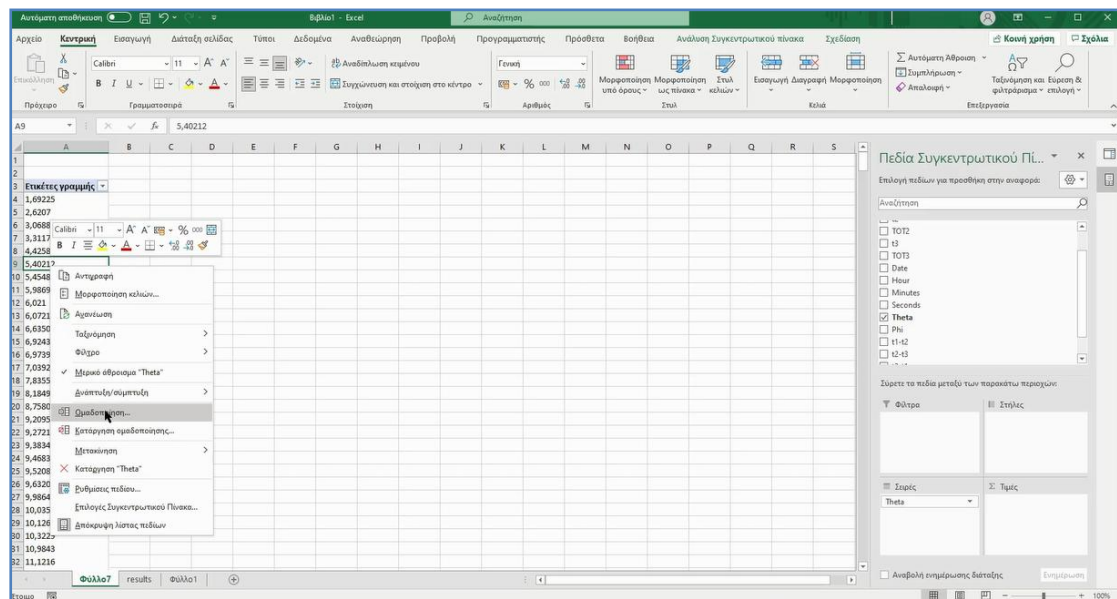
Σέρνεται το πεδίο μέσα των παρακάτω περιοχών:

☐ Φίλτρο
☐ Σειρές

Αναβολή ενημέρωσης δεδομένων

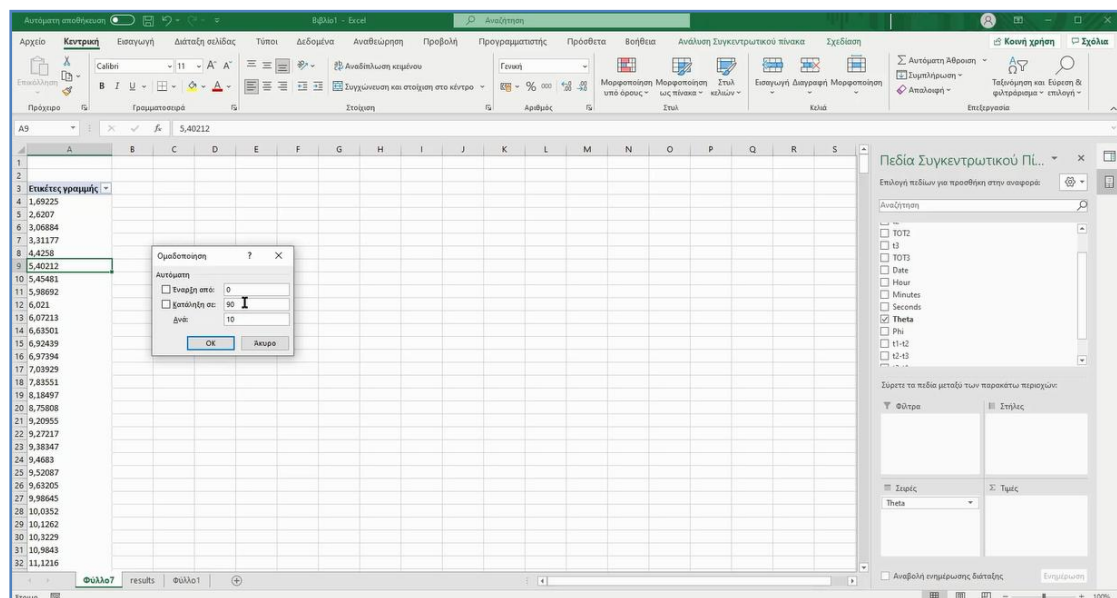
(Εικόνα 10.9)

Τώρα θα πρέπει να ομαδοποιήσουμε τις τιμές. Κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε **Ομαδοποίηση**. (Εικόνα 10.10)



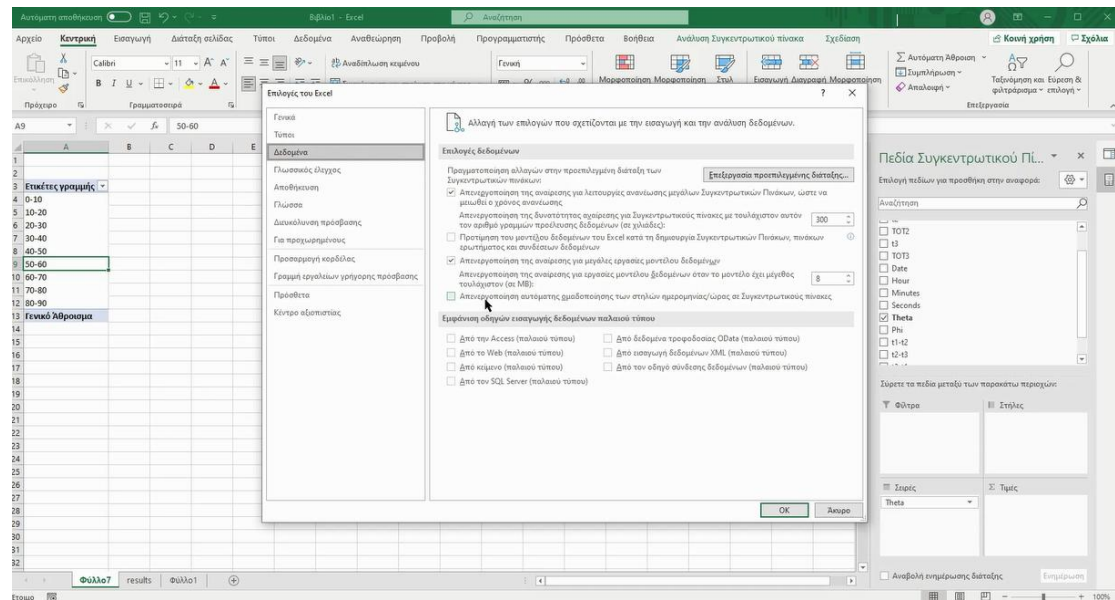
(Εικόνα 10.10)

Στο πλαίσιο που εμφανίζεται καταγράφουμε τις ακραίες τιμές της γωνίας **0-90** και βάζουμε **βήμα 10**. (Εικόνα 10.11)



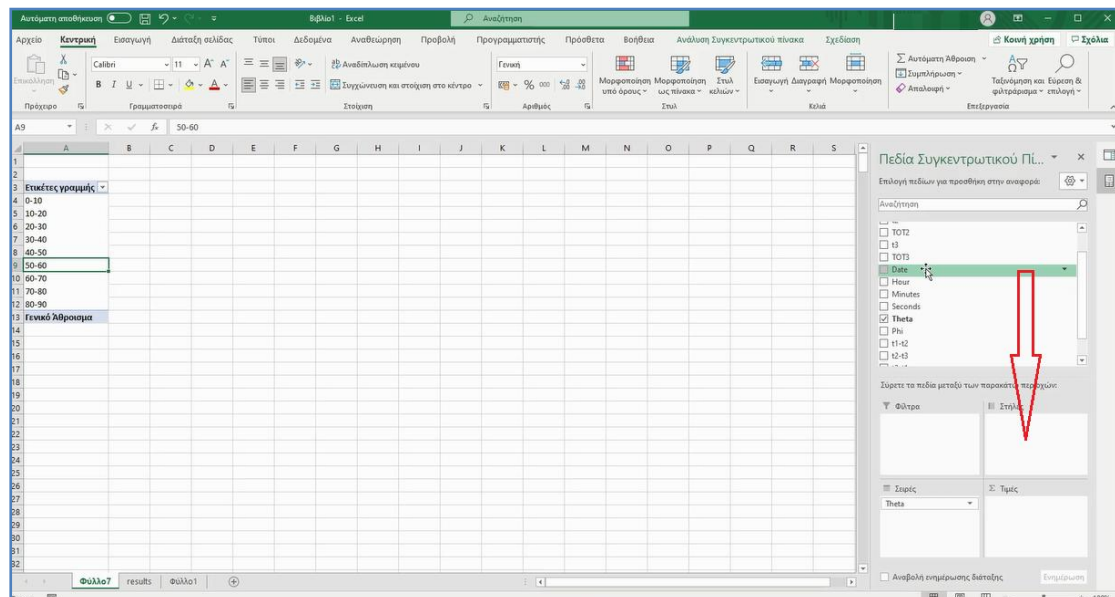
(Εικόνα 10.11)

Στις επόμενες στήλες τοποθετούμε τις ημερομηνίες. Στην καρτέλα **Αρχείο** επιλέγουμε **Γενικές Επιλογές** και πατάμε στα **Δεδομένα**. Εδώ επιλέγουμε **Απενεργοποίηση αυτόματης ομαδοποίησης ημερομηνίας**. (Εικόνα 10.12)



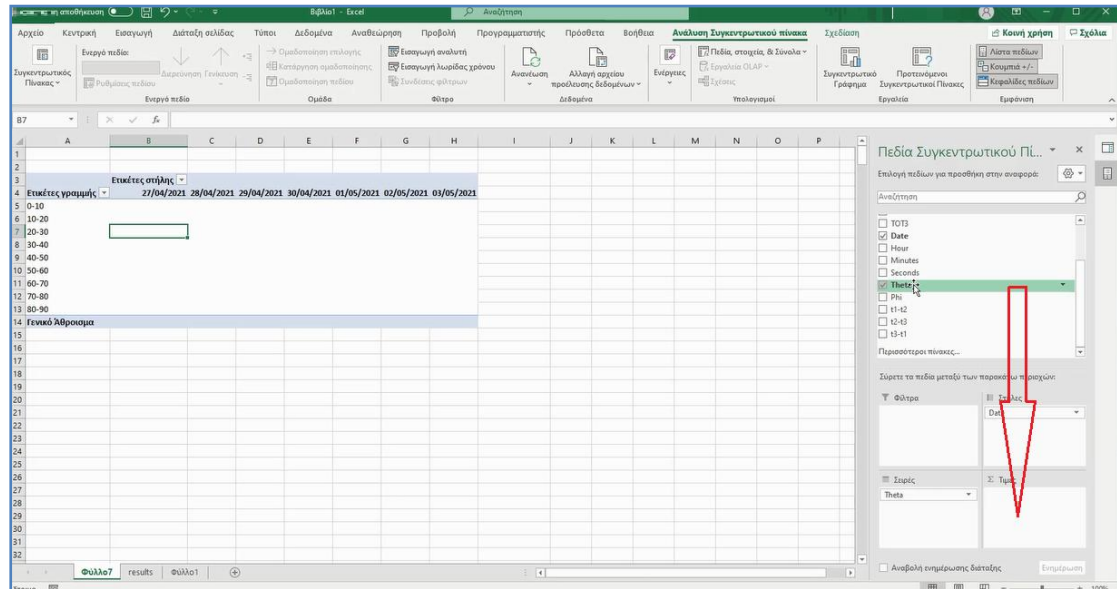
(Εικόνα 10.12)

Τώρα πηγαίνουμε πάλι στα δεξιά του φύλλου και σέρνουμε την **Ημερομηνία** στις **Στήλες**. (Εικόνα 10.13)



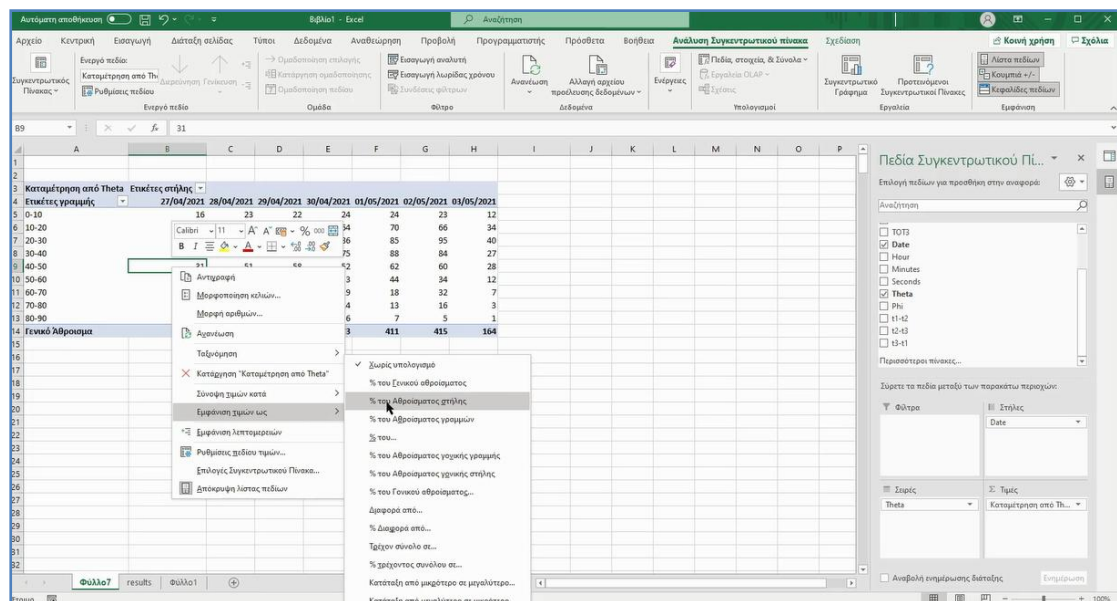
(Εικόνα 10.13)

Ο Συγκεντρωτικός πίνακας είναι έτοιμος να δεχθεί τιμές. Κάνουμε κλικ σε ένα κενό κελί του πίνακα ενεργοποιείται στα δεξιά το παράθυρο τιμών. Σέρνουμε τις γωνίες θ στις Τιμές. (Εικόνα 10.14)



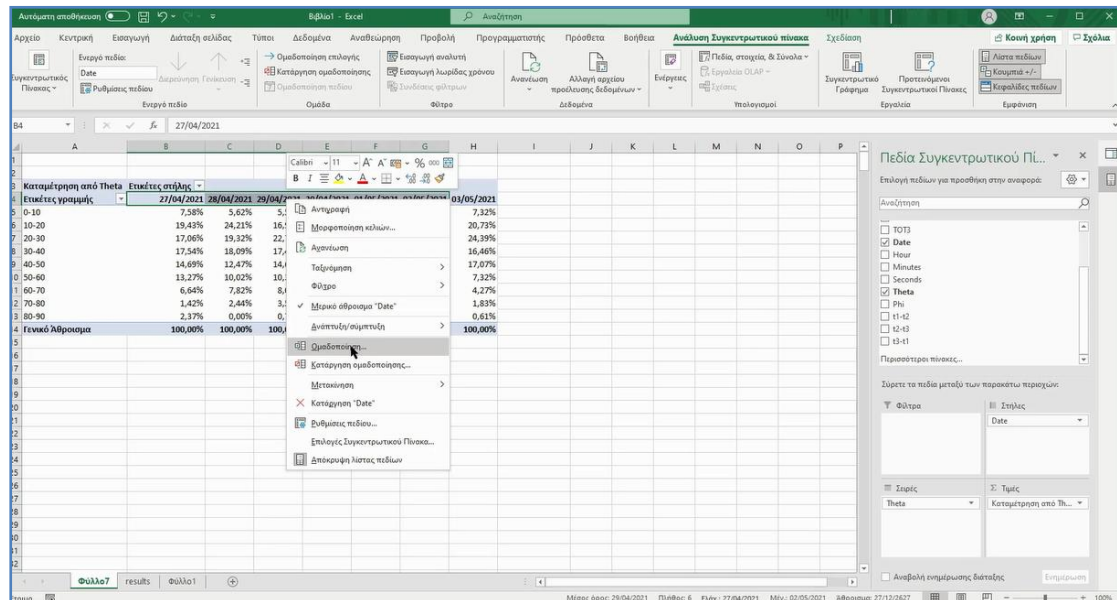
(Εικόνα 10.14)

Ο πίνακας συμπληρώθηκε. Τώρα θα μετατρέψουμε τις μετρήσεις σε ποσοστά του αθροίσματος στήλης. Κάνοντας δεξί κλικ επιλέγουμε **Εμφάνιση τιμών ως ποσοστό αθροίσματος στήλης**. (Εικόνα 10.14)



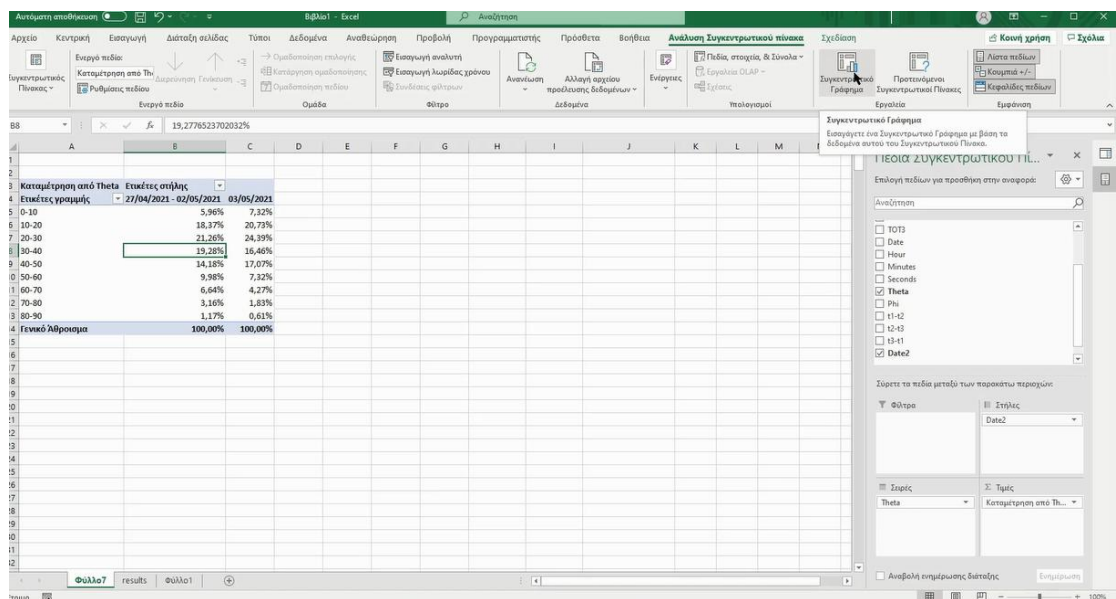
(Εικόνα 10.14)

Για να κατασκευάσουμε το ιστόγραμμα θα ομαδοποιήσουμε όλες τις ημερομηνίες εκτός της τελευταίας ή όποιον άλλον συνδυασμό επιθυμούμε. Για να ομαδοποιήσουμε επιλέγουμε τις στήλες και με δεξί κλικ πατάμε **Ομαδοποίηση**. (Εικόνα 10.15)



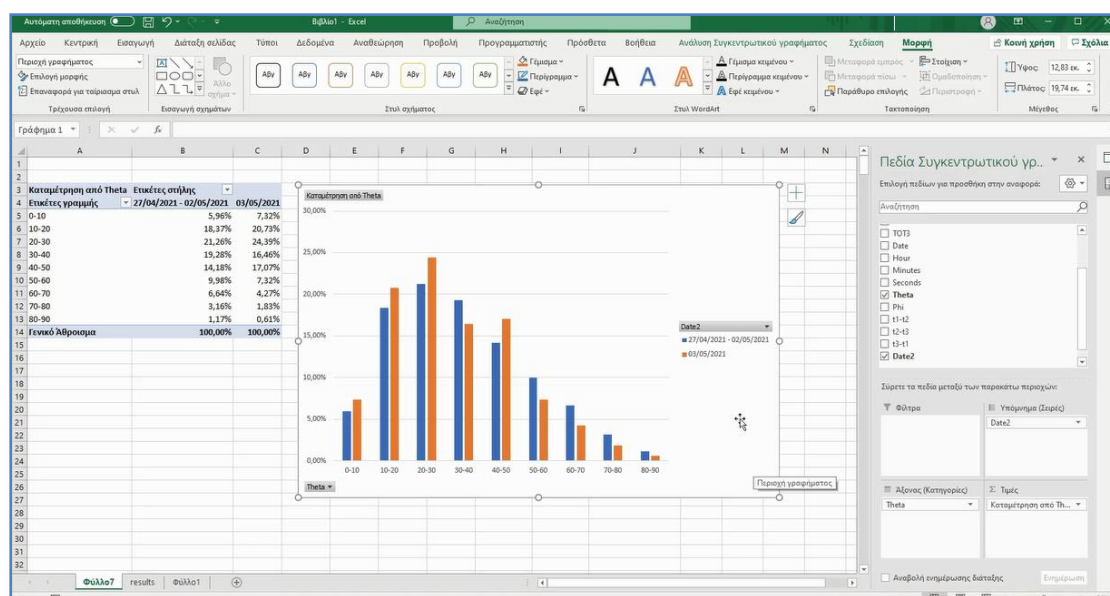
(Εικόνα 10.15)

Στην καρτέλα **Ανάλυση Συγκεντρωτικού Πίνακα** πατάμε **Συγκεντρωτικό Γράφημα**. (Εικόνα 10.16)



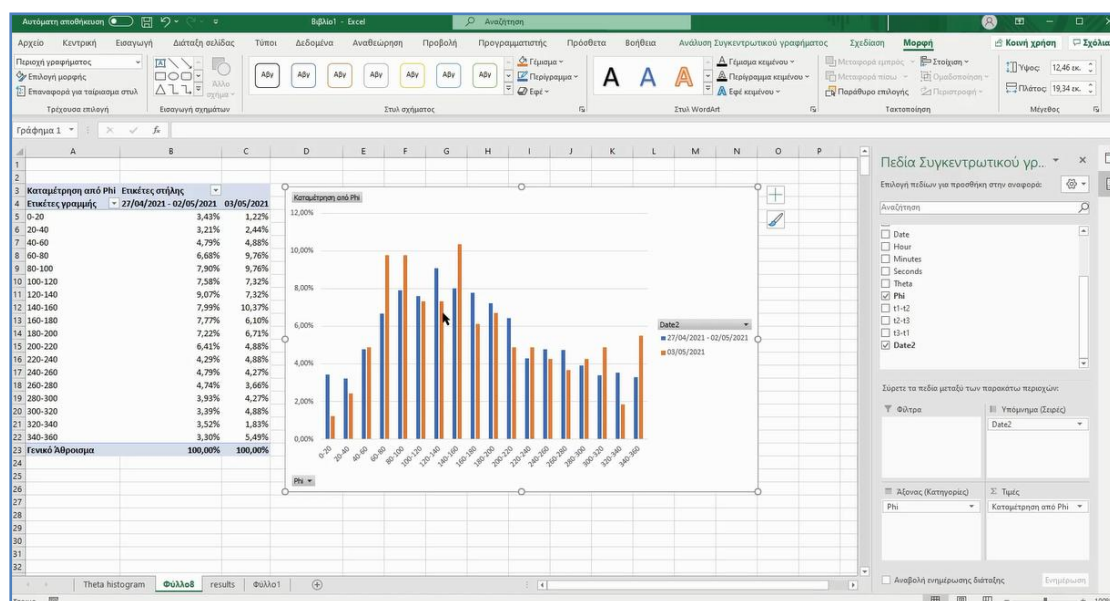
(Εικόνα 10.16)

Επιλέγουμε **Στήλες** και το Γράφημα είναι έτοιμο προς μελέτη. (Εικόνα 10.17)



(Εικόνα 10.17)

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να κατασκευάσουμε αντίστοιχα γραφήματα από Συγκεντρωτικούς πίνακες για τη γωνία ϕ (Εικόνα 10.18) ή για οποιοδήποτε άλλο στοιχείο θέλουμε να μελετήσουμε. Από τις στατιστικές αυτές κρίνουμε αν οι τιμές είναι οι αναμενόμενες, αν η διάταξη λειτουργεί σωστά, αν έχει πραγματοποιηθεί χρονισμός με καλή ακρίβεια και τέλος παρατηρώντας δεδομένα που συλλέγουμε σε μελλοντικές λήψεις μετρήσεων να μπορούμε να τα ερμηνεύουμε.



(Εικόνα 10.18)

11. Σύνοψη

Η παρούσα εργασία αφορά την ανάπτυξη τηλεργαστηρίου για τη μελέτη ατμοσφαιρικών καταιονισμών. Ο τηλεχειρισμός του τηλεσκοπίου έχει καταστεί εύκολα διαχειρίσιμος με τη βοήθεια υπολογιστή. Το σύστημα είναι σταθερό και μπορεί να καταγράφει δεδομένα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε όλες οι διαδικασίες να πραγματοποιούνται εξ' αποστάσεως και συγκεκριμένα η λήψη των δεδομένων, η καταγραφή τους, η επεξεργασία τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Τέλος, υπάρχει το αντίστοιχο εκπαιδευτικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιήσει κάθε πειραματιστής εξ' αποστάσεως για να εξοικειωθεί με νέες έννοιες που απαιτεί το πείραμα και να εκπαιδευτεί ασύγχρονα προκειμένου να φέρει εις πέρας μια σειρά πειραμάτων. Η παρούσα εργασία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εγχειρίδιο τόσο για τους συντονιστές του τηλεργαστηρίου όσο και για τους μαθητές. Οι πληροφορίες χρήσης της πλατφόρμας Moodle, του λειτουργικού της κάρτας Quarknet, των εφαρμογών Decoders και του Excel παρέχονται Step by Step δίνοντας κίνητρα να αναπτυχθούν από κάθε χρήστη περεταίρω δεξιότητες για τη χρήση τους κατά το δοκούν. Παράλληλα παρέχονται οι ίδιες πληροφορίες σε μορφή Video τα οποία έχουν ανέβει στο Ιδιωτικό κανάλι Youtube του mnet αλλά και στο Moodle.

Βιβλιογραφία

- [1] Bird, D. J., Corbato, S. C., Dai, H. Y., Elbert, J. W., Green, K. D., Huang, M. A., Kieda, D. B., Ko, S., Larsen, C. G., Loh, E. C., Luo, M. Z., Salamon, M. H., Smith, J. D., Sokolsky, P., Sommers, P., Tang, J. K. K., Thomas, S. B. (March 1995). *Detection of a cosmic ray with measured energy well beyond the expected spectral cutoff due to cosmic microwave radiation*. The Astrophysical Journal. 441: 144.
- [2] V. Berezhinsk, *Ultra High Energy Neutrino Astronomy, Nuclear Physics B* (Proc. Suppl.) 151 (2006) 260-269.
- [3] <http://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/2011/07/04/paris-city-of-lights-and-cosmic-rays/>
- [4] Langer, N. (2012). *Nucleosynthesis*. Bonn University
- [5] Lépine-Szily, A., Descouvemont, P. (2012). *Nuclear astrophysics: nucleosynthesis in the Universe. International Journal of Astrobiology*. Cambridge University Press
- [6] Reeves, H.(1974). *Nucleosynthesis and Galactic Cosmic Rays. in Origin of cosmic rays*. Dordrecht Holland/Boston USA: D.Raydel Publishing Company
- [7] Τάσος Λιόλιος, *Κοσμική ακτινοβολία*, Θεσσαλονίκη 2001.
- [8] Enqvist, T. (2009). *Lecture course on Astroparticle physics*. University of Oulu Oulu Southern institute.
- [9] Μπουρλής, Γ. (2010). *Ανάπτυξη Οργανολογίας και Μεθόδων Ανίχνευσης Ατμοσφαιρικών Καταιονισμών Κοσμικών Σωματίων και Εφαρμογές στη Βαθμονόμηση Υποθαλάσσιου Τηλεσκοπίου Νετρίνων*. Διδακτορική Διατριβή. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. σελ.31-35

- [10] Peter Karl Grieder, *Extensive air showers*, Springer Praxis Publishing, 2010
- [11] Ruben Heradio, Luis de la Torre, Daniel Galan, Francisco Javier, Enrique Herrera-Viedma, Sebastian Dormido. *Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. Computers And Education (2016). V.18 P.14-28*
- [12] Javier Garcia Zubia, Gustavo R. Alves. *Using Remote Labs Ina Education*. P. 81-112
- [13] <https://moodle.org/>