

Υπολογισμός των χαρακτηριστικών μεγεθών μίας πυρακτωμένης αντίστασης από την ανάλυση φάσματος φωτός, προς ένταξη στην εκπαιδευτική διαδικασία με μεθοδολογία STEM.

Calculation of the characteristic quantities of an incandescent resistor from the analysis of light spectrum, to be included in the educational process with STEM methodology.

Πολύδωρος Σταυρόπουλος, 3ο Ε.Κ. Πειραιά, Μηχανολόγος Εκπαιδευτικός, MSc STEM in Education, sv1ahh@gmail.com

Βασίλειος Κουτούφαρης, 3ο Ε.Κ. Πειραιά, Εκπαιδευτικός Πληροφορικής, MSc S.T.E.M. in Education, koutoufaris@gmail.com

Polydoros Stavropoulos, 3 E.K. Piraeus, Mechanic Engineering, MSc STEM in Education, sv1ahh@gmail.com

Vasilis Koutoufaris, 3 E.K. Piraeus, Computing, MSc STEM in Education, koutoufaris@gmail.com

Abstract: The current paper presents workshop with a detailed analysis of the light spectrum in order to calculate the incandescence timing of an electric heated resistor, also the wave length of the emitted radiation. An experiment is done to calculate the various basic characteristics of the resistor. The software that is used is of moderate difficulty. The aim of the project is to incorporate innovations in the educational process. It is addressed to teachers of secondary general or vocational education. The specific methodology can be used in Physics and specifically in teaching optics, heat, and in Metallurgy for the analysis of metal vapor spectrum. Also, it can be used in Technical vocational training courses that teach electric heated car catalysts. By altering this method, modern educational objects can be created for any level of education, thus enriching the educational process and integrating STEM (Science Technology, Engineering, Mathematics). The video of the experiment is presented and the free open source software used is called Tracker Video Analysis and Modeling Tool, which is suggested in the development of other similar applications. This software introduces open source programming, which is especially well known to teachers, specializing in Physics, in video motion analysis. Furthermore, it has the ability to analyze the light spectrum, which little information is stated on the internet. Therefore, this effort encourages teachers to use ICT, in a pleasant and innovative way, for the benefit of learning.

Keywords: Light spectrum, incandescence, free software, STEM, Tracker.

Περίληψη: Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται λεπτομερώς μία πιλοτική μέθοδος ανάλυσης φάσματος φωτός με σκοπό τον υπολογισμό του χρόνου πυράκτωσης μίας ηλεκτρικά θερμαινόμενης αντίστασης, με τη βοήθεια βιντεοσκόπησης πειράματος. Ακολουθεί υπολογισμός εύρεσης του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και

βασικών χαρακτηριστικών της αντίστασης. Σκοπός της εργασίας είναι η ένταξη παρόμοιων καινοτομιών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Απευθύνεται σε εκπαιδευτικούς της δευτεροβάθμιας γενικής και επαγγελματικής εκπαίδευσης. Δίδεται επίσης η κατεύθυνση χρήσης της μεθοδολογίας αυτής στο μάθημα της φυσικής και συγκεκριμένα στις ενότητες οπτικής ή θερμότητας. Μπορεί να αξιοποιηθεί στη χημεία στην ανάλυση ατμών καθώς επίσης σε πληθώρα μαθημάτων της τεχνικής επαγγελματικής εκπαίδευσης. Παρατίθεται video του πειράματος και προτείνεται η χρήση συγκεκριμένου ελεύθερου λογισμικού ανοικτού κώδικα, ως μέθοδος ανάπτυξης άλλων εφαρμογών. Είναι μία σύγχρονη πρόταση δημιουργίας σύγχρονων εκπαιδευτικών αντικείμενων για οποιαδήποτε βαθμίδα εκπαίδευσης εμπλουτίζοντας, με τον τρόπο αυτόν, την εκπαιδευτική διαδικασία και εισάγοντας σε αυτήν την μεθοδολογία STEM (Science Technology, Engineering, Mathematics). Το ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί είναι το «Tracker Video Analysis and Modeling Tool». Έχει καταστεί γνωστό από την ανάλυση κίνησης μέσω video. Υπάρχει όμως μία άγνωστη πτυχή αυτού του λογισμικού που είναι η ανάλυση φάσματος και παρουσιάζεται λεπτομερώς σε αυτό το workshop. Δεν διατίθενται πληροφορίες στο διαδίκτυο για τη χρήση του, όσον αφορά αυτήν την δυνατότητα. Είναι η πρώτη διεθνής παρουσίαση ανάλυσης φάσματος από video. Στόχος της εργασίας είναι η ενθάρρυνση των εκπαιδευτικών για χρήση των Τ.Π.Ε., με ευχάριστο τρόπο, προς όφελος της μάθησης.

Λέξεις κλειδιά: Φάσμα φωτός, πυράκτωση, ελεύθερο λογισμικό, STEM, Tracker.

1. Εισαγωγή

Στόχος της εργασίας είναι η παρότρυνση ένταξης καινοτόμων υπολογιστικών λογισμικών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Εκπαιδευτικοί και μαθητές μπορούν εύκολα να εγκαταστήσουν το ελεύθερο λογισμικό Tracker Video Analysis and Modeling Tool σε προσωπικό υπολογιστή (<https://physlets.org/tracker/>) και να εξοικειωθούν στη χρήση του. Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, δίδεται πρόσβαση σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον υψηλής τεχνολογίας για την ανάλυση κίνησης ή την ανάλυση φάσματος φωτός μέσω video που ίσως οι ίδιοι μαθητές να έχουν καταγράψει.

Προϋποθέσεις της μεθοδολογίας STEM είναι η επίλυση προβλήματος και η ανάπτυξη πειράματος. Το πρόβλημα που τίθεται προς επίλυση, για αυτήν την εφαρμογή, είναι ο υπολογισμός του χρόνου μέχρι την πλήρη πυράκτωση μίας αντίστασης και στη συνέχεια ο μαθηματικός υπολογισμός βασικών χαρακτηριστικών αυτής (ωμική αντίσταση, θερμοκρασία, ρεύμα, ισχύς). Ο υπολογισμός του χρόνου με οπτική παρατήρηση ποικίλει ανάλογα τον παρατηρητή που προσπαθεί να μετρήσει τον χρόνο με μοναδικό όργανο ένα χρονόμετρο χειρός. Όμως η ακρίβεια υπολογισμού του χρόνου μέσω της ανάλυσης φάσματος, της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, είναι πολύ υψηλή. Το λογισμικό αξιοποιεί την RGB ακτινοβολία από ένα video προκειμένου να εξασφαλιστεί ακριβής υπολογισμός. Μετά την εισαγωγή του video στο λογισμικό γίνεται η ανάλυση των δεδομένων και η εξαγωγή χρήσιμων για σπουδή διαγραμμάτων. Η ανάπτυξη του καινοτόμου αυτού εκπαιδευτικού

αντικειμένου έχει ως κίνητρο την ανυπαρξία παρόμοιων ελεύθερων εφαρμογών στο διαδίκτυο για χρήση στη διδασκαλία. Το υπολογιστικό περιβάλλον εργασίας είναι ιδιαίτερα φιλικό για τον χρήστη. Η ένταξη του λογισμικού εισαγάγει τον κλάδο Technology (T) της μεθοδολογίας S.T.E.M. που θα ακολουθηθεί στην εκπαιδευτική διαδικασία. Βασικό σημείο είναι ότι εντάσσει την υπολογιστική σκέψη (Computational Thinking) στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της προετοιμασίας της διδασκαλίας ενός οποιουδήποτε μαθήματος που περιλαμβάνει έννοιες φυσικής, μαθηματικών, τεχνολογίας και μηχανικής.

1.1. Τι είναι το STEM στην εκπαίδευση

Αν αναζητήσουμε στον παγκόσμιο ιστό το ακρωνύμιο STEM θα συναντήσουμε πολλές αναφορές σχετικές με το ότι πρόκειται για μία καινοτόμο μεθοδολογία που εντάσσει στη διδακτική διαδικασία όχι μόνο τις βασικές Επιστήμες (Φυσική, Χημεία κ.α.), αλλά επίσης την Τεχνολογία, τη Μηχανική (Μηχανολογία) και τα Μαθηματικά. Στην Ελλάδα η μοναδική κινητικότητα που διαφαίνεται σήμερα στη μεθοδολογία STEM στα Ελληνικά σχολεία είναι η εκπαιδευτική ρομποτική που τις περισσότερες φορές περιλαμβάνει συναρμολόγηση δομικών στοιχείων (Engineering) και υποτυπώδη προγραμματισμό (Technology). Εκλείπει όμως ένας ακόμη κλάδος για να είναι πραγματική προσέγγιση STEM. Για να χαρακτηριστεί μία εφαρμογή STEM θα πρέπει να ενσωματώνονται τρεις τουλάχιστον κλάδοι. Στην περίπτωση που έχουν αξιοποιηθεί όλοι οι κλάδοι, τότε γίνεται αναφορά για ολοκληρωμένο STEM.

Το ακρωνύμιο S.T.E.M. προκύπτει από τα αρχικά των λέξεων Science, Technology, Engineering, Mathematics. Είναι η σύγχρονη και καινοτόμος διδακτική προσέγγιση που αξιοποιεί 4 κλάδους στην εκπαιδευτική διαδικασία: Επιστήμες, Τεχνολογία, Μηχανική και Μαθηματικά. Πρόσφατα έχουν προστεθεί Art και Culture, έτσι το ακρωνύμιο STEM τροποποιείται σε STEAM και STEMAC αντίστοιχα. Είναι απαραίτητο να έχουν συμπεριληφθεί τρεις από αυτές τις επιστήμες στη μεθοδολογία και εισερχομένης της μίας να εξέρχεται η άλλη.

Η Beatty A., στο βιβλίο *Successful STEMEducation*, αναφέρει σχετικά με την προετοιμασία των εκπαιδευτικών για να διδάξουν τη μεθοδολογία STEM, ότι πρέπει προηγουμένως να ακολουθήσουν κατάλληλη επιμόρφωση για την αποτελεσματικότερη προετοιμασία τους στα μαθήματα. Πρέπει να αναπτύξουν ένα project (portfolio ή ερευνητική εργασία), να γίνει πρακτική των μαθημάτων που διδάσκουν προκειμένου να εκπαιδευτούν σε συγκεκριμένες διδακτικές προσεγγίσεις.

Το 2015, το ίδρυμα *JackKentCooke* επιχορήγησε Ακαδημίες και Πανεπιστήμια με το ποσό των 1,6 εκατομμυρίων δολαρίων, για τους ασθενέστερους οικονομικά φοιτητές που επιθυμούν να σπουδάσουν τη μεθοδολογία STEM. Αυτό δείχνει το ενδιαφέρον για την προώθηση της συγκεκριμένης διδακτικής μεθοδολογίας.

Στην ιστοσελίδα του Λευκού Οίκου, ο πρόεδρος *Obama*, στις 13 Μαρτίου 2015, δηλώνει ότι έχουν διατεθεί πάνω από 1 δισεκατομμύριο δολάρια για την υποστήριξη των προγραμμάτων STEM στην εκπαίδευση, με το σύνθημα “εκπαιδεύστε να καινοτομήσουν”,

«*Educate to innovate*». Στην έκθεση του *Observatory on Borderless Higher Education* αναφέρεται ότι πρέπει να εισαχθούν στις Η.Π.Α. 20–30% ταλέντα στο STEM από άλλες χώρες. Ακόμη προτείνεται να δοθεί VISA (H-1B) σε μετανάστες που διαθέτουν Master ή Phd στο STEM προκειμένου να εργασθούν. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι ηγέτης σε αυτόν τον τομέα της διδακτικής. Στη σελίδα του Λευκού Οίκου ο Πρόεδρος Barack Obama επισημαίνει επίσης ότι απαιτείται να εκπαιδευτεί πλήθος καθηγητών ειδικευμένων στο STEM: «*One of the things that I've been focused on as President is how we create an all-hands-on-deck approach to science, technology, engineering, and math... We need to make this a priority to train an army of new teachers in these subject areas, and to make sure that all of us as a country are lifting up these subjects for the respect that they deserve*». President Barack Obama Third Annual White House Science Fair, April 2013.

Σε πράξη (8/7/2015) του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής παρατηρούμε την προτροπή για σχεδιασμό αναλυτικών προγραμμάτων με βάση το STEM: «Η ένταξη του προτείνεται από όσους σχεδιάζουν αναλυτικά προγράμματα, τόσο γιατί εξυπηρετεί καλύτερα τη μάθηση μέσα από την ολιστική αντιμετώπιση προβλημάτων, όσο και γιατί γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα στην επιστήμη και τις εφαρμογές της. Ως εκ τούτου ένα πλαίσιο διδασκαλίας των επιστημών αυτών μέσα από ένα μοντέλο ένταξης μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματικότερο για την προετοιμασία των εργαζομένων στο χώρο της τεχνολογίας και της επιστήμης του 21ου αιώνα».

Τον Νοέμβριο του 2018 ο Πρόεδρος Trump αποφάσισε να επενδυθούν 279 εκατομμύρια δολάρια, από το υπουργείο παιδείας των ΗΠΑ, σε υψηλής ποιότητας καινοτόμες τεχνολογίες στη διδασκαλία του STEM. Αυτό έπρεπε να συμβεί άμεσα στους δύο τελευταίους μήνες του 2018.

Πρόσφατα δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 2539/24-6-2020τ.β' η υπουργική απόφαση Φ.7/79511/ΓΔ4 που εισάγει την εφαρμογή της πιλοτικής δράσης «Εργαστήρια Δεξιοτήτων» στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση τα οποία συμπεριλαμβάνουν και εκπαίδευση στη μεθοδολογία STEM.

1.2. Καινοτομία στην εκπαίδευση (innovation of education)

Σύμφωνα με τον Μπαμπινιώτη (2002) ο όρος “καινοτομία” είναι το άνοιγμα νέων παιδαγωγικών προσεγγίσεων, μεταρρυθμίσεων και υιοθέτηση ουσιαστικών αλλαγών στη διδακτική.

Ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης – (Ο.Ο.Σ.Α.– Ο.Ε.Κ.Δ.) έκδωσε το βιβλίο των Vincent. et al., το 2014. Στο συγκεκριμένο βιβλίο περιέχεται σειρά ερευνών για την καινοτομία στην Ευρωπαϊκή Εκπαίδευση. Οι συγκρίσεις δείχνουν ότι το 70% των εκπαιδευτικών της Ε.Ε. έχουν καθιερωθεί για τις καινοτομίες τους. Επίσης αναφέρεται ότι η ένταξη των καινοτόμων δράσεων είναι σημαντικότερες στην Ανώτατη Εκπαίδευση παρά στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια. Κατά τον Ο.Ο.Σ.Α. η καινοτομία δίνει έμφαση στο αποτέλεσμα της διδακτικής διαδικασίας το οποίο είναι μετρήσιμο. Σύμφωνα με τον Leach

(1994:135), οι καινοτομίες πρέπει να ενισχύουν το σχολείο για να επιτυγχάνονται οι στόχοι. Η αλλαγή των μεθόδων και των ιδεών των εκπαιδευτικών είναι άμεση προτεραιότητα. Η αντικατάσταση των αναλυτικών προγραμμάτων, με άλλα πιο αποτελεσματικότερα, είναι μια ακόμη καινοτόμος δράση.

1.3. Υπολογιστική σκέψη (Computational Thinking C.T.)

Μια άλλη σημαντική καινοτομία στην εκπαίδευση είναι η Υπολογιστική Σκέψη (Computational Thinking– C.T.). Σύμφωνα με την εργασία των Μαυρουδή, Πέτρου, Φεσάκη, (2014): «Η ανάπτυξη της ικανότητας της υπολογιστικής σκέψης θεωρείται κλειδί για την αξιοποίηση των υπολογιστικών πόρων από τους πολίτες στη δημιουργική επίλυση προβλημάτων και την καινοτομία. Επιπλέον, η υπολογιστική σκέψη θεωρείται σημαντική για την προσέγγιση οποιουδήποτε άλλου επιστημονικού και τεχνολογικού αντικειμένου δεδομένης της επίδρασης της πληροφορικής στην επιστημολογία και τη μεθοδολογία των γνωστικών αντικειμένων. Η υπολογιστική σκέψη έγινε το εννοιολογικό όχημα με το οποίο η Πληροφορική θα αποκτήσει τον πραγματικό της ρόλο στην εκπαίδευση». Ο όρος Computational Thinking χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Seymour Papert το 1980. Η ολοκληρωμένη STEM προσέγγιση είναι σημαντικότερο βήμα για τη σύνδεση της υπολογιστικής σκέψης με την επίλυση προβλήματος. Η στρατηγική αυτή επιτρέπει στους μαθητές να μετατρέψουν σύνθετα προβλήματα σε μία ευκολότερη διαδικασία (Wing, 2006). Οι εκπαιδευτικοί που χρησιμοποιούν τεχνικές STEM στη διδακτική τους διαδικασία, συμπεριλαμβάνοντας την υπολογιστική σκέψη, επιτρέπουν στους μαθητές να εξασκηθούν στην επίλυση προβλήματος προσπαθώντας και κάνοντας λάθη, (Barr, et al, 2011). Στην ανάπτυξη της εφαρμογής που προτείνουμε εντάξαμε την υπολογιστική σκέψη (Computational Thinking) αξιοποιώντας το ελεύθερο λογισμικό Tracker που η διαχείριση του είναι σχετικά εύκολη.

2. Το ελεύθερο λογισμικό Tracker Video Analysis and Modeling Tool

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται για πρώτη φορά η συγκεκριμένη δυνατότητα της ανάλυσης φάσματος φωτός που εκπέμπεται από πυρακτωμένη αντίσταση. Το λογισμικό Tracker εκτός της γνωστής ανάλυσης οποιασδήποτε βιντεοσκοπημένης κίνησης μπορεί να κάνει επεξεργασία ανάλυσης φάσματος φωτός από μία φωτογραφία ή ένα video. Είναι μία από τις δυνατότητες του προγράμματος που δεν διατίθενται πληροφορίες στο διαδίκτυο. Με μοναδικό δεδομένο κάποιο γνωστό μήκος κύματος ή και συχνότητα μιας χρωματικής φωτεινής ακτινοβολίας μπορούμε να εντοπίσουμε ένα άγνωστο μήκος κύματος και από αυτό να υπολογιστεί η θερμοκρασία του σώματος με μοναδικό δεδομένο την ανάλυση της RGB περιοχής. Ο υπολογισμός της έντασης της εκπεμπόμενης φωτεινής ακτινοβολίας γίνεται αυτόματα με χρονικό βήμα από το λογισμικό. Εκτός από το μήκος κύματος και τον χρόνο προθέρμανσης μπορούν οι μαθητές να υπολογίσουν και άλλα χαρακτηριστικά όπως αυτό της ισχύος της αντίστασης (Watt) και την τιμή αυτής (Ohms) με τους νόμους του ηλεκτρισμού.

Το πρόβλημα που τίθεται για επίλυση σε αυτήν την εργασία είναι η ακριβής εύρεση του χρόνου πυράκτωσης, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, η θερμοκρασία, η ισχύς και τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής αντίστασης. Για τον ακριβή υπολογισμό του χρόνου, μέχρι πέρατος, οργανώθηκε και εκτελέστηκε πείραμα στο εργαστήριο, λαμβάνοντας όλα τα μέτρα προστασίας, ακολουθώντας τους κανόνες ασφαλείας, προκειμένου να βιντεοσκοπηθεί η πυράκτωση. Έγιναν αρκετές δοκιμές έως την τελική βιντεοσκόπηση για να αποφευχθούν τυχόν λάθη. Με οπτική παρατήρηση δεν είναι εφικτό να μετρηθεί ο ακριβής χρόνος που απαιτείται για την πυράκτωση διότι δεν υπάρχει οπτικό δεδομένο του χρονικού σημείου που έχει επιτευχθεί το μέγιστο αυτής. Ούτε είναι εύκολο να υπολογιστεί η μέγιστη θερμοκρασία χωρίς τη χρήση θερμομέτρου υπερύθρων ακτινοβολίας, όμως μέσω του λογισμικού θα γίνει ο υπολογισμός αυτής. Η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου με ανάλυση του video δίνει μεγάλη ακρίβεια σε σχέση με την οπτική παρατήρηση με χρήση ενός απλού χρονομέτρου. Η ανάλυση του video που έχει καταγράψει την πυράκτωση της αντίστασης, γίνεται στην περιοχή RGB (Red, Green, Blue) και δίνει το μέσο όρο της έντασης της εκπεμπόμενης φωτεινής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 4.93 του ελεύθερου λογισμικού Tracker. Επιλέχθηκε να βιντεοσκοπηθεί η θέρμανση της αντίστασης ενός καταλυτικού μετατροπέα που ευγενικά χορηγήθηκε από την εταιρεία EMITEC λόγω της πυκνότητας του μεταλλικού υλικού της αντίστασης. Θα μπορούσε κάλλιστα να βιντεοσκοπηθεί η ηλεκτρική αντίσταση θερμάστρας.

3. Το πείραμα και ο υπολογισμός του χρόνου πυράκτωσης



Εικόνα 2 Απαραίτητος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή του πειράματος.

με μεγάλη διατομή, αμπεροτσιμπίδα συνεχούς ρεύματος, θερμόμετρο υπερύθρων και ψηφιακό πολύμετρο. Στην εικόνα 2 παρατηρούμε έναν ηλεκτρικά θερμαινόμενο καταλύτη σε τομή με λείζερ από τον οποίο θα αξιοποιηθεί μόνο η ηλεκτρική του αντίσταση

Ο απαραίτητος εξοπλισμός παρουσιάζεται στην εικόνα 1 και απαρτίζεται από δύο συσσωρευτές αυτοκινήτου 12 Volts, καλώδια ρευματοδότησης



Εικόνα 1 Ηλεκτρικά θερμαινόμενος καταλυτικός μετατροπέας οχήματος.

για την εφαρμογή και τους υπολογισμούς. Θεωρούμε ότι τα στοιχεία της αντίστασης είναι άγνωστα.



Εικόνα 3 Πολύμετρο, καταλύτης, θερμόμετρο υπερέθρων και αμπεροτσιμπίδα συνεχούς ρεύματος.

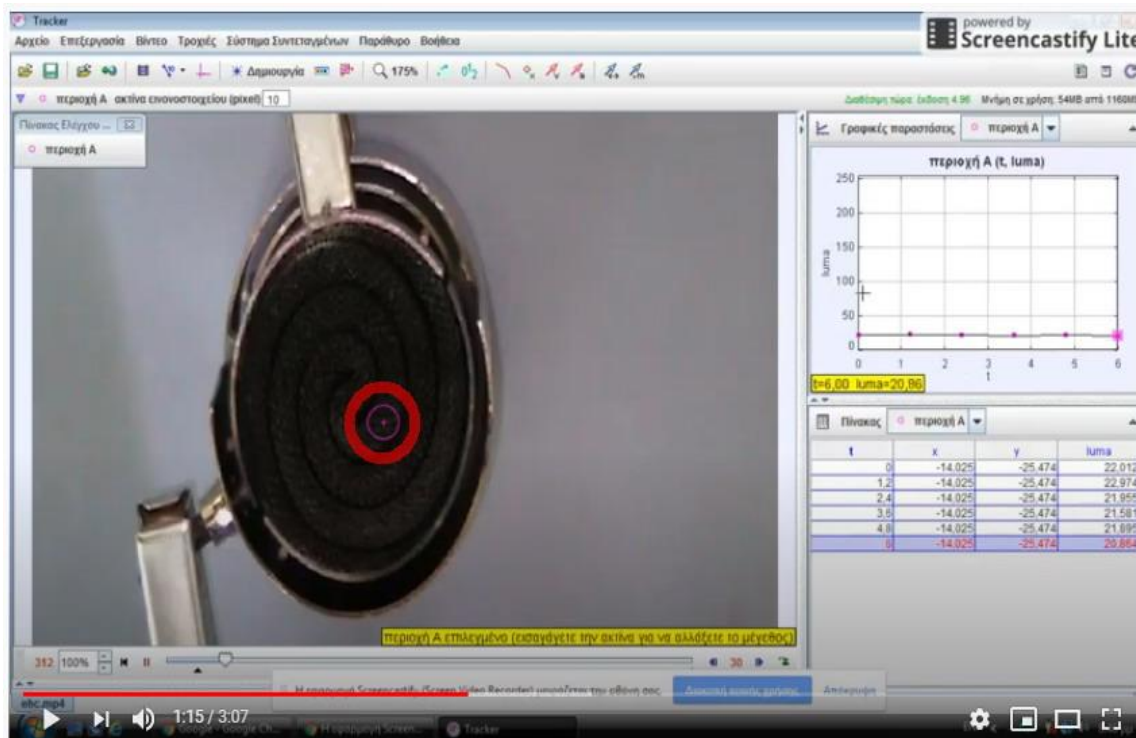
Στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<https://www.youtube.com/>

υπάρχει αναρτημένο και ελεύθερο για χρήση το video του πειράματος. Παρατηρείται κατά την αναπαραγωγή του video ότι η τροφοδοσία, της αντίστασης, με τάση 12 Volts γίνεται στο τέταρτο δευτερόλεπτο. Δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί με απλή οπτική παρατήρηση πότε η αντίσταση βρίσκεται στο μέγιστο της πυράκτωσης της. Από το

τεσσαρακοστό δευτερόλεπτο φαίνεται ότι έχει πυρακτωθεί, έτσι δεν μπορεί να εντοπιστεί το μέγιστο.

Στην εικόνα 3 παρατηρούνται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα: α) ψηφιακό πολύμετρο για την ακριβή μέτρηση της τάσης των δύο συσσωρευτών που είναι παράλληλα



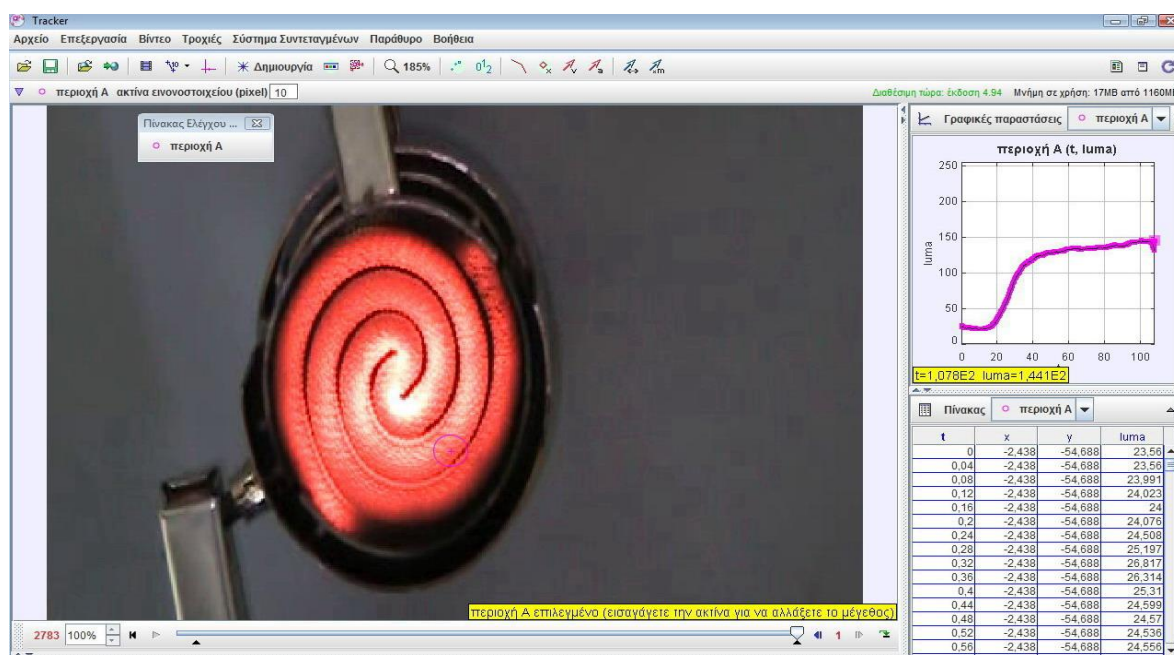
Εικόνα 4 Καθορισμός σημείου ανάλυσης φάσματος.

συνδεδεμένοι (12 Volts) β) ηλεκτρονικό θερμόμετρο υπερύθρων για επιβεβαίωση της θερμοκρασίας που θα υπολογιστεί με μαθηματικούς τύπους και γ) αμπεροτσιμπίδα συνεχούς ρεύματος για την μέτρηση των Amperes που διαρρέει την ηλεκτρική αντίσταση.

Αφού γίνει εισαγωγή του video στο λογισμικό Tracker, εκτελείτε η ανάλυση του εκπεμπόμενου φάσματος φωτός. Για αυτόν τον σκοπό γίνεται επιλογή τυχαίου σημείου (εικόνα 4), προς υπολογισμό του χρόνου πυράκτωσης, το οποίο βρίσκεται πλησίον του κέντρου της αντίστασης σε κόκκινο κύκλο.

Η πορεία εργασίας που ακολουθούμε μέσω της γραμμής εργαλείων (menu) είναι:

APXEIO → *ANOIGMA APXEIOY*, εντοπισμός του video στον υπολογιστή και εισαγωγή στο λογισμικό. Στη συνέχεια ορίζεται το αρχικό και τελικό καρέ με δεξί κλικ πάνω στο slider του video. Αρχικό καρέ θα είναι το σημείο σύνδεσης του ρεύματος και τελικό το σημείο

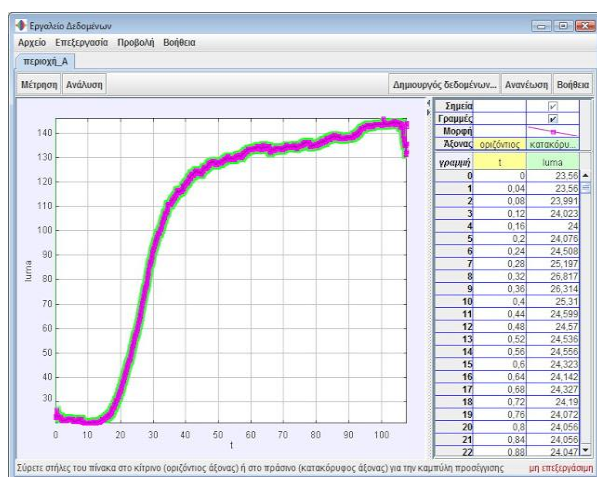


Εικόνα 5 Καταγραφή τιμών φωτεινότητας και εξαγωγή διαγράμματος.

αποσύνδεσης της αντίστασης από το ηλεκτρικό ρεύμα.

Από το menu *TPOXIES* → *NEO* → *RGB ΠΕΡΙΟΧΗ* ορίζουμε ένα σημείο πάνω στην αντίσταση με shift και αριστερό κλικ στο mouse. Με την επιλογή → *PLAYVIDEO* αρχίζει η αναπαραγωγή του video και ταυτόχρονα η ανάλυση του φάσματος με παράλληλη καταγραφή του διαγράμματος και του πίνακα των τιμών φωτεινότητας της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εικόνα 5.

Μετά την αυτόματη ανάλυση προκύπτει το διάγραμμα της εικόνας 6 στο οποίο παρατηρούμε ότι η πυράκτωση αρχίζει από το 15' δευτερόλεπτο και διαρκεί έως το 95' όπου έχει επιτευχθεί το μέγιστο της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Αν προσέξουμε στο διάγραμμα (εικόνα 6), παρατηρούμε ότι από το εικοστό έως το τεσσαρακοστό δευτερόλεπτο η θέρμανση είναι



Εικόνα 6 Διάγραμμα και πίνακας αποτελεσμάτων από την ανάλυση και καταγραφή του video στον TrackerVideoAnalysis.

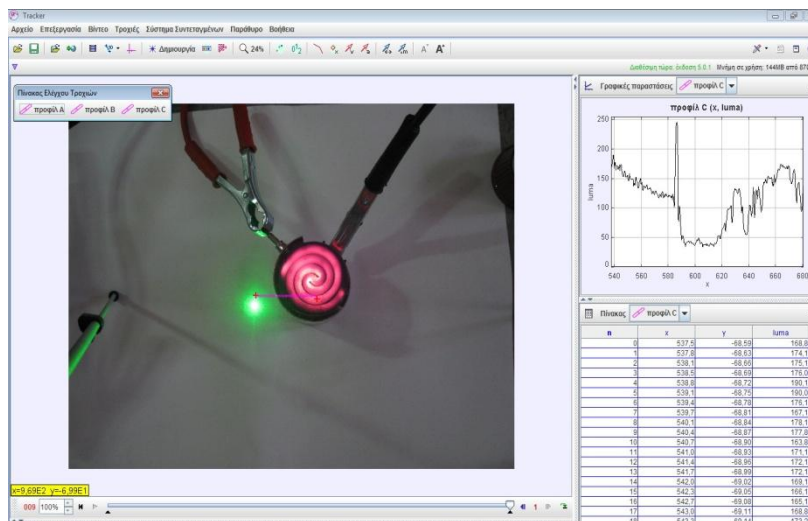
σημαίνει ότι δεν υπάρχει περαιτέρω πυράκτωση αφού αυτή είναι η μέγιστη ένδειξη. Στη διεύθυνση <https://www.youtube.com> έχει αναρτηθεί video που παρουσιάζει τον τρόπο εργασίας στο ελεύθερο λογισμικό Trackervideoanalysis μέσα από ένα ολιγόλεπτο video.



Εικόνα 7 Δείκτης laser πράσινου χρώματος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ($\lambda=532\text{nm}$).

4. Υπολογισμός του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την πυρακτωμένη αντίσταση

Με ανάλυση της φωτογραφίας από την πυρακτωμένη αντίσταση με δεδομένο μήκος κύματος ακτινοβολίας (laser μήκους κύματος 532 nm πράσινου χρώματος, ισχύος 5 mWatt) θα υπολογιστεί με το λογισμικό Tracker το μήκος κύματος της ακτινοβολίας της πυρακτωμένης αντίστασης (εικόνα 7). Η συγκεκριμένη φωτογράφιση και ταυτόχρονα η βιντεοσκόπηση έχουν γίνει σε σκοτεινό περιβάλλον για να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλες πηγές ακτινοβολίας. Λόγω της υψηλής ανάκλασης του laser στο κέντρο θα εκλάβουμε σαν σημείο βαθμονόμησης το πέριξ αυτού πράσινο χρώμα. Τα καλώδια τροφοδοσίας ήταν ιδιαίτερα χοντρά λόγω του μεγάλου ρεύματος που διέρχεται για τη θέρμανση της αντίστασης, έτσι η τάση τροφοδοσίας είναι η προβλεπόμενη (12 Volts) αφού δεν υπάρχει πτώση τάσεως στα καλώδια λόγω του υψηλού ρεύματος που διαρρέει τη διάταξη και η πυράκτωση θα βρίσκεται στο μέγιστό της. Με τον τρόπο αυτόν η πυράκτωση θα βρίσκεται στο μέγιστό της.



Εικόνα 8 Σύγκριση ακτινοβολίας γνωστού μήκους κύματος με αυτήν της αντίστασης.

Για τον υπολογισμό του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την πυρακτωμένη αντίσταση ακολουθείται η παρακάτω πορεία :

1. Εκκίνηση του λογισμικού (Tracker)

2. *ΑΡΧΕΙΟ*

3. *ΑΝΟΙΓΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ*

4. Εντοπίζεται η φωτογραφία ή το ντσεοπου θα αναλύσουμε και κάνουμε εισαγωγή. Αν πρόκειται για video, τότε μπορούμε να σταματήσουμε σε οποιοδήποτε «καρέ» επιθυμούμε για να πραγματοποιήσουμε την ανάλυση του φάσματος σαν να επεξεργαζόμαστε μία φωτογραφία.

5. Πιέζουμε στο έκτο εικονίδιο από αριστερά «*ΑΞΟΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ*» στη δεύτερη γραμμή του menu.

6. *NEO*

7. *ΣΗΜΕΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ*

8. Πατημένο το shift και με αριστερό κλικ τσεκάρουμε το πρώτο σημείο ως βαθμονόμηση σε συγκεκριμένο χρώμα, για παράδειγμα θα ιχνηλατήσουμε το πράσινο χρώμα του laser για το οποίο αναφέρεται, στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή του δείκτη laser, ότι το μήκος κύματος είναι 532 nm.

9. Κάνουμε κλικ οπουδήποτε στη φωτογραφία ώστε να γίνει «σταυρός» το τετραγωνάκι.

10. Διορθώνουμε το X των συντεταγμένων σε 532

11. *ΤΡΟΧΙΕΣ*

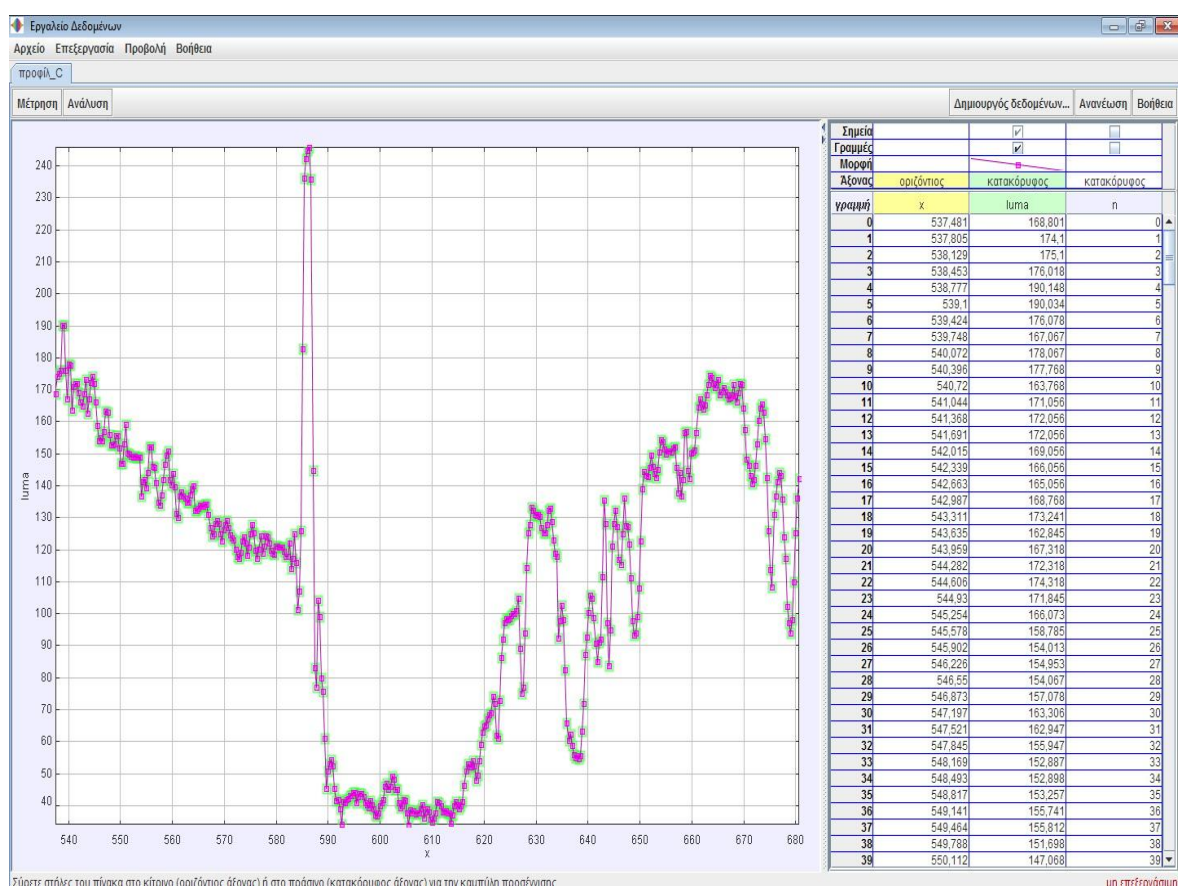
12. *NEO*

13. *ΠΡΟΦΙΛ ΓΡΑΜΜΗΣ*

14. Με shift και αριστερό κλικ στο ποντίκι χαράζουμε ευθύγραμμο τμήμα που να διέρχεται από το πράσινο και συνεχίζει οριζόντια μέχρις ότου φτάσει στο σημείο που μας ενδιαφέρει.

15. Παρατηρούμε στο διάγραμμα ένθετα τα μήκη κύματος καθ' όλο το μήκος της γραμμής που χαράχθηκε. Αριστερά στην αρχή βρίσκεται το μήκος κύματος της πράσινης ακτινοβολίας (532nm) όπως ορίστηκε και δεξιά στο τέλος της καμπύλης του διαγράμματος το τελευταίο σημείο που τέθηκε στην αντίσταση, έτσι προσδιορίζεται το μήκος κύματος του σημείου αυτού σε 680nm.

Από το διάγραμμα (εικόνα 8), της ανάλυσης φάσματος του πυρακτωμένου μετάλλου, υπολογίσαμε το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας της αντίστασης. Στη συνέχεια από το μήκος κύματος, εφαρμόζοντας το νόμο μετατόπισης του Wien, θα βρούμε



Εικόνα 9 Διάγραμμα εύρεσης μήκους κύματος ακτινοβολίας της αντίστασης σε σύγκριση με την πράσινη δέσμη του laser.

κατά προσέγγιση τη θερμοκρασία της διάταξης που πυρακτώνεται.

Το παραπάνω διάγραμμα (εικόνα 9) έχει εξαχθεί από την ανάλυση της φωτογραφίας. Σε αυτό παρατηρούμε τη μορφή της καμπύλης ακτινοβολίας, επίσης βλέπουμε τις τιμές μήκους κύματος στον οριζόντιο άξονα (x). Στον πίνακα εμφανίζονται αναλυτικά οι τιμές μήκους κύματος ανάμεσα στα δύο σημεία που επιλέξαμε.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πράσινο χρώμα έχει ορισθεί στα 532 nm όπως δίδεται στο εγχειρίδιο του δείκτη laser . Το «πυρακτωμένο» κόκκινο στο σημείο που έχουμε επιλέξει φαίνεται να έχει 680 nm.

Εφαρμόζοντας το νόμο μετατόπισης του **Wien** ($T \cdot \lambda_{\max} = (1/5) \cdot c^2$) θα υπολογίσουμε την θερμοκρασία της μέγιστης πυράκτωσης:

$$T \cdot \lambda = 0,29 \rightarrow T = 0,29 / 0,00068 = 426 \text{ K} = 152,85^\circ \text{ Celsius}$$

5. Υπολογισμός θερμοκρασίας πυράκτωσης με το νόμο μετατοπίσεων του Wien

Γνωρίζουμε από τη Φυσική ότι κάθε θερμό σώμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με πολύ μικρό μήκος κύματος και πολύ υψηλή συχνότητα.

Στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες ένα μεγάλο μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ορατού φάσματος. Όσο όμως αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος παράγεται ολοένα και περισσότερη ακτινοβολία μήκους κύματος προς το κυανό χρώμα. Αυτό παρατηρείται εντονότερα όταν πυρακτώνεται μια σιδερένια ράβδος και από κόκκινη γίνεται λευκή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία το μέγιστο της εκπεμπόμενης ενέργειας μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ουρά της ενεργειακής κατανομής στα μήκη κύματος να ενισχύεται στην περιοχή του ορατού και το χρώμα που αντιλαμβανόμαστε μετατοπίζεται προς το κυανό. Η ανάλυση των δεδομένων οδήγησε τον Wilhelm Wien το 1893 να συνοψίσει αυτή τη συμπεριφορά ως εξής :

Νόμος Μετατόπισης του Wien : $T \cdot \lambda_{\max} = (1/5) \cdot c^2$

Όπου $c^2 = 1,44 \text{ cmK}$ η σταθερά αυτή καλείται δεύτερη σταθερά ακτινοβολίας. Σαν παράδειγμα, κάνοντας χρήση του νόμου μετατόπισης, μπορούμε να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος από το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας: αν υποθέσουμε, ως παράδειγμα, ότι $\lambda_{\max} = 2900 \text{ nm}$ και με τη μετατροπή είναι $0,00029 \text{ cm}$ επειδή ($1 \text{ cm} = 10.000.000 \text{ nm}$). Το δεύτερο μέλος στη σχέση $(1/5) \cdot c^2$ ισούται με $(1/5) \cdot 1,44 = 0,29 \text{ cmK}$

$$\text{Επομένως } T = 0,29 : 0,00029 = 1000 \text{ K ή } 726,85^\circ \text{ C}$$

6. Υπολογισμός των υπολοίπων χαρακτηριστικών της αντίστασης

Η τάση των δύο συσσωρευτών που έχουν συνδεθεί παράλληλα είναι 12,6 Volts και έχει μετρηθεί με ψηφιακό πολύμετρο εν κενό. Όταν συνδεθεί η αντίσταση, η τάση του συσσωρευτή πέφτει κατά 1 Volt (11,6 Volts). Το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση στην προαναφερόμενη τάση (11,6 Volts) είναι 180 Amperes, μετρημένο με αμπεροτσιμπίδα συνεχούς ρεύματος. Η ισχύς της είναι περίπου 2088 Watts στην τάση των 11,6 Volts. Η αντίσταση της θερμαινόμενης διάταξης (στα 11,6 Volts με 180 Amperes κατανάλωση)

υπολογίζεται με το νόμο του Ohm σε 0,064 Ohms. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αληθή και προκύπτουν από τις σχέσεις του ηλεκτρισμού ($P=V \cdot I$ και $I=V/R$).

Ένα μικρό σφάλμα που έχει υπεισέλθει στις μετρήσεις είναι το ότι η πυράκτωση θα ήταν λίγο μεγαλύτερη και θα είχε επιτευχθεί σε μικρότερο χρονικό διάστημα, αν η τάση του συσσωρευτή είχε παραμείνει σταθερή στα 12 Volts. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό λόγω του μεγάλου ρεύματος που διαρρέει τη διάταξη.

7. Συμπεράσματα

Στην πιλοτική αυτή εργασία αναπτύχθηκε ο σχεδιασμός ανάλυσης φάσματος με τον Tracker όπου προέκυψε ο ακριβής υπολογισμός του χρόνου πυράκτωσης ηλεκτρικής αντίστασης. Υπολογίστηκε επίσης από την ανάλυση φωτός της φωτογραφίας το μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας και στη συνέχεια με τον νόμο μετατόπισης του Wien υπολογίστηκε η θερμοκρασία του πυρακτωμένου σώματος.

Γίνονται σαφέστατα τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθοδολογίας όπου ο μαθητής μπορεί να κάνει υποθέσεις, να πραγματοποιήσει μόνος του το πείραμα και με τη χρήση του υπολογιστικού μέρους να καταλήξει σε συμπεράσματα τα οποία είναι ορθά.

Έχει αναφερθεί ότι στην εφαρμογή της μεθοδολογίας STEM είναι απαραίτητο να υπάρχει εκτός από το πείραμα και η επίλυση προβλήματος. Το πρόβλημα που είχε τεθεί αρχικά ήταν η εύρεση του χρόνου πυράκτωσης αλλά και η εύρεση της θερμοκρασίας μίας πυρακτωμένης αντίστασης με υπολογιστική μέθοδο.

Η θερμοκρασία μπορεί να επιβεβαιωθεί με το ψηφιακό θερμόμετρο υπερύθρων ακτινών που απεικονίζεται στην φωτογραφία (εικόνα 3), όμως επαλήθευση μπορεί να γίνει και από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Στην περίπτωση πραγματοποίησης ψηφιακού διδακτικού σεναρίου, με την προτεινόμενη εφαρμογή με κάποια άλλη παρόμοια, δίδεται η δυνατότητα στους μαθητές, στην τρίτη και προτελευταία φάση της μεταγνώσης-αναστοχασμού, να επιβεβαιώσουν τα αποτελέσματα που βρήκαν, με όργανα μέτρησης θερμοκρασίας, ρεύματος και χρονόμετρο χειρός.

Οι προδιαγραφές που δίδονται στο SAE Technical Paper 951072 από τον κατασκευαστή του καταλύτη (εταιρεία EMITEC), διαφέρουν ελάχιστα από τις ευρεθείσες τιμές διότι η αντίσταση στο πείραμα ήταν σε ανοικτό χώρο, σε αντίθεση με του κατασκευαστή που οι μετρήσεις έγιναν με τον καταλυτικό μετατροπέα κλεισμένο μέσα στο περίβλημα του:

[SAE Paper.pdf](#) (2/10/2020 ώρα 21:00).

Η εργασία αυτή ως εκπαιδευτικό αντικείμενο είναι εξ ολοκλήρου μία καινοτόμος δράση λόγω της ανάλυσης φάσματος φωτός μέσω video με ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα. Η παρουσίαση της δυνατότητας αυτής του συγκεκριμένου λογισμικού είναι πρωτότυπη αφού δεν διατίθενται παρόμοιες προτάσεις και σχετικές πληροφορίες στο διαδίκτυο.

Το πείραμα, η χρήση της υπολογιστικής επιστήμης και μετρήσεις με όργανα καθιστούν την εκπαιδευτική διαδικασία ευχάριστη και καινοτόμο. Αξιοποιήθηκαν όλοι οι κλάδοι του STEM Science, Technology, Engineering και Mathematics με τη χρήση επιστήμων, πληροφορικής μηχανολογίας και μαθηματικών έτσι η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε χαρακτηρίζεται ως ολοκληρωμένο STEM.

Οι μαθητές μπήκαν στη διαδικασία να αυτενεργήσουν με την επίλυση προβλήματος, να αντιλαμβάνονται τη σπουδαιότητα των απαντήσεων που έχουν δώσει μόνοι τους στα προβλήματα που τους έχουν τεθεί.

Γίνονται σαφέστερα τα πλεονεκτήματα της διδασκαλίας με προσέγγιση STEM που ο μαθητής αυτενέργησε, χρησιμοποίησε μόνος του τον Υπολογιστή και όργανα, απέκτησε αυτοπεποίθηση των ικανοτήτων του.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Barr D., Harrison J., & Leslie C. (2011-03-01). "Computational Thinking: A Digital Age Skill for Everyone". *Learning & Leading with Technology*. 38 (6): 20–23.
- Beatty, A. (2011) *Successful STEM Education A Workshop Summary*. National Academy of Sciences. (57)
- Leach, Ch. (1994). “Managing Whole-School Change”, in: A. Osler (eds), *Development Education*, N. York: Cussell
- Papert, Seymour, (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc.
- Wing, J. (2006). *Computational thinking. Communications of the ACM*, 49(3), 33-36
- Μαυρουδή, Ε., Πέτρου Α., & Φεσάκη, Γ., *Υπολογιστική Σκέψη: Εννοιολογική εξέλιξη, διεθνείς πρωτοβουλίες και προγράμματα σπουδών*. (Εργασία σε συνέδριο).
- Μπαμπινιώτης, Γ. (2002). *Λεξικό της Νέας Ελληνικής γλώσσας*, Αθήνα.

Ιστοχώροι:

- Educate to Innovate: <https://obamawhitehouse.archives.gov/issues/education/k-12/educate-innovate> (28/10/2020, 19:32)
- Υπολογιστική Σκέψη: Εννοιολογική εξέλιξη, διεθνείς πρωτοβουλίες και προγράμματα σπουδών <http://www.etpe.gr/custom/pdf/etpe2098.pdf> (28/10/2020, 19:32)
- Tracker Video Analysis and Modeling Tool: <https://physlets.org/tracker/> (28/10/2020, 19:32)