



## **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ & ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# **Πειραματικό σύστημα μέτρησης θερμοκρασίας χρώματος φωτισμού και RGB τριχρωματικών συντελεστών βασισμένο σε Arduino**

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

<b>ΒΙΚΑΤΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ</b>	<b>A.M. 63517078</b>
<b>ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΙΩΑΝΝΑ ΜΑΡΙΑ</b>	<b>A.M. 63517114</b>
<b>ΤΖΟΥΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ</b>	<b>A.M. 63517068</b>

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

Αθήνα, Ιούνιος 2022



## **UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

DIVISION OPTICS & OPTOMETRY

DIPLOMA THESIS

# **Arduino-based experimental lighting color temperature and RGB trichromatic coefficient measurement system**

WRITING

<b>VIKATOS ANDREAS STEFANOS</b>	<b>63517078</b>
<b>PAPADIMITRIOU IOANNA MARIA</b>	<b>63517114</b>
<b>TZOANOPOULOS ALEXANDROS</b>	<b>63517068</b>

SUPERVISOR PROFESSOR

PANAGIOTIS DRAKOPOULOS

Athens, June 2022

**Πειραματικό σύστημα μέτρησης θερμοκρασίας χρώματος φωτισμού  
και RGB τριχρωματικών συντελεστών βασισμένο σε Arduino**

**ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, ΝΙΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΜΠΑΡΤΖΗΣ  
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την  
κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή στις 22/02/2023:

A/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	<b>ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ</b>	ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ- ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	<b>ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΝΙΝΟΣ</b>		
3	<b>ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΠΑΡΤΖΗΣ</b>	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η .....ΒΙΚΑΤΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ - ΣΤΕΦΑΝΟΣ..... του...ΟΘΩΝΑ....., με αριθμό μητρώου ...op17078... φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής...ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ.. του Τμήματος...ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ....., δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα





## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η .....ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΙΩΑΝΝΑ-ΜΑΡΙΑ..... του...ΝΙΚΟΛΑΟΥ....., με αριθμό μητρώου ...op17114... φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής...ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ.. του Τμήματος...ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ...., δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η ΤΖΟΥΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ. Του ΣΤΑΥΡΟΥ , με αριθμό μητρώου ΟΡ17068 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ του Τμήματος ΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΜΕΤΡΙΑΣ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα







# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### SUMMARY

1.ΤΙ ΕΊΝΑΙ ΦΩΣ	1
1.1 Το φάσμα του ορατού φωτός	2
1.2 Αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη	3
1.3 Ο νόμος του Πλανκ και η ακτινοβολία μέλανος σώματος	4
2.ΦΑΣΜΑ	5
2.1 Ορατό Φάσμα	5
2.2 Φασματοσκοπία	6
2.3 Φασματοφωτόμετρο	7
3.ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΧΡΩΜΑ	9
3.1 Σύστημα χρωμάτων Munsell	11
3.2 Το χρωματικό σύστημα CIE	12
3.3 ΤΡΙΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ	15
4. sRGB	17
4.1 Η ιστορία του sRGB	18
5.ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ	19
5.1 Μονάδα Μέτρησης φωτισμού LUX	21
5.2 Φασματική Κατανομή	21
6.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	22
7. ARDUINO	27
8.ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	29
8.1 Χαρακτηριστικά	29
8.2 Εφαρμογές	30
8.3 Στοιχεία Αισθητήρα	30
8.4 Λειτουργία RGBC	32
9.ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	32
Προγραμματισμός arduino για μετρήσεις : RGB	32
<b>Πειραματικό Στάδιο</b>	<b>37</b>
1.Υλικά κατασκευής	37
2.Ανάπτυξη πειραματικής διαδικασίας	37
<b>Επίλογος - Συμπεράσματα πειράματος - Αξιολόγηση πειράματος</b>	<b>38</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>46</b>
Εικόνες	48



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από την αρχή της φοίτησης μας έως και σήμερα αντιμετωπίζουμε ο ένας τον άλλο χωρίς ίχνος ανταγωνισμού αναπτύσσοντας μία δυνατή φιλία η οποία κρατάει μέχρι και σήμερα. Αποφασίσαμε εφόσον ξεκινήσαμε μαζί την πορεία μας να την ολοκληρώσουμε κιόλας με την συνεργασία μας σε αυτή την πτυχιακή. Η σχολή δεν ήταν πρώτη επιλογή όλων μας παρόλα αυτά με την παρουσία συγκεκριμένων καθηγητών αγαπήσαμε και οι τρεις μας το επάγγελμα του οπτικού οπτομέτρη. Μας δόθηκε η ευκαιρία να εξελίξουμε τις γνώσεις μας με σκοπό να βοηθάμε τους συνανθρώπους μας στον πιο σημαντικό τομέα, αυτόν της υγείας. Σε αυτή τη πτυχιακή θα ασχοληθούμε κατά βάση πάνω σε ένα πειραματικό κομμάτι που δυστυχώς δεν είχαμε την δυνατότητα να ασχοληθούμε με κάτι παρόμοιο στα προηγούμενα εξάμηνα μέσω κάποιου μαθήματος. Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Παναγιώτη Δρακόπουλο που μας εμπιστεύτηκε την συγκεκριμένη πτυχιακή και που ήταν παρών σε ότι χρειαστήκαμε και για την εξαιρετική συνεργασία μας.

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η πραγματοποίηση μιας κατασκευής βασισμένη στο σύστημα Arduino η οποία συνδέεται με έναν αισθητήρα κατάλληλο για την αναγνώριση χρωμάτων . Η εργασία αποτελείται από το κατασκευαστικό μέρος που χρειάζεται να γίνει η ένωση των καλωδίων με το ARDUINO, την λάμπα led και τον αισθητήρα αλλά και από την πραγματοποίηση ενός προγραμματισμού με τον οποίο το Arduino θα είναι ικανό να διαβάζει και να μας υποδεικνύει τις τιμές που ζητάμε αλλά θα αναπαράγει επίσης μέσω του LED το κάθε χρώμα που του υποδεικνύουμε. Επιπλέον μας έχει ζητηθεί να ορίσουμε τις τριχρωματικές τιμές, την θερμοκρασία χρώματος και την ένταση φωτεινότητας lux στο κάθε χρώμα.

Στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, ανάλογα με το κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε κάποιες θεωρίες οι οποίες θα βοηθήσουν στην κατανόηση της όλης κατασκευής. Αυτές είναι η τριχρωματική θεωρία, η θεωρία και ο τύπος του Planck, η ανάλυση της θεωρίας του φωτός ανάλογα με το μήκος κύματος, τα μήκη κυμάτων των χρωμάτων αλλά και το μήκος κύματος του ορατού φάσματος. Θα γίνει μια μικρή αναφορά στη λειτουργία του ανθρώπινου οφθαλμού σε σχέση με το ορατό φάσμα αλλά και στην αντίληψη των χρωμάτων. Σημαντικό κεφάλαιο είναι η επεξήγηση των χρωμάτων και την θερμοκρασία τους σε Kelvin, ποιά είναι τα βασικά και πώς από αυτά πως δημιουργούνται τα δευτερεύοντα, η σημασία του RGB, του sRGB καθώς και γιατί δημιουργήθηκε η Διεθνής Επιτροπή Φωτισμού (Commission Internationale de L'Eclairage - CIE)

Όπως και στη κατασκευή μας έτσι και στον ανθρώπινο οργανισμό υπάρχει ένα αισθητήριο όργανο το οποίο λαμβάνει ερεθίσματα από το περιβάλλον και αυτό είναι ο οφθαλμός.

Η όραση και η αντίληψη των χρωμάτων είναι μία πολύπλοκη διαδικασία και πραγματοποιείται με την συνεργασία του εγκεφάλου και του οφθαλμού μέσω νευρώνων και κυττάρων.

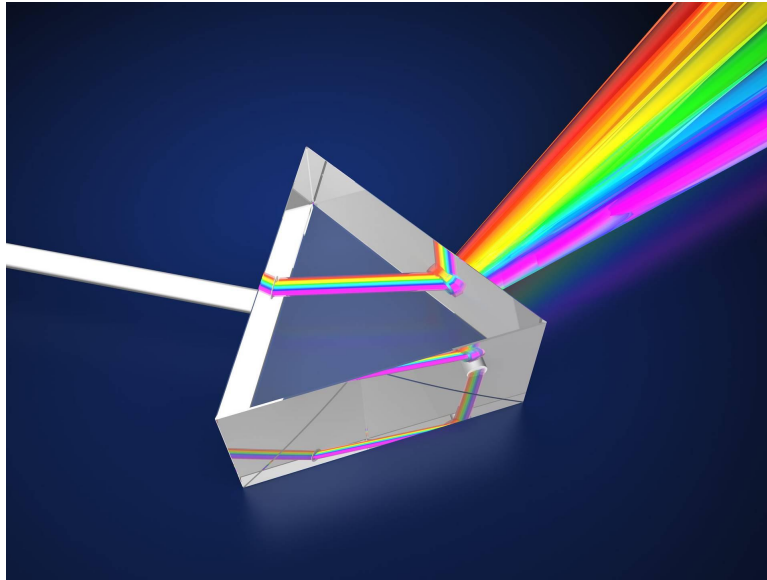


# SUMMARY

The purpose of this thesis is the realization of a construction based on the Arduino system which is connected to a sensor suitable for color recognition. The work consists of the construction part that needs to be done to connect the wires to the ARDUINO, the LED and the sensor but also the realization of a programming by which the Arduino will be able to read and indicate the values we ask but will also reproduce through the LED each color we indicate. In addition we have been asked to define the trichromatic values, the color temperature and the lux luminance in each color.

In the theoretical part of the thesis, depending on the chapter, we will refer to some theories which will help in understanding the whole construction. These are the trichromatic theory, Planck's theory and formula, the analysis of the theory of light according to wavelength, the wavelengths of the colours and the wavelength of the visible spectrum. A brief reference will be made to the function of the human eye in relation to the visible spectrum and the perception of colours. An important chapter is the explanation of colours and their temperature in Kelvin, what are the primary colours and how the secondary ones are created from them, the importance of RGB, sRGB and why the International Commission on Illumination (Commission Internationale de L'Eclairage - CIE) was created.

## 1.ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΦΩΣ



**Εικόνα 1.** Πρισματική διάθλαση φωτεινής δέσμης

Το φως είναι τόσο σημαντικό για την αντίληψή μας, που για μεγάλο μέρος του χρόνου δεν το αναγνωρίζουμε και το θεωρούμε δεδομένο, εκτός ίσως όταν βλέπουμε ένα πανέμορφο ηλιοβασίλεμα ή βλέπουμε τις ηλιαχτίδες πίσω από τα σύννεφα. Παρόλο που το φως μας περιβάλλει και είναι απαραίτητο για τη ζωή, είναι οτιδήποτε εκτός από συνηθισμένο. Όπως το έθεσε ένας δημοφιλής επιστημονικός συγγραφέας: "Φως, η παγκόσμια μεταφορά για την κατανόηση και την αποκάλυψη, είναι εκπληκτικά αδιαφανής" ('Light, the universal metaphor for understanding and revelation, is astonishingly opaque') [Brooks, 2012]. Οι Έλληνες γνώριζαν τη σημασία του φωτός, αναφερόμενοι στο θάνατο ως "απώλεια του φωτός". Ωστόσο, είναι μόνο στα τελευταία 200 χρόνια που η ανθρωπότητα άρχισε να κατανοεί τις μοναδικές ιδιότητες του φωτός. Πράγματι, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος σχολίασε σε μία επιστολή συζητώντας για την επιστήμη σε έναν συνάδελφο τον Απρίλιο του 1752, "Πρέπει να ομολογήσω ότι είμαι στο απόλυτο σκοτάδι σχετικά με το φως..." ('I must own that I am much in the Dark about Light...').<sup>7</sup>

Οι αρχαίοι και μεσαιωνικοί λόγιοι σημείωσαν κάποια πρόοδο στην κατανόηση της φύσης του φωτός, γνωρίζοντας ότι αυτό ταξιδεύει σε ευθείες γραμμές (αυτό το ονομάζουμε ευθύγραμμη διάδοση του φωτός- είναι η βάση της γεωμετρικής οπτικής). Για τους σκοπούς μας είναι βολικό να ξεκινήσουμε από τα μέσα του 17ου αιώνα με τον Robert Hooke, τον Christiaan Huygens και τον Sir Isaac Newton. Γύρω στο 1666 ο Νεύτωνας πέρασε μια ακτίνα φωτός μέσα από ένα πρίσμα και εξήγησε τη διάσπαση

του λευκού φωτός σε φασματικά χρώματα μέσω της διάθλασης. Αν και ο Νεύτωνας διερεύνησε ορισμένες πτυχές της κυματικής φύσης του φωτός, όπως ο σχηματισμός των δακτυλίων του Νεύτωνα, τα γραπτά του έδιναν έμφαση στο σωματιδιακό μοντέλο. Τόσο ο Robert Hooke όσο και ο Christiaan Huygens, κατέληξαν σε πολύ διαφορετικά συμπεράσματα σχετικά με τη φύση του φωτός. Ο Huygens ήταν πεπεισμένος ότι η θεώρηση του φωτός ως μια σειρά κυματομετωπίων εξηγεί καλύτερα τη διάθλαση, αλλά δεν μπόρεσε να το επεκτείνει για να εξηγήσει το φαινόμενο της διάθλασης. Το σωματιδιακό μοντέλο απέτυχε να εξηγήσει ικανοποιητικά τη διάθλαση, αλλά λόγω του κύρους του Νεύτωνα, η άποψή του επρόκειτο να κυριαρχήσει στην επιστήμη μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα. Και όχι μόνο αυτό, η διαφωνία του Νεύτωνα τόσο με τον Huygens όσο και με τον Hook οδήγησε σε μόνιμο ανταγωνισμό. Ήταν το έργο του πολυμαθούς Thomas Young από το 1803 και μετά, ο οποίος απέδειξε τα αποτελέσματα της παρεμβολής των συνεκτικών φωτεινών ακτίνων, σηματοδότησε πραγματικά την αρχή της σημαντικής κατανόησης της φύσης του φωτός από την ανθρωπότητα. Βασιζόμενος στο έργο του Young τη διερεύνηση της περίθλασης και επίσης στο προηγούμενο έργο του Christiaan Huygens, ο Augustin-Jean Fresnel έδειξε ότι το φως διαδίδεται εξ ολοκλήρου ως εγκάρσιο κύμα, χωρίς καμία διαμήκη δόνηση. Εξήγησε επίσης τόσο την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός όσο και τα φαινόμενα περίθλασης. Αργότερα, στα μέσα του 19ου αιώνα, από τα δεδομένα απλών ηλεκτρικών πειραμάτων, ο James Clerk Maxwell διατύπωσε τις δικές του εξισώσεις για να περιγράψει ηλεκτρομαγνητικά κύματα που μπορούσαν να ταξιδέψουν με τη γνωστή περίπτωση ταχύτητα του φωτός. Ο Μάξγουελ θεώρησε αυτό το γεγονός κάτι περισσότερο από μια σύμπτωση. Σε ένα βασικό έγγραφο που δημοσιεύθηκε το 1865 έγραψε:

*"Τα ... αποτελέσματα φαίνεται να δείχνουν ότι το φως και ο μαγνητισμός είναι επιδράσεις της ίδιας ουσίας και ότι το φως είναι μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή που διαδίδεται ... σύμφωνα με τους ηλεκτρομαγνητικούς νόμους".*

Προς το τέλος του 19ου αιώνα, σε μια επιτυχημένη προσπάθεια να αποδείξει τις εξισώσεις του Μάξγουελ, ο Χάινριχ Χερτς απέδειξε την ύπαρξη των ραδιοκυμάτων. Έδειξε ότι αυτά ανήκουν στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, μέρος του οποίου ήταν το φως.

## 1.1 Το φάσμα του ορατού φωτός

Ο Νεύτωνας χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη λέξη φάσμα όταν περιέγραφε τα οπτικά του πειράματα. Το φάσμα του ορατού φωτός, με μήκη κύματος από περίπου 700 nm ( $7 \times 10^{-7}$  m - κόκκινο φως) έως περίπου 400 nm ( $4 \times 10^{-7}$  m - ιώδες/μπλε φως) αποτελεί ένα πολύ μικρό μέρος του συνόλου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο εκτείνεται από περίπου 1000 km για τα πολύ μακρά ραδιοκύματα έως περίπου 10 πικόμετρα και χαμηλότερα για τις  $\gamma$ -ακτίνες.<sup>11</sup> Αν και η έκταση του ορατού φάσματος είναι μικρή, από το σύνολο της ενέργειας που εκπέμπεται από τον ήλιο και τα αστέρια,

η μεγαλύτερη ποσότητα εντοπίζεται στην περιοχή που εκτείνεται από το υπεριώδες (περίπου 10-400 nm) έως το υπέρυθρο (περίπου 700-1500 nm). Όταν ο Νεύτωνας διέσπασε το λευκό φως στα χρώματα του φάσματος τη δεκαετία του 1660, κατέγραψε αρχικά μόνο πέντε φασματικά χρώματα (κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, μπλε και βιολετί). Τα χρώματα λουλακί και πορτοκαλί θεωρήθηκαν οριακά χρώματα μεταξύ του μπλε-βιολετί και του πορτοκαλοκόκκινου αντίστοιχα. Όταν ο Νεύτωνας δημοσίευσε τελικά τα Opticks το 1704, συμπεριέλαβε επτά χρώματα: κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε, λουλακί και βιολετί).

Ο Νεύτωνας επέλεξε επτά χρώματα από την πεποίθηση ότι υπήρχε σχέση μεταξύ των χρωμάτων και των μουσικών νοτών. Επέκτεινε τα οριακά χρώματα πορτοκαλί και λουλακί σε ισότιμα με τα υπόλοιπα από αισθητική άποψη. Η διαίρεση του φάσματος (το οποίο είναι συνεχές) σε ονομαστικά χρώματα είναι κάπως αυθαίρετη και απλή για λόγους ευκολίας. Το φως δεν διαθέτει κανένα πραγματικό χρώμα καθαυτό- το χρώμα είναι μια αντίληψη του εγκεφάλου μας. Πολλοί άνθρωποι δεν μπορούν να διακρίνουν το λουλακί από το μπλε και το βιολετί. Επίσης, ορισμένες αρχές περιλαμβάνουν το κυανό μεταξύ του μπλε και του πράσινου, παρόλο που είναι ελαφρώς αποκορεσμένο. Τα καθαρά φασματικά χρώματα σχηματίζονται από μεμονωμένα μήκη κύματος εντός του ορατού φάσματος.

Το λευκό και το μαύρο δεν είναι φασματικά χρώματα, ούτε τα υπερκορεσμένα χρώματα που προκύπτουν από την ανάμειξη λευκού, γκρι ή μαύρου με φασματικά ή άλλα μη φασματικά χρώματα. Η θεωρία των χρωμάτων περιλαμβάνει το μωβ ως μη φασματικό χρώμα. Οι πορφυρές αποχρώσεις αποτελούν το κατώτερο όριο του χρωματικού διαγράμματος.<sup>11</sup>

## 1.2 Αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη

Το φως αλληλεπιδρά με την ύλη με έναν από τους έξι τρόπους:

- Το φως μπορεί να περάσει κατευθείαν μέσα από την ύλη και να απορροφηθεί μερικώς. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργούν οι έγχρωμες κηλίδες. Το φως μπορεί να ανακλαστεί ή να διαθλαστεί από την ύλη.
- Το φως μπορεί να σκεδαστεί ή να διαθλαστεί (δηλαδή μια κανονική μορφή σκέδασης) από την ύλη.
- Το φωτεινό κύμα μπορεί να υποστεί αλλαγή φάσης ως αποτέλεσμα της διέλευσής του από την ύλη. Μπορεί να συμβεί μετατόπιση φάσης στη διαδρομή ενός κύματος σε σχέση με ένα άλλο.
- Το φως μπορεί να πολωθεί περνώντας μέσα από την ύλη ή ανακλώμενο από αυτήν.
- Το φως μπορεί να διεγείρει την ύλη για να προκαλέσει την εκπομπή φθορισμού.

Για να σχηματιστεί μια εικόνα, το φως διαθλάται από την ύλη του δείγματος. Μέρος αυτού του διαθλώμενου φωτός διαθλάται στη συνέχεια από τον αντικειμενικό φακό, και επανασυνδέεται για να σχηματίσει την (πρωτογενή) εικόνα.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1900, ένας Γερμανός επιστήμονας ονόματι Μαξ Πλανκ έκανε ένα μεγάλο βήμα ως προς την κατανόηση του τι είναι το φως και πώς λειτουργεί. Στην πορεία, προχώρησε επίσης στην έρευνα και επεξήγηση της ατομικής δομής. Για αυτές τις αξιοσημείωτες ανακαλύψεις, αναγνωρίζεται σήμερα ως ένας από τους επιστήμονες με τη μεγαλύτερη επιρροή του εικοστού αιώνα.

Το 1858, ο Μαξ Πλανκ γεννήθηκε στη γερμανική πόλη του Κιέλου, όπου ο πατέρας του εργαζόταν ως καθηγητής νομικής. Όταν ήταν εννέα ετών, η οικογένεια μετακόμισε στο Μόναχο. Αφού αποφοίτησε από το γυμνάσιο, ο Πλανκ γράφτηκε στο Πανεπιστήμιο του Μονάχου για να πάρει πτυχίο στη φυσική. Πίστευε ότι μόνο η φυσική θα του επέτρεπε να ανακαλύψει την αληθινή φύση του σύμπαντος, και βρήκε αυτή την ιδέα πολύ συναρπαστική! Αποφοίτησε με διδακτορικό στη Φυσική το 1879 και σε ηλικία είκοσι ενός ετών ξεκίνησε να αφήσει το στίγμα του στον κόσμο.

### 1.3 Ο νόμος του Πλανκ και η ακτινοβολία μέλανος σώματος

Ο Planck μετακόμισε στο Βερολίνο μετά την αποφοίτησή του και άρχισε να εργάζεται ως καθηγητής φυσικής στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου, όπου και θα περνούσε το υπόλοιπο της καριέρας του. Ήδη από φοιτητής, τον γοήτευε η ενέργεια και ο τρόπος με τον οποίο διατηρείται στις φυσικές διεργασίες, και συνέχισε να μελετά τη διατήρηση της ενέργειας στο Βερολίνο.

Το 1900, ανακάλυψε κάτι αξιοσημείωτο που θα άλλαζε για πάντα τον κόσμο της επιστήμης. Λίγα χρόνια νωρίτερα, ένας άλλος επιστήμονας που εργαζόταν στο Βερολίνο, ο Gustav Kirchhoff, ανακάλυψε ότι ορισμένα αντικείμενα, τα οποία ονόμασε μέλαν σώματα, απορροφούσαν και στη συνέχεια εξέπεμπαν όλη την ενέργεια που τα έπληττε. Το φαινόμενο αυτό το ονόμασε ακτινοβολία μέλανος σώματος.

Ο Πλανκ αποφάσισε να μελετήσει την ακτινοβολία αυτή με περισσότερες λεπτομέρειες και διαπίστωσε κάτι πολύ ενδιαφέρον. Τα μέλαν σώματα εξέπεμπαν πάντα ένα ποσό ενέργειας που ήταν ανάλογο της συχνότητας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που απορροφούσαν. Με έκπληξη διαπίστωσε ότι η ενέργεια εκπέμπεται πάντα σε μικροσκοπικά, διακριτά πακέτα. Κάθε μικροσκοπικό πακέτο ενέργειας ονομάζεται κβάντο ενέργειας. Αυτή ήταν η αρχή ενός νέου επιστημονικού πεδίου, που ονομάζεται κβαντομηχανική και μελετά τη φύση των μικροσκοπικών στοιχειωδών σωματιδίων, όπως τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια.

Αυτή ήταν η πρώτη φορά που κάποιος παρατήρησε ότι η ενέργεια κβαντιζόταν κατ' αυτόν τον τρόπο, και η ανακάλυψη του Πλανκ πυροδότησε μια επανάσταση στη φυσική. Έδειξε ότι υπήρχε μια απλή σχέση μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που εκπέμπεται και της συχνότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η σχέση είναι πλέον γνωστή ως νόμος του Πλανκ και η σταθερά,  $h$ , ονομάζεται σταθερά του Πλανκ.

$$E = hf$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \frac{m^2 \cdot kg}{s}$$

$E = energy$

$f = frequency$

## 2.ΦΑΣΜΑ

### 2.1 Ορατό Φάσμα

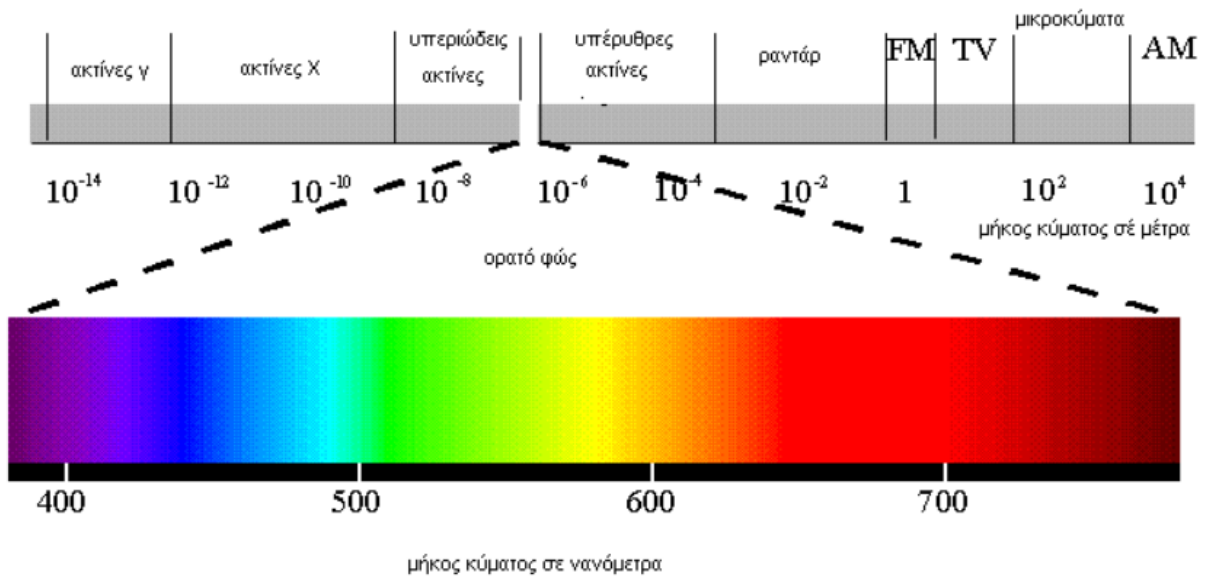
Φάσμα μπορεί να οριστεί ως γενική ερμηνεία η μεταβολή ενός μεγέθους σε συνάρτηση με μια μεταβλητή από την οποία και εξαρτάται.

Στην οπτική και συγκεκριμένα ένα οπτικό φάσμα είναι το φαινόμενο από την ανάλυση μιας φωτεινής δέσμης στα μήκη κύματος του.

Βλέπουμε το ορατό φάσμα καθημερινά και πιθανώς δεν το συνειδητοποιούμε. Αυτό συμβαίνει καθώς αναφερόμαστε στο ορατό φάσμα ως φως ή ορατό φως. Συνεπώς δεν είναι κάτι που μπορούμε να ξεχωρίσουμε. Σχεδόν όλοι μας βλέπουμε κάποια μορφή φωτός καθημερινά.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ομαδοποιούνται ανάλογα με τη συχνότητα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι το εύρος των συχνοτήτων στις οποίες μπορεί να διαδοθεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Περιλαμβάνει όλες τις ομάδες ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι χαμηλότερες συχνότητες είναι τα ραδιοκύματα. Τα μικροκύματα έχουν υψηλότερη συχνότητα και στη συνέχεια τα υπέρυθρα κύματα, το φως, η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γάμμα με τη σειρά. Το ορατό φάσμα είναι μια ομάδα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

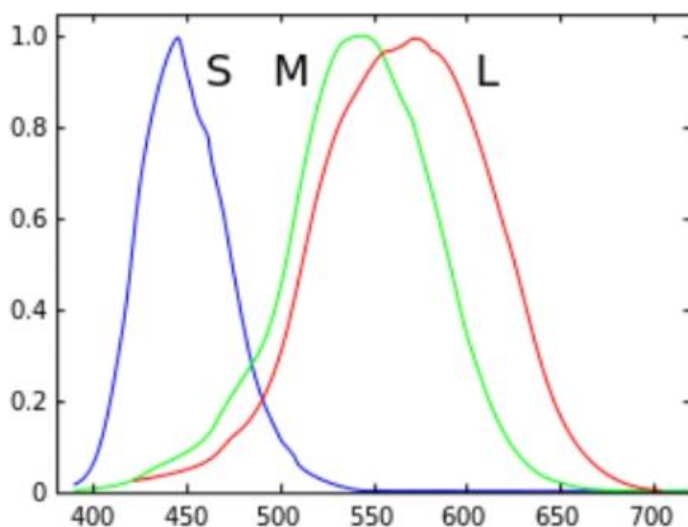
Το ορατό φως είναι μια πολύ στενή ζώνη συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι. Το μάτι περιέχει εξειδικευμένα κύτταρα που ονομάζονται ραβδία και κωνία και είναι ευαίσθητα στο ορατό φάσμα. Όπως προαναφέρθηκε, οι περισσότεροι από εμάς βλέπουμε το ορατό φως καθημερινά. Για παράδειγμα, ο ήλιος παράγει ορατό φως. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, τα φώτα φθορισμού και τα φώτα neon είναι μερικά παραδείγματα ορατού φωτός που μπορεί να βλέπουμε αρκετά συχνά. Το ορατό φως ίσως αποτελεί το σημαντικότερο εκ των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



**Εικόνα 2.** Ορατό Φάσμα Φωτός

## 2.2 Φασματοσκοπία

Φασματοσκοπία ονομάζεται η μελέτη στην οποία χρησιμοποιείται η μέθοδος για την μέτρηση του μήκους κύματος στο εκπεμπόμενο, ανακλώμενο ή μεταδιδόμενο φως και, με τον τρόπο αυτό, για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τα χαρακτηριστικά της πηγής φωτός ή/και του μέσου μεταξύ της πηγής φωτός και του ανιχνευτή/φασματομέτρου.



"Cones SMJ2 E", από [OgreBot](#) διαθέσιμο με άδεια [CC BY 3.0](#)

**Εικόνα 3.** Τα κωνία χωρίζονται ανάλογα με την απορροφητικότητα τους. Τα κωνία S είναι αυτά που σημειώνουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα σε μικρότερες τιμές ορατού φάσματος (μπλε), στη συνέχεια έχουμε τα κωνία M που δείχνουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα αρκετά πιο "μακριά" από τα S κοντά στα 531nm (πράσινο), και τέλος έχουμε τα κωνία L που αν και πολύ κοντά στις τιμές των M, δείχνουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα στις υψηλότερες τιμές ορατού φάσματος (κόκκινο)

Οι χρωστικές των κωνίων αποτελούνται από μια πρωτεΐνη, την οψίνη και μια φωτοευαίσθητη ουσία, την ρετινάλη. Καθεμία από τις τρεις χρωστικές των κωνίων περιέχει διαφορετική οψίνη. Καμπύλες φασματικής ευαισθησίας των τριών φωτοχρωστικών, που καθορίζουν την πιθανότητα απορρόφησης ενός φωτονίου ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Τα φάσματα απορροφητικότητας των φωτοχρωστικών των S-, M- και L- κωνίων αν και επικαλύπτονται αρκετά, ωστόσο παρουσιάζουν τη μέγιστη απορροφητικότητά τους σε διαφορετικές περιοχές του ορατού φάσματος: στα 419nm, 531nm και 559nm αντίστοιχα.

Βλέπουμε λοιπόν ότι τρεις τύποι κωνίων τα οποία χωρίζονται σε βραχείς (S) σε μεσαία (M) και σε μακριά (L) όπου η ευαισθησία τους διαφοροποιείται ανάλογα την περιοχή μήκους κύματος της φασματικής κατανομής ανιχνεύοντας το μπλέ, το πράσινο και το κόκκινο. Αυτά τα τρία χρώματα με τους κατάλληλους συνδυασμούς είτε των 2 είτε και των 3 μαζί σε διαφορετικές αναλογίες καταλήγουν σε ένα ικανοποιητικό σύνολο χρωμάτων που μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος οφθαλμός.

Το πώς ανταποκρίνεται το ανθρώπινο μάτι στο φως εξαρτάται από πολλούς παράγοντες με τους δύο βασικότερους να είναι το μήκος κύματος και η φωτεινότητα της πηγής.

Αιτία της ύπαρξης των χρωμάτων είναι η ιδιότητα της ύλης να αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που πέφτει πάνω στην επιφάνεια της.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι μία έγχρωμη επιφάνεια λειτουργεί ως “φίλτρο” της ορατής ακτινοβολίας.

Τα ηλεκτρόνια των ατόμων βρίσκονται σε ενεργειακά επίπεδα με ακριβώς καθορισμένη ενέργεια.

Όταν αυτά ακτινοβοληθούν από μια ακτινοβολία που περιέχει όλα τα μήκη κύματος της ορατής περιοχής του φάσματος (παγχρωματική ακτινοβολία)

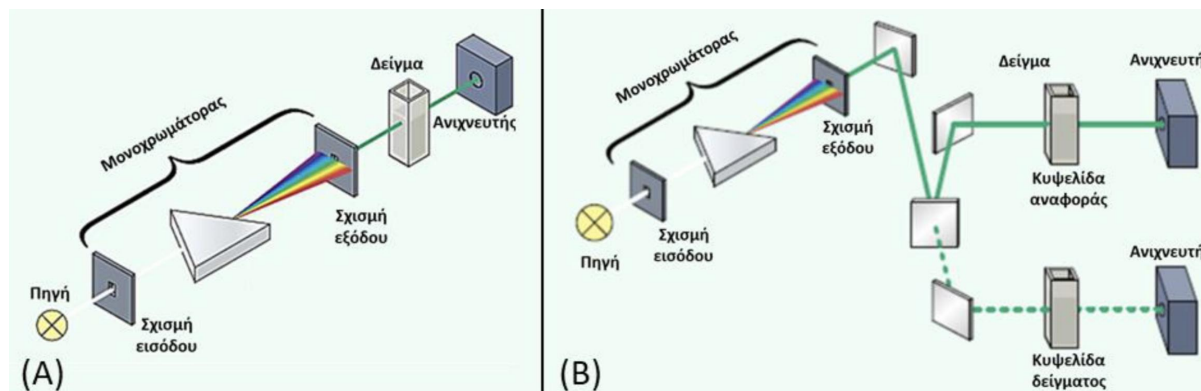
Απορροφούν φωτόνια ορισμένων μηκών κύματος και αναβαθμίζονται ενεργειακά

- Μεταπηδούν σε υψηλότερες στάθμες ενέργειας (διεγερμένη κατάσταση)
- Απομακρύνονται από τον έλεγχο του πυρήνα του ατόμου ανάλογα με την ενέργεια του φωτονίου, που απορροφάται (ιονισμός).

Η φασματομετρία υπολογίζεται με φασματοφωτόμετρο, ένα όργανο που αποτελείται από δύο όργανα, ένα φασματόμετρο και ένα φωτόμετρο. Το φασματόμετρο παράγει το φως του μήκους κύματος και το φωτόμετρο μετράει την ένταση του φωτός υπολογίζοντας την ποσότητα του φωτός που διέρχεται από το δείγμα.



## 2.3 Φασματοφωτόμετρο



**Εικόνα 4.** Παράδειγμα διάταξης φασματοφωτομέτρου UV-Vis (A) μονής δέσμης και (B) διπλής δέσμης

Ένα φασματοφωτόμετρο αποτελείται κυρίως από τη φωτεινή πηγή (μια κοινή λάμπα πυράκτωσης, το σύστημα διαχωρισμού όπου είναι ένα πρίσμα ή συνηθέστερα ένα παραθλαστικό φράγμα το οποίο απομονώνει την επιθυμητή μονοχρωματική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή έπειτα εισέρχεται στο θάλαμο όπου και περνάει μέσα από μια κυψελίδα δηλαδή ένα διαφανές δοχείο στο οποίο έχει τοποθετηθεί το προς εξέταση δείγμα. Τέλος το φως που δεν απορροφά το διάλυμα μετριέται από ένα φωτόμετρο που βρίσκεται από την απέναντι πλευρά της κυψελίδας.

### Πηγή φωτός

Τα φασματοφωτόμετρα βασίζονται σε πηγές φωτός για να λειτουργήσουν. Λόγω του μεγάλου εύρους των δειγμάτων, οι πηγές φωτός μπορεί να ποικίλουν ως προς τη φύση τους και να χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος, συμπεριλαμβανομένων των ορατών, υπεριωδών και υπέρυθρων.

### Μονοχρωμάτορας

Ένας μονοχρωμάτορας λειτουργεί σαν ένα πρίσμα. Στο εσωτερικό του μηχανήματος διαθλά το φως σε ένα ενιαίο φάσμα και διασκορπίζει το πολυχρωματικό φως στα βασικά μήκη κύματος. Ένα πλέγμα διαιρεί το διαθέσιμο φως σε διαφορετικά τμήματα. Το πλέγμα αυτό είναι συνηθισμένο στα φασματοφωτόμετρα που χρησιμοποιούν υπεριώδεις, ορατές και υπέρυθρες περιοχές

## Θάλαμος

Ο θάλαμος είναι το σημείο όπου ο χειριστής εισάγει το δείγμα προς ανάλυση. Τα δείγματα συνήθως τοποθετούνται σε μια θέση που είναι κατασκευασμένη από υλικό όπως γυαλί ή χαλαζία.

## Ανιχνευτής

Ο ανιχνευτής είναι το στοιχείο που δέχεται το φως και απορροφά την ενέργεια του προσπίπτοντος φωτός. Παραδείγματα τυπικών ανιχνευτών φασματοφωτομέτρων περιλαμβάνουν τους σωλήνες φωτοπολλαπλασιαστή και τις φωτοδιόδους. Μετατρέπουν την ενέργεια του φωτός σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο μετατρέπεται σε αριθμό απορρόφησης.

## Ψηφιακή οθόνη

Τα σύγχρονα φασματοφωτόμετρα διαθέτουν συνήθως ψηφιακή οθόνη ενσωματωμένη στο όργανο. Αυτό παρέχει στους χειριστές έναν προσβάσιμο τρόπο για να αλλάζουν τις ρυθμίσεις του οργάνου, να ρυθμίζουν τις παραμέτρους της μεθόδου και να βλέπουν τα αποτελέσματα. Ωστόσο, δεν έχει καμία επίδραση στον τρόπο λειτουργίας του οργάνου.

## Ανάλυση δεδομένων

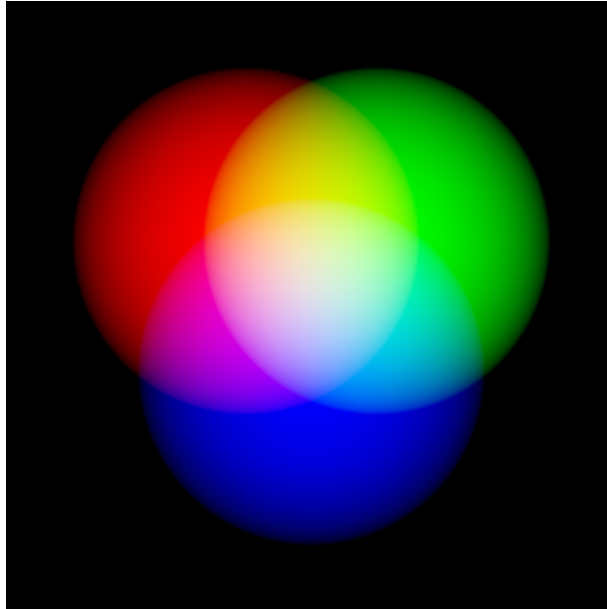
Παράλληλα με τις ψηφιακές οθόνες, τα περισσότερα φασματοφωτόμετρα έχουν τη δυνατότητα να κάνουν οποιουσδήποτε υπολογισμούς και αναλύσεις. Μόλις ρυθμιστούν όλες οι παράμετροι της μεθόδου στο όργανο, τα δεδομένα και τα αποτελέσματα εξάγονται μόλις ολοκληρωθεί η μέθοδος.

## 3.ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΧΡΩΜΑ

Όταν έρχεται αντιμέτωπος με το ερώτημα τι είναι το χρώμα, ο Hurvich, ο οποίος διεξήγαγε έρευνα για την ανθρώπινη έγχρωμη όραση, απαντά: "Είναι το χρώμα κάτι που συνυπάρχει στα ίδια τα αντικείμενα; . . . Μήπως το φως που πέφτει σε (ένα) φύλλο αποτελεί το χρώμα του; Είναι το χρώμα ένα φωτοχημικό γεγονός που συμβαίνει στο στρώμα των υποδοχέων του ματιού; Ή μήπως είναι μια νευρική διαδικασία διέγερσης του εγκεφάλου; Ή ένα ψυχικό γεγονός; Το χρώμα είναι όλα αυτά τα πράγματα. ... "

Η έρευνα για το χρώμα, όπως προαναφέρθηκε, ξεκίνησε γύρω στο 1700, όταν ο Νεύτωνας εκτρέπει μια δέσμη φωτός με το πρίσμα του, κάνοντας ορατά τα διάφορα χρώματα του φάσματος. Ο Βρετανός φυσικός απέδειξε με το παρόν ότι το λευκό φως

αποτελείται από όλα τα χρώματα του φάσματος. Η ανακάλυψη αυτή έθεσε τα θεμέλια για την κατανόηση του χρώματος ως φυσικού φαινομένου. Η έρευνά του αποτελεί την αφετηρία για διάφορα μοντέλα και θεωρίες που έχουν έκτοτε αναπτυχθεί για την κατανόηση και τη μέτρηση του χρώματος.



**Εικόνα 5.** RGB. Τα βασικά χρώματα Κόκκινο (Red), Πράσινο (Green), Μπλέ (Blue)

Όταν εργαζόμαστε με το χρώμα, διακρίνουμε δύο μεθόδους: την προσθετική και την αφαιρετική. Σε ένα μόνιτορ, μια οθόνη ή μια τηλεόραση, τα χρώματα αποτελούνται από το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (RGB). Όταν όμως πρόκειται για έντυπα μέσα, εκτυπώσεις ή χρώματα για αντικείμενα ή βαφές, το κυανό, το ματζέντα και το κίτρινο (CMY) αποτελούν τη βάση για τη σύνθεση των χρωμάτων. Το χρωματικό μοντέλο 'CMY' σχετίζεται με το RGB, γιατί πρόκειται στην ουσία για συμπληρωματικά μοντέλα με τις ίδιες βασικές αρχές και ιδιότητες. Το CMY επινοήθηκε για τις ανάγκες των εκτυπωτών στους οποίους και χρησιμοποιείται. Ονομάζουμε την εργασία με το RGB την προσθετική μέθοδο και την εργασία με το CMY την αφαιρετική μέθοδο του χρώματος. Στο προσθετικό σύστημα, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε είναι τα βασικά χρώματα. Εμφανίζονται με τη χρήση μιας πηγής φωτός και μιας οθόνης και αποτελούνται από ποσοστά κόκκινου, πράσινου και μπλε, με τα οποία μπορούν να σχηματιστούν εκατομμύρια χρώματα.

Με την ανάμειξη δύο προσθετικών πρωτογενών χρωμάτων σε ίσες αναλογίες προκύπτουν δευτερογενή χρώματα- στο προσθετικό σύστημα, αυτά είναι το κυανό

(πράσινο + μπλε), το ματζέντα (κόκκινο + μπλε) και το κίτρινο (κόκκινο + πράσινο). Σε ίση ποσότητα των τριών χρωμάτων προκύπτει το λευκό.

Επειδή το σύστημα RGB συνδέεται με την απεικόνιση σε μια οθόνη, οι χρωματικές διαφορές θα είναι αντιληπτές μεταξύ των διαφόρων τύπων οθονών. Επομένως, μια οθόνη είναι καλύτερο να βαθμονομηθεί ή να ρυθμιστεί σε ένα κατάλληλο προφίλ χρώματος.

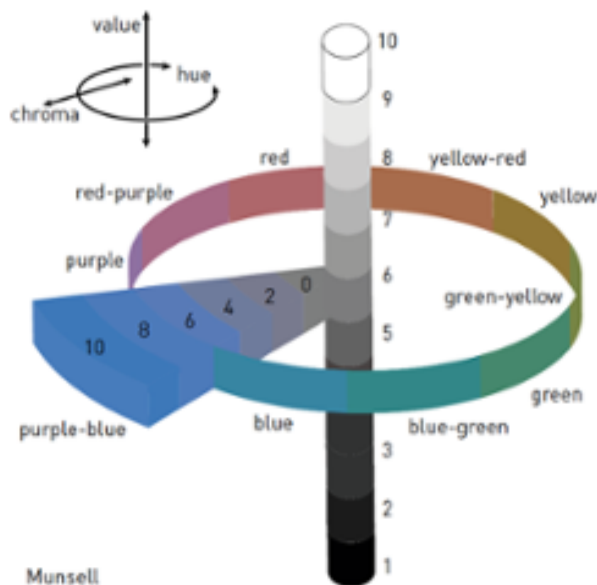
Ονομάζουμε την ανάμειξη χρωμάτων με μπογιά ή μελάνι αφαιρετική ανάμειξη χρωμάτων. Το κυανό, το ματζέντα και το κίτρινο είναι σε αυτή την περίπτωση τα βασικά μας χρώματα. Αν αναμείξουμε δύο από αυτά σε ίσες αναλογίες, παίρνουμε το κόκκινο (ματζέντα + κίτρινο), το πράσινο (κίτρινο + κυανό) και το μπλε (ματζέντα + κυανό), που αυτή τη φορά ονομάζονται δευτερογενή χρώματα.

Μπορούμε να κάνουμε τα χρώματα πιο ανοιχτά προσθέτοντας λευκό ή να τα κάνουμε πιο γκρίζα προσθέτοντας μαύρο. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν διαφορετικές αποχρώσεις του ίδιου χρώματος. Θεωρητικά, χρησιμοποιώντας το κυανό, το ματζέντα και το κίτρινο, μπορεί να δημιουργηθεί κάθε άλλο χρώμα, αλλά στην πράξη είναι αδύνατο να αναμειχθεί ουδέτερο γκρι ή καθαρό μαύρο.

Με την πάροδο του χρόνου, έχουν αναπτυχθεί κάθε είδους συστήματα και θεωρίες για την οργάνωση και χαρτογράφηση των χρωμάτων με έναν καθολικό, εύχρηστο τρόπο. Γνωστά παραδείγματα συστημάτων χρωμάτων είναι ο χρωματικός άτλας του Munsell και τα παράγωγα συστήματα χρωμάτων του, όπως το HSV και το HCL.

### 3.1 Σύστημα χρωμάτων Munsell

Το σύστημα χρωμάτων Munsell αναπτύχθηκε στις αρχές του περασμένου αιώνα από τον Munsell, τον Αμερικανό εφευρέτη και καλλιτέχνη. Σε αυτό το σύστημα, 1500 χρώματα απεικονίζονταν σε μια σφαίρα γύρω από έναν άξονα τιμών κλίμακας του γκρι. Οριζόντια, υπήρχε μια διαβάθμιση από το ουδέτερο γκρι έως τον πλήρη κορεσμό. Ο Munsell ονόμασε αυτές τις τιμές: απόχρωση, χρώμα και αξία.<sup>8</sup>



**Εικόνα 6.** Σύστημα χρωμάτων Munsell

Η απόχρωση σημαίνει τόνος χρώματος και αντιπροσωπεύει τη θέση ενός χρώματος στον χρωματικό κύκλο. Μιλάμε για την απόχρωση ή γωνία χρώματος, η οποία εκφράζεται σε μοίρες.

Η ισχύς ενός χρώματος αποκαλείται χρώμα κατά Munsell. Τα μέγιστα κορεσμένα χρώματα είναι τα πιο έντονα χρώματα.

Η αξία δηλώνει τη φωτεινότητα: την ποσότητα του φωτός που αντανακλάται από ένα χρώμα. Το λευκό, για παράδειγμα, έχει τη μεγαλύτερη φωτεινότητα και το μαύρο τη μικρότερη.

Ήταν σημαντικό ότι ο Munsell ανακάλυψε ότι η πλήρης χρωματική ένταση των επιμέρους χρωμάτων μπορούσε να επιτευχθεί σε διαφορετικές θέσεις της χρωματικής περιοχής. Το κίτρινο φτάνει στο βέλτιστο χρώμα του, για παράδειγμα, σε πολύ υψηλότερο κορεσμό από το κόκκινο. Αυτό οδήγησε στην οπτική αναπαράσταση μιας ασύμμετρης σφαίρας ή περιστρεφόμενης κορυφής.

### 3.2 Το χρωματικό σύστημα CIE

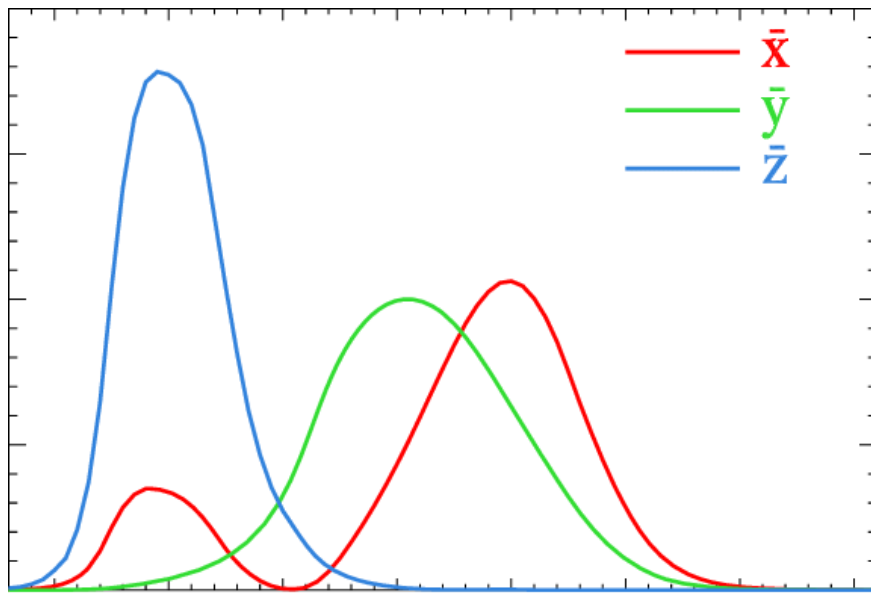
Η διεθνής επιτροπή φωτισμού πρότεινε το 1931 σαν βασικά χρώματα αναφοράς τρεις συναρτήσεις  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$  οι οποίες ονομάζονται Συναρτήσεις Χρωματικής Συνθέσεως.<sup>9</sup> Για ένα χρώμα με φυσική πυκνότητα φωτεινής ακτινοβολίας  $q_i(\lambda)$  ορίζονται οι τριχρωματικοί αριθμοί:

$$X = \int_{380}^{780} x(\lambda) q_i(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{380}^{780} \bar{y}(\lambda) q_l(\lambda) d\lambda$$

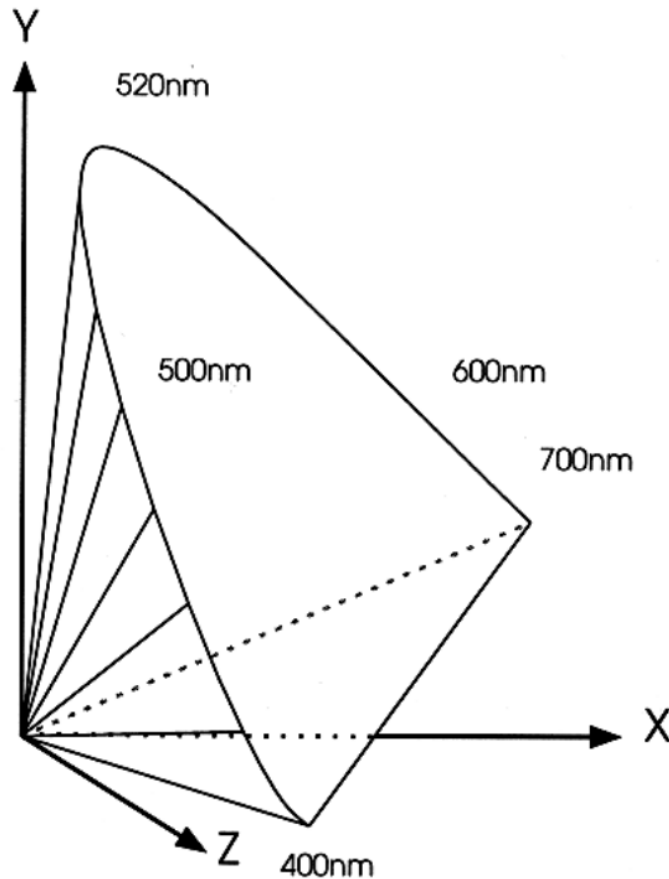
$$Z = \int_{380}^{780} \bar{z}(\lambda) q_l(\lambda) d\lambda$$

όπου:  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της ισοδύναμης μονοχρωματικής ακτινοβολίας.  
 Έτσι για να συντεθεί το χρώμα μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του σχήματος 1.0, χαράσσεται μία κάθετη γραμμή στο συγκεκριμένο μήκος κύματος και διαβάζονται οι τιμές των τριών συναρτήσεων.



**Σχήμα 1.** Συναρτήσεις χρωματικής συνθέσεως σύμφωνα με τη CIE.

Όλες οι δυνατές τιμές των  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  μπορούν να παρασταθούν σε ένα τρισδιάστατο διάγραμμα βρισκόμενες στο θετικό ογδοημόριο, μέσα σε ένα κωνοειδές στερεό με κορυφή την αρχή των αξόνων όπως φαίνεται στο σχήμα.



**Εικόνα 7.** The CIE 1931 XYZ color space.

Για την παράσταση του χρώματος στο δισδιάστατο σύστημα εισάγονται ανηγμένοι χαρακτηριστικοί αριθμοί ή χρωματικές συντεταγμένες που δίνονται από τις εξισώσεις:

$$x = X/(X+Y+Z)$$

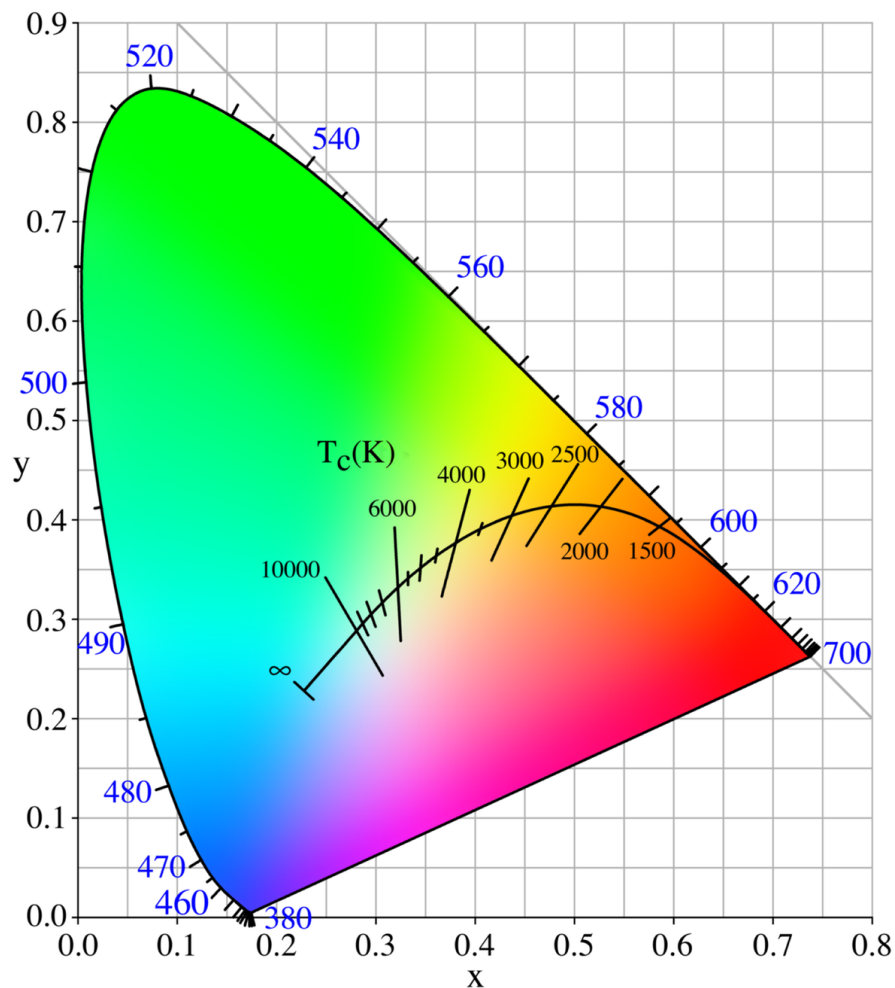
$$y = Y/(X+Y+Z)$$

$$z = Z/(X+Y+Z)$$

με  $x+y+z=1$ . Με τον τρόπο αυτό καταργείται η  $z$  συντεταγμένη, ως εξαρτώμενη από τις άλλες δύο και παράγεται ένα δισδιάστατο διάγραμμα  $x - y$ , ισοδύναμο με την προβολή του XYZ κωνοειδούς στερεού στο επίπεδο.

Να σημειωθεί πως οι τρεις άξονες δεν βρίσκονται μέσα στον κώνο αφού τα  $X, Y, Z$  δεν είναι πραγματικά χρώματα. Το μαύρο, που αντιστοιχεί σε έλλειψη χρώματος και λαμπρότητας, είναι στην αρχή των αξόνων. Η καμπύλη συνοριακή επιφάνεια του κώνου, που ονομάζεται καμπύλη φασματική χρωμάτων (spectral locus), παριστάνει τις τριχρωματικές τιμές των καθαρά μονοχρωματικών φασματικά χρωμάτων, τα οποία έχουν το μέγιστο κορεσμό. Η ευθεία γραμμή που ενώνει τα άκρα του γεωμετρικού τόπου του φάσματος ονομάζεται πορφυρή γραμμή και απεικονίζει τα πορφυρά

χρώματα (χρώματα που προκύπτουν από τη μίξη ερυθρού και ιώδους) όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.



**Εικόνα 8.** Ο χρωματικός χώρος  $x,y$  του CIE 1931, που δείχνει επίσης τον χρωματισμό των πηγών φωτός ενός μαύρου σώματος σε διάφορες θερμοκρασίες ("χώρος του Planck"), καθώς και γραμμές σταθερής συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος.

Σε όλα τα χρωματικά σχεδιαγράμματα υπάρχει μια θέση λευκού χρώματος όπου είναι συγκεκριμένη και πάντα ίδια. Όσο μεγαλώνει η απόσταση από το λευκό σημείο τόσο μεγαλώνει και ο κορεσμός του χρώματος, δηλαδή γίνεται εντονότερο.

Κάθε σημείο εκτός από το λευκό σημείο έχει και ένα κυρίαρχο μήκος κύματος. Πρόκειται για το σημείο τομής της ευθείας που περνάει από το συγκεκριμένο χρώμα και από το λευκό, με το γεωμετρικό τόπο του φάσματος.<sup>45</sup>

### 3.3 ΤΡΙΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Μια από τις σημαντικότερες θεωρίες για την αντίληψη των χρωμάτων, της μέτρησης και αξιολόγησης τους στα αντικείμενα διατυπώθηκε τον 19ο αιώνα (1807) από τον



Thomas Young και είναι η Τριχρωματική Θεωρία. Η ανάπτυξη και η βελτίωση της δεν άργησε καθώς μισό αιώνα μετά περίπου το 1852 ο Hermann von Helmholtz την μελετούσε αλλά και υποστηρίχθηκε από τα πειράματα του Maxwell. Σύμφωνα λοιπόν με την θεωρία η οποία αναφέρει ότι κάθε χρώμα μπορεί να προκύψει από τον κατάλληλο συνδυασμό, σε διαφορετικές ποσότητες των στοιχείων μια τριχρωματικής βάσης. Ο ανθρώπινος οφθαλμός διαθέτει τρεις τύπους χρωματικών υποδοχέων όπου άλλα είναι ευαίσθητα στο κόκκινο (RED) άλλα στο πράσινο (GREEN) και άλλα στο μπλε (BLUE) χρώμα.

Η ανάμειξη των βασικών χρωμάτων συνεπάγεται και ανάμειξη των φωτεινών ακτινοβολιών, γι' αυτό και χαρακτηρίζεται ως προσθετική. Ο πρώτος που διατύπωσε τους βασικούς νόμους που κυριαρχούν στην προσθετική ανάμειξη των χρωμάτων, είναι ο Hermann Grassmann το 1853, και είναι γνωστοί ως «νόμοι του Grassmann» βάζοντας τα θεμέλια για την χρωματομετρία. Η διατύπωση τους έχει διαφοροποιηθεί σύμφωνα με την βιβλιογραφία και περιγράφονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

1: Προκειμένου να προσδιοριστεί ένα χρώμα, τρεις ανεξάρτητες και μαθηματικά προσδιορίσιμες μεταβλητές θεωρούνται απαραίτητες και επαρκείς: η χροιά, η φωτεινότητα και ο βαθμός κορεσμού (χρωματική πυκνότητα)

2: Κατά την προσθετική ανάμειξη χρωμάτων, εάν ένα ή περισσότερα από τα συστατικά του μείγματος μεταβάλλεται σταδιακά, τότε και το χρώμα του μείγματος μεταβάλλεται σταδιακά

3: Η ανάμειξη δύο χρωματικών ερεθισμών που έχουν την ίδια χροιά και τον ίδιο κορεσμό, παράγει ένα χρωματικό ερεθισμό της ίδιας χροιάς και του ίδιου κορεσμού, ανεξάρτητα από τη φασματική τους σύνθεση

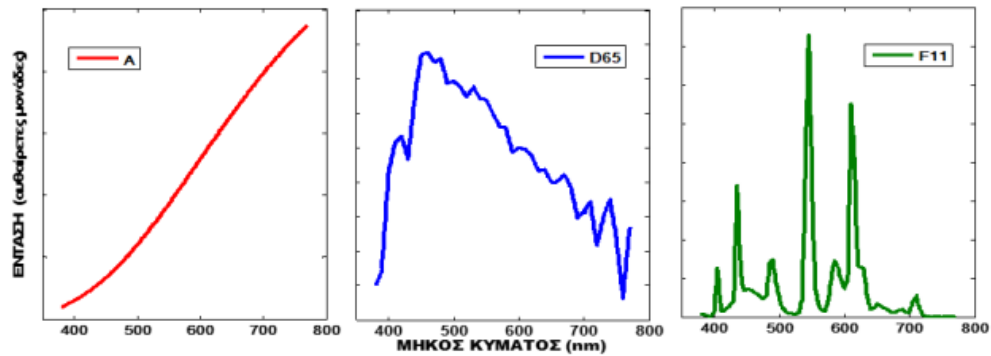
Οι νόμοι του Grassmann μπορούν να περιγραφούν μαθηματικά ως εξής:

1. Νόμος της συμμετρίας (symmetry law): Αν το χρωμοερέθισμα A μοιάζει με το χρωμοερέθισμα B, τότε και το B μοιάζει με το A.

2. Νόμος της μεταβατικότητας (transitivity law): Αν το A μοιάζει με το B και το B μοιάζει με το C, τότε το A μοιάζει με το C.

3. Νόμος της αναλογικότητας (proportionality law): Αν το A μοιάζει με το B, τότε το  $aA$  μοιάζει με το  $aB$ , όπου το  $a$  είναι ένας θετικός παράγοντας.

4. Νόμος της προσθετικότητας (additivity law): Αν το A μοιάζει με το B, το C μοιάζει με το D, και το  $(A+C)$  μοιάζει με το  $(B+D)$ , τότε το  $(A+D)$  μοιάζει με το  $(B+C)$ .

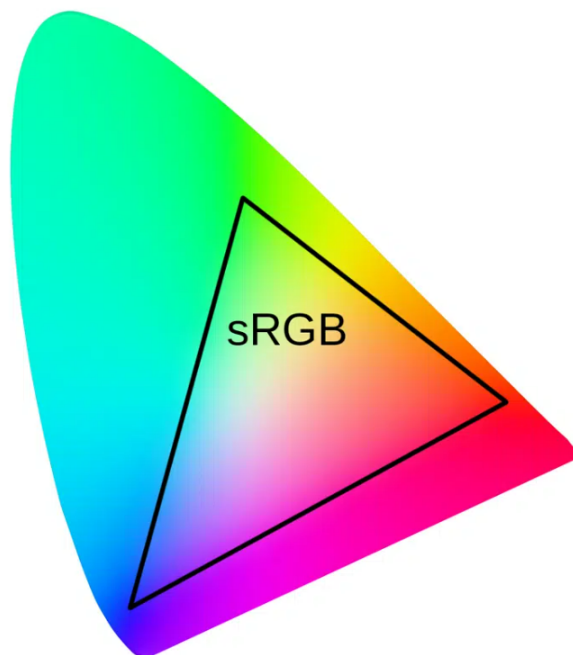


**Εικόνα 9.**

Για τον υπολογισμό των τριχρωματικών συντελεστών του χρώματος μίας επιφάνειας απαιτείται η γνώση της φασματικής κατανομής της φωτεινής πηγής που την φωτίζει. Για να αποτυπωθεί η χρωματική συμπεριφορά διάφορων επιφανειών κάτω από διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, η Διεθνής Επιτροπή για τον Φωτισμό έχει προσδιορίσει διάφορες φασματικές κατανομές ως πρότυπους φωτισμούς.

Το πρώτο σχεδιάγραμμα (A) αντιστοιχεί σε λαμπτήρες πυρακτώσεως, το δεύτερο σχεδιάγραμμα (D65) αντιστοιχεί σε προσομοίωση φωτισμού ημέρας σε διάφορες συνθήκες και τέλος το τρίτο (F11) σε τεχνητό φωτισμό από λάμπες φθορισμού.<sup>1</sup>

#### 4. sRGB



**Εικόνα 10.** sRGB: Ένας επακριβώς καθορισμένος χώρος RGB.

## 4.1 Η ιστορία του sRGB

Η ιστορία του συστήματος sRGB ξεκίνησε από την ανάγκη να βρεθεί μια λύση στο πρόβλημα συμβατότητας για τις τυπικές οθόνες υπολογιστών έτσι ώστε να υπάρχει ένας χρωματικός χώρος πρότυπο για το διαδίκτυο.

Την λύση έφερε το 1996 η Hewlett-Packard και η Microsoft με τη δημιουργία αυτού του χώρου βασισμένου στο χρωματικό μοντέλο RGB.

Το sRGB λοιπόν είναι μια γκάμα χρωμάτων που χρησιμοποιείται από ηλεκτρονικές συσκευές για την απεικόνιση των χρωμάτων. Όπως προαναφέρθηκε βασίζεται στον χρωματικό χώρο RGB όντας όμως αρκετά μικρότερος από αυτόν.

Παρόλα αυτά χρησιμοποιείται σε μεγάλη γκάμα υπολογιστών, monitor, smartphone, tablet κ.α καθώς παράγει τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό χρωμάτων και φωτεινότητας.

Πολλά προγράμματα περιήγησης στο διαδίκτυο, κονσόλες αλλά και τα Windows έχουν ως πρωταρχικό χρωματικό χώρο το sRGB.

Σε συνδυασμό με μια οθόνη ευρείας χρωματικής γκάμας, η λειτουργία sRGB βρίσκεται συχνά μεταξύ των προεπιλογών εικόνας και των λειτουργιών θερμοκρασίας χρώματος.

Μια από τις λίγες διαφορές της λειτουργίας sRGB από αυτή του RGB είναι ότι η πρώτη μειώνει ολοκληρωτικά την εγγενή γκάμα χρωμάτων της οθόνης δίνοντας την δυνατότητα να προβάλλονται "πραγματικά" χρώματα δηλαδή χωρίς κάποια αλλοίωση. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα του sRGB από το RGB (ή αλλιώς Adobe RGB) είναι ότι η γκάμα του είναι περιορισμένη όσον αφορά τα χρώματα που μπορεί να απεικονίσει. Επίσης, εδώ να αναφερθεί πως και οι δύο χρωματικές γκάμες μπορούν να απεικονίσουν μόνο ένα κλάσμα του ορατού χρωματικού φάσματος σε μια οθόνη υπολογιστή και δεν μπορούν να εμφανίσουν όλα τα χρώματα που μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος οφθαλμός.

Προηγουμένως αναφερθήκαμε στην γκάμα χρωμάτων. Τι είναι η χρωματική γκάμα:

Τα χρώματα διαφέρουν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, όσον αφορά την απόχρωση, τον κορεσμό, την φωτεινότητα. Αυτό που αντιλαμβανόμαστε ως μπλε του ωκεανού, κίτρινο του λεμονιού ή κόκκινο του σάπιου μήλου οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο το φως αντανακλά στον ανθρώπινο οφθαλμό.

Ακόμα και έτσι όμως οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται επίσης διαφορετικά τα χρώματα μεταξύ τους. Το ίδιο ισχύει και για τον τρόπο με τον οποίο δύο διαφορετικές οθόνες δείχνουν και αναπαράγουν το χρώμα. Οι περισσότερες οθόνες είναι περιορισμένες στα χρώματα που μπορούν να παράγουν ακολουθώντας το χρωματικό πρότυπο που καθορίζουν την γκάμα τους (sRGB, Adobe RGB κ.α).

Η χρωματική γκάμα περιγράφει ένα εύρος χρωμάτων εντός του φάσματος των χρωμάτων που μπορεί να αναπαραχθεί σε μια συσκευή εξόδου. Ανάλογα με το πόσο ευρεία είναι η γκάμα εμφανίζονται διαφορετικές ποσότητες χρώματος. Οι περισσότερες οθόνες παράγουν έως και 16.7 εκατομμύρια χρώματα, αλλά ορισμένες μπορούν να παράγουν πολλά περισσότερα.

Η χρωματική γκάμα σε τεχνικό επίπεδο απεικονίζεται ως ένα τρίγωνο στον άξονα XYZ. Το Y αναφέρεται στη μέγιστη δυνατή φωτεινότητα χρώματος εντός της γκάμας, ενώ τα σημεία X και Z υποδεικνύουν το πλήρες εύρος, την απόχρωση και την ένταση χρωματικότητας του χρώματος δηλαδή πόσο έντονο παρουσιάζεται.

Η χρωματική γκάμα μπορεί πολύ εύκολα να μπερδευτεί με την ανάλυση δεδομένου ότι η ποιότητα χρώματος και η συνολική ποιότητα μπορεί να φαίνονται συμπληρωματικές αλλά και εναλλάξιμες.

Η αναπαραγωγή χρώματος σε μια οθόνη επηρεάζεται άμεσα από την χρωματική γκάμα, την "κάλυψη" χρώματος και τα πολλά πρότυπα χρώματος.

Η κάλυψη του χρώματος σε μια οθόνη δείχνει την ικανότητα την να αναπαράγει και να μεταδίδει τα χρώματα από την πηγή της. Για παράδειγμα, μια οθόνη ενός κινητού τηλεφώνου iPhone προηγμένης γενιάς και μιας τηλεόρασης του 1990 έχουν τεράστια διαφορά στην αναπαραγωγή χρώματος καθώς υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές στο εύρος, στο βάθος αλλά και σε σχέση με τον τρόπο που δημιουργούνται τα χρώματα. Κύριος λόγος για αυτό είναι τα πρότυπα χρωμάτων.

## 5.ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

Φωτομετρία είναι η επιστήμη η οποία ασχολείται με την μέτρηση της φωτεινής ενέργειας όπου εκπέμπει μια πηγή. Η λειτουργία της βασίζεται στην μέτρηση παρατηρήσεων από μια φωτεινή ενέργεια με τρόπο τέτοιο όπου ο οφθαλμός μπορεί να αντιληφθεί την ένταση της φωτεινότητας. Το 1924, η Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) αποφάσισε να συμπεριλάβει τη φωτομετρία ως μέρος της σύγχρονης επιστήμης. Για την κατανόηση της έννοιας της φωτομετρίας πρέπει να αναφερθεί και η έννοια της ραδιομετρίας η οποία είναι η μέτρηση της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής και θερμικής ακτινοβολίας. Η διαφοροποίησή τους είναι ότι στην μια η μέτρηση του φωτός γίνεται ακτινοβολία, δηλαδή σε VAT, ενώ στη φωτομετρία μετριέται σε φωτεινότητα, δηλαδή σε lumen ανά τετραγωνικό μέτρο. Όπως έχουμε προαναφέρει το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να αντιληφθεί όλους τους τύπους φωτός αλλά μόνο ένα

μήκος από αυτό. Αυτό το μήκος είναι 360-830 στο ορατό φάσμα όπου ανάλογα τα μήκη κύματος αντιλαμβάνεται και διαφορετικά χρώματα. Το ανθρώπινο μάτι έχει επίσης διαφορετική ευαισθησία ανάλογα με το μήκος κύματος του φωτός, καθώς μια πηγή φωτός με την ίδια ακτινοβολία θα φαίνεται πιο φωτεινή ή πιο αμυδρή ανάλογα με το μήκος κύματος ή το χρώμα του φωτός. Το όργανο με το οποίο πραγματοποιείται η φωτομετρία είναι το φωτόμετρο με το οποίο και γίνεται η μέτρηση του φωτός.

Τα φωτόμετρα μετρούν τις ακόλουθες παραμέτρους

- Φωτεινότητα
- Απορρόφηση φωτός
- Ακτινοβολία
- Ανάκλαση του φωτός
- Σκέδαση του φωτός
- Φθορισμός
- Φωταύγεια
- Φωσφορισμός

Η φωτομετρία χωρίζεται σε δύο τύπους την διαφορική και την απόλυτη.

Στη διαφορική φωτομετρία η παρατήρηση του αντικειμένου γίνεται δίπλα σε άλλες συναφείς πηγές σύγκρισης. Αφού γίνει η καταμέτρηση και για τους 2 στόχους συγκρίνονται ώστε να βρεθεί η διαφορά μεταξύ τους. Με το αποτέλεσμα αυτό της διαφοράς των αντικειμένων γίνεται η εξαγωγή της διαφοράς στη φωτεινότητα. Ως αποτέλεσμα γίνεται η μέτρηση της σχετικής φωτεινότητας του υπό μελέτη αντικειμένου σε σύγκριση με ένα άλλο εξεταζόμενο αντικείμενο.

Η διαφορά μεταξύ της διαφορικής και της απόλυτης φωτομετρίας είναι ότι στην απόλυτη η παρατήρηση του υπό μελέτη αντικειμένου που παρατηρείται γίνεται χωρίς κάποιο άλλο αντικείμενο προς σύγκριση και συνέχεια μετρείται η καταμέτρηση ADU (Analog to Digital Unit) για να υπολογιστεί η πραγματική φωτεινότητα του αντικειμένου. Η μέτρηση της πραγματικής φωτεινότητας του αντικειμένου με αυτή την μέθοδο είναι πιο δύσκολη και πιο περίπλοκη.

Το όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για την εξέταση της αλληλεπίδρασης του φωτός με ανακλαστικά υλικά ονομάζεται φωτόμετρο. Υπάρχουν αρκετά είδη φωτόμετρων τα οποία και έχουν και διαφορετικές λειτουργίες και έχουν κατασκευαστεί για διαφορετικές μετρήσεις. Έτσι κάποια από αυτά είναι τα φωτόμετρα υψηλής ή χαμηλής έντασης, τα γωνιοφωτόμετρα, φωτόμετρα μονής δέσμης κ.α

Ορισμένα όργανα χρησιμοποιούν την αρχή της φωτομετρίας για να παρατηρήσουν πώς το φως απορροφά ή/και ανακλά τα μήκη κύματος.

Υπάρχουν όργανα και συσκευές που μετρούν το φως μετατρέποντάς το σε ηλεκτρικό ρεύμα και μετρώντας την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από το φως.

Επίσης ορισμένα φωτόμετρα εκτοξεύουν λευκό φως σε μια επιφάνεια για να μετρήσουν την ποσότητα φωτός που αντανακλάται στο όργανο.

## 5.1 Μονάδα Μέτρησης φωτισμού LUX

Το lux πρόκειται για μια μονάδα μέτρησης φωτισμού στο διεθνές σύστημα μονάδων μέτρησης (SI). Ορίζεται σε lumen ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ).

Ένα lux ισούται με  $0.00146 \text{ kg}$  ανά κυβικό δευτερόλεπτο ( $1.46 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{s}^3$ ) όπως επίσης και με  $1.46 \text{ milliwatts}$  ακτινοβολούμενης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος σε συχνότητα  $540 \text{ terahertz}$  (THz), που προσπίπτει υπό ορθή γωνία σε επιφάνεια της οποίας το εμβαδόν ισούται με ένα τετράγωνο μέτρο. Μια συχνότητα  $540 \text{ THz}$  αντιστοιχεί σε μήκος κύματος περίπου στα  $555 \text{ nanometers}$  (nm) δηλαδή περίπου στη μέση του ορατού φάσματος του φωτός.

Η μονάδα μέτρησης lux είναι μια μικρή μονάδα. Μια εναλλακτική είναι το Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Η μετατροπή από Watt σε Lux γίνεται με το να πολλαπλασιαστεί η τιμή Watt με τον αριθμό 683. Αντιθέτως για να γίνει μετατροπή από lux σε Watt διαιρείται η γνωστή τιμή σε lux με τον αριθμό 0.00146.

Η ένταση του φωτισμού μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση από την πηγή σε μια οπτική γραμμή ελεύθερου χώρου είς το τετράγωνο. Αν η απόσταση διπλασιαστεί τότε η φωτεινότητα μειώνεται στο  $1/4$  ενώ αν αυξηθεί κατά 10 φορές η φωτεινότητα γίνεται  $1/100$  μεγαλύτερη.

### Lumen

Lumen είναι η μονάδα μέτρησης της φωτεινής ροής. Υποδεικνύει τη συνολική ποσότητα φωτός που εκπέμπει η φωτεινή πηγή, ανεξαρτήτως της κατεύθυνσης. Στα lumen η απόδοση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς δείχνει πόσο αποτελεσματικά η πηγή φωτός μετατρέπει την ισχύ σε φως. Αυτό ονομάζεται λόγος Lumen/Watt.

## 5.2 Φασματική Κατανομή

Το διάγραμμα της φασματικής κατανομής πρόκειται για ένα γράφημα το οποίο αναπαριστά όλες τις εντάσεις μιας φωτεινής πηγής σε όλα τα μήκη κύματος. Τα διαγράμματα αυτά είναι χρήσιμα στο να γίνεται η σύγκριση διαφόρων ενεργειακών επιπέδων των φωτεινών πηγών. Είναι ίσως το πιο πρακτικό και ακριβές μέσο σύγκρισης.

Η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την θερμοκρασία καθώς όταν αυτή μεταβάλλεται αντίστοιχα και η φασματική κατανομή μετατοπίζεται. Το 1901, ο Πλανκ έκανε μια νέα υπόθεση η οποία ισχυριζόταν πως η ενέργεια της ακτινοβολίας είναι κβαντισμένη. Με βάση αυτή την υπόθεση βγήκε μια εξίσωση για τη φασματική πυκνότητα της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε μια εξισορροπημένη θερμική κοιλότητα.

Έχοντας ένα άνοιγμα στην κοιλότητα αυτή εξέτασε την ακτινοβολία που απελευθερωνόταν και κατέληξε στην εξίσωση για τη φασματική ακτινοβολία του μελανού σώματος. Η εξίσωση αυτή προβλέπει με ακρίβεια την φασματική ακτινοβολία του μελανού σώματος σε οποιαδήποτε θερμοκρασία.

Σε αντίθεση με τη θερμοκρασία η αντίληψη του χρώματος δεν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φασματική κατανομή της πηγής του φωτός η οποία το φωτίζει. Βέβαια, η σταθερότητα της αντίληψης του χρώματος δεν είναι τέλεια με αποτέλεσμα οι επιφάνειες να επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό από τον φωτισμό.

Μελέτες των χρωματικών αλλαγών σε συνθήκες αλλαγής φωτισμού αποκαλύπτουν την ακρίβεια της ανθρώπινης χρωματικής αντίληψης και σταθερότητας και εξετάζουν επίσης πτυχές του οπτικού ερεθίσματος που μπορεί να τις διαμεσολαβούν.

Δεν υπάρχει μια αμετάβλητη και συγκεκριμένη απάντηση για το πόσο καλή είναι η ανθρώπινη χρωματική σταθερότητα που να ισχύει για όλες τις συνθήκες φωτισμού και για τα πλαίσια θέασης, ωστόσο γενικά ο άνθρωπος οφθαλμός μέσω του οπτικού συστήματος δίνει επαρκώς σταθερή χρωματική αντίληψη των αντικειμένων.

Έχει αποδειχθεί πως μια αλλαγή στον φωτισμό μπορεί να οδηγήσει σε μια αντιληπτή διαφορά στο χρώμα των αντικειμένων, αν και η μετατόπιση που γίνεται είναι πολύ μικρότερη από ότι προβλέπεται από την αλλαγή του φωτός που αντανακλάται από το κάθε αντικείμενο στο μάτι. Η εξήγηση των μετρίων αλλά σημαντικών αυτών μετατοπίσεων στην εμφάνιση του χρώματος των αντικειμένων με αλλαγές φωτισμού αποτελεί μέχρι και σήμερα πρόκληση στον τομέα αντίληψης των χρωμάτων.

## 6.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

"Θερμοκρασία χρώματος" είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται από μια λευκή πηγή φωτός. Απλοποιεί την επικοινωνία του χρώματος μιας φωτεινής πηγής, το οποίο διαφορετικά θα έπρεπε να περιγραφεί πιο συγκεκριμένα είτε με 2 είτε με 3 αριθμούς (χρωματικές συντεταγμένες  $xy$ ,  $uv$  ή  $u'v'$  ή τιμές tristimulus XYZ). Το πρόβλημα με τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρώματος είναι ότι είναι δυνατόν δύο λαμπτήρες φθορισμού, LED ή μονάδες LED να έχουν τις ίδιες προδιαγραφές θερμοκρασίας χρώματος αλλά να φαίνονται σαφώς διαφορετικές.

Για να κατανοήσουμε πώς δύο LED με την ίδια θερμοκρασία χρώματος μπορούν να φαίνονται σαφώς διαφορετικά, πρέπει να εξετάσουμε πιο προσεκτικά τον ορισμό της θερμοκρασίας χρώματος. Η πραγματική θερμοκρασία χρώματος είναι το χρώμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα μαύρο σώμα που ακτινοβολείται τέλεια το οποίο διατηρείται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία χρώματος αναφέρεται σε μονάδες Kelvin (K). Σε ένα διάγραμμα του χρωματικού χώρου CIE, το διάγραμμα των χρωματικών συντεταγμένων ενός μέλανος σώματος με θερμοκρασίες από 1.000 έως 20.000 Kelvin ονομάζεται χώρος του Planck. Τα χρώματα σε αυτόν τον χώρο, εύρους από περίπου 2.000 έως 20.000 K θεωρούνται "λευκά", με τα 2.000 K να είναι κοκκινωπά λευκά ("θερμό λευκό") και τα 20.000 K να είναι γαλαζωπά λευκά ("ψυχρό λευκό").

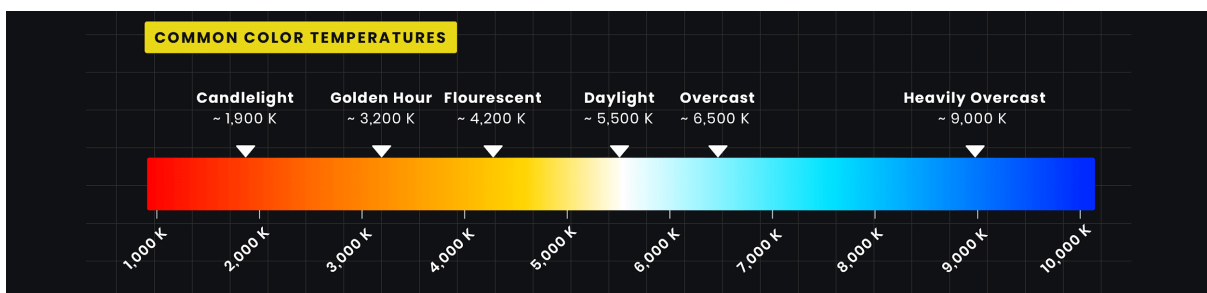
Άλλες, πιο ενεργειακά αποδοτικές πηγές φωτός - όπως οι λαμπτήρες φθορισμού ή εκκένωσης ή οι LED - δεν είναι πηγές μελανού σώματος ή πυρακτώσεως. Για παράδειγμα, τα LED εκπέμπουν φως με μια διαδικασία που ονομάζεται ηλεκτροφωταύγεια. Οι χρωματικές συντεταγμένες του λευκού φωτός που εκπέμπεται από ένα LED δεν θα εμπίπτουν απαραίτητα απευθείας στον χώρο Planck στο διάγραμμα του χρωματικού χώρου. Για αυτές τις πηγές φωτός, θα πρέπει να αναφερόμαστε σε αυτές ως έχουσες συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος (CCT) . Η CCT περιγράφει τη θερμοκρασία χρώματος εκείνων των πηγών λευκού φωτός (μη εκπομποί μέλανος σώματος) των οποίων τα χρώματα δεν εμπίπτουν ακριβώς στον χώρο του Planck. Η CCT μιας μη πηγής φωτός είναι η θερμοκρασία χρώματος του μέλανος σώματος με την οποία η πηγή μοιάζει περισσότερο. Η συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος αναφέρεται επίσης σε μονάδες Κέλβιν (K).

Ο ακριβής ορισμός της CCT είναι αυτός που μπορεί να μας βάλει άσχημα σε μπελάδες. Ενώ οι χρωματικές συντεταγμένες μιας αληθινής πηγής μαύρου σώματος πρέπει (εξ ορισμού) να πέφτουν ακριβώς στον χώρο του Planck, οι χρωματικές συντεταγμένες για ένα LED μιας συγκεκριμένης συσχετισμένης θερμοκρασίας χρώματος μπορούν να πέσουν οπουδήποτε κατά μήκος της λεγόμενης γραμμής "ISO-CCT" που τέμνει τον



χώρο του μαύρου σώματος στην ισοδύναμη ("αληθή") θερμοκρασία χρώματος. Με άλλα λόγια, ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως CIE με πραγματική θερμοκρασία χρώματος 2856 K θα έχει συντεταγμένες χρωματικότητας ακριβώς  $x = 0,4476$  και  $y = 0,4075$ . Στον χρωματικό χώρο CIE 1960, οι συντεταγμένες αυτές γίνονται  $u = 0,2560$  και  $v = 0,3495$ . Μια πηγή φωτός με συσχετισμένη θερμοκρασία χρώματος 2,856 K μπορεί να έχει πραγματικές χρωματικές συντεταγμένες που αποκλίνουν από την πηγή μέλανος σώματος έως και  $\Delta uv = \pm 0,02$ . Δεδομένου ότι στον χρωματικό χώρο  $uv$  του 1960 μια διαφορά μόλις  $\pm 0,001$  στο  $u$  ή  $v$  θεωρείται γενικά αισθητή, ο ορισμός του CCT επιτρέπει στο χρώμα των πηγών λευκού φωτός να αποκλίνει περισσότερο από 20 φορές πέρα από το σημείο όπου ένας παρατηρητής θα άρχιζε να παρατηρεί τη διαφορά.

Ένα κοινό μέσο για την ένδειξη της χαρακτηριστικής φασματικής κατανομής πολλών πηγών φωτός είναι η δήλωση της θερμοκρασίας χρώματος. Η έννοια της δήλωσης του χρώματος ως θερμοκρασία προέρχεται από το γεγονός ότι τα φυσικά σώματα εκπέμπουν ενέργεια ανάλογη της θερμοκρασίας τους (όταν αυτή η ακτινοβολία είναι ορατή, το αντικείμενο βρίσκεται σε κατάσταση πυράκτωσης). Ένα μαύρο σώμα είναι ένα θεωρητικό δημιούργημα που απορροφά όλο το φως που πέφτει πάνω του, και έτσι το χρώμα του εξαρτάται πλήρως από αυτό, εκπέμπει στην ορατή περιοχή.



**Εικόνα 11.** Θερμοκρασία χρωμάτων σε Kelvin

Η θερμοκρασία χρώματος, λοιπόν, είναι απλώς η θερμοκρασία (συνήθως δίνεται σε βαθμούς Κέλβιν) στην οποία ένα τέτοιο σώμα θα εξέπεμπε φως συγκεκριμένης έντασης, χρώματος, ή ακριβέστερα μιας συγκεκριμένης φασματικής κατανομής ισχύος. Η αύξηση της θερμοκρασίας χρώματος αντιστοιχεί περίπου σε αυτό που γνωρίζουμε από πραγματικά αντικείμενα που θερμαίνονται σε πυράκτωση. Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες στις οποίες τέτοια αντικείμενα (μια θερμαινόμενη ράβδος μετάλλου, για παράδειγμα) αρχίζουν να λάμπουν, εμφανίζεται να είναι ένα θαμπό κόκκινο "τούβλο". Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, το χρώμα του αντικειμένου αλλάζει από φωτεινότερο κόκκινο, σε πορτοκαλί, κίτρινο και τελικά το αντικείμενο γίνεται "λευκό - καυτό".



**Εικόνα 12**



**Εικόνα 13**

*Οι Εικόνες 12 και 13 παρουσιάζουν θερμαινόμενες ράβδους μετάλλου όπου ξεχωρίζουμε διάφορους χρωματισμούς από λιγότερο φωτεινούς έως και το απόλυτο λευκό όπου και σημαίνεται η μεγαλύτερη θερμοκρασία.*

Πέρα από μια ορισμένη θερμοκρασία, (κάπου πάνω από 30.000-40.000 K, πολύ πάνω από τη θερμοκρασία χρώματος οποιασδήποτε φωτεινής πηγής που συναντάται συνήθως στην πράξη), περαιτέρω αυξήσεις της θερμοκρασίας δεν προκαλούν καμία ορατή αλλαγή στο χρώμα.

Η θερμοκρασία χρώματος χρησιμοποιείται συχνά για να δώσει τουλάχιστον μια κατά προσέγγιση ιδέα του χρώματος μιας φωτεινής πηγής, ιδίως για να γίνει διάκριση μεταξύ των διαφόρων "λευκών" πηγών που συνήθως συναντώνται. Το περισσότερο τεχνητό φως, όπως οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και οι λαμπτήρες φθορισμού, παράγουν ένα σαφώς κοκκινωπό φως, με θερμοκρασίες χρώματος στο εύρος

2500-4000 K. Το λευκό "φως ημέρας", (το χρώμα του ηλιακού φωτός) όπως αντανακλάται από μια διάχυτη, φασματικά "επίπεδη" επιφάνεια, είναι περίπου 6000-6500 K, ανάλογα με τις συνθήκες.

Αυτό είναι πολύ κοντά σε αυτό που θα αντιλαμβανόμασταν ως "αληθινό" λευκό, μια απουσία οποιασδήποτε διακριτής απόχρωσης. Ο ήλιος ιδωμένος απευθείας, με αύξηση των μπλε συστατικών που παρέχονται από τα φαινόμενα σκέδασης του ουρανού, εμφανίζεται ως ένα πολύ πιο μπλε λευκό, με θερμοκρασία χρώματος 10.000-12.000 K. Σημειώστε ότι αυτά δίνονται μόνο ως γενικές περιοχές, υπάρχει υπερβολική εξάρτηση από ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών συνθηκών ώστε να είναι δυνατόν να δοθεί μια ακριβής τιμή.

Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας ενός αντικειμένου και του φάσματος της ακτινοβολίας μαύρου σώματος που εκπέμπει. Σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, η περισσότερη ακτινοβολία εκπέμπεται σε μήκη κύματος μεγαλύτερα των 700 nm, τα οποία ανήκουν στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Η θαμπή κόκκινη λάμψη του στοιχείου της ηλεκτρικής κουζίνας οφείλεται στη μικρή ποσότητα ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε μήκη κύματος μικρότερα από 700 nm, τα οποία μπορεί να ανιχνεύσει το μάτι. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του αντικειμένου, η μέγιστη ένταση μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα να προκύπτει διαδοχικά πορτοκαλί, κίτρινο και τελικά λευκό φως. Σε υψηλές θερμοκρασίες, όλα τα μήκη κύματος του ορατού φωτός εκπέμπονται με περίπου ίσες εντάσεις. Το φάσμα του λευκού φωτός που παρουσιάζεται για ένα αντικείμενο στους 6000 K προσεγγίζει κατά πολύ το φάσμα του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος. Σημειώστε την απότομη μείωση της έντασης της ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε μήκη κύματος κάτω των 400 nm, η οποία αποτέλεσε την υπεριώδη καταστροφή. Η κλασική πρόβλεψη αποτυγχάνει να προσαρμόσει πλήρως τις πειραματικές καμπύλες και δεν έχει μέγιστη ένταση.

Αν και η κβάντωση μπορεί να φαίνεται να είναι μια άγνωστη έννοια, τη συναντάμε συχνά. Για παράδειγμα, τα αμερικανικά χρήματα είναι ακέραια πολλαπλάσια των πένες. Ομοίως, μουσικά όργανα όπως ένα πιάνο ή μια τρομπέτα μπορούν να παράγουν μόνο ορισμένες μουσικές νότες, όπως το ντο ή το φα δίεση. Επειδή αυτά τα όργανα δεν μπορούν να παράγουν ένα συνεχές φάσμα συχνοτήτων, οι συχνότητές τους είναι κβαντισμένες. Ακόμη και το ηλεκτρικό φορτίο κβαντίζεται: ένα ιόν μπορεί να έχει φορτίο -1 ή -2 αλλά όχι -1,33 φορτία ηλεκτρονίων.

Ο Planck υποστήριξε ότι η ενέργεια ενός συγκεκριμένου κβάντου ακτινοβολούμενης ενέργειας μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση

$$E=hn$$

Στην εξίσωση  $E=hn$ ,  $E$  αντιπροσωπεύει την ενέργεια του φωτονίου,  $h$  είναι η σταθερά Planck και  $n$  είναι η συχνότητα του φωτονίου όπου η σταθερά αναλογικότητας  $h$  ονομάζεται σταθερά του Planck, μια από τις πιο γνωστές με ακρίβεια θεμελιώδεις

σταθερές της επιστήμης. Για τους σκοπούς μας, η τιμή της με τέσσερα σημαντικά ψηφία είναι γενικά επαρκής:

$$h=6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s} \text{ (Τζάουλς - Δευτερόλεπτα)}$$

Καθώς αυξάνεται η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αυξάνεται το μέγεθος του σχετικού κβάντου ακτινοβολούμενης ενέργειας. Υποθέτοντας ότι η ενέργεια μπορεί να εκπέμπεται από ένα αντικείμενο μόνο σε ακέραια πολλαπλάσια του  $h\nu$ , ο Planck επινόησε μια εξίσωση που ταιριάζει στα πειραματικά δεδομένα. Μπορούμε να κατανοήσουμε την εξήγηση του Planck για την υπεριώδη καταστροφή ποιοτικά ως εξής: Σε χαμηλές θερμοκρασίες, εκπέμπεται ακτινοβολία με σχετικά χαμηλές μόνο συχνότητες, που αντιστοιχούν σε κβάντα χαμηλής ενέργειας. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ενός αντικειμένου, αυξάνεται η πιθανότητα εκπομπής ακτινοβολίας με υψηλότερες συχνότητες, που αντιστοιχούν σε κβάντα υψηλότερης ενέργειας. Σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, ωστόσο, είναι απλώς πιο πιθανό για ένα αντικείμενο να χάσει ενέργεια εκπέμποντας μεγάλο αριθμό κβάντων χαμηλότερης ενέργειας παρά ένα μοναδικό κβάντο πολύ υψηλής ενέργειας που αντιστοιχεί στην υπεριώδη ακτινοβολία. Το αποτέλεσμα είναι ένα μέγιστο στη γραφική παράσταση της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος και μια μετατόπιση της θέσης του μεγίστου προς χαμηλότερο μήκος κύματος (υψηλότερη συχνότητα) με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Την εποχή που πρότεινε τη ριζοσπαστική του υπόθεση, ο Planck δεν μπορούσε να εξηγήσει γιατί οι ενέργειες θα έπρεπε να κβαντίζονται. Αρχικά, η υπόθεσή του εξηγούσε μόνο ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων - ακτινοβολία μαύρου σώματος. Αν η κβάντιση παρατηρούνταν για μεγάλο αριθμό διαφορετικών φαινομένων, τότε η κβάντιση θα γινόταν νόμος. Με τον καιρό, θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια θεωρία που θα εξηγούσε αυτόν τον νόμο. Όπως εξελίχθηκαν τα πράγματα, η υπόθεση του Πλανκ ήταν ο σπόρος από τον οποίο αναπτύχθηκε η σύγχρονη φυσική.

## 7. ARDUINO



**Εικόνα 14.** *Arduino UNO REV3*

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα που βασίζεται σε εύχρηστο υλικό και λογισμικό. Οι πλακέτες Arduino είναι σε θέση να διαβάζουν εισόδους - φως σε έναν αισθητήρα, ένα δάχτυλο σε ένα κουμπί ή ένα μήνυμα στο Twitter - και να τις μετατρέπουν σε έξοδο - ενεργοποιώντας ένα μοτέρ, ανάβοντας ένα LED, δημοσιεύοντας κάτι στο διαδίκτυο. Μπορείτε να πείτε στην πλακέτα σας τι να κάνει στέλνοντας ένα σύνολο εντολών στον μικροελεγκτή της πλακέτας. Για να το κάνετε αυτό, χρησιμοποιείτε τη γλώσσα προγραμματισμού Arduino (βασισμένη στο Wiring) και το λογισμικό Arduino (IDE), βασισμένο στο Processing.

Με τα χρόνια το Arduino έχει αποτελέσει τον εγκέφαλο χιλιάδων έργων, από καθημερινά αντικείμενα μέχρι πολύπλοκα επιστημονικά όργανα. Μια παγκόσμια κοινότητα κατασκευαστών - φοιτητές, χομπίστες, καλλιτέχνες, προγραμματιστές και επαγγελματίες - έχει συγκεντρωθεί γύρω από αυτή την πλατφόρμα ανοικτού κώδικα,

οι συνεισφορές τους έχουν προσθέσει ένα απίστευτο ποσό προσιτής γνώσης που μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τόσο τους αρχάριους όσο και τους ειδικούς.

Το Arduino γεννήθηκε στο Ivrea Interaction Design Institute ως ένα εύκολο εργαλείο για γρήγορη κατασκευή πρωτοτύπων, που απευθυνόταν σε φοιτητές χωρίς υπόβαθρο στα ηλεκτρονικά και τον προγραμματισμό. Μόλις έφτασε σε μια ευρύτερη κοινότητα, η πλακέτα Arduino άρχισε να αλλάζει για να προσαρμοστεί σε νέες ανάγκες και προκλήσεις, διαφοροποιώντας την προσφορά της από απλές πλακέτες 8-bit σε προϊόντα για εφαρμογές IoT, wearable, τρισδιάστατη εκτύπωση και ενσωματωμένα περιβάλλοντα.

## 8. ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ



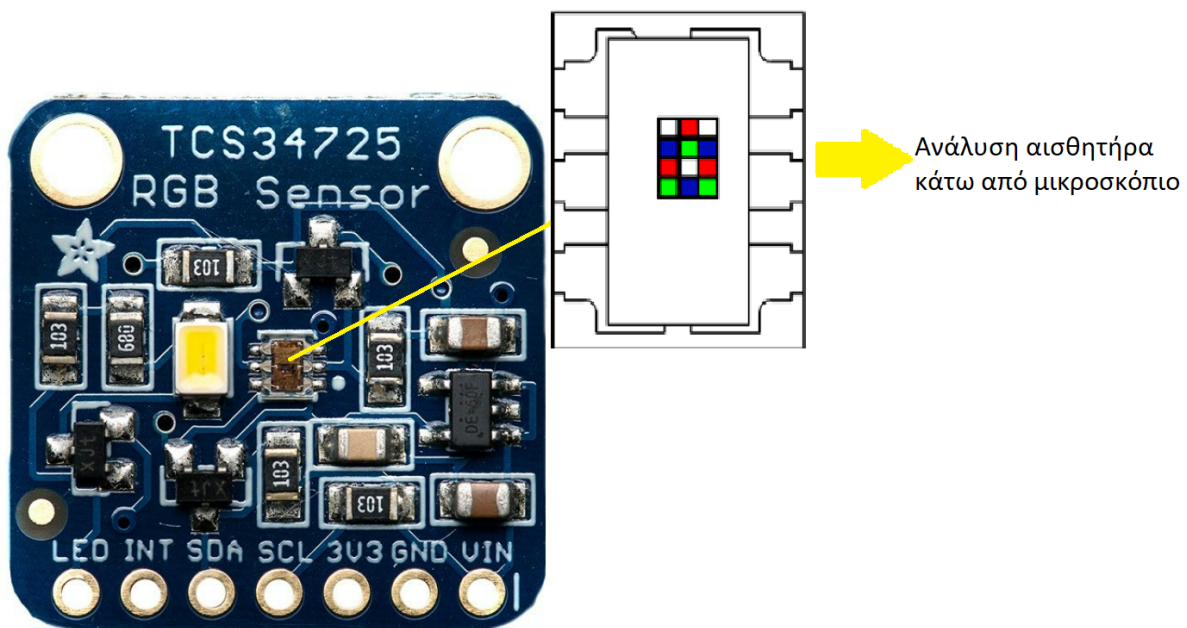
*Εικόνα 15. Αισθητήρας ανίχνευσης χρωμάτων TCS-34725*

### 8.1 Χαρακτηριστικά

- Κόκκινο, πράσινο, μπλε (RGB) και διαυγές φως Ανίχνευση με φίλτρο αποκλεισμού IR
  - Προγραμματιζόμενο αναλογικό κέρδος και Χρόνος ολοκλήρωσης
  - Δυναμικό εύρος 3.800.000:1
  - Πολύ υψηλή ευαισθησία - Ιδανικά κατάλληλο για Λειτουργία πίσω από σκοτεινό γυαλί
- Διακοπή με δυνατότητα κάλυψης
  - Προγραμματιζόμενο ανώτερο και κατώτερο



- Κατώτατα όρια με φίλτρο εμμονής
- Διαχείριση ισχύος
  - Χαμηλή ισχύς - κατάσταση ύπνου 2,5 A
  - Κατάσταση αναμονής 65-A με προγραμματιζόμενη αναμονή
- Κατάσταση αναμονής από 2,4 ms έως > 7 δευτερόλεπτα
- I<sup>2</sup>C Συμβατή διεπαφή γρήγορης λειτουργίας
  - Ρυθμοί δεδομένων έως 400 kbit/s
  - Επίπεδα τάσης εισόδου συμβατά με VDD ή δίαυλο 1,8 V
- Σειτ καταχωρητών και ακροδεκτών συμβατό με το TCS3x71
- Μικρό 2 mm 2,4 mm Dual Flat No-Lead (FN) Πακέτο



**Εικόνα 16.**

## 8.2 Εφαρμογές

- Έλεγχος οπίσθιου φωτισμού RGB LED
- Μέτρηση θερμοκρασίας χρώματος φωτός
- Ανίχνευση φωτός περιβάλλοντος για οθόνη
- Έλεγχος οπίσθιου φωτισμού
- Ανάλυση υγρών και αερίων
- Επαλήθευση και ταξινόμηση χρώματος προϊόντων

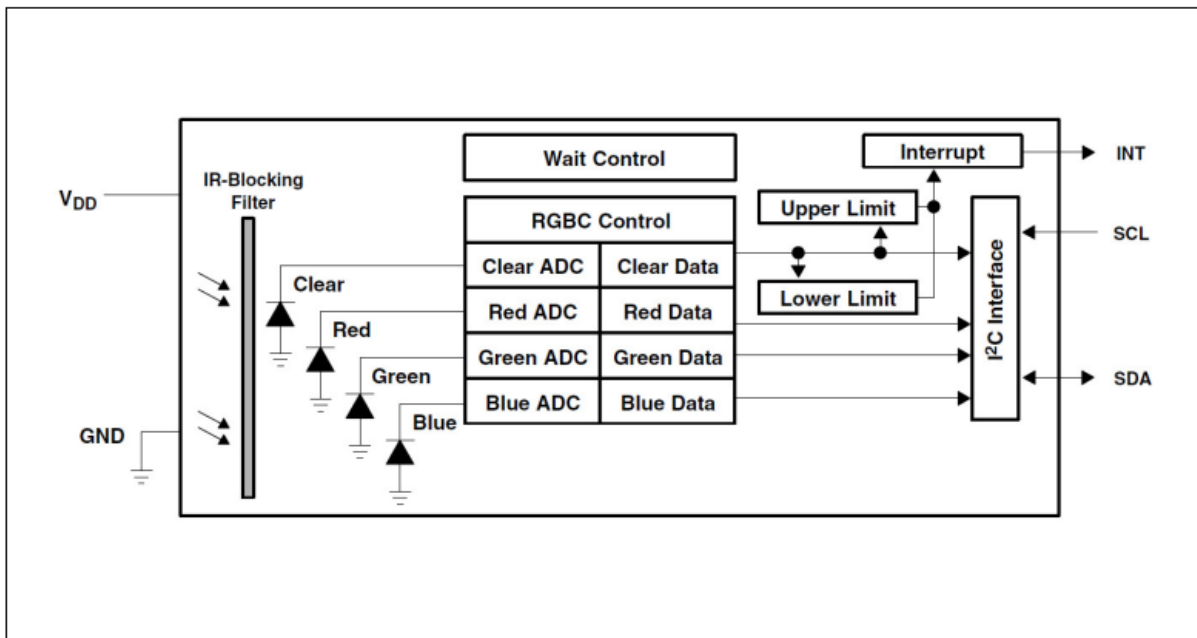
### 8.2.1 Προϊόντα και τμήματα της αγοράς

- Τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα, τάμπλετ, υπολογιστές και οθόνες
- Καταναλωτικές και εμπορικές εκτυπώσεις

- Ιατρική και υγειονομική καταλληλότητα
- Φωτισμός στερεάς κατάστασης (SSL) και ψηφιακή σήμανση
- Βιομηχανικός αυτοματισμός

### 8.3 Στοιχεία Αισθητήρα

Ο αισθητήρας TCS34725 παρέχει ψηφιακή επιστροφή των τιμών ανίχνευσης κόκκινου, πράσινου, μπλε (RGB) και καθαρού φωτός. Ένα IR φίλτρο αποκλεισμού, ενσωματωμένο στο τσιπ και εντοπισμένο στις φωτοδιόδους ανίχνευσης χρώματος, ελαχιστοποιεί το φάσμα του εισερχόμενου φωτός και επιτρέπει τη διεξαγωγή μετρήσεων χρώματος με ακρίβεια. Η υψηλή ευαισθησία, ευρεία δυναμική περιοχή και το φίλτρο αποκλεισμού IR καθιστούν το TCS34725 ιδανική λύση αισθητήρα χρώματος για χρήση κάτω από ποικίλες συνθήκες φωτισμού.



**Εικόνα 17.**

Ο αισθητήρας χρώματος TCS34725 έχει ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως ο έλεγχος οπίσθιου φωτισμού LED RGB, στερεάς κατάστασης φωτισμού, προϊόντα υγείας/κατάστασης, βιομηχανικούς ελέγχους διεργασιών και ιατρικό διαγνωστικό εξοπλισμό. Επιπλέον, το φίλτρο αποκλεισμού IR επιτρέπει στον TCS34725 να εκτελεί ανίχνευση φωτός περιβάλλοντος (ALS). Η ανίχνευση φωτός περιβάλλοντος χρησιμοποιείται ευρέως σε προϊόντα που βασίζονται σε οθόνες, όπως κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές και τηλεοράσεις, για την ανίχνευση του περιβάλλοντος φωτισμού και να επιτρέπει την αυτόματη φωτεινότητα της οθόνης για βέλτιστη προβολή και εξοικονόμηση ενέργειας. Το ίδιο το TCS34725, μπορεί να εισέλθει



σε μια κατάσταση αναμονής χαμηλότερης ισχύος μεταξύ των μετρήσεων ανίχνευσης φωτός για περαιτέρω μείωση της μέσης κατανάλωσης ισχύος.

Ο μετατροπέας “φως - σε - ψηφιακό” TCS34725 περιέχει μια συστοιχία φωτοδιόδων 3 × 4, τέσσερις μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό (ADC) που ενσωματώνουν το ρεύμα της φωτοδιόδου, καταχωρητές δεδομένων, μια μηχανή κατάστασης και μια διεπαφή I2C. Η διάταξη 3 × 4 αποτελείται από φωτοδιόδους με κόκκινο φίλτρο, πράσινο φίλτρο, μπλε φίλτρο και καθαρή (χωρίς φίλτρο) φωτοδίοδο.

Επιπλέον, οι φωτοδιόδοι είναι επικαλυμμένες με φίλτρο αποκλεισμού υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι τέσσερις ολοκληρωτικοί ADC ταυτόχρονα μετατρέπουν τα ενισχυμένα ρεύματα των φωτοδιόδων σε ψηφιακή τιμή 16 bit. Μετά την ολοκλήρωση ενός κύκλου μετατροπής, τα αποτελέσματα μεταφέρονται στους καταχωρητές δεδομένων, οι οποίοι είναι διπλά ρυθμισμένοι για να διασφαλίζεται η ακεραιότητα των δεδομένων.

Η επικοινωνία των δεδομένων του TCS34725 πραγματοποιείται μέσω ενός γρήγορου, έως 400 kHz, σειριακού διαύλου I2C δύο καλωδίων. Το βιομηχανικό πρότυπο διαύλου I2C διευκολύνει την εύκολη, άμεση σύνδεση με μικροελεγκτές και ενσωματωμένους επεξεργαστές. Εκτός από το δίαυλο I2C, ο TCS34725 παρέχει ξεχωριστή έξοδο σήματος διακοπής. Όταν οι διακοπές ενεργοποιούνται και υπερβαίνουν τα όρια που καθορίζονται από τον χρήστη, η διακοπή ενεργού χαμηλού επιπέδου ενεργοποιείται και παραμένει ενεργοποιημένη έως ότου διαγραφεί από τον ελεγκτή. Αυτή η λειτουργία διακοπής απλοποιεί και βελτιώνει την αποδοτικότητα του συστήματος λογισμικού του συστήματος, εξαλείφοντας την ανάγκη να γίνεται poll στον TCS34725. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει την ανώτερη και την κατώτερη διακοπή και να εφαρμόσει ένα φίλτρο επιμονής διακοπής.

## 8.4 Λειτουργία RGBC

Ο μηχανισμός RGBC περιέχει τον έλεγχο κέρδους RGBC (AGAIN) και τέσσερις ολοκληρωμένους μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό (ADC) για τις φωτοδιόδους RGBC. Ο χρόνος ολοκλήρωσης RGBC (ATIME) επηρεάζει τόσο την ανάλυση όσο και την ευαισθησία της ανάγνωσης RGBC. Η ολοκλήρωση και των τεσσάρων καναλιών πραγματοποιείται ταυτόχρονα και μετά την ολοκλήρωση του μετατροπής, τα αποτελέσματα μεταφέρονται στους καταχωρητές έγχρωμων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται επίσης ως κανάλι μέτρηση.

Οι μεταφορές γίνονται με διπλή προσωρινή αποθήκευση για να διασφαλιστεί ότι δεν διαβάζονται άκυρα δεδομένα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Μετά την μεταφορά, η συσκευή μεταβαίνει αυτόματα στην επόμενη κατάσταση σύμφωνα με τη ρυθμισμένη μηχανή κατάστασης.

## 9.ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Προγραμματισμός arduino για μετρήσεις : **RGB**

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"
#define commonAnode false
#define BUT 2
#define CALIBRATION true
#define redPin 3
#define greenPin 5
#define bluePin 6
#include <ezButton.h>
#define LOOP_STATE_STOPPED 0
#define LOOP_STATE_STARTED 1
unsigned long lastCount = 0;
unsigned long count = 0;
const byte pinLED = A0;
byte gammatable[256];

ezButton button(7); // create ezButton object that attach to pin 7;
int loopState = LOOP_STATE_STOPPED;
/* Initialise with default values (int time = 2.4ms, gain = 1x) */
//Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725();

/* Initialise with specific int time and gain values */
Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS,
TCS34725_GAIN_4X);

int R = 0;
int G = 0;
int B = 0;
int minR, minG, minB = 255;
int maxR, maxG, maxB = 0;
```

```

int minThreshold = 10;
int calibState = 2 ; // 0 == black, 1 == white, 2 == done

void setup(void) {
  pinMode (pinLED, OUTPUT);

  pinMode ( BUT, INPUT );
  Serial.begin(9600);
  button.setDebounceTime(50); // set debounce time to 50 milliseconds

  if( tcs.begin ( ) ) {
    Serial.println("Found sensor");
  } else {
    Serial.println("No TCS34725 found ... check your connections");
    while (1);
  }
  pinMode( BUT, INPUT );
  pinMode(redPin, OUTPUT);
  pinMode(greenPin, OUTPUT);
  pinMode(bluePin, OUTPUT);

  for (int i=0; i<256; i++) {
    float x=i;
    x /= 255;
    x = pow(x, 2.5);
    x *= 255;

    if (commonAnode) {
      gammatable[i] = 255 - x;
    } else {
      gammatable [i] = x;
    }
    button.setDebounceTime(50); // set debounce time to 50 milliseconds }
  }
}

```

```

}
}
void loop(){
  button.loop();
  if (button.isPressed()) {
    if (loopState == LOOP_STATE_STOPPED)
      loopState = LOOP_STATE_STARTED;
    else // if(loopState == LOOP_STATE_STARTED)
      loopState = LOOP_STATE_STOPPED;
  }
  if (loopState == LOOP_STATE_STARTED) {

digitalWrite(pinLED, LOW);
uint16_t red, green, blue, clear;
  tcs.setInterrupt(false);
  delay(100);
  tcs.getRawData(&red, &green, &blue, &clear);
  tcs.setInterrupt(true);

  Serial.print(" Red "); Serial.print(red);
  Serial.print(" Green "); Serial.print(green);
  Serial.print(" Blue "); Serial.print(blue);
  Serial.print(" Clear "); Serial.print(clear);
  uint32_t sum = clear;
  float r, g, b;

  r = red; r /=sum;

  g = green; g /=sum;

  b = blue; b /=sum;

  r *= 256; g *= 256; b *= 256;

  Serial.print("\t");
  Serial.print ((int)r, HEX); Serial.print((int)g, HEX); Serial.print((int)b, HEX);
  Serial.println();
}
}

```

```

analogWrite(redPin, gammatable[(int)r]);
analogWrite(greenPin, gammatable[(int)g]);
analogWrite(bluePin, gammatable[(int)b]);
R = r; G = g; B = b;

}
}

```

Προγραμματισμός arduino για μετρησεις :  
LUX και θερμοκρασία χρώματος

```

#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"

```

```

Adafruit_TCS34725 tcs =
Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_614MS, TCS34725_GAIN_1X);

```

```

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  pinMode (pinLED, OUTPUT);

  if (tcs.begin()) {
    Serial.println("Found sensor");
  } else {
    Serial.println("No TCS34725 found ... check your connections");
    while (1);
  }

}

void loop(void) {
  uint16_t r, g, b, c, colorTemp, lux;
  digitalWrite(pinLED, LOW);
  tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);

```

```
colorTemp = tcs.calculateColorTemperature_dn40(r, g, b, c);  
lux = tcs.calculateLux(r, g, b);
```

```
Serial.print("Color Temp: "); Serial.print(colorTemp, DEC); Serial.print(" K - ");  
Serial.print("Lux: "); Serial.print(lux, DEC); Serial.print(" - ");  
//Serial.print("R: "); Serial.print(r, DEC); Serial.print(" ");  
//Serial.print("G: "); Serial.print(g, DEC); Serial.print(" ");  
//Serial.print("B: "); Serial.print(b, DEC); Serial.print(" ");  
//Serial.print("C: "); Serial.print(c, DEC); Serial.print(" ");  
Serial.println(" ");  
}
```

## Πειραματικό Στάδιο

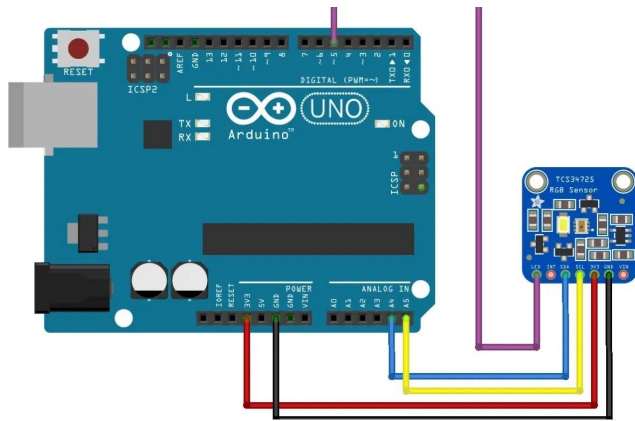
### 1. Υλικά κατασκευής

Στο πειραματικό κομμάτι της παρουσίας πτυχιακής χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- Αναπτυξιακό εργαλείο πλακέτα Arduino uno rev3
- Καλώδια τύπου κατάληξης αρσενικού σε αρσενικό
- Breadboard
- Αισθητήρας ανίχνευσης χρωμάτων TCS-34725
- Έναν διακόπτη
- Τρανζίστορ 10000 Ohm
- Καλώδιο από usb σε type B
- Soldering iron
- Κασσίτερο 16gr 1mm διαμέτρου
- RGB LED με σύνηθες καλώδια

## 2.Ανάπτυξη πειραματικής διαδικασίας

Η Πειραματική διαδικασία μας ξεκίνησε κάνοντας έρευνα για να βρούμε τα κατάλληλα εργαλεία για την εύρεση και μέτρηση θερμοκρασίας χρώματος και RGB τριχρωματικών δεδομένων βασισμένο στην πλακέτα Arduino Uno Rev.3.



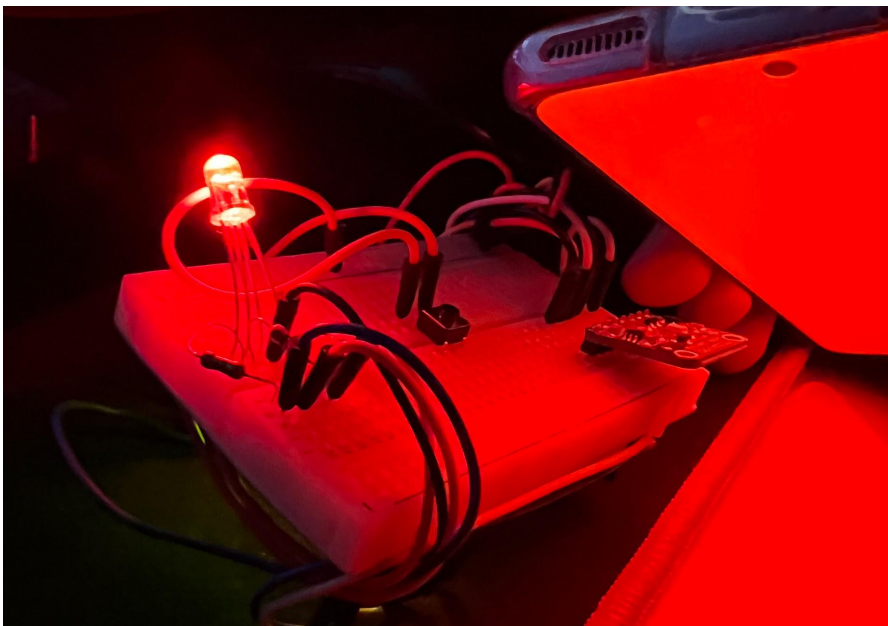
Έχοντας τα κατάλληλα υλικά και την απαιτούμενη πλακέτα αρχίσαμε να κάνουμε κόλληση τα “πινάκια” του αισθητήρα TCS-34725 έπειτα συνδέσαμε το breadboard με τον αισθητήρα. Στη συνέχεια συνδέσαμε την εισαγωγή δεδομένων αναλογικού είδους με τον αισθητήρα στην θέση A5 του Arduino με την θέση SDA του αισθητήρα και την θέση A4 με την θέση του Arduino SCL αντίστοιχα.

Ύστερα συνδέσαμε τη θέση 3v3 του Arduino με το breadboard στην θέση “+” για να μας παρέχει ρεύμα 3 volt σε πολλαπλές θέσεις. Μετέπειτα συνδέσαμε την θέση GND από το Arduino στην θέση “-” του breadboard και στη συνέχεια με την θέση GND του αισθητήρα μας για να έχουμε σωστή γείωση και για να ελέγχουμε το φως του αισθητήρα συνδέσαμε την θέση A0 με την θέση LED. Ενώσαμε την σειρά του breadboard f με την σειρά e στις αντίθετες μεριές των σειρών 27,29 και 30 με transistors ώστε να έχουμε περισσότερο χώρο και για να μας παρέχει το Arduino απαραίτητο ρεύμα για το RGB LED, στην θύρα 3 για το κόκκινο καλώδιο ,την θύρα 5 για το πράσινο καλώδιο και την θύρα 6 για το μπλε καλώδιο και τέλος ενώσαμε το καλώδιο της γείωσης στην θέση f28.

Εφόσον έχουμε ελέγξει ότι η συνδεσμολογία μας είναι σωστή , κατεβάσαμε την εφαρμογή του Arduino (Arduino IDE). Συνδέσαμε το Arduino με τον υπολογιστή μας με το USB καλώδιο και ελέγξαμε ότι το Arduino εμφανίζεται στην εφαρμογή μέσω της θύρας COM. Ύστερα κατεβάσαμε μέσω της εφαρμογής τις κατάλληλες βιβλιοθήκες για τον αισθητήρα μας και το RGB LED ώστε η εφαρμογή να καταλαβαίνει την λογική του κώδικά μας και να μπορεί διαβάσει σωστές μετρήσεις και να τις μεταφέρει στο RGB LED.Αυτό το καταφέραμε με τον παραπάνω κώδικα.

## Επίλογος - Συμπεράσματα πειράματος - Αξιολόγηση πειράματος

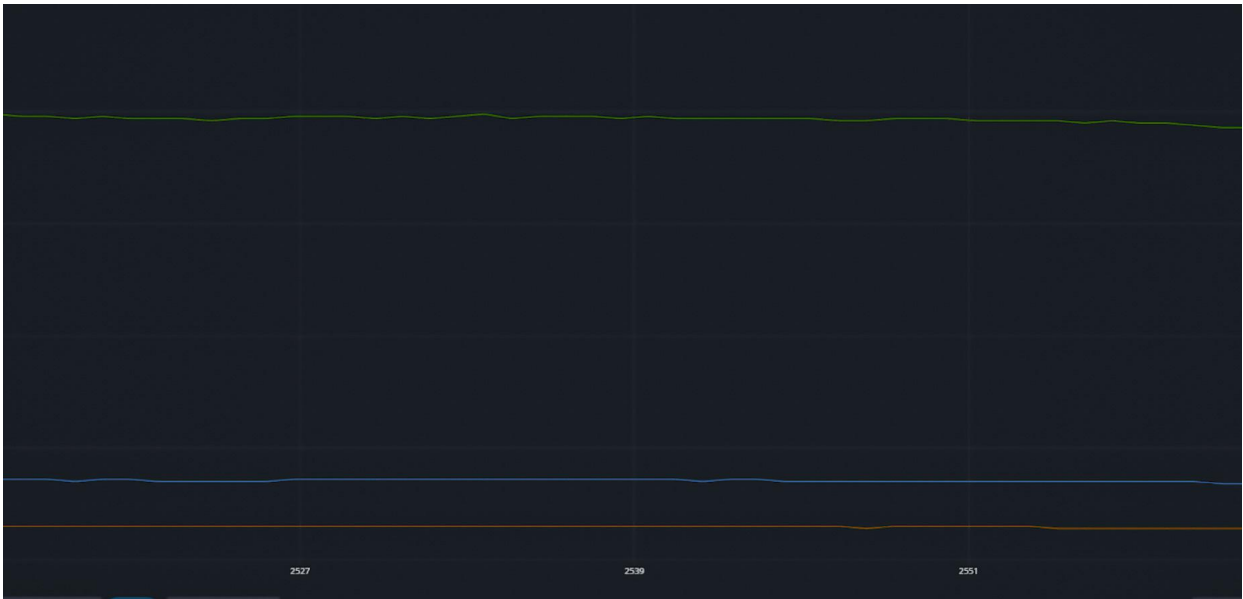
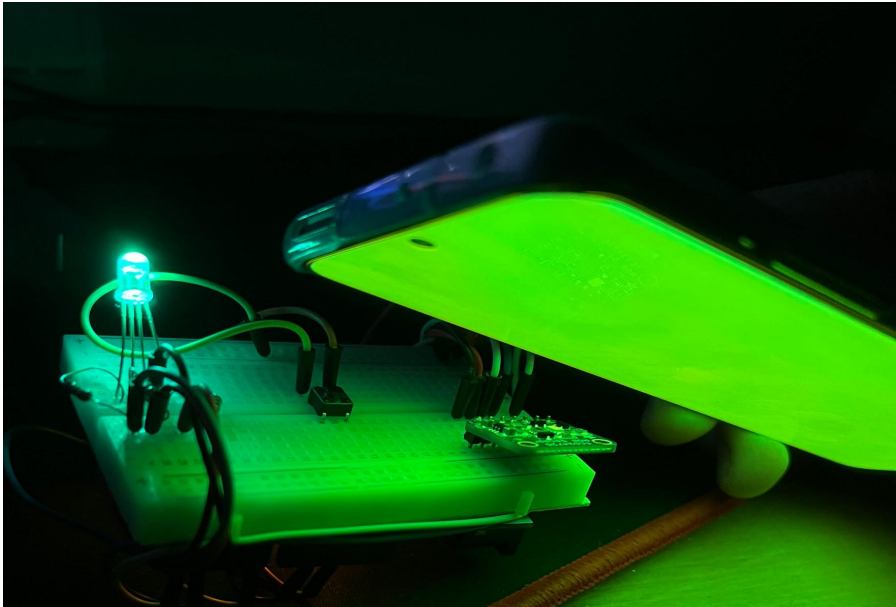
**KOKKINO**





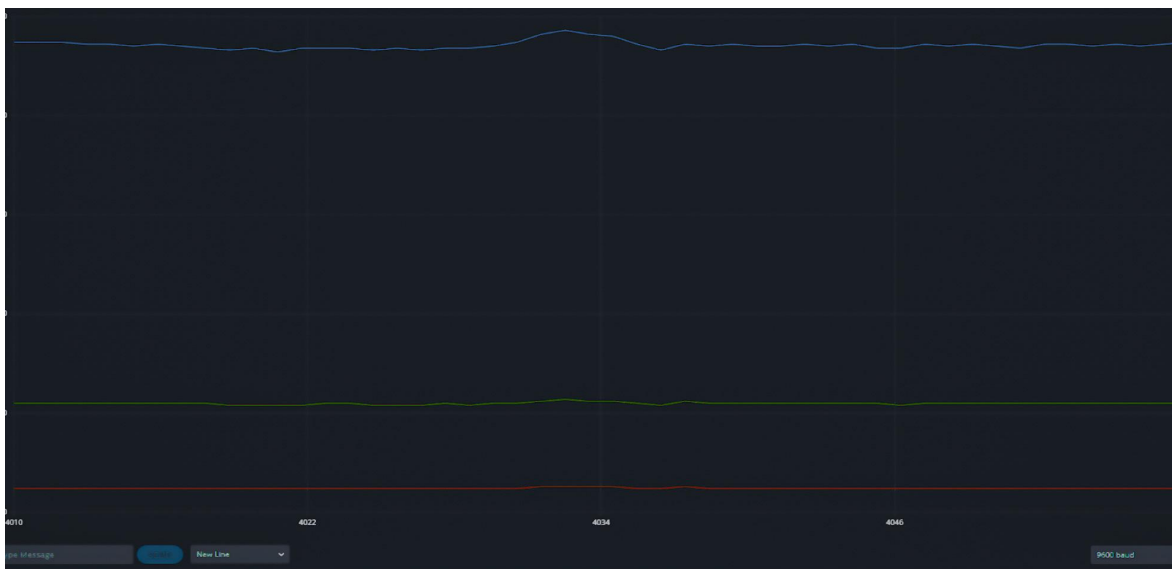
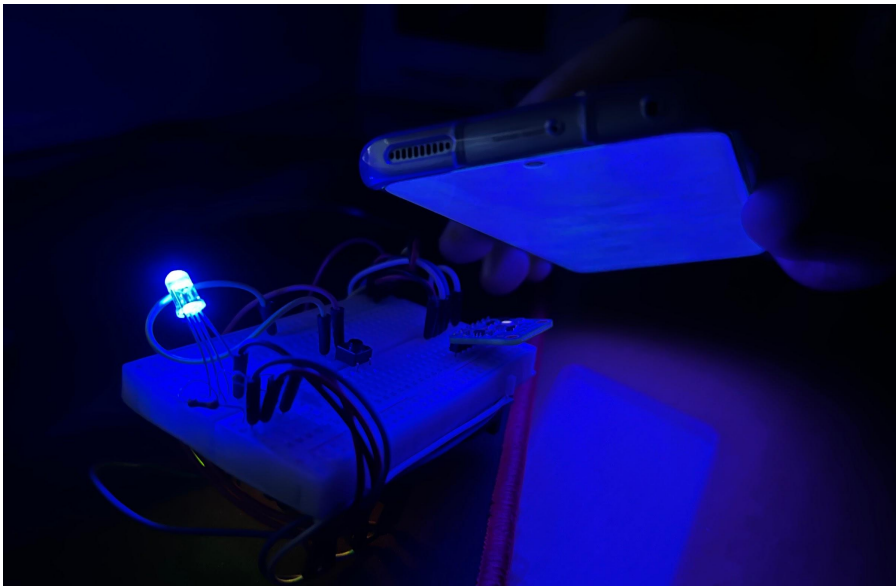
```
Red 230 Green 15 Blue 24
Red 229 Green 15 Blue 24
Red 227 Green 15 Blue 23
Red 225 Green 15 Blue 23
Red 227 Green 15 Blue 23
Red 226 Green 15 Blue 23
Red 225 Green 15 Blue 23
Red 224 Green 15 Blue 23
Red 223 Green 15 Blue 23
Red 223 Green 15 Blue 23
Red 223 Green 15 Blue 23
Red 223 Green 15 Blue 23
```

# ΠΡΑΣΙΝΟ



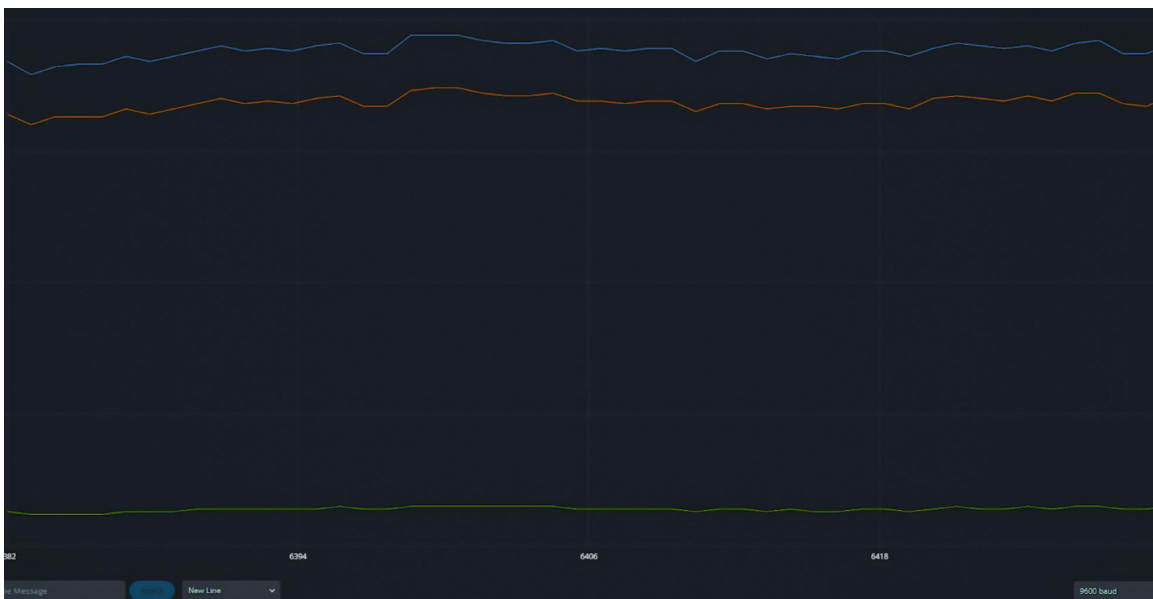
```
Red 58 Green 221 Blue 11
Red 58 Green 220 Blue 77
Red 57 Green 220 Blue 77
Red 58 Green 220 Blue 77
Red 58 Green 220 Blue 77
Red 57 Green 220 Blue 77
Red 57 Green 220 Blue 77
Red 58 Green 221 Blue 77
Red 58 Green 220 Blue 77
Red 58 Green 221 Blue 77
Red 58 Green 221 Blue 77
Red 58 Green 220 Blue 77
```

## ΜΠΛΕ



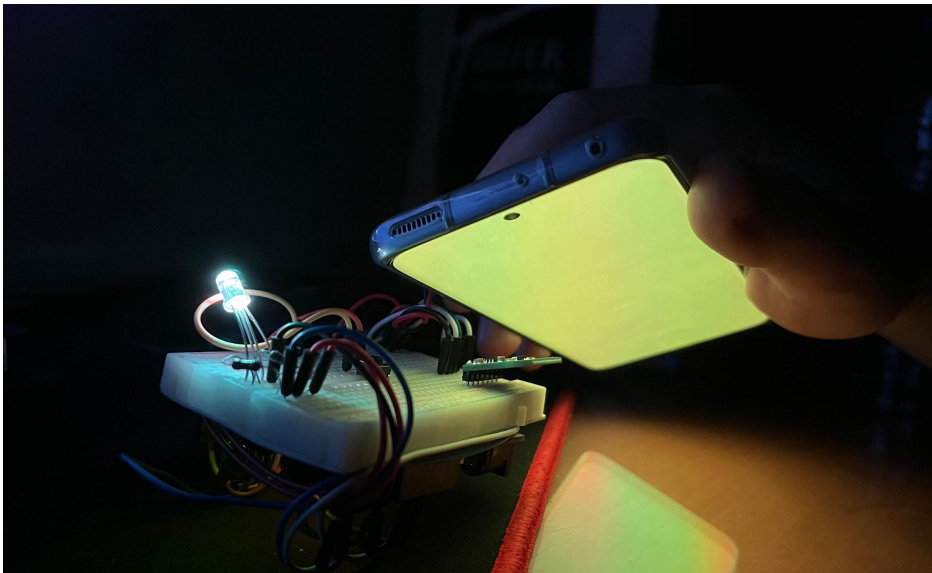
```
Red 13 Green 57 Blue 244
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 57 Blue 244
Red 13 Green 57 Blue 244
Red 13 Green 56 Blue 244
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 56 Blue 243
Red 13 Green 56 Blue 242
Red 13 Green 56 Blue 243
```

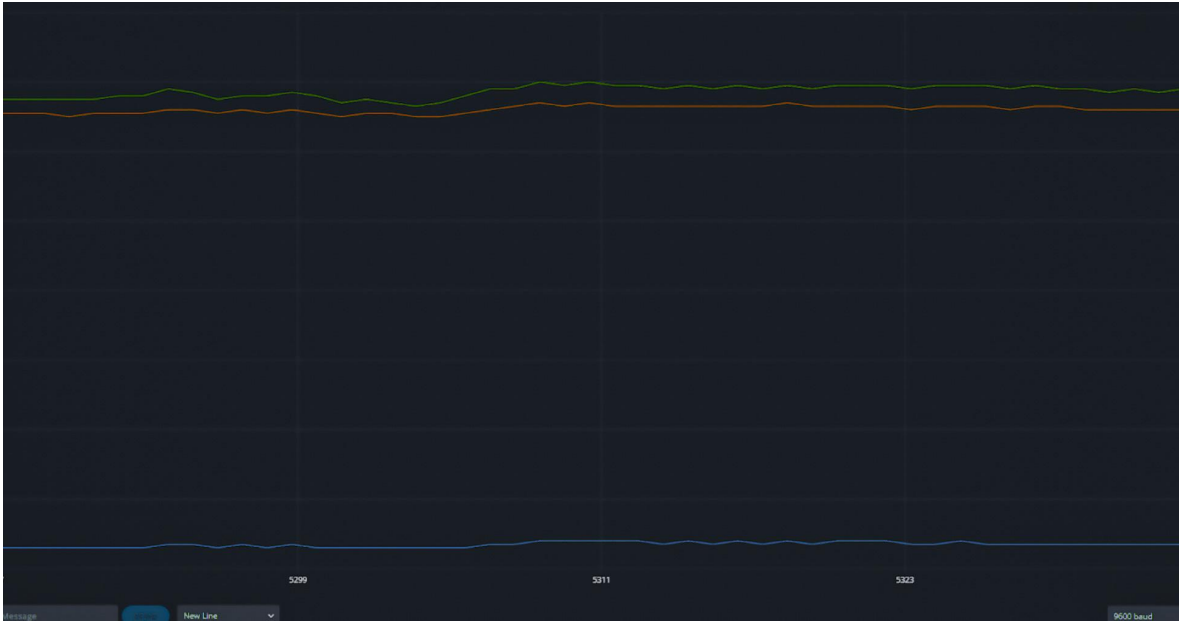
## MATZENTA - ΦΟΥΞΙΑ



Red	220	Green	63	Blue	237
Red	220	Green	64	Blue	238
Red	221	Green	64	Blue	238
Red	220	Green	63	Blue	237
Red	219	Green	63	Blue	236
Red	219	Green	63	Blue	237
Red	219	Green	63	Blue	236
Red	219	Green	63	Blue	236
Red	219	Green	63	Blue	236
Red	220	Green	63	Blue	237
Red	219	Green	63	Blue	237
Red	220	Green	63	Blue	237

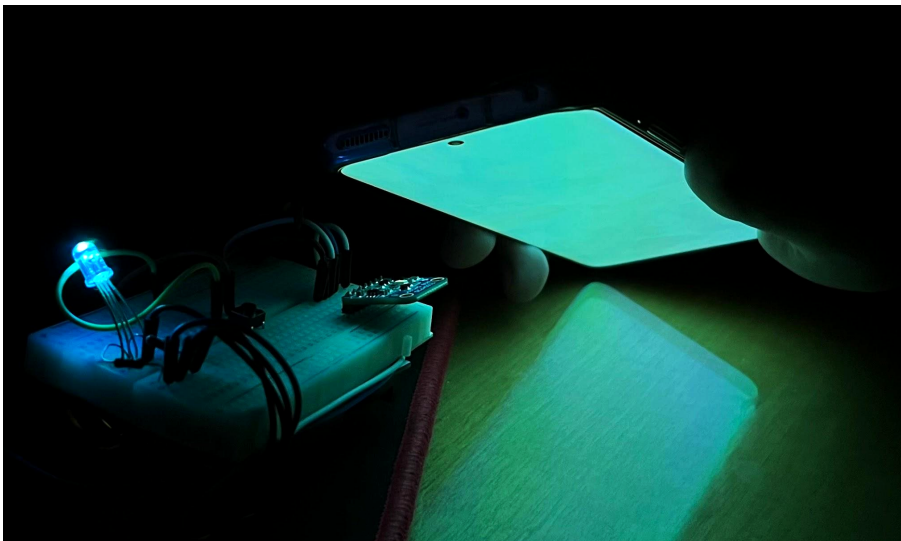
## KITPINO

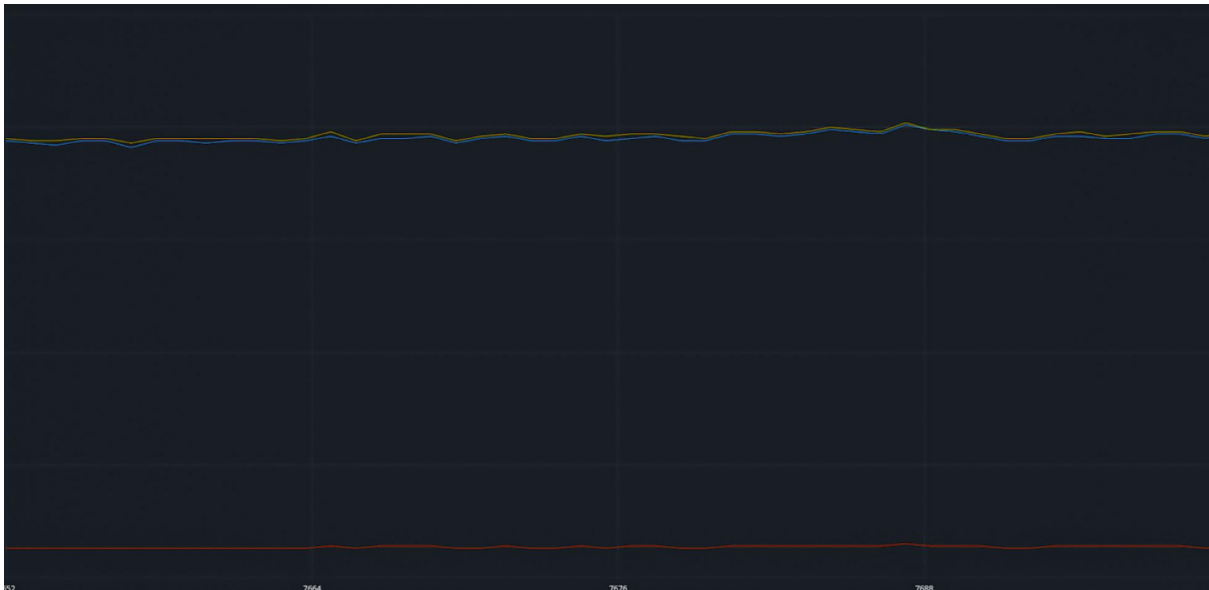




Red	224	Green	219	Blue	87
Red	224	Green	219	Blue	87
Red	225	Green	220	Blue	88
Red	226	Green	221	Blue	88
Red	227	Green	222	Blue	89
Red	227	Green	221	Blue	88
Red	230	Green	224	Blue	90
Red	232	Green	226	Blue	90
Red	233	Green	227	Blue	91
Red	233	Green	227	Blue	91
Red	237	Green	230	Blue	92
Red	235	Green	229	Blue	92

## KYANO





Red	65	Green	249	Blue	249
Red	65	Green	249	Blue	249
Red	65	Green	250	Blue	250
Red	65	Green	250	Blue	250
Red	66	Green	251	Blue	250
Red	66	Green	251	Blue	251
Red	66	Green	250	Blue	250
Red	66	Green	252	Blue	252
Red	66	Green	254	Blue	253
Red	66	Green	252	Blue	252
Red	66	Green	252	Blue	252
Red	66	Green	253	Blue	252

Εν κατακλείδι, όπως παρατηρούμε και από τις παραπάνω εικόνες, διαπιστώνουμε ότι οι τιμές που μας δίνει το Arduino είναι βásiμες και συνάδουν της θεωρίας με μια μικρή αύξηση του μπλε χρώματος στην καταμέτρηση των RGB τιμών και αυτό οφείλεται στην πηγή μας ,όπου είναι μια οθόνη LED , που έχει μια τάση προς το μπλε χρώμα.

## Βιβλιογραφία

1. Πάνος Δρακόπουλος Σημειώσεις για το Μάθημα «Φωτισμός περιβάλλοντος Όραση» Του Ζ' εξαμήνου των φοιτητών κατεύθυνσης Οπτικής & Οπτομετρίας Αθήνα, Ιανουάριος 2022
2. Τοπαλής Φ., Οικονόμου Λ., Κουρτέση Στ., Φωτοτεχνία, 2η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2016.
3. Kouï, M., Avdelidis, N., Theodorakeas, P., & Cheilakou, E. (2015). Μη καταστρεπτικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <http://hdl.handle.net/11419/6168>
4. Β. Φωτεινάκης, Ε. Πατέρας, Αρ. Χανδρινός, Κλινική Διάθλαση, Εκδόσεις Έλλην, Περιστέρη, 2000, ISBN:960-286-462-1
5. Robert L. Myers. Display Interfaces - Fundamentals and Standards. Copyright 2002 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-471-49946-3
6. Henry R. Kang. Computational Color Technology. Copyright 2006 SPIE ISBN: 9780819461193
7. Richard S. Snell, Michael A. Lemp, Επιμέλεια - Πρόλογος Παναγιώτης Σκανδαλάκης, Ιωάννης Βέργαδος, Μετάφραση Κωνσταντίνος Συνδικάκης, Κλινική Ανατομία, εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης, Broken Hill Publishers LTD, Νικοσία, 2006, ISBN: 960-399-438-3
8. Μέλη ΔΕΠ Α' Οφθαλμολογικής Κλινικής ΕΚΠΑ, Οφθαλμολογία, εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης, Broken Hill Publishers LTD, Νικοσία, 2010, ISBN:978-960-489-075-0
9. Pohl, J. (2011). Light, Color, and Vision. In Building Science, J. Pohl (Ed.). ISBN: 9780470655733
10. Color Navigator,. 2022. *What is color?*. [online] Blog.colornavigator.net. Available at: <<https://blog.colornavigator.net/what-is-color#:~:text=DESCRIBING%20COLOR,chroma%20and%20value.%C2%A0>> [Accessed 22 April 2022].
11. Kouï, M., Avdelidis, N., Theodorakeas, P., & Cheilakou, E. (2015). *Μη καταστρεπτικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών* [Undergraduate textbook]. Kallipos, Open Academic Editions. <http://hdl.handle.net/11419/6168>
12. Jones, Andrew Zimmerman. "What Is the Visible Light Spectrum?" ThoughtCo, Aug. 28, 2020, [thoughtco.com/the-visible-light-spectrum-2699036](https://www.thoughtco.com/the-visible-light-spectrum-2699036).
13. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Αθηνά Αλεξοπούλου 2014. Αθηνά Αλεξοπούλου. «Φυσικοχημικές Μέθοδοι Διάγνωσης - Τεκμηρίωσης. Ενότητα 3: Χρωματομετρία». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](http://ocp.teiath.gr).
14. Schanda, J. (2007). CIE Colorimetry. In Colorimetry, J. Schanda (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470175637.ch3>
15. Hof, M. (2003). Basics of Optical Spectroscopy. In Handbook of Spectroscopy (eds G. Gauglitz and T. Vo-Dinh). <https://doi.org/10.1002/3527602305.ch3>
16. Thiele, S. and Salzer, R. (2014). Optical Spectroscopy. In Handbook of Spectroscopy (eds G. Gauglitz and D.S. Moore). <https://doi.org/10.1002/9783527654703.ch53>
17. Kampen, T.U. (2010). Optical Spectroscopy. In Low Molecular Weight Organic Semiconductors, T.U. Kampen (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9783527629978.ch4>
18. Green, J. (2003). Optical Spectroscopy. In Handbook of Spectroscopy (eds G. Gauglitz and T. Vo-Dinh). <https://doi.org/10.1002/3527602305.ch17>



19. Brady, D.J. (2009). Spectroscopy. In *Optical Imaging and Spectroscopy*, D.J. Brady (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470443736.ch9>
20. Katz M., *Introduction to Geometrical Optics*, World Scientific, 2002
21. Wordenweber B., Wallaschek J., Boyce P., Hoffman D., *Automotive Lighting and Human Vision*, Springer, 2007
22. Δημητριάδης Σαράντης. «Μελέτη των παραμέτρων χρώματος, χρωστικών έργων τέχνης, μέσω φασματοφωτομετρίας ορατού-υπεριώδους». 2018
23. C. Bisulca, M. Picolo, M. Bacci, and D. Kunzelman, "Uv-Vis-Nir Reflectance Spectroscopy of Red Lakes in Paintings," in 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem, Israel, 25-30 May 2008, 2008, no. May
24. E. Cheilakou, M. Troullinos, and M. Kouli, "Identification of pigments on Byzantine wall paintings from Crete (14th century AD) using non-invasive Fiber Optics Diffuse Reflectance Spectroscopy (FORS)," *J. Archaeol. Sci.*, vol. 41, 2014.
25. E. Cheilakou et al., "Non-invasive identification of pigments on mycenaean wall paintings (14th-12th century BC) from the archaeological sites of mycenae and tiryns, peloponnese," in Proc. the 9th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Ankara, Turkey, 2014
26. N. Sertova, I. Petkov, and J. Nunzi, "Photochromism of mercury ( II ) dithizonate in solution," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 134, no. 3, 2000.
27. Α. Βαλαβανίδης, «Βασικές αρχές μοριακής φασματοσκοπίας και εφαρμογές στην οργανική χημεία,» Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα, 2008.
28. Ε.-Α. Στασινούλα, «Χρωματική αντίληψη και δυσλειτουργίες έγχρωμης ανθρώπινης όρασης,» 2016.
29. G. Sharma, "The CIEDE2000 color-difference formula. Excel spreadsheet implementation of the CIEDE2000 color-difference formula (including test data)." 2016.
30. Konica-Minolta, "Precise color communication: L\*a\*b\* color space," Inc. Japan, 2015.
31. A. C. Harris and I. L. Weatherall, "Objective evaluation of color variation in the sandburrowing beetle chaerodes trachyscelides white (Coleoptera: Tenebrionidae) by instrumental determination of CIELAB values," *J. R. Soc. New Zeal.*, vol. 20, no. 3, 1990.
32. A. Vyas, S. Yu, and J. Paik, "Fundamentals of Digital Image Processing," Prentice Hall Inf. Syst. Sci. Ser. New Jersey, 2018.
33. E. M. Sa, F. L. M. Antunes, and A. J. Perin, "Junction Temperature Estimation for High Power Light-Emitting Diodes," in 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2007, vol. 00, no. September 2015.
34. Ι. Αργυρίου, Ε. Βαρέλλα, and Ν. Μπεκιάρης, «Η Φυσική και η Χημεία του χρώματος,» 2011.
35. Γ. Αδαμόπουλος, «ΧΡΩΜΑ και ΧΗΜΕΙΑ. Εφαρμογές του χρώματος στη Χημική Ανάλυση και Τεχνολογία. Διδακτική προσέγγιση.,» 2017
36. Δρ. Άγγελος Φιλιππίδης. Σημειώσεις, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Φασματοσκοπία, 2019, <https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY222/notes/2020/lecture01.pdf>
37. G. Kelly, "Understand color science to maximize success with LEDs," *LED Mag.*, p. Part 4, 2013.
38. S. Fotios, "Measuring Colour," *Lighting Research & Technology*, vol. 45, no. 1, 2013.



39. A. Sánchez-Navas, A. Martín-Algarra, V. Eder, B. Jagannadha Reddy, F. Nieto, and Y. N. Zanin, "Color, mineralogy and composition of Upper Jurassic West Siberian glauconite: Useful indicators of paleoenvironment," *Can. Mineral.*, vol. 46, no. 5, 2008.
40. Copyright TCS3472 COLOR Light-To-Digital Converter with IR FILTER 2012, TAOS Inc.
41. <https://www.spectroscopyonline.com/view/color-0?fbclid=IwAR16ecNQrTMeSPcOINPFw7sTW-zm-NFuwLIUEdoob0EuhLtYL4pP8SC2qFA>
42. <https://www.arduino.cc/>
43. <https://santhalakshminarayana.github.io/blog/color-science>
44. <http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/GenChem2/A4/1.html>
45. <https://www.vedantu.com/physics/photometry>
46. <https://gamma-sci.com/2019/10/03/photometry-what-is-it-and-how-is-it-used/>
47. <https://study.com/learn/lesson/photometry-concept-uses.html>
48. <https://www.leditnow.gr/ti-einai-i-fotometria-.-ti-onomazetai-lux-lumen-kai-candela-po-u-vlepoume-pano-stis-lampes.html>

## ΕΙΚΟΝΕΣ

1. <https://www.atascientific.com.au/spectrometry/>
2. [http://physiclessons.blogspot.com/2013/11/blog-post\\_19.html](http://physiclessons.blogspot.com/2013/11/blog-post_19.html)
3. <https://andor.oxinst.com/learning/view/article/what-is-light>
4. <https://www.ssi.shimadzu.com/service-support/faq/molecular-spectroscopy/index.html>
5. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας, Αθηνά Αλεξοπούλου 2014. Αθηνά Αλεξοπούλου. «Φυσικοχημικές Μέθοδοι Διάγνωσης - Τεκμηρίωσης. Ενότητα 3: Χρωματομετρία». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](http://ocp.teiath.gr).
6. <https://www.npack.eu/blog/cmyk-and-rgb-what-difference>
7. Pohl, J. (2011). *Light, Color, and Vision*. In *Building Science*, J. Pohl (Ed.). ISBN: 9780470655733
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_temperature](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature)
9. Πάνος Δρακόπουλος Σημειώσεις για το Μάθημα «Φωτισμός περιβάλλοντος Όραση» Του Ζ' εξαμήνου των φοιτητών κατεύθυνσης Οπτικής & Οπτομετρίας Αθήνα, Ιανουάριος 2022
10. <https://learn.zoner.com/srgb-prophoto-rgb-and-more-do-you-know-your-color-spaces/>
11. <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-color-temperature-definition/>
12. <https://ivepe.gr/el/seminars/technical-seminars/metallurgy/247-108-01>
13. <https://www.shutterstock.com/video/clip-1026878471-forging-bend-slow-motion-blacksmith-shop-metal>
14. <https://www.arduino.cc/>
15. <https://grobotronics.com/rgb-color-sensor-with-ir-filter-tcs34725.html>

17. [http://www.photometrictesting.co.uk/File/guide\\_colour\\_temperature.php](http://www.photometrictesting.co.uk/File/guide_colour_temperature.php)



