



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ**

# **ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ**

**Γεώργιος Αντωνόπουλος  
48015011**

**Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Παντελεήμων Ασβεστάς, Καθηγητής**

**Αθήνα 25/07/2023**

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Παντελεήμων Ασβεστάς

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Δημήτριος Γκλώτσος

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Σπυρίδων Κωστόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

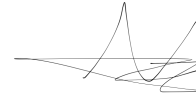
Ο/η υπογράφων/ουσα **ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ** του **ΑΝΤΩΝΙΟΥ**, με αριθμό μητρώου 48015011 φοιτητής/τρια του Τμήματος **ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗΣ**. της Σχολής **ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ** του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και 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 διπλώματός μου».

Ημερομηνία  
25/07/2023

Ο/Η Δηλών/ούσα



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατανόηση του όρου θερμοκρασία με μεγαλύτερη εστίαση στη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος καθώς και η σχεδίαση και υλοποίηση ενός θερμομέτρου. Πιο συγκεκριμένα επικεντρώνεται στο τρόπο λειτουργίας και κατασκευής ενός θερμομέτρου υπερύθρων αναλύοντας τα υλικά και τον κώδικα που χρειάζεται μια τέτοια κατασκευή καθώς επίσης και την εξήγηση του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου οργανισμού στις μεταβολές θερμοκρασίας και πως μπορεί να τον επηρεάσει. Τέλος, γίνεται σύγκριση της κατασκευής με ένα θερμόμετρο του εμπορίου και προτείνονται κάποιες ιδέες βελτίωσης της κατασκευής.

*Λέξεις Κλειδιά: Θερμοκρασία, Θερμόμετρο, Arduino, Θερμοκρασία ανθρώπινου σώματος*

*Keywords:*

## **Abstract**

The subject of the dissertation is the understanding the term of temperature with emphasis in the human body temperature, also the design and making of a thermometer as well. More specifically is focused on how an infrared thermometer works and how to make one, analyzing the components and the code for creating the thermometer, and define how the human body works in temperature changes and how they affect it. Last but not least, there is a comparison between this thermometer and a thermometer that meets the medical standards and suggest some ideas for upgrading.

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1 Η έννοια της θερμοκρασίας .....	8
1.1 Σχετική θερμοκρασία .....	9
1.2 Απόλυτη θερμοκρασία .....	9
2. Θερμόμετρο .....	11
2.1 Ιστορική αναδρομή .....	11
2.2 Τύποι θερμομέτρων .....	12
2.3 Περιγραφή υδραργυρικού θερμομέτρου .....	14
2.4 Μέτρηση θερμοκρασίας .....	15
3. Θερμότητα .....	16
3.1 Θερμική χωρητικότητα .....	16
3.2 Διάδοση της θερμότητας .....	17
4. Μηχανισμός ρύθμισης θερμοκρασίας σώματος .....	19
4.1 Θερμοκρασία ανθρώπινου σώματος .....	19
4.2 Αίτια μεταβολής θερμοκρασίας ανθρώπινου σώματος .....	21
5. Υλικά κατασκευής .....	24
5.1 Arduino Nano 3.0 .....	25
5.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας - MLX90614 DCI .....	27
5.3 Οθόνη OLED .....	28
5.4 Λέιζερ – 5 V .....	29
5.5 Διακόπτης TACT .....	29
5.6 Μπαταρία 9 V - Διακόπτης ON/OFF .....	29
5.7 Ηχείο .....	30
6. Λογισμικό και κώδικας .....	31
6.1 Arduino IDE .....	31
6.1.1 Δομή τυπικού προγράμματος .....	31
6.1.2 Δηλώσεις μεταβλητών .....	31
6.1.3 Συναρτήσεις διαχείρισης θυρών εισόδου - εξόδου .....	32
6.1.4 Συναρτήσεις εισόδου-εξόδου ρεύματος .....	33
6.1.5 Συναρτήσεις χρόνου .....	35
6.1.6 Δομή επιλογής .....	35
6.1.7 Δομή επανάληψης .....	36
6.1.8 Σειριακή θύρα επικοινωνίας .....	37
6.1.9 Μεταφόρτωση προγράμματος στη μονάδα Arduino .....	39
6.2 Κώδικας .....	40
7. Συμπεράσματα-Μελλοντικές επεκτάσεις .....	44
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	45

**ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 1 Κλίμακες θερμοκρασίας .....	9
Εικόνα 2 Θερμόμετρο .....	11
Εικόνα 3 Το θερμόμετρο του Γαλιλαίου .....	12
Εικόνα 4 Ψηφιακό θερμόμετρο .....	14
Εικόνα 5 Υδραργυρικό θερμόμετρο .....	15
Εικόνα 6 Σχηματικό θερμοκρασίας ανθρώπινου σώματος .....	21
Εικόνα 7 Arduino Nano .....	25
Εικόνα 8 Αισθητήρα θερμοκρασίας MLX 90614 DCI .....	27
Εικόνα 9 Οθόνη OLED 0.96” .....	28
Εικόνα 10 Περιβάλλον προγραμματισμού Arduino IDE .....	32
Εικόνα 11 Διάγραμμα ροής της σύνθετης δομής επιλογής .....	36
Εικόνα 12 Διάγραμμα ροής της δομής επανάληψης For .....	37
Εικόνα 13 Σειριακή οθόνη .....	39
Εικόνα 14 Μεταγλώττιση sketch .....	40
Εικόνα 15 Μεταμόρφωση sketch .....	40

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1 Η έννοια της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία αποτελεί μια φυσική ποσότητα με την οποία μετράται η ενέργεια κίνησης και ταλάντωσης των σωματιδίων της ύλης σε επίπεδο ατόμων. Δηλαδή είναι ένα μέτρο ψύξης ή θερμότητας που μπορεί να εκφραστεί σε όποια αυθαίρετη κλίμακα και να μας υποδείξει την τάση την οποία θα ρέει αυτόματα η θερμική ενέργεια, δηλαδή από το σώμα με την μεγαλύτερη θερμοκρασία προς το σώμα με την χαμηλότερη θερμοκρασία. Τέλος να αναφέρουμε πως η θερμοκρασία και η ενέργεια ενός θερμοδυναμικού συστήματος δεν είναι ισοδύναμα. (1)

Στην πράξη η θερμοκρασία αποτελεί μέτρο το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θερμικής κατάστασης του κάθε σώματος. Στην ουσία είναι το φυσικό μέγεθος το οποίο συνδέεται με την μέση κινητική ενέργεια των μικρών σωματιδίων της ύλης, και έτσι προσδιορίζεται το πόσο ψυχρό ή θερμό είναι ένα σώμα.

Στην πραγματικότητα, η αίσθηση του ψυχρού ή του θερμού προέρχεται από τη θερμότητα, η οποία όταν απορροφάται ή εκλύεται ( ανάλογα τη περίπτωση κάθε φορά) από κάποιο σώμα, δημιουργεί αλλαγές στην θερμοκρασία. Μεταξύ της θερμότητας και της θερμοκρασίας υπάρχει η διαφορά πως η θερμοκρασία είναι μέγεθος και ιδιότητα, ενώ η θερμότητα μια μορφή ενέργειας.

Η θερμοκρασία μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση ενός οργάνου που ονομάζεται θερμόμετρο. Τα θερμόμετρα λειτουργούν ενώ είναι βασισμένα στο φαινόμενο της διαστολής και της συστολής, σαν αποτέλεσμα της απορρόφησης ή της έκλυσης θερμότητας. Ωστόσο, πέρα από την έκλυση ή την απορρόφηση θερμότητας, και η άνοδο ή η κάθοδος της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα του φαινομένου που περιγράφηκε προηγούμενος. (2)

Τρεις κλίμακες θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται γενικά σήμερα. Η πιο διαδεδομένη είναι η κλίμακα Κελσίου καθώς χρησιμοποιείται από σχεδόν όλες τις χώρες που χρησιμοποιούν το μετρικό σύστημα μέτρησης. Μια άλλη κλίμακα είναι η Kelvin (είναι σαν την κλίμακα Κελσίου μετατοπισμένη κατά 273,15 μοναδες, ώστε τα 0K να είναι ίσα με το απόλυτο μηδέν) , αυτή είναι μια απόλυτη κλίμακα θερμοκρασίας που έχει αναγνωριστεί ως διεθνές πρότυπο για την μέτρηση θερμοκρασίας σε επιστημονικό επίπεδο. Επίσης υπάρχει η κλίμακα Fahrenheit την οποία χρησιμοποιούν στις Η.Π.Α καθώς και σε μερικές αγγλόφωνες χώρες ακόμα. Τέλος να αναφέρουμε πως υπάρχει και η κλίμακα Rankine ή οποία είναι σαν την κλίμακα Κέλβιν αλλά σε αυτή την περίπτωση ένας βαθμός Rankine είναι ίσος με έναν Fahrenheit.(3)

Γενικότερα ισχύουν οι τύποι:



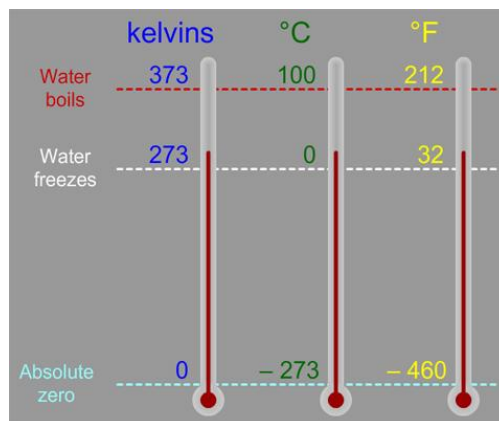
$$C = \frac{(F - 32) - 100}{180}$$

Ή

$$C = \frac{F - 32}{1.8}$$

Και

$$F = 1.8C + 32$$



Εικόνα 1 Κλίμακες θερμοκρασίας

([https://www.windows2universe.org/physical\\_science/physics/thermal/kelvin\\_temperature\\_scale.html](https://www.windows2universe.org/physical_science/physics/thermal/kelvin_temperature_scale.html))

### 1.1 Σχετική θερμοκρασία

Η σχετική θερμοκρασία αποτελεί μια κλίμακα θερμοκρασίας στην οποία οι μετρήσεις είναι ποσότητες που είναι περισσότερο ή λιγότερο από ένα ποσό αναφοράς. Για παράδειγμα, στη κλίμακα Κελσίου, έχει οριστεί ως ποσότητα αναφοράς το σημείο όπου το νερό στερεοποιείται, γνωστό και ως 0 βαθμού Κελσίου. Οι υπόλοιπες μετρήσεις πραγματοποιούνται με βάση αυτό το σημείο. Στις σχετικές κλίμακες θερμοκρασίας εκτός από τους θετικούς έχουμε και τους αρνητικούς αριθμούς. Η κλίμακες Φαρενάιτ και Κελσίου είναι σχετικές κλίμακες θερμοκρασίας. Έτσι, η σχετική θερμοκρασία έχει αποκτήσει ιδιαίτερα ευρεία χρήση η οποία αφορά τόσο τη καθημερινή ζωή του ανθρώπου όσο και τις διάφορες τεχνικές και μηχανολογικές εφαρμογές. Ο συμβολισμός του γίνεται με το λατινικό γράμμα t. (4)

### 1.2 Απόλυτη θερμοκρασία

Η απόλυτη κλίμακα θερμοκρασίας, αφορά οποιαδήποτε θερμομετρική κλίμακα στην οποία η ένδειξη μηδέν συμπίπτει με το θεωρητικό απόλυτο μηδέν θερμοκρασίας - δηλαδή, την κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας ελάχιστης

ενέργειας. Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων η κλίμακα Kelvin χρησιμοποιείται για την τυπική μέτρηση της θερμοκρασίας, καθώς είναι μια απόλυτη κλίμακα η οποία έχει οριστεί με τρόπο ώστε η σταθερά Boltzmann να είναι ίση  $\epsilon 1,380649 \times 10^{-23} \text{ Joule/K}$ . Η κλίμακα Kelvin έχει καθοριστεί πριν από το 2019 έτσι ώστε το διάστημα θερμοκρασίας ανάμεσα στο απόλυτο μηδέν και στο τριπλό σημείο του νερού (θερμοκρασία κατά την οποία μπορούν να διατηρηθούν ταυτόχρονα οι ατμοί, οι υγρές και στερεές μορφές του νερού) να είναι 273,15K. Πιο απλά, η κλίμακα Kelvin είναι μια μετατοπισμένη κατά 273,15 μοίρες κλίμακα Κελσίου. (5)

Η Rankine είναι ακόμη μια απόλυτη κλίμακα θερμοκρασίας, που χρησιμοποιόταν στο παρελθόν στις Ηνωμένες Πολιτείες κυρίως από μηχανικούς και είναι βασισμένη στην κλίμακα Fahrenheit, με το σημείο στερεοποίησης του νερού να έχει οριστεί ως 491,67 Rankine. Ακριβώς όπως ένας βαθμός Fahrenheit, έτσι και ένας βαθμός Rankine ισούνται με  $\frac{5}{9}$  ενός βαθμού Kelvin η Κελσίου. (6)

Όταν χρησιμοποιείται η απόλυτη θερμοκρασία πάρα πολλοί φυσικοί νόμοι αποκτούν απλούστερη μορφή. Έτσι, στο πεδίο των φυσικών επιστημών όταν οι θερμοδυναμικές εκτιμήσεις είναι σημαντικές, χρησιμοποιείται η κλίμακα Kelvin.

Έτσι, η απόλυτη θερμοκρασία αποτελεί ,από θεωρητικής άποψης, η κατάσταση εκείνη στην οποία ένα υλικό δεν έχει καμία άλλη ενέργεια πέρα από αυτή που αφορά τις κβαντομηχανικές ταλαντώσεις των ατόμων τα οποία το απαρτίζουν , δηλαδή η ενέργεια του αντιστοιχεί σε ενέργεια μηδενικού σημείου. Η απόλυτη θερμοκρασία συμβολίζεται με το γράμμα T.

## 2. Θερμόμετρο

Θερμόμετρα αποκαλούμε τα όργανα που μας επιτρέπουν την μέτρηση θερμοκρασίας σε διάφορα σώματα. Βασίζονται στη διαστολή ή συστολή διαφόρων σωμάτων τα οποία ονομάζουμε «θερμομετρικά» των οποίων ο όγκος και το σχήμα μεταβάλλεται ανάλογα των αυξομειώσεων της θερμοκρασίας, ή και με την υπόθεση πως οι πιέσεις αερίου σταθερού όγκου είναι ανάλογοι της θερμικής κατάστασης αυτού, ή μεταβάλλοντας την ηλεκτρική αντίσταση διαφόρων μετάλλων, ακριβώς λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας τους, ή τέλος επί της αρχής της μεταβολής ακτινοβολίας ενός σώματος κατά συνεπεία έχουμε αυξομειώσεις επίσης της θερμοκρασίας του. (7)



Εικόνα 2 Θερμόμετρο

([https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury-in-glass\\_thermometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury-in-glass_thermometer))

### 2.1 Ιστορική αναδρομή

Η εφεύρεση του θερμομέτρου έχει αποδοθεί στον Γαλιλαίο. Στο όργανο το οποίο έφτιαξε, το οποίο έγινε περίπου το 1592, η μεταβαλλόμενη θερμοκρασία ενός ανεστραμμένου γυάλινου δοχείου ήταν ικανό να παράγει τη διαστολή ή τη συστολή του αέρα εντός αυτού. Αυτό στη συνέχεια μετέβαλε τη στάθμη του υγρού με το οποίο το μακρύ στόμιο του δοχείου γέμισε μερικώς. Ωστόσο, η συγκεκριμένη αρχή, η οποία ήταν λίγο γενική κατά την ανάπτυξή της, τελειοποιήθηκε στα επόμενα χρόνια μέσω εφαρμογής πειραμάτων με υγρές ουσίες, όπως για παράδειγμα ο υδράργυρος, και παρέχοντας μια κλίμακα για τη μέτρηση της διαστολής και της συστολής η οποία προκαλείται σε τέτοιου είδους υγρά λόγω ανόδου και πτώσης των θερμοκρασιών.

Κατά την αρχή του 18<sup>ου</sup> αιώνα 35 διαφορετικές κλίμακες για την μέτρηση θερμοκρασίας είχαν επινοηθεί. Έτσι ο Γερμανικής καταγωγής φυσικός Daniel Gabriel Fahrenheit το 1709 ξεκίνησε την παραγωγή σύγχρονων θερμομέτρων όπου περιείχαν αλκοόλη, ενώ στη συνέχεια το 1714 ανέπτυξε τα θερμόμετρα

υδραργύρου, τα οποία παρείχαν ακρίβεια και είχαν βαθμονομηθεί σε τυπική κλίμακα οι οποία ήταν από 32 βαθμούς, για την τήξη του πάγου, μέχρι τους 96 βαθμούς για την μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος. Το βήμα της κλίμακας θερμοκρασίας Φαρενάιτ είναι το  $\frac{1}{180}$  ανάμεσα στον βρασμό του νερού (212 βαθμοί) και στο σημείο πήξης του νερού.

Ο Σουηδικής καταγωγής αστρονόμος Anders Celsius είναι ο άνθρωπος που του αποδόθηκε η πρώτη κλίμακα αποτελούμενη από 100 βαθμούς, καθώς την ανέπτυξε το 1742. Ο συγκεκριμένους χρησιμοποίησε 0 ° για το σημείο βρασμού του νερού και 100 ° για το σημείο τήξης του χιονιού. Στην συνέχεια υπήρχε αναστροφή αυτού αντιστράφηκε προκειμένου να τοποθετήσει το 0 ° στο ψυχρό άκρο και το 100 ° στο καυτό άκρο, μία μορφή η οποία έγινε αποδεκτή και χρησιμοποιήθηκε ευρέως. Μέχρι το 1948 η κλίμακα αυτή αποκαλούνταν ως κλίμακα εκατοντάβαθμου, ύστερα άλλαξε σε κλίμακα θερμοκρασίας Κελσίου.

Το 1848 ο Βρετανός φυσικός Γουίλιαμ Τόμσον , ο οποίος αργότερα έλαβε τον τίτλο «Λόρδος Κέλβιν», πρότεινε ένα σύστημα στο οποίο χρησιμοποιείται ο βαθμός Κελσίου, όμως έφτασε στο απόλυτο μηδέν (-273,15 ° C). Πλέον η μονάδα της κλίμακας αυτής είναι γνωστή ως Kelvin. (8)



Εικόνα 3 Το θερμόμετρο του Γαλιλαίου

(<https://blogs.sch.gr/gmarugas/2016/07/17/to-thermometro-toy-galilaiou/>)

## 2.2 Τύποι θερμομέτρων

Οποιαδήποτε ουσία προκαλεί με κάποιον τρόπο μεταβολές στη θερμοκρασία της μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασικό συστατικό για την κατασκευή ενός θερμομέτρου. Κατά συνέπεια, το θερμόμετρο αερίου λειτουργεί με τον βέλτιστο τρόπο σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Από την άλλη, τα υγρά θερμομέτρα κάποτε ήταν τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα θερμομέτρα, μιας και ήταν απλά, χαμηλού κόστους, με μακρά διάρκεια αντοχής, ενώ ήταν εύκολο να μετρήσουν θερμοκρασία με μεγάλο εύρος. Στην περίπτωση αυτή, το υλικό που

χρησιμοποιούταν ως υγρό ήταν ως επι το πλείστον έγχρωμη αλκοόλη ή υδράργυρος, τα οποία κλείνονταν μαζί με αέριο όπως αργό ή αζώτο σε γυάλινο σωλήνα.

Τα υγρά θερμόμετρα αντικαταστάθηκαν στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα από τα ηλεκτρονικά ψηφιακά θερμόμετρα, τα οποία παρέχουν ακριβέστερες μετρήσεις και επίσης είναι πιο ασφαλή καθώς δεν περιέχουν υδράργυρο. Τα ψηφιακά θερμόμετρα χρησιμοποιούν μια αντίσταση που ποικίλλει ανάλογα με τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος μετράται επίσης και με υπέρυθρα θερμόμετρα, τα οποία πραγματοποιούν εστίαση του υπέρυθρου φωτός σε έναν στόχο/ανιχνευτή ο οποίος με την σειρά του μετρά την απολαβή του φωτός και μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα που παράγει ο ανιχνευτής σε θερμοκρασία.

Τα θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιούν συγκεκριμένα πλατίνα και, όπως στη παραπάνω περίπτωση, λειτουργούν με βάση την αρχή ότι η ηλεκτρική αντίσταση διαφέρει ανάλογα με τις αλλαγές στη θερμοκρασία. Παρόλα αυτά, είναι ικανά να μετρήσουν ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασίας από τα προηγούμενα θερμόμετρα. Μια από τις πιο γνωστές τους χρήσεις είναι ως βιομηχανικά θερμόμετρα. Αποτελούνται από δύο διαφορετικών υλικών σύρματα τα οποία ενώνονται στη μία άκρη. Ενώ στην άλλη γίνεται σύνδεση σε μια συσκευή μέτρησης τάσης. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα δύο άκρα δημιουργεί μια μετρήσιμη και μεταφρασμένη σε ένα μετρο θερμοκρασίας τάση.

Η διμεταλλική ταινία αποτελεί ένα από τα πιο ανθεκτικά θερμόμετρα. Είναι απλά δύο λωρίδες διαφορετικών μετάλλων που συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο ένα άκρο. Όταν θερμαίνονται, οι δύο λωρίδες επεκτείνονται με διαφορετικούς ρυθμούς, με αποτέλεσμα τη κάμψη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αλλαγής θερμοκρασίας.

Οι θερμοστάτες χρησιμοποιούν διμεταλλικές λωρίδες ως αισθητήρες θερμοκρασίας, αλλά οι σύγχρονοι ψηφιακοί θερμοστάτες χρησιμοποιούν άλλου είδους αντιστάσεις.  
(9)

Η λειτουργία μερικών άλλων θερμομέτρων γίνεται μέσω ανίχνευσης ηχητικών κυμάτων ή μαγνητικών συνθηκών που έχουν σχέση με αλλαγές της θερμοκρασίας. Στην περίπτωση των μαγνητικών θερμομέτρων η απόδοση αυξάνεται όσο η θερμοκρασία μειώνεται, πράγμα που σημαίνει πως είναι εξαιρετικά στις ακριβείς μετρήσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί χαρτογράφηση των θερμοκρασιών, μέσω της θερμογραφίας, μιας τεχνικής που παρέχει μια οπτική ή γραφική αναπαράσταση των συνθηκών θερμοκρασίας στην επιφάνεια μιας περιοχής της γης ή ενός αντικειμένου.

Συνοπτικά, έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής οι παρακάτω τύποι θερμομέτρων:

- Θερμόμετρα υδραργύρου
- Θερμόμετρα υγρού
- Θερμόμετρα ελατηρίου

- Διμεταλλικά σπειροειδή ελάσματα από θερμόμετρο
- Ηλεκτρικά θερμόμετρα
- Θερμόμετρα ακροβάθμια
- Θερμόμετρα αερίου
- Αναρροφητικά θερμόμετρα
- Αυτογραφικά θερμόμετρα
- Ιατρικά θερμόμετρα
- Θερμόμετρα εδάφους
- Υδροθερμόμετρα
- Πυρόμετρα



Εικόνα 4 Ψηφιακό θερμόμετρο

(<https://efevreseis.blogspot.com/2012/06/thermometro.html>)

### 2.3 Περιγραφή υδραργυρικού θερμομέτρου

Τα θερμόμετρα υδραργύρου αποτελούνται από ένα μακρύ και λεπτό υάλινο σωλήνα ο οποίος είναι τελείως κλειστός, του οποίου το ένα άκρο έχει μια πλάτυνση, το οποίο είναι σαν μικρό δοχείο, όπου περιέχεται ο υδράργυρος. Ο υδράργυρος διαστέλλεται όταν προκληθεί θέρμανση, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας, άρα και την άνοδο του υδραργύρου στον σωλήνα. Το ίδιο συμβαίνει και με την πτώση της θερμοκρασίας, η οποία ακολουθείται από κάθοδο του υγρού στη στήλη του σωλήνα.

Η προσάρτηση του σωλήνα γίνεται πάνω σε κατάλληλα βαθμολογημένη κλίμακα, ενώ από εκεί μπορούν να αναγνωσθούν οι ενδείξεις της θερμοκρασίας. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως συμβαίνει με τα ιατρικά θερμόμετρα, η κλίμακα βρίσκεται πάνω στον ίδιο τον υάλινο σωλήνα.

Το θερμόμετρο υδραργύρου είναι πάρα πολύ ακριβές, διότι ο υδράργυρος εμφανίζει χαμηλή τάση ατμών, ενώ επίσης είναι εύκολο να διαβαστεί στο εσωτερικό του υάλινου σωλήνα. Ωστόσο, το μεγάλο του μειονέκτημα, είναι ότι είναι ακατάλληλο για τη μέτρηση θερμοκρασιών χαμηλότερες των  $-32^{\circ}\text{C}$ , καθώς αυτή είναι η θερμοκρασία στερεοποίησης του υδραργύρου.



Εικόνα 5 Υδραργυρικό θερμομέτρο

(<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF>)

## 2.4 Μέτρηση θερμοκρασίας

Η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται μέσω της χρήσης συγκεκριμένων οργάνων, τα οποία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ονομάζονται θερμομέτρα. Ο τύπος θερμομέτρου που συνήθως χρησιμοποιείται περισσότερο είναι τα λεγόμενα θερμομέτρα διαστολής.

Ως γνωστόν όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία των σωμάτων, πραγματοποιείται και μεταβολή των διαστάσεων τους. Σε στενές περιοχές θερμοκρασιών η μεταβολή των διαστάσεων των σωμάτων είναι γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας. Αυτή την ιδιότητα αξιοποιούμε στα θερμομέτρα υγρών τοποθετώντας χρωματισμένο οινόπνευμα ή υδράργυρο σε ένα μικρό γυάλινο δοχείο, το οποίο καταλήγει σε ένα στενό σωλήνα. Η θερμοκρασία μετράται ανάλογα με το ύψος της στήλης του υγρού καθώς η μεταβολή θερμοκρασίας αυξομειώνει το ύψος. Τα συμβατικά θερμομέτρα υδραργύρου επιλέγονται για θερμοκρασίες μεταξύ  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ενώ για θερμοκρασίες μέχρι και  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  χρησιμοποιούνται θερμομέτρα οινόπνευματος.

### 3. Θερμότητα

Στη θερμοδυναμική, η θερμότητα είναι η ενέργεια που μεταφέρεται προς ή από ένα θερμοδυναμικό σύστημα, με μηχανισμούς διαφορετικούς από τη θερμοδυναμική εργασία ή τη μεταφορά της ύλης.

Όπως η θερμοδυναμική εργασία, η μεταφορά θερμότητας είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει περισσότερα από ένα συστήματα, οπότε δεν ανήκει σε ένα μόνο σύστημα. Στη θερμοδυναμική, η ενέργεια που μεταφέρεται ως θερμότητα συμβάλλει στην αλλαγή της βασικής ενεργειακής μεταβλητής της κατάστασης του συστήματος, για παράδειγμα την εσωτερική του ενέργεια, ή την ενθαλπία του. Αυτό πρέπει να διακριθεί από τη συνηθισμένη γλωσσική αντίληψη της θερμότητας ως ιδιότητα ενός απομονωμένου συστήματος.

Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται ως θερμότητα σε μια διεργασία είναι η ποσότητα της μεταφερόμενης ενέργειας εξαιρουμένης οποιασδήποτε θερμοδυναμικής εργασίας που έγινε και κάθε ενέργεια που περιέχεται στην ύλη που μεταφέρεται. Αν και όχι άμεσα από τον ορισμό, αλλά σε ειδικά είδη διεργασίας, η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται ως θερμότητα μπορεί να μετρηθεί από την επίδρασή της στις καταστάσεις των αλληλεπιδρώντων σωμάτων. Για παράδειγμα, αντίστοιχα σε ειδικές περιστάσεις, η μεταφορά θερμότητας μπορεί να μετρηθεί από την ποσότητα του λιωμένου πάγου ή από την αλλαγή της θερμοκρασίας ενός σώματος στο περιβάλλον του συστήματος. Τέτοιες μέθοδοι σαν και αυτές ονομάζονται θερμιδομετρία.

Το συμβατικό σύμβολο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της ποσότητας θερμότητας που μεταφέρεται σε μια θερμοδυναμική διαδικασία είναι  $Q$ , ενώ η μονάδα θερμότητας στο σύστημα SI είναι το joule (J). Κατά το παρελθόν μονάδα μέτρησης της θερμότητας ήταν το calorie (cal), το οποίο ορίζεται ως το ποσό θερμότητας, που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του νερού από τους 14,5 °C στους 15,5 °C. Η μονάδα calorie συνεχίζει να αναφέρεται ακόμα σε ορισμένες τεχνικές προδιαγραφές. Η αντιστοιχία της με το Joule είναι αντιστοιχία  $1 \text{ calorie} = 4,19 \text{ J}$ , ή  $1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal}$   $1 \text{ kcal} = 4,19 \text{ kJ}$ , ή  $1 \text{ kJ} = 0,239 \text{ kcal}$ .  
(10)

#### 3.1 Θερμική χωρητικότητα

Η θερμοχωρητικότητα, ή αλλιώς θερμική χωρητικότητα, αποτελεί όρο της φυσικοχημείας και ειδικότερα της χημικής θερμοδυναμικής. Η θερμική χωρητικότητα αφορά στην ουσία το πηλίκο του ποσού θερμότητας ( $dQ$ ) το οποίο προσφέρεται σε ένα σώμα για τη πρόκληση μεταβολής της θερμοκρασίας του κατά  $dT$  προς τη μεταβολή  $dT$ . Έτσι, αυτή η σχέση εκφράζεται με μαθηματικούς και φυσικούς όρους ως:



$$C = \frac{\Delta Q}{\delta T}$$

Η μονάδα της θερμοχωρητικότητας στο Διεθνές Σύστημα (SI) είναι joule/Kelvin, J/K.

Επίσης, υπάρχει ένας όρος άξιος αναφοράς, και αυτός δεν θα μπορούσε να είναι άλλος από την ειδική θερμική χωρητικότητα. Έτσι, η ειδική θερμική χωρητικότητα, η οποία αλλιώς καλείται και ειδική θερμότητα, ενός υλικού είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας υλικού.

Επίσης η γραμμομοριακή θερμική χωρητικότητα αναφέρεται σε ένα μοιάπο ένα καθαρό υλικό καθαρού, το οποίο αποτελείται από ομοιόμορφα μόρια. Μια μονάδα η οποία χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα είναι το kilogram-calorie (Cal), η οποία μπορεί να οριστεί ως η ενέργεια η οποία απαιτείται προκειμένου να αυξηθεί θερμοκρασία 1 kg νερού κατά ένα °C, και Πιο συγκεκριμένα από τους 14.5 στους 15.5 °C. Έτσι στην συγκεκριμένη κλίμακα μέτρησης θερμοκρασίας, η ειδική θερμότητα του νερού ισούται ακριβώς με 1 Cal/(°C·kg).

Η έννοια της θερμικής χωρητικότητας ενός υλικού δεν αποτελεί μια σταθερά, αλλά έχει άμεση εξάρτηση από την κλίμακα της θερμοκρασίας στην οποία η θέρμανση του υλικού. Έτσι, για μια ίδια μεταβολή θερμοκρασίας  $\delta T$  σε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας, είναι απαραίτητα διαφορετικά ποσά θερμότητας  $\Delta Q$ . Παρόλα αυτά, σε υπάρχουν διάφορες εφαρμογές στις οποίες μπορούμε να τη θεωρήσουμε σταθερά.

Επιπλέον, πρέπει να αναφερθούμε και στην έννοια της θερμικής ροής, η οποία είναι ο λόγος της θερμότητας  $\Delta Q$  η οποία προσφέρεται σε ένα σώμα ανά τη μονάδα χρόνου  $\delta t$ ,  $Q = \Delta Q/\delta t$ .

### 3.2 Διάδοση της θερμότητας

Η διάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με 3 τρόπους.

- Την μεταφορά
- Την ακτινοβολία
- Την αγωγή

Η διάδοση με αγωγή αφορά τη μεταφορά της θερμότητας μεταξύ διαδοχικών σημείων του σώματος, ενώ οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων αυτού. Έτσι, στο εσωτερικό των στερεών σωμάτων η θερμότητα διαδίδεται με αγωγή.

Η *διάδοση με μεταφορά* γίνεται λόγω ροής και ανάμειξης των ρευστών υλικών. Σε περίπτωση που η ροή του ρευστού δημιουργείται λόγω τοπικών διαφορών πυκνότητας οι οποίες με τη σειρά τους οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας, τότε η μεταφορά ονομάζεται *ελεύθερη*. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται για παράδειγμα η θέρμανση ενός δωματίου από το καλοριφέρ.

Σε περίπτωση που η ροή προκύπτει από μια αντλία, ή από κάποιον ανεμιστήρα, τότε η μεταφορά ονομάζεται *εξαναγκασμένη*. Με αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται με τη βοήθεια του κυκλοφορητή η θερμότητα από το λέβητα της κεντρικής θέρμανσης προς τα σώματα που βρίσκονται στους εσωτερικούς χώρους.

Αντίθετα από ότι συμβαίνει με τους μηχανισμούς διάδοσης με αγωγή και μεταφορά, κατά τους οποίους είναι απαραίτητο το να μεσολαβήσει η ύλη για τη διάδοση, στο μηχανισμό διάδοσης με ακτινοβολία η θερμότητα μεταφέρεται με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χωρίς να μεσολαβήσει σε τίποτα η ύλη, δηλαδή διαδίδεται στο κενό. Κλασικό παράδειγμα αυτού του τρόπου διάδοσης αποτελεί η θέρμανση της Γης από τον Ήλιο. (11)

## 4. Μηχανισμός ρύθμισης θερμοκρασίας σώματος

Η θερμοκρασία του σώματος, ρυθμίζεται με την συμμετοχή παραγόντων στους οποίους περιλαμβάνονται οι ειδικοί υποδοχείς, το κέντρο θερμορύθμισης, οι προσαγωγοί οδοί καθώς επίσης και με την ενεργοποίηση των μηχανισμών άμυνας στις αλλαγές θερμοκρασίας. Τα προσαγωγά ερεθίσματα για την αίσθηση του ψυχρού και του θερμού προέρχονται από τους υποδοχείς που βρίσκονται στο δέρμα, στους ιστούς της κοιλιάς, στους ιστούς του θώρακα, στον εγκέφαλο και στην σπονδυλική στήλη. Τα ερεθίσματα αφού πρώτα περάσουν από τον νωτιαίο μυελό και τον εγκέφαλο φτάνουν στον υποθάλαμο όπου εκεί βρίσκεται το κέντρο ελέγχου της θερμοκρασίας σώματος.

Ο υποθάλαμος διατηρεί την θερμοκρασία του πυρήνα μέσα σε στενά όρια συνήθως από 36,6 °C ως 37,2 °C όπου είναι το εύρος θερμορύθμισης. Σε κάθε απόκλιση από το συγκεκριμένο εύρος κινητοποιούνται μηχανισμοί με σκοπό την επαναφορά της θερμοκρασίας μέσα στα φυσιολογικά όρια. Η απόκλιση της θερμοκρασίας του πυρήνα από τα προκαθορισμένα όρια κινητοποιεί και το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τα συγκεκριμένα όρια ο ανθρώπινος οργανισμός με την αγγειοσύσπαση, την παραγωγή θερμότητας και το ρίγος προσπαθεί να επαναφέρει την θερμοκρασία. Σε αντίθετη περίπτωση όταν η θερμοκρασία αυξηθεί ο ανθρώπινος οργανισμός με την εφίδρωση και την προτριχοειδική αγγειοδιαστολή προσπαθεί να ρίξει την θερμοκρασία. (12)

### 4.1 Θερμοκρασία ανθρώπινου σώματος

Το πρώτο δίλημμα στη μέτρηση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος είναι τι θα μπορούσε να θεωρηθεί ως φυσιολογική ή ως αυξημένη θερμοκρασία σώματος. Το δεύτερο δίλημμα είναι το μέρος που πρέπει να μετρηθεί η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος ως προς τις θέσεις του σώματος. Το τρίτο δίλημμα είναι το πώς να μετρήσει κανείς τη θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος, δηλαδή ποια θερμόμετρα πρέπει να χρησιμοποιήσει. Το τέταρτο δίλημμα είναι η ακρίβεια στις μετρήσεις της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος σε διαφορετικά σημεία του σώματος και με διαφορετικά θερμόμετρα.

Τα σύγχρονα κλινικά όργανα παρέχουν την δυνατότητα γρήγορων και αξιόπιστων μετρήσεων. Παρόλα αυτά για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος, ειδικά εάν χρησιμοποιούνται κλινικά θερμόμετρα μη επαφής (ακτινοβολίας), η αξιοπιστία και η ακρίβεια των μετρήσεων είναι υπό αμφισβήτηση για διάφορους λόγους.

Χωρίς καμία αμφιβολία, η αυξημένη θερμοκρασία σώματος αντιπροσωπεύει την απόκριση ενός οργανισμού σε μια μόλυνση ή έναν τραυματισμό. Το κρίσιμο ερώτημα είναι ποιο είναι το όριο μεταξύ της φυσιολογικής και της αυξημένης

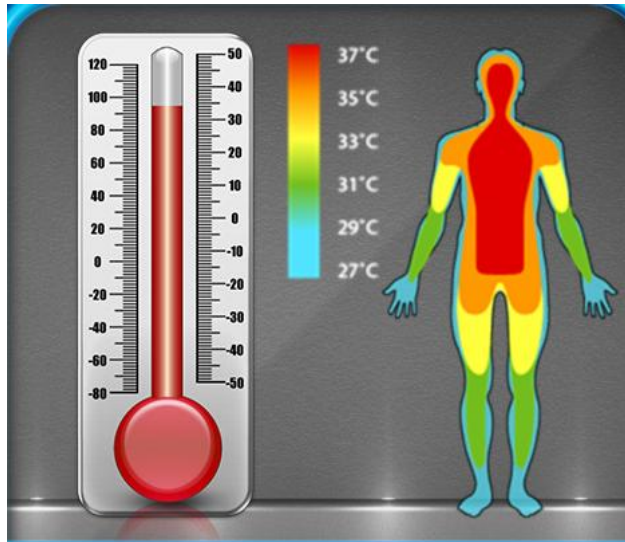
θερμοκρασίας ενός ανθρώπινου σώματος. Η κανονική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι μια έννοια που εξαρτάται από το σημείο στο σώμα στο οποίο γίνεται η μέτρηση.

Οι θερμοκρασίες μπορούν να μετρηθούν από τα εσωτερικά όργανα ή από την επιφάνεια του δέρματος. Σε οποιαδήποτε θέση μέτρησης της θερμοκρασίας παρέχονται πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την αγγειακή αιμάτωση και τις διαδερμικές θερμοκρασίες, όπως αυτές των αρτηριών και φλεβών. Για τον σκοπό της ανίχνευσης του πυρετού, οι θερμοκρασίες του σώματος μετρούνται με κλινικά θερμόμετρα επαφής στις υπογλώσσες, ορθικές ή μασχालιαίες (κάτω από τη μασχάλη) θέσεις μέτρησης που ήταν ίδιες με τις θέσεις του σώματος αναφοράς.

Αυτές και άλλες εξωτερικά προσβάσιμες θέσεις μέτρησης, όπως η τυμπανική μεμβράνη, δεν αντιπροσώπευαν τη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος με μια συγκεκριμένη ποσοτική σχέση. Για αυτό το λόγο, κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων και εντατικής θεραπείας, οι θερμοκρασίες μετρώνται συχνά με επεμβατικούς ανιχνευτές στις λεγόμενες θέσεις μέτρησης αναφοράς (πνευμονική αρτηρία, περιφερικός οισοφάγος, ουροδόχος κύστη και τυμπανικός υμένας).

Η θερμοκρασία του σώματος στον άνθρωπο δεν είναι μια σταθερά μεταβλητή και ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε ένα υγιές φυσιολογικό άτομο, η θερμοκρασία του σώματος κυμαίνεται από 36,1°C έως 37,2°C και ποικίλλει ανάλογα με το φύλο, την ηλικία, τη δραστηριότητα, τη θέση μέτρησης και την ώρα της ημέρας. Σε φυσιολογικά υγιή άτομα κατά τη διάρκεια 24 ωρών, η θερμοκρασία του σώματος ακολουθεί κυκλικές διακυμάνσεις. Η θερμοκρασία του σώματος φτάνει στο ελάχιστο μεταξύ 3:00 και 6:00 π.μ. και στη μέγιστη μεταξύ 4:00 και 09:00 μ.μ. σε υγιή άτομα. Μια μη φυσιολογική αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος μεγαλύτερη από 38°C αναφέρεται γενικά ως πυρετός, που αποτελεί ένδειξη πολλών μολυσματικών ή και μη μολυσματικών ασθενειών.

Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος μετριέται συνήθως κάτω από τη μασχάλη, στο στόμα (στοματική, υπογλώσσια), στο ορθό ή στο αυτί.



Εικόνα 6 Σχηματικό θερμοκρασίας ανθρώπινου σώματος  
<https://apkpure.com/body-temperature-measure-app-info/com.amaravatiapps.bodytemperaturemeasureapp.info>

Οι ενδεικτικές τιμές των «φυσιολογικών» θερμοκρασιών σώματος είναι:

- 34,7 C έως 37,3 C μετρημένο κάτω από τη μασχάλη (μασχαλιαία)
- 35,5 C έως 37,5 C μετρημένο στο στόμα (στοματική, υπογλώσσια)
- 36,6 C έως 38,0 C μετρημένο στο ορθό (ορθικό)
- 35,8 C έως 38,0 C μετρημένο στο αυτί (τυμπανικός)

Οι αναφερόμενες θέσεις μέτρησης δεν αντιπροσωπεύουν τοποθεσίες όπου η θερμοκρασία είναι ο πυρήνας ή η πραγματική θερμοκρασία σώματος. Η θερμοκρασία του πυρήνα θεωρείται ως η θερμοκρασία του αίματος στον εγκέφαλο και την καρδιά. Στην πράξη, αυτή η θερμοκρασία δεν μετρείται. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος που μετράται στις θέσεις αναφοράς θεωρείται η καλύτερη εκτίμηση της θερμοκρασίας του πυρήνα. Αλλά ακόμη και στο ίδιο άτομο, θα μπορούσαν να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών που μετρήθηκαν στις τοποθεσίες αναφοράς. (13,14)

#### 4.2 Αίτια μεταβολής θερμοκρασίας ανθρώπινου σώματος

Η θερμοκρασία του σώματος παρουσιάζει αύξηση πολλές φορές κατά την διάρκεια ζωής ενός ανθρώπου και αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Ένα αίτιο αύξησης της θερμοκρασίας είναι η μόλυνση του ανθρώπινου οργανισμού από έναν ιό ή μικρόβιο. Ακόμα οι καρκινικές ασθένειες, οι αλλεργικές αντιδράσεις, οι ορμονικές διαταραχές και τα αυτοάνοσα νοσήματα μπορεί να προκαλέσουν την αύξηση της θερμοκρασίας σώματος. Επιπροσθέτως, μια συνήθης αιτία της αυξημένης θερμοκρασίας του σώματος είναι προφανής, όπως η γρίπη ή ο

πονόλαιμος, αλλά μερικές φορές μπορεί και όχι και το αίτιο να είναι μια φλεγμονή στη καρδιά ή σε κάποιο άλλο ανθρώπινο όργανο.

Υπάρχουν ορισμένοι κρίσιμοι παράγοντες που συμβάλλουν στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του σώματος.

- Πυρετός

Ο πυρετός θεωρείται ότι είναι μια προσαρμοστική φυσιολογική απόκριση του ξενιστή σε μια εξωτερική απειλή όπως τα βακτήρια και τα συστατικά τους (λιποπολυσακχαρίτες, μουραμυλοδιπεπτιδάσες και εντεροτοξίνες) ιούς και μύκητες. Η ανάπτυξη πυρετού περιλαμβάνει πολλές αντιδράσεις που συμβαίνουν μέσα στο ανθρώπινο σώμα ως απόκριση σε εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα. Το βασικό στοιχείο κατά την ανάπτυξη της ανταπόκρισης του πυρετού είναι η προσταγλανδίνη E2 (PGE2), η οποία δρα στον υποδοχέα προσταγλανδίνης-3 της σειράς E και στον υποδοχέα προσταγλανδίνης-1 της σειράς E στην προοπτική περιοχή του μυός του υποθώρακου. Κατά συνέπεια, ορισμένες τοξίνες και λιποπολυσακχαρίτες δρουν άμεσα στην προοπτική περιοχή του υποθώρακου και προκαλούν πυρετό. Τα στοιχεία που προκαλούν πυρετό ονομάζονται πυρετογόνα, τα οποία χωρίζονται συμβατικά σε εξωγενείς και ενδογενείς τύπους. Τα εξωγενή πυρετογόνα είναι μικροοργανισμοί, τοξίνες και άλλα προϊόντα μικροβιακής προέλευσης και τα ενδογενή πυρετογόνα είναι κυτοκίνες που προέρχονται από κύτταρα ξενιστές όπως η ιντερλευκίνη-1, η ιντερλευκίνη-6 (IL-6), ο παράγοντας νέκρωσης ιστών-α (TNF-α), η ιντερφερόνη και ακτινωτός παράγοντας ουδετερόφιλων, που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια φλεγμονωδών ή κακοηθειών και μικροβιακών λοιμώξεων. Κατά τη διάρκεια μικροβιακών λοιμώξεων όπως η φυματίωση, ο τυφοειδής πυρετός, η ελονοσία, ο δάγγειος πυρετός και ο πυρετός της κοιλιάδας, η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος προκαλείται από σταδιακή διέγερση του ανοσοποιητικού συστήματος στο ακολουθώντας τον τρόπο.

- Ημερήσιες μεταβολές θερμοκρασίας

Ο ρυθμός της θερμοκρασίας του σώματος θεωρείται «δείκτης» που υποδηλώνει συγχρονισμό ή αποσυγχρονισμό με άλλους βιολογικούς ρυθμούς και μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει την ώρα του ρολογιού του σώματος ενός ατόμου. Η θερμοκρασία του σώματος έχει ρυθμό περίπου 24 ωρών σε σταθερούς κύκλους ημέρας-νύχτας και έχει υψηλό βαθμό συσχέτισης με άλλους μεγαλύτερους φυσιολογικούς ρυθμούς όπως ο κύκλος ύπνου-αφύπνισης και η έκκριση μελατονίνης και κορτιζόλης. Σε ελεγχόμενο περιβάλλον, η θερμοκρασία του σώματος είναι η χαμηλότερη μεταξύ 3:00 και 6:00 π.μ. και υψηλότερη μεταξύ 4:00 και 9:00 μ.μ. Οι διαφορές στις μέγιστες και κατώτερες θερμοκρασίες είναι περίπου 1,0°C.

- Ηλικία

Η ηλικία επηρεάζει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο ανθρώπινο σώμα. Με την αύξηση της ηλικίας η θερμοκρασία στο ανθρώπινο σώμα μειώνεται. Οι Gubinet. al. μελέτησαν τη διακύμανση της θερμοκρασίας του σώματος σε 58 νέους άνδρες και γυναίκες (μέση ηλικία  $20,7 \pm 6,2$  έτη) και σε 63 μεγαλύτερης ηλικίας άνδρες και γυναίκες (μέση ηλικία  $80,7 \pm 6,3$ ) όπου παρατήρησαν σημαντική μείωση της θερμοκρασία σώματος στην ηλικιωμένη ομάδα ( $36,17 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$  και  $0,26 \pm 0,008^{\circ}\text{C}$ ,  $p > 0,001$ ), σε σύγκριση με τους νεαρούς ενήλικες ( $36,38 \pm 0,19^{\circ}\text{C}$  και  $0,33 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$ ,  $p > 0,001$ ), αντίστοιχα. Διάφοροι λόγοι μπορούν να εξηγήσουν τη μείωση της θερμοκρασίας σώματος στη μεγαλύτερη ηλικιακή ομάδα. Πρώτον, η γενική σωματική δραστηριότητα μειώνεται σε ηλικιωμένα άτομα και η αύξηση της ημερήσιας θερμοκρασίας του σώματος είναι επομένως μικρότερη. Επιπλέον, οι θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί για τη διατήρηση της θερμότητας φαίνεται να λειτουργούν λιγότερο αποτελεσματικά σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας. Κατά τη διάρκεια μιας ψυχρής περιόδου, τα άτομα της μεγαλύτερης ηλικιακής ομάδας διαχέουν περισσότερη θερμότητα και παράγουν λιγότερη μεταβολική θερμότητα λόγω της μειωμένης περιφερικής αγγειοσυστολής.

- Σωματική δραστηριότητα

Η αύξηση της φυσικής δραστηριότητας σε ένα άτομο επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασία του σώματός του. Η αυξημένη φυσική δραστηριότητα αυξάνει αναλογικά το εύρος της θερμοκρασίας του σώματος. Τα άτομα που είναι ενεργά εμφανίζουν 1,5-2,5 φορές υψηλότερη θερμοκρασίας σε σχέση με τα ανενεργά άτομα.

- Χαμηλή θερμοκρασία σώματος (Υποθερμία)

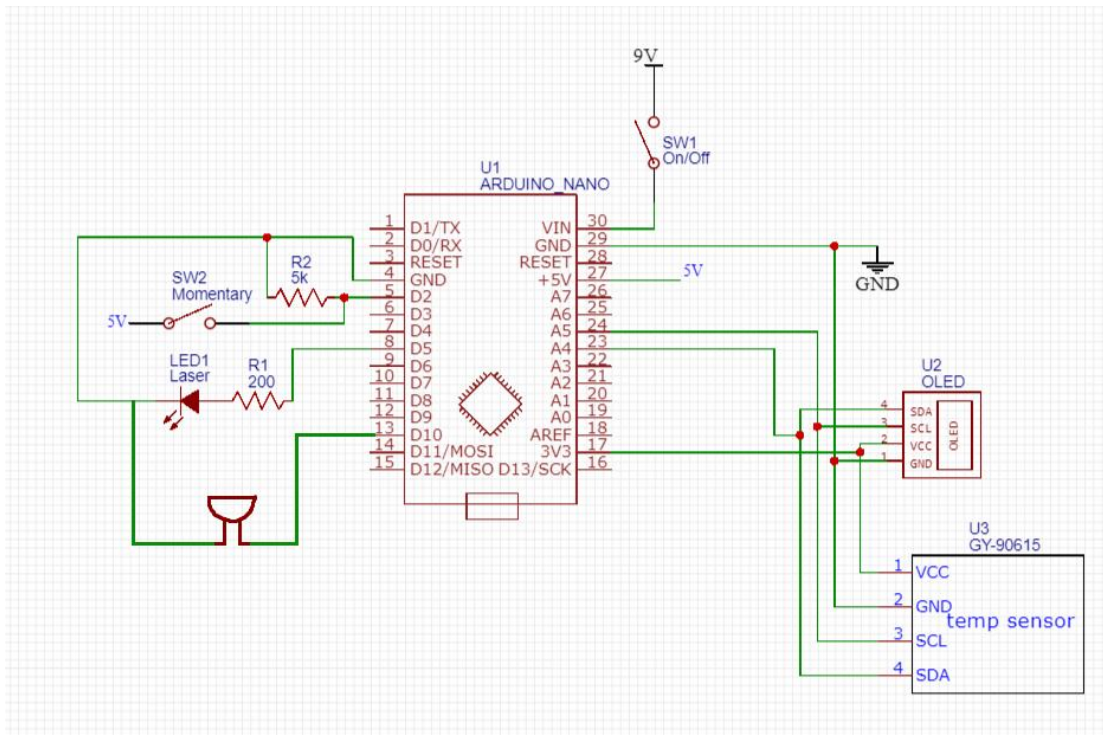
Η θερμοκρασία του σώματος παρουσιάζει μείωση πολλές φορές κατά την διάρκεια ζωής ενός ανθρώπου και το συγκεκριμένο φαινόμενο ονομάζεται υποθερμία. Πιο συγκεκριμένα υποθερμία ονομάζεται η παθολογική κατάσταση όπου η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος πέφτει κάτω από  $35$  βαθμούς Κελσίου. Ο οργανισμός, σε αυτή την περίπτωση χάνει θερμότητα με μεγαλύτερο ρυθμό από ότι παράγει.

Τα αίτια της μείωσης της θερμοκρασίας του σώματος είναι η χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (θερμοκρασίες παγωνιάς) και η εξάντληση του ανθρώπινου οργανισμού. Οι ηλικιακές ομάδες που διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο να εμφανίσουν υποθερμία είναι οι ηλικιωμένοι, τα μικρά παιδιά, τα βρέφη και οι αδύνατοι άνθρωποι.

## 5. Υλικά κατασκευής

Για την κατασκευή του θερμομέτρου χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εξαρτήματα όπου στην συνέχεια θα αναλυθούν το καθένα ξεχωριστά.

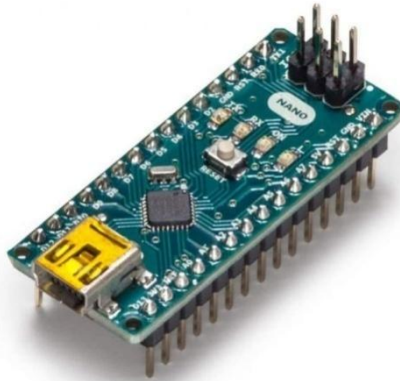
- Ένα (1) Arduino Nano
- Ένας (1) αισθητήρας θερμοκρασίας
- Μία (1) οθόνη OLED
- Ένα (1) λέιζερ
- Ένας (1) διακόπτης ON/OFF
- Ένας (1) διακόπτης TACT
- Δύο (2) αντιστάσεις
- Μια (1) μπαταρία
- Ένα (1) ηχείο και



Εικόνα 7. Block διάγραμμα κυκλώματος θερμομέτρου



## 5.1 Arduino Nano 3.0



Εικόνα 8.ArduinoNano

(<https://grobotronics.com/arduino-nano-a000005.html>)

Το Arduino είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα η οποία είναι βασίζεται πάνω σε μια μητρική πλακέτα ανοιχτού κώδικα που έχει ενσωματωμένο έναν μικροελεγκτή και διάφορες εισόδους/εξόδους. Η πλακέτα αυτή μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring, η αλλιώς C++ κάνοντας κάποιες μετατροπές και αποτελείται από ένα σύνολο βιβλιοθηκών. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες εκδόσεις arduino οι οποίες είναι εύκολα διαθέσιμες όπως το Arduino Uno, το ArduinoNano 3.0, το Arduino Nano 2.3, το Arduino Leonardo και πολλά άλλα.

Για την κατασκευή του θερμομέτρου χρησιμοποιήσαμε το ArduinoNano 3.0. Το συγκεκριμένο Arduino είναι μια μικρή και φιλική πλακέτα για breadboard η οποία βασίζεται στο μικροελεγκτή ATmega328P της εταιρείας Atmel. Το ArduinoNano μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω σύνδεσης Mini-BUSB με τον υπολογιστή ή με μη ρυθμιζόμενη εξωτερική τροφοδοσία 6-20V (ακίδα/PIN 30) ή με ρυθμιζόμενη εξωτερική τροφοδοσία 5V (ακίδα/pin 27). Το τσιπ FTDI232RL στο ArduinoNano τροφοδοτείται μόνο εάν η πλακέτα τροφοδοτείται μέσω σύνδεσης USB ενώ όταν λειτουργεί με εξωτερική τροφοδοσία, η έξοδος 3,3V, η οποία παρέχεται από το τσιπ FTDI, δεν είναι διαθέσιμη και τα LEDRX και TX θα αναβοσβήνουν ανάλογα με την τιμή των ψηφιακών ακίδων/pins (0 ή 1).

Ο μικροελεγκτής ATmega328P ο οποίος αποτελεί την καρδιά του Arduino διαθέτει 32 KB (με 2 KB που χρησιμοποιούνται για το bootloader) προγραμματισμένης μνήμης flash με δυνατότητα προγραμματισμού. Επίσης διαθέτει εσωτερική στατική μνήμη 2 KBSRAM και μνήμη 1 KBEEPROM.

Ως είσοδος ή έξοδος που λειτουργούν στα 5V μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις 14 ψηφιακές ακίδες που διαθέτει το Arduino. Αυτό θα συμβεί κάνοντας χρήση τις συναρτήσεις digitalRead(), pinMode() και digitalWrite(). Κάθε ψηφιακή ακίδα μπορεί να δώσει ή να λάβει μέχρι και 40 mA ενώ διαθέτει μια εσωτερική αντίσταση έλξης, η οποία από προεπιλογή είναι αποσυνδεδεμένη, στα

20-50 kΩ. Επιπλέον, ορισμένες ακίδες εμφανίζουν κάποιες επιπλέον λειτουργίες όπως:

- Τα PIN 0 (RX) και 1 (TX ) χρησιμοποιούνται για τη λήψη (RX) και μετάδοση (TX) σειριακών δεδομένων TTL. Αυτά τα PIN συνδέονται με τα αντίστοιχα PIN του σειριακού τσιπ FTDI USB-to-TTL.
- Τα PIN 2 και 3 κάνοντας χρήση της συνάρτησης `attachInterrupt()` μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να ενεργοποιούν μια διακοπή σε ανερχόμενη ή καθοδική άκρη, σε χαμηλή τιμή, ή μια αλλαγή γενικά στην τιμή.
- Τα PIN 3, 5, 6, 9, 10 και 11 παρέχουν έξοδο PWM 8-bit κάνοντας χρήση της συνάρτησης `analogWrite()`.
- Τα PIN 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) και 13 (SCK) είναι αυτές που υποστηρίζουν την επικοινωνία SPI, η οποία παρόλο που παρέχεται από το υποκείμενο υλικό, δεν περιλαμβάνεται επί του παρόντος στη γλώσσα Arduino.
- Στο PIN 13 υπάρχει μια λυχνία LED. Όταν το PIN έχει τη τιμή 1, η λυχνία LED είναι αναμμένη, όταν το PIN έχει τη τιμή 0 τότε είναι σβηστή.

Επιπροσθέτως, το Arduino διαθέτει 8 αναλογικές εισόδους, οι οποίες μπορούν να μετρούν έως 5 V, με 10 bit ανάλυσης η καθεμία. Αυτό συνεπάγεται σε 1024 διαφορετικές τιμές. Κάνοντας χρήση της συνάρτησης `analogReference()` είναι δυνατό να αλλάξει το πάνω άκρο της περιοχής τους. Ορισμένα PIN όμως εμφανίζουν κάποιες επιπλέον λειτουργίες όπως:

- Τα PIN 4 (SDA) και 5 (SCL) χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη `Wire` προσφέρουν υποστήριξη επικοινωνίας I2C (TWI).
- Το `PINAREF` είναι η τάση αναφοράς για τις αναλογικές εισόδους και χρησιμοποιείται με την συνάρτηση `analogReference()`.
- Το `PINRESET` χρησιμοποιείται για την επαναφορά του μικροελεγκτή σε περίπτωση σφάλματος.

Επιπροσθέτως, το Arduino μπορεί να επικοινωνήσει εύκολα με έναν υπολογιστή, ή με άλλο Arduino ή με άλλους μικροελεγκτές. Το ATmega328 δίνει UARTTTL (5V) σειριακή επικοινωνία μέσω των ψηφιακών PIN 0 (RX) και 1 (TX). Ένα FTDI232RL στην πλακέτα διοχετεύει αυτήν τη σειριακή επικοινωνία μέσω USB και τα προγράμματα οδήγησης FTDI τα οποία περιλαμβάνονται στο λογισμικό Arduino δίνουν μια εικονική θύρα επικοινωνίας με το λογισμικό στον υπολογιστή. Το

λογισμικό Arduino περιλαμβάνει μια σειριακή οθόνη που επιτρέπει την αποστολή απλών δεδομένων κειμένου προς και από την πλακέτα Arduino.

Στην προκειμένη περίπτωση για την κατασκευή του θερμομέτρου η τροφοδοσία του Arduino είναι εξωτερική με την χρήση μια μπαταρίας 9 Volt. [16]

## 5.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας - MLX90614 DCI



Εικόνα 9 Αισθητήρα θερμοκρασίας MLX 90614 DCI

(<https://www.zipy.gr/p/ali/acquisition-sensor-infrared-temperature-sensor-module-mlx90614esf-gy-906-ariduinno-ir/4001041404479/>)

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας MLX90614 DCI που είναι ειδικός για χρήση σε ιατρικές εφαρμογές. Ο αισθητήρας λαμβάνει μετρήσεις θερμοκρασίας χωρίς επαφή με δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας ζωντανού οργανισμού μεταξύ  $-70$  ως  $380^{\circ}\text{C}$  και περιβάλλοντος μεταξύ  $-40^{\circ}\text{C}$  ως  $125^{\circ}\text{C}$ . Η απόσταση μεταξύ αντικειμένου και αισθητήρα πρέπει να είναι περίπου 2cm με 5cm και το πεδίο μέτρησης του αισθητήρα είναι  $80^{\circ}$ . Ενσωματωμένο στο MLX90614 DCI είναι ένας ενισχυτής χαμηλού θορύβου, ένας μετατροπέας τάσης ADC 17-bit και μιας ισχυρή μονάδα DSP, επιτυγχάνοντας έτσι την υψηλή ακρίβεια και ανάλυση του αισθητήρα. Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί τσιπ ανιχνευτή θερμοσυλλεκτών με ευαισθησία υπερύθρων και το τσιπ ASIC ρύθμισης σήματος ενσωματωμένο σε ένα ενιαίο τσιπ. Ο αισθητήρας διατίθεται εργοστασιακά βαθμονομημένος με ψηφιακή έξοδο SMBus και παρέχει πλήρη πρόσβαση στη μετρούμενη θερμοκρασία σε όλο το εύρος θερμοκρασίας με ανάλυση  $0,02^{\circ}\text{C}$ . Παρόλο που λειτουργεί σε πρωτόκολλο SMBus, έχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί με I2C.

Ο αισθητήρας όπως προαναφέραμε μπορεί να μετρήσει τη θερμοκρασία ενός ζωντανού οργανισμού με οποιαδήποτε φυσική επαφή. Αυτό γίνεται συχνά δυνατό με έναν νόμο που ονομάζεται νόμος του Stefan-Boltzmann, ο οποίος δηλώνει ότι κάθε αντικείμενο ή ζωντανός οργανισμός εκπέμπει ενέργεια υπερύθρων και επομένως η ένταση αυτής της εκπεμπόμενης ενέργειας υπερύθρων θα είναι ευθέως

ανάλογη με τη θερμοκρασία αυτού του αντικειμένου ή του ζωντανού οργανισμού. Επομένως, ο αισθητήρας MLX90614 DCI υπολογίζει τη θερμοκρασία ενός αντικειμένου ή του ζωντανού οργανισμού μετρώντας την ποσότητα της ενέργειας IR που εκπέμπεται από αυτό.

Το MLX90614 DCI διαθέτει 4 ακίδες. Η τάση λειτουργίας του αισθητήρα είναι 3,6V έως 5V και έχει I2CPINS ως SDA και SCL. Το SDA είναι η ακίδα σειριακών δεδομένων και το SCL είναι η ακίδα σειριακού ρολογιού που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία I2C.

Η σύνδεση του αισθητήρα στο κύκλωμα έγινε αρχικά συνδέοντας το pinVcc με το pin 17 του Arduino. Στην συνέχεια την ακίδα της γείωσης του την συνδέσαμε στην ακίδα γείωσης του Arduino (PIN 29) και τέλος το pinSDA στο PIN 23 του Arduino ενώ το pinSCL το συνδέσαμε στην ακίδα γείωσης (PIN 29) του Arduino.

### 5.3 Οθόνη OLED



Εικόνα 10 Οθόνη OLED 0.96"

( <https://www.eudirect.shop/product/geekcreit-0-96-inch-4pin-blue-yellow-iic-i2c-oled-display-module-geekcreit-for-arduino-products-that-work-with-official-arduino-boards/> )

Για τη απεικόνιση των δεδομένων χρησιμοποιήσαμε μια οθόνη OLED 0.96" ιντσών. Η συγκεκριμένη οθόνη διαθέτει υψηλή αντίθεση και ανάλυση, παρέχοντας καλή αναγνωσιμότητα στους χρήστες. Δεν διαθέτει οπίσθιο φωτισμό και χρησιμοποιεί ανεξάρτητα φωτιζόμενα pixel. Επιπλέον, είναι πιο λεπτή, χαμηλότερης κατανάλωσης και πιο κομψή σε σύγκριση με τις οθόνες LCD. Το τσιπ προγράμματος οδήγησης που διαθέτει είναι το SSD1306, το οποίο παρέχει επικοινωνία SPI.

Η οθόνη διαθέτει 4ακίδες:

- VCC: Τροφοδοσία 3,3 - 5V
- GND: Γείωση
- SCL: Σειριακό ρολόι
- SDA: Πακέτο σειριακών δεδομένων

Όσον αφορά την συνδεσμολογία της οθόνης, συνδέσαμε την PINGND στο PIN 29 του Arduino, το PINVCC στο PIN 17 του Arduino, το PINSDA στο PIN 23 του Arduino και το PINSCL στο PIN 29 του Arduino

### **5.4 Λέιζερ – 5 V**

Στην συνέχεια χρησιμοποιήσαμε ένα λέιζερ. Το λέιζερ εκπέμπει μια μικρή έντονη εστιασμένη δέσμη ορατού κόκκινου φωτός. Η τάση λειτουργίας του είναι τα 5 Volt, το απαιτούμενο ρεύμα για την ενεργοποίηση του είναι λιγότερο από 40 mA και η ισχύς εξόδου του είναι 5 mW. Το μήκος κύματος του είναι στα 650 nm.

Το λέιζερ διαθέτει 2 ακίδες:

- VCC: Τροφοδοσία – 5V
- GND: Γείωση

Για την συνδεσμολογία του λέιζερ χρησιμοποιήσαμε και δύο αντιστάσεις 200Ω και 5KΩ αντίστοιχα. Ο ρόλος των αντιστάσεων είναι να εμποδίσουν την υπερβολική ποσότητα ρεύματος να ρέει μέσω του λέιζερ.

Αρχικά, το PINVCC του λέιζερ το συνδέσαμε στο ένα πόδι της αντίστασης των 200Ω ενώ το άλλο πόδι της αντίστασης το συνδέσαμε στο PIN 5 του Arduino. Αντίστοιχα, το PINGND του λέιζερ το συνδέσαμε στο PIN 4 του Arduino. Η αντίσταση των 5KΩ συνδέθηκε στο PIN 4 και στο PIN 5 του Arduino.

### **5.5 Διακόπτης TACT**

Σημαντική ήταν η χρήση του διακόπτη tact ή αλλιώς διακόπτη αφής. Γενικότερα ένας διακόπτης αφής επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να ρέει σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα πιέζοντας χειροκίνητα το τμήμα λειτουργίας. Χρησιμοποιείται για την παροχή σήματος εισόδου με σκοπό την ενεργοποίηση μιας συσκευής.

Ο διακόπτης που χρησιμοποιήσαμε έχει δυο ακίδες και με το πάτημα του θα εμφανίζει στο χρήστη την θερμοκρασία. Το ένα pin το συνδέσαμε στο PIN 5 και το άλλο στο PIN 27.

### **5.6 Μπαταρία 9 V - Διακόπτης ON/OFF**

Για την τροφοδοσία του Arduino χρησιμοποιήσαμε μια μπαταρία 9 V και για να μπορούμε να απενεργοποιούμε και να ενεργοποιούμε το Arduino, χρησιμοποιήσαμε ένα απλό διακόπτη ON/OFF. Ο διακόπτης συνδέθηκε σε σειρά με την μπαταρία. Συνδέσαμε ένα κόκκινο καλώδιο από την υποδοχή μπαταρίας 9V στο διακόπτη ON/OFF και ένα μαύρο από την υποδοχή της μπαταρίας σε έναν από τους ακροδέκτες γείωσης του Arduino. Επίσης, συνδέσαμε το καλώδιο από τον διακόπτη ON/OFF στον ακροδέκτη Vin του Arduino.

## **5.7 Ηχείο**

Σημαντική ήταν η χρήση ενός ηχείου όπου το συνδέσαμε απευθείας στο Arduino. Ο σκοπός του είναι να μας ειδοποιεί με ήχο όταν ξεπεράσει ο αισθητήρας την επιθυμητή θερμοκρασία που του έχουμε ορίσει.

Το ηχείο το συνδέσαμε στο PIN 10 του Arduino.

## 6. Λογισμικό και κώδικας

### 6.1 Arduino IDE

Το ArduinoIDE είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης οπού μπορεί να αναπτύξει τον κώδικα του οποιοσδήποτε χρήστης και στην συνέχεια να τον μεταφορτώσει στην μονάδα Arduino. Είναι διαθέσιμο σε λογισμικά Linux,Mac καθώς και σε Windows και είναι εντελώς δωρεάν στην επίσημη ιστοσελίδα του Arduino (<http://arduino.cc/en/Main/Software>). Βασίζεται σε γλώσσα C/C++και ειδικότερα παρέχει :

- Μία πλατφόρμα ανάπτυξης κώδικα των προγραμμάτων, τα οποία στην ορολογία του Arduino τα αποκαλούμε sketch.
- Βιβλιοθήκες που προεκτείνουν την γλώσσα και παρέχουν την διευκόλυνση του χειρισμού, μέσα απ' τον κώδικα, για τα εξαρτήματα που πρόκειται να συνδεθούν στην πλακέτα
- Αρκετά έτοιμα παραδείγματα
- Έναν μεταγλωττιστή των sketch
- Μια σειριακή παρακολούθηση που επιβλέπει την επικοινωνία της σειριακής (USB), είναι υπεύθυνο να αποστείλει αλφαριθμητικά που επιλέγουμε στο Arduino μέσω αυτής και συμβάλει στην πραγματοποίηση debugging των sketch
- την επιλογή να γίνει upload του μεταγλωττισμένου sketch στην πλακέτα

#### 6.1.1 Δομή τυπικού προγράμματος

Η λογική του Arduino είναι απλή αφού στην ουσία υπάρχουν δυο βασικές συναρτήσεις που χρησιμοποιεί και είναι οι εξής:

- `setup()`

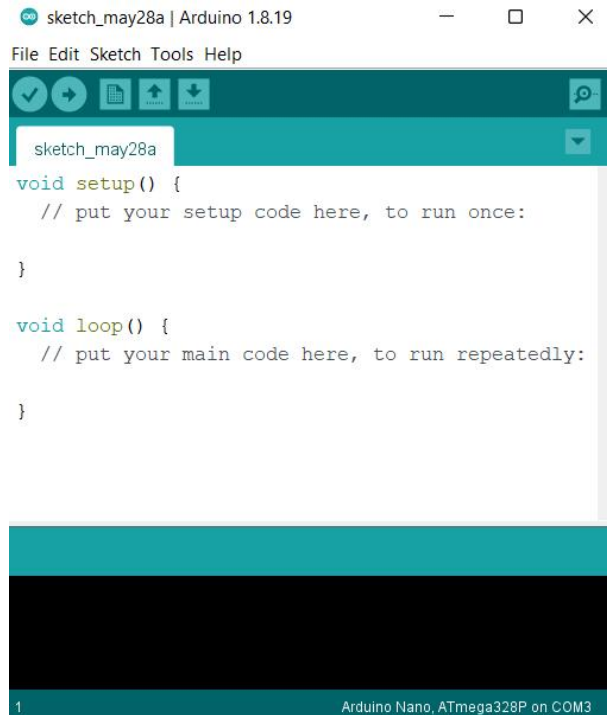
Τοποθετούνται όλες οι εντολές που πρέπει να τρέξουν μια φορά όταν ενεργοποιηθεί η μονάδα, είτε δίνοντας ρεύμα είτε πατώντας το κουμπί reset. Πρόκειται, συνήθως, για εντολές σχετικά με την αρχικοποίηση τιμών σε μεταβλητές και τον χαρακτηρισμό των pin που θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι/έξοδοι.

- `loop()`

Τοποθετούνται όλες οι εντολές που θέλουμε να τρέχουν επαναλαμβανόμενα, δηλαδή οι εντολές που βρίσκονται στην συνάρτηση θα πραγματοποιούνται ξανά και ξανά μέχρι να πατηθεί το κουμπί reset ή μέχρι να σταματήσει η τροφοδοσία προς την μονάδα.

Επομένως, η φιλοσοφία του Arduino είναι πως αρχικά η συνάρτηση `setup()` θα πραγματοποιηθεί μια και μόνο φορά, και έπειτα η `loop()` θα επαναλαμβάνεται μέχρι να αποσυνδεθεί από την τροφοδοσία ή το κουμπί reset να πατηθεί.

Εάν το κουμπί του reset πατηθεί, γίνεται επανακίνηση του μικροελεγκτή, όπως δηλαδή ακριβώς και όταν ενεργοποιείται η μονάδα. Εφόσον έχουνε πραγματοποιηθεί αλλαγές του προγράμματος μας και το κάνουμε upload στον μικροελεγκτή, αρκεί να πατηθεί το κουμπί reset ώστε να φορτωθεί το πρόγραμμα από την αρχή με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 11 Περιβάλλον προγραμματισμού ArduinoIDE

### 6.1.2 Δηλώσεις μεταβλητών

Οι τύποι μεταβλητών που υποστηρίζονται στον μικροελεγκτή Arduino είναι πολλοί. Μερικές από τις πιο γνωστές είναι οι παρακάτω:

- Για χρήση τιμών 0 ή 1 (True/False) η **Boolean**
- Για τιμές μεταξύ 0 και 255 η **byte**
- Για ακέραιους αριθμούς μεταξύ -32768 και 32767 η **int**
- Για ακέραιους αριθμούς μεταξύ -2147483648 και 2147483647 η **long**
- Για δεκαδικούς αριθμούς η **float**
- Για χαρακτήρα με ελάχιστο μέγεθος το ένα Byte η **char**
- Για πίνακα χαρακτήρων η **string**

### 6.1.3 Συναρτήσεις διαχείρισης θυρών εισόδου - εξόδου

Η βασική λειτουργία του μικροελεγκτή βασίζεται στο να ελέγχει τους ακροδέκτες του και είτε να παίρνει ρεύμα από αυτούς είτε να παρέχει ρεύμα σε αυτούς. Κατά την αρχικοποίηση κάθε προγράμματος, στο εσωτερικό της συνάρτησης setup δηλαδή, χρειάζεται να γίνει χαρακτηρισμός των ακροδεκτών που θα χρησιμοποιηθούν ως



είσοδοι ή ως έξοδοι. Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση **pinMode**(Ακροδέκτης, Λειτουργία) ορίζουμε αν ένας ακροδέκτης θα λειτουργήσει σαν έξοδος ή σαν είσοδος.

Για παράδειγμα:

Για να χαρακτηρίσουμε έναν ακροδέκτη (π.χ το 10) ως είσοδο θα γράψουμε `pinMode(10, INPUT)` ενώ για να χαρακτηρίσουμε τον ίδιο ακροδέκτη ως έξοδο θα γράψουμε `pinMode(10, OUTPUT)`.

#### 6.1.4 Συναρτήσεις εισόδου-εξόδου ρεύματος

Για να καταφέρουμε την παροχή ρεύματος ενός ακροδέκτη (pin) αρχικά θα πρέπει να τον ορίσουμε ως έξοδο, όπως αναφέραμε προηγουμένως. Έτσι, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη εντολή μπορούμε να παρέχουμε την επιθυμητή τάση. Με τον ίδιο τρόπο, για να “διαβάσουμε” την τάση που φτάνει σε έναν ακροδέκτη, πρώτα ορίζουμε τον ακροδέκτη ως είσοδο και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την κατάλληλη συνάρτηση κάθε φορά διαβάζουμε την αντίστοιχη τιμή.

- Ψηφιακή έξοδος

Με την συνάρτηση **digitalWrite(Pin,Value)**, όπου το Pin είναι το νούμερο του ακροδέκτη και Value η τιμή της τάσης, δηλαδή 0V ή 5V, μπορούμε να δηλώσουμε ως έξοδο οποιουσδήποτε ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino θελήσουμε εμείς.

Για να παρέχουμε 0V στην έξοδο το Value θα πρέπει να είναι LOW

Για να παρέχουμε 5V στην έξοδο το Value θα πρέπει να είναι HIGH

Για παράδειγμα:

Από την στιγμή που ένας ακροδέκτης (π.χ ο 10) έχει οριστεί ως έξοδος για να του δώσουμε 5V θα γράψουμε `DigitalWrite(10, HIGH)` ενώ για να του δώσουμε 0V θα γράψουμε `DigitalWrite(10, LOW)`.

- Ψηφιακή είσοδος

Με τη συνάρτηση **digitalRead(Pin)**, όπου το Pin είναι το νούμερο του ακροδέκτη, μπορούμε να δηλώσουμε ως είσοδο οποιουσδήποτε ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino θελήσουμε εμείς. Αυτό μας επιτρέπει να δούμε τι τιμή έχει μια είσοδος, με τις πιθανές τιμές να είναι 0V ή 5V, οι οποίες αναπαρίστανται ως LOW και HIGH αντίστοιχα.

Για παράδειγμα:

Από την στιγμή που ένας ακροδέκτης (π.χ ο 10) που έχει οριστεί σαν είσοδος, μπορεί να διαβαστεί χρησιμοποιώντας την εντολή `Vin = digitalRead(10)`. (Το `Vin` είναι ένα τυχαίο όνομα που επιλέξαμε να «θυμάται» τι τιμή διάβασε από τον ακροδέκτη 10).

- Αναλογική έξοδος

Μερικοί εκ των 14 ακροδεκτών του Arduino έχουν την ένδειξη PWM, αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε για να προσομοιώσουμε αναλογική έξοδο μέσω παλμού κωδικής διαμόρφωσης. Με αυτόν τον τρόπο χρησιμοποιώντας ένα εύρος τιμών μεταξύ 0 και 255 προσομοιάζουμε αναλογικά το εύρος μεταξύ 0V και 5V. Αυτό το καταφέρνουμε χρησιμοποιώντας την συνάρτηση **`analogWrite(Pin, Value)`**, όπου το `Pin` είναι το νούμερο του ακροδέκτη που θα χρησιμοποιήσουμε σαν έξοδο και το `Value` είναι η τάση που θα παρέχει. Με μέγιστη τιμή τα 5V και ελάχιστη τα 0V και 256 τιμές κάνοντας την διαίρεση  $5/256$  βρίσκουμε σε πόσα Volt αντιστοιχεί κάθε μονάδα.

Για παράδειγμα:

Αν θέλουμε να δώσουμε 2,5V σε έναν ακροδέκτη (π.χ τον 10) θα γράψουμε την εντολή `analogWrite(10, 122)` αφού πρώτα την έχουμε δηλώσει ως έξοδο. Ο αριθμός 122 στην τιμή του `Value` αντιστοιχεί στα 2,5V καθώς αν χωρίσουμε τα 5V σε 256 μέρη το 122 θα μας δώσει αυτό το αποτέλεσμα. Υπενθυμίζουμε πως οι ακροδέκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PWM είναι οι: 3,5,6,9,10,11.

- Αναλογική είσοδος

Το Arduino μας παρέχει 6 αναλογικές εισόδους, τις οποίες τις καταλαβαίνουμε από τα σύμβολα A0 έως A5.

Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση **`analogRead(Pin)`**, όπου το `Pin` αναφέρεται στο νούμερο του ακροδέκτη τον οποίο θέλουμε να «διαβάσουμε», μπορούμε να συνδέσουμε διαφορά αναλογικά εξαρτήματα και να τα διαβάσουμε ως εισόδους. Η συνάρτηση μας επιστρέφει μια τιμή μεταξύ 0 και 1023 .

Για παράδειγμα:

Αν θέλουμε να διαβάσουμε την τιμή από έναν ακροδέκτη(π.χ τον 10) και να την αποθηκεύσουμε με κάποιο όνομα (όπως κάναμε παραπάνω με το `Vin`) τότε θα γράψουμε την εντολή `Vin = analogRead(10)` έφσον ο ακροδέκτης έχει δηλωθεί ως είσοδος.

### 6.1.5 Συναρτήσεις χρόνου

Αρκετές φορές μπορεί να χρειαστούμε την καταγραφή ή την διαχείριση του χρόνου σε κάποιο από τα προγράμματά μας. Αυτό το καταφέρνουμε με κάποιες ήδη υπάρχουσες συναρτήσεις.

- delay()

Η συνάρτηση αυτή μας επιτρέπει να «παγώσουμε» το πρόγραμμα για τον χρόνο που ορίζουμε εμείς. Αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την συνάρτηση ως εξής, delay(time) όπου το time είναι ο χρόνος σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms).

Για παράδειγμα:

Εάν θέλουμε να «παγώσουμε» τον κώδικα μας για 2 δευτερόλεπτα ώστε να δούμε την θερμοκρασία που μετρήσαμε μπορούμε να γράψουμε την εντολή delay(2000).

- millis()

Από την στιγμή που το Arduino ενεργοποιηθεί ή του κάνουμε reset, μετράει τον χρόνο που λειτουργεί μέσω ενός ενσωματωμένου ρολογιού που διαθέτει. Την παραπάνω πληροφορία μπορούμε να την δούμε όποτε θελήσουμε εμείς καλώντας την συνάρτηση millis(), που θα μας επιστρέψει τον χρόνο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) από την ενεργοποίηση της μονάδας έως και 50 ημέρες. Η λειτουργία αυτή μας χρησιμεύει στο να «θυμόμαστε» διάφορα πράγματα, όπως για παράδειγμα πότε πατήθηκε ένα κουμπί.

Για παράδειγμα:

Εάν θέλουμε να δούμε τον χρόνο που έχει περάσει από την στιγμή που τρέχει το πρόγραμμα μας μπορούμε να δηλώσουμε μια μεταβλητή ως MyTime = millis() και στη συνέχεια για να δούμε τον χρόνο αυτόν να γράψουμε την εντολή Serial.println(MyTime).

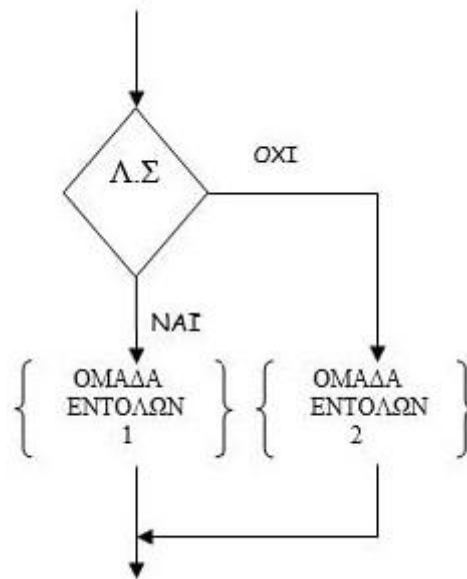
### 6.1.6 Δομή επιλογής

Η δομή επιλογής μας επιτρέπει να ελέγξουμε κάποια ή κάποιες συνθήκες για να παρθεί η απόφαση σχετικά με το ποιο τμήμα κώδικα θα εκτελεστεί. Ένα σχετικό παράδειγμα είναι το παρακάτω:

```
if (συνθήκη) {εντολές 1}
else {εντολές 2}
```

,όπου η συνθήκη είναι ο έλεγχος που θέλουμε να πραγματοποιηθεί. Για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος χρησιμοποιούμε τους τελεστές σύγκρισης (>=, >, <=, <, ==, !=), π.χ. Button1 == HIGH. Σε περίπτωση που θέλουμε μια πιο σύνθετη συνθήκη χρησιμοποιούμε τους λογικούς τελεστές ( για το «ΚΑΙ» &&, ενώ για το «Η» ||), για παράδειγμα (Button1 ==HIGH) || (Button2 == HIGH). Όσο αναφορά το κομμάτι των

εντολών, αν ισχυεί η συνθήκη1 θα εκτελεστεί η εντολή1, αν ισχυεί η συνθηκη2 θα εκτελεστεί η εντολή2 και ούτω καθεξής. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται το διάγραμμα ροής της σύνθετης δομής επιλογής.



Εικόνα 12 Διάγραμμα ροής της σύνθετης δομής επιλογής  
( <http://www.algorithmos.gr/domi-epilogis-aepp.html> )

### 6.1.7 Δομή επανάληψης

Πολλές φορές θα χρειαστεί να γίνει επανάληψη κάποιας διαδικασίας παραπάνω από μία φορά. Γι' αυτό τον λόγο υπάρχουν κάποιες εντολές οι οποίες εκτελούν το σύνολο των εντολών επαναλαμβανόμενα για όσες φορές ορίσουμε, αυτό πραγματοποιείται είτε μέσω ελέγχου των συνθηκών είτε απαριθμώντας των αριθμό των επαναλήψεων. Ο συνηθέστερος τρόπος που αποτυπώνεται αυτή η διαδικασία είναι με τον προκαθορισμένο αριθμό βημάτων, και συντάσσεται ως εξής:

for(τιμή εκκίνησης ; τιμή τερματισμού ; βήμα αυξομείωσης)

{εντολές }

,όπου μια μεταβλητή ελέγχου χρησιμοποιείται ως εξής:

Τιμή εκκίνησης : δίνεται μια τιμή ως αρχική π.χ.  $a = 1$

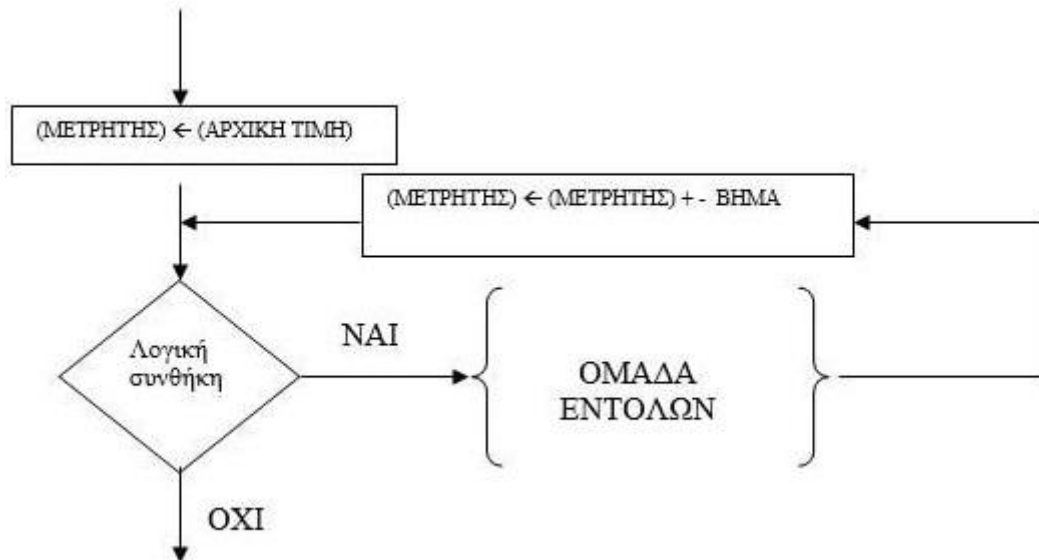
Βήμα: δίνεται η αυξομείωση της μεταβλητής για κάθε επανάληψη, π.χ.  $a+10$  (ένας άλλος τρόπος είναι χρησιμοποιώντας το  $a++$  και σημαίνει ότι κάθε φορά η τιμή αυξάνεται κατά 1 μονάδα)

Τιμή τερματισμού: είναι η τιμή που όταν φτάσουμε σε αυτή, η επανάληψη τελειώνει, π.χ.  $a < 15$  ( όσο το  $a$  θα είναι μικρότερο του 15 θα τρέχει κανονικά η επανάληψη μας)

Για παράδειγμα: Σε περίπτωση που θέλουμε να επαναλάβουμε μια διαδικασία θα γράψουμε `for (i=1;i=20; i++){`

Διαδικασία που θέλουμε να επαναλάβουμε

};



Εικόνα 13 Διάγραμμα ροής της δομής επανάληψης For  
( <http://www.algorithmos.gr/domi-epanalipsis.html> )

Για να πραγματοποιήσουμε έναν προκαθορισμένο αριθμό βήματων συνεχίζοντας επ' άοριστο τον έλεγχο μιας συνθήκης υπάρχουν διάφορες εντολές. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε την παρακάτω:

- `while (συνθήκη) {εντολές}` : Όσο η συνθήκη είναι αληθής, θα συνεχίζει να πραγματοποιείται η επανάληψη των εντολών.

### 6.1.8 Σειριακή θύρα επικοινωνίας

Το Arduino παρέχει μια σειριακή θύρα επικοινωνίας μεταξύ της πλακέτας και του υπολογιστή ή κάποιας συσκευής που θέλουμε. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η σύνδεση με καλώδιο USB όταν πρόκειται για τον υπολογιστή ή τα pins 0 και 1 όταν θέλουμε κάποια πιο εξειδικευμένη σύνδεση (π.χ. με κάποια άλλη συσκευή). Για το λόγο αυτό προτείνεται, αν δεν είναι απαραίτητο στις εφαρμογές, να μην χρησιμοποιούνται τα pins αυτά. Για να ενεργοποιήσουμε τη σειριακή θύρα επικοινωνίας, αρκεί να δοθεί στην διαδικασία `setup()` η εντολή `Serial.begin(BaudRate)`, όπου το `BaudRate` καθορίζει το πόσο γρήγορα αποστέλλονται δεδομένα μέσω μιας σειριακής γραμμής. Συνήθως εκφράζεται σε μονάδες `bits-per-second (bps)`. Εάν αντιστραφεί το `BaudRate`, μπορείτε να μάθετε πόσο καιρό χρειάζεται για να μεταδοθεί ένα μόνο bit. Αυτή η τιμή καθορίζει πόσο χρονικό διάστημα ο πομπός διατηρεί μια σειριακή γραμμή σε υψηλό ή χαμηλό

επίπεδο ή σε ποια χρονική στιγμή η συσκευή λήψης κάνει δειγματοληψία της γραμμής του. Οι ρυθμοί μετάδοσης μπορεί να είναι σχεδόν οποιαδήποτε τιμή εντός λογικής. Η μόνη απαίτηση είναι ότι και οι δύο συσκευές λειτουργούν με τον ίδιο ρυθμό. Ένας από τους πιο κοινούς ρυθμούς μετάδοσης, ειδικά για απλά πράγματα όπου η ταχύτητα δεν είναι κρίσιμη, είναι 9600 bps.

Για παράδειγμα:

Εάν θελήσουμε BaudRate στα 9600 bps θα γράψουμε `Serial.begin(9600)`.

Άλλες "τυπικές" τιμές είναι 1200, 2400, 4800, 19200, 38400, 57600 και 115200bps. Όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα μετάδοσης, τόσο ταχύτερα τα δεδομένα αποστέλλονται ή λαμβάνονται, αλλά υπάρχουν όρια για το πόσο γρήγορα μπορούν να μεταφερθούν. Συνήθως δεν θα δείτε ταχύτητες άνω των 115200bps, διότι είναι μεγάλη ταχύτητα για τους περισσότερους μικροελεγκτές. Εάν δοκιμάσουμε μεγαλύτερες ταχύτητες της προαναφερθείσας, θα είναι εμφανή τα σφάλματα στο τέλος λήψης, καθώς τα ρολόγια και οι περίοδοι δειγματοληψίας απλά δεν μπορούν να συμβαδίσουν.

Η σειριακή θύρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές αμφίδρομης επικοινωνίας, πιο απλά, να σταλούν και να ληφθούν δεδομένα. Η εκσφαλμάτωση γνωστή και ως debugging των προγραμμάτων είναι μια τέτοια περίπτωση, δηλαδή ο χρήστης μέσω της οθόνης σειριακής επικοινωνίας να μπορεί να δει τις τιμές των μεταβλητών καθώς και τι τιμές έχουν οι μετρητές. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της εντολής `print()`, η οποία πραγματοποιεί εκτύπωση του μηνύματος ή των τιμών, ή μέσω της `println()` για την ίδια ακριβώς λειτουργία με την διαφορά ότι κάθε φορά αλλάζει γραμμή. Για παράδειγμα:

Εάν θελήσουμε να εκτυπώσουμε ένα μήνυμα που να λέει να πατήσουμε το κουμπί θα γράψουμε `print("Pressthebutton")` και θα μας το εκτύπώσει είτε στην σειριακή οθόνη του λογισμικού του Arduino είτε σε κάποια οθόνη που έχουμε συνδέσει εμείς στην κατασκευή μας χωρίς να αλλάξει γραμμή. Εάν θελήσουμε να κάνουμε την παραπάνω ενέργεια και στη συνέχεια να πάμε στην επόμενη γραμμή θα γράψουμε `println("Pressthebutton")`.

Εφόσον η θύρα USB του υπολογιστεί έχει συνδεθεί με το Arduino, γίνεται ενεργοποίηση της σειριακής οθόνης μέσω του εικονιδίου που βρίσκεται πάνω δεξιά και λέει «Σειριακή Οθόνη» όπως βλέπουμε και στην εικόνα 14. Στη συνέχεια αφού πατήσουμε την επιλογή αυτή ανοίγει ένα παράθυρο το οποίο μας επιτρέπει να δούμε τα μηνύματα που έχουν σταλεί από τον φορτωμένο κώδικα που τρέχει στην πλακέτα.



Εικόνα 14 Σειριακή οθόνη

Επιπρόσθετα, υπάρχει και η εγγενής σειριακή υποστήριξη η οποία «συμβαίνει» μέσω ενός υλικού ενσωματωμένου στο τσιπ, που ονομάζεται UART. Αυτό το υλικό επιτρέπει στο τσιπ Atmega να λαμβάνει σειριακή επικοινωνία ακόμη και όταν εργάζεται σε άλλες εργασίες, αρκεί να υπάρχει χώρος στο 64 byteserialbuffer. Η βιβλιοθήκη SoftwareSerial έχει αναπτυχθεί για να επιτρέπει την σειριακή επικοινωνία σε άλλες ψηφιακές ακίδες του Arduino, χρησιμοποιώντας λογισμικό για την αναπαραγωγή της λειτουργικότητας (εξ ου και το όνομα "SoftwareSerial"). Είναι πιθανό να έχετε πολλαπλές σειριακές θύρες λογισμικού με ταχύτητες μέχρι 115200 bps.

Ωστόσο, η βιβλιοθήκη έχει κάποιους γνωστούς περιορισμούς, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Εάν χρησιμοποιείτε πολλαπλές σειριακές θύρες λογισμικού, μόνο μία μπορεί να λαμβάνει δεδομένα σε μια στιγμή.
- Μόνο τα συγκεκριμένα pin στη βάση στήριξης Mega και Mega 2560 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το RX: A15 (69), A14 (68), A13 (67), A12 (66), A11 (65), A10 (64), A9 (63), A8 (62), 53, 52, 51, 50, 15, 14, 13, 12, 11, 10.
- Μόνο τα συγκεκριμένα pin στα Leonardo και Micro μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το RX: 8, 9, 10, 11, 14 (MISO), 15 (SCK), 16 (MOSI).
- Στο Arduino ή Genuino 101 η τρέχουσα μέγιστη ταχύτητα RX είναι 57600bps.
- Στο Arduino ή Genuino 101 το RX δεν λειτουργεί στο Pin 13.

### 6.1.9 Μεταφόρτωση προγράμματος στη μονάδα Arduino

Κατά την μεταφόρτωση του προγράμματος που έχουμε επιλέξει στη μονάδα, θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί σύνδεση μέσω ενός καλωδίου USB με τον υπολογιστή. Στη συνέχεια το Arduino θα πρέπει να αναγνωριστεί από τον υπολογιστή ως σειριακή θύρα, έτσι ώστε ο πίνακας ελέγχου του Η/Υ να μπορέσει να το επιβεβαιώσει.

Από το μενού Εργαλεία του ArduinoIDE υπάρχει η δυνατότητα επιλογής:

- Πλακέτα - τσεκάρουμε τον τύπο της μονάδας που θα χρησιμοποιήσουμε. π.χ. ArduinoNano

- Σειριακή θύρα - είναι η σειριακή θύρα που έχει αντιστοιχίσει το λειτουργικό στην πλακέτα Arduino που συνδέεται μέσω του USB καλωδίου. Στα Windows αυτή θα είναι της μορφής COMX (π.χ. COM3, COM11), ενώ στο Linux η θύρα θα εμφανιστεί ως /dev/ttyXXX.

Στην συνέχεια, επιλέγουμε το πλήκτρο της μεταγλώττισης το οποίο θα ελέγξει το πρόγραμμα για τυχόν λάθη και θα το προετοιμάσει για μεταμόρφωση στην πλακέτα. Στην περίπτωση που υπάρχουν λάθη, αυτά εμφανίζονται με την μορφή μηνυμάτων με κόκκινο χρώμα στο κάτω μέρος της οθόνης.



Εικόνα 15 Μεταγλώττιση sketch

Τέλος, εφόσον έχουν εκτελεστεί επιτυχώς όλα τα παραπάνω και έχει μεταγλωττιστεί το πρόγραμμα χωρίς λάθη, μπορούμε να μεταφορτώσουμε το πρόγραμμα στη μονάδα πατώντας το πλήκτρο της φόρτωσης και αυτό να ξεκινήσει να τρέχει σε πραγματικό περιβάλλον. Κατά την διαδικασία αυτή, η μεταγλώττιση πραγματοποιείται αυτόματα.



Εικόνα 16 Μεταμόρφωση sketch

## 6.2 Κώδικας

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή Arduino.

```
#include<Adafruit_GFX.h>
#include<Adafruit_GrayOLED.h>
#include<Adafruit_SPITFT.h>
#include<Adafruit_SPITFT_Macros.h>
#include<gfont.h>
```

```
#include<DFRobot_MLX90614.h>
#include<Wire.h>
#include<Adafruit_MLX90614.h>
#include<Adafruit_SSD1306.h>
DFRobot_MLX90614_I2C sensor;
```

```
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
```



Στο παραπάνω κομμάτι του κώδικα με την εντολή **#include** δηλώνουμε ότι θέλουμε να συμπεριλάβουμε τις αντίστοιχες «βιβλιοθήκες», στην προκειμένη περίπτωση είναι βιβλιοθήκες σχετικά με τον αισθητήρα θερμοκρασίας και την οθόνη LED. Όσον αφορά την εντολή «**DFRobot\_MLX90614\_I2Csensor**;» χρησιμοποιείται για να μπορέσουμε να αλλάξουμε στη συνέχεια τον λόγο της ενέργειας που ακτινοβολείται από ένα υλικό-επιφάνεια ως προς εκείνη που ακτινοβολείται από τον πομπό. Τέλος χρησιμοποιούμε την εντολή **#define** για να δηλώσουμε τις διαστάσεις της οθόνης LED που χρησιμοποιείται σε pixels.

```
constint Laser_Pin=5;
constint buzzer=10;
int buttonState = 0;
constint buttonPin = 2;
```

```
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
```

```
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
```

Όπως είδαμε παραπάνω με την εντολή «int» δηλώνουμε μια μεταβλητή, ενώ με την εντολή «const» δηλώνουμε ότι είναι σταθερή η τιμή και ότι δεν θα αλλάξει στην πορεία. Συγκεκριμένα στο παραπάνω κομμάτι κώδικα βλέπουμε ότι έχουμε δηλώσει πως στον ακροδέκτη D5 (ακροδέκτης 8 του Arduino nano) είναι συνδεδεμένο το λέιζερ, στον ακροδέκτη D10 (ακροδέκτης 13 του Arduino nano) το ηχειάκι ενώ στον ακροδέκτη D2 (ακροδέκτης 5 του Arduino nano), ενώ έχουμε δηλώσει το buttonState ως μια μεταβλητή που όπως θα δούμε παρακάτω θα αλλάξει τιμή. Τέλος δηλώνουμε ότι θέλουμε να δεσμεύσουμε συγκεκριμένους ακροδέκτες για την οθόνη LED και τον αισθητήρα.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Adafruit MLX90614 test");
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(Laser_Pin, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { // Address 0x3D
    for 128x64
      Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
      for(;;);
  }
  sensor.setEmissivityCorrectionCoefficient(.98);

  display.clearDisplay();
  display.setRotation(0);
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);

  mlx.begin();
}
```

Στη συνέχεια, με την εντολή **void setup()** «εκτελούμε» ένα κομμάτι του κώδικα μια φορά μόνο, σε αυτό το κομμάτι δηλώνουμε την λειτουργία των ακροδεκτών που δεσμεύσαμε στο παραπάνω κομμάτι κώδικα, δηλαδή αν θα είναι

είσοδοι ή έξοδοι καθώς και την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από το Arduino στην οθόνη, όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι 9600 bits ανα δευτερόλεπτο. Στο υπόλοιπο μέρος δηλώνουμε τον λόγο της ενέργειας που ακτινοβολείται από ένα υλικό-επιφάνεια ως προς εκείνη που ακτινοβολείται από τον πομπόμεσως της εντολής `sensor.setEmissivityCorrectionCoefficient(.98);` και το δηλώνουμε στο  $0.98^{17}$  ( η κλίμακα είναι από 0 για έναν τέλειο ανακλαστήρα έως 1 για έναν τέλειο εκπομπό) και διάφορα δεδομένα σχετικά με την οθόνη, όπως τι χρώμα και μέγεθος θα είναι τα γράμματα και σε ποια θέση θα εμφανίζεται το κείμενο (δηλαδή στις 0-90-180-360 μοίρες).

```
voidloop() {

    buttonState =digitalRead(buttonPin);

    float temp = mlx.readObjectTempC()*1.045;;

    if (buttonState ==HIGH) {

        digitalWrite(Laser_Pin,HIGH);
        if (temp<35)
        {
            display.clearDisplay();
            display.setTextSize(2); //Size 2 means each pixel is 12 width
and 16 high
            display.setCursor(45, 25);
            display.print("LOW");
            display.display();

            digitalWrite(buzzer,HIGH);

            delay(200);
            digitalWrite(buzzer ,LOW);
            delay(200);
            digitalWrite(buzzer,HIGH);
            delay(200);
            digitalWrite(buzzer ,LOW);
            delay(1400);

        }

        if (temp>35 && temp <40)
        {
            display.clearDisplay();
            display.setTextSize(2); //Size 2 means each pixel is 12 width
and 16 high
            display.setCursor(25, 25);

            display.print(temp);
            display.setCursor(95, 25);
            display.print("C");
            display.display();
            digitalWrite(buzzer,HIGH);
            delay(200);
            digitalWrite(buzzer ,LOW);
            delay(1800);
        }
    }
}
```

```

if (temp>40)
{
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(2); //Size 2 means each pixel is 12 width
and 16 high
  display.setCursor(45, 25);
  display.print("HIGH");
  display.display();
  digitalWrite(buzzer,HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(buzzer,LOW);
}
}

```

Με την εντολή `void loop()` κάνουμε ότι και με την `void setup()` με την διαφορά πως αντί ο κώδικας που βρίσκεται μέσα στην εντολή να εκτελεστεί μία φορά, εκτελείται συνεχώς κάνοντας την ίδια λούπα. Συγκεκριμένα στο πρώτο κομμάτι που υπάρχει μέσα σε αυτή τη λούπα βλέπουμε πως έχουμε θέσει να διαβάσει την κατάσταση του διακόπτη ( 1 για πατημένος και 0 για μη πατημένος) και έχουμε δηλώσει μια μεταβλητή τύπου `float` την οποία την έχουμε ονομάσει `temp` και είναι η θερμοκρασία που μετράει ο αισθητήρας με μια άυξηση 4,5%, αυτό προκύπτει από τις μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια δοκιμών του θερμομέτρου. Εν συνεχεία στο δεύτερο κομμάτι του κώδικα δηλώνουμε πως πατώντας το κουμπί θα ανάψει το λείζερ και εάν η θερμοκρασία `temp` είναι χαμηλότερη από 35 βαθμούς κελσίου θα εμφανιστεί στην οθόνη η λέξη «LOW» και θα ηχήσει το ηχειάκι 2 φορές για 200ms , στην περίπτωση που η θερμοκρασία είναι μεταξύ 35 και 40 βαθμών κελσίου θα εμφανίσει την θερμοκρασία με την μορφή «36,6 C» και το ηχειάκι θα ηχήσει για 200ms μία φορά ενώ τέλος αν η θερμοκρασία ξεπερνάει τους 40 βαθμούς θα δούμε την λέξη «HIGH» και θα ηχήσει το ηχειάκι για 2000ms.

```

else {

  digitalWrite(Laser_Pin,LOW);

  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1); //Size 2 means each pixel is 12 width
and 16 high
  display.setCursor(35, 20);
  display.print("Press The");
  display.setCursor(105, 20);
  display.print("");
  display.setTextSize(1);
  display.setCursor(35, 36);
  display.print("  Button");
  display.setCursor(105, 36);
  display.print("");
  display.display();

}

```

Τέλος, στο τρίτο κομμάτι της εντολής `voidloop()` δηλώνουμε μέσω της εντολής `else` πως αν ο διακόπτης δεν είναι πατημένος το λείζερ θα είναι κλειστό και θα αναγράφεται το κείμενο «PressTheButton».

## 7. Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις

Μετρήσεις Θερμομέτρου αναφοράς – Θερμομέτρου κατασκευής						
Φύλο	Αρίθμηση	Ηλικία	Θερμοκρασία θερμομέτρου αναφοράς	Θερμοκρασία κατασκευής	Διαφορά θερμοκρασίας	Ποσοστιαία διαφορά θερμοκρασίας(%)
Άνδρας	1	25	37,4	37,6	0,2	0,53
	2	24	36,6	36,6	0	0
	3	24	36,6	36,7	0,1	0,27
	4	60	36,5	36,4	0,1	0,27
	5	25	38,6	38,9	0,3	0,77
Γυναίκα	6	17	37,0	36,9	0,1	0,27
	7	50	36,6	36,6	0	0
	8	24	36,6	36,4	0,2	0,55
	9	26	36,4	36,3	0,1	0,27
	10	25	36,6	36,8	0,2	0,54

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα ψηφιακό θερμόμετρο υπερύθρων. Το θερμόμετρο αυτό έχει την δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος (35-40 βαθμούς Κελσίου) και αποτελείται από 1) τον μικροελεγκτή Arduino Nano, 2) τον αισθητήρα MLX60914, 3) μια οθόνη LCD, 4) ένα λείζερ.

Κατά την υλοποίηση του χρειάστηκαν αρκετές μετρήσεις ώστε να εφαρμοστεί ένας φάκτορας ο οποίος θα παρέχει ένα αποτέλεσμα όσο πιο κοντά γίνεται στο θερμόμετρο αναφοράς. Για να υπολογιστεί η ακρίβεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε διάφορα άτομα και των δύο φύλων και διαφόρων ηλικιών και το αποτέλεσμα ήταν μια απόκλιση +/- 0,8% δηλαδή γύρω στους 0,3 βαθμούς Κελσίου, το οποίο είναι απόλυτα φυσιολογικό καθώς ακόμα και θερμόμετρα του εμπορίου μπορούν να έχουν διαφορές αυτής της τάξης. Επίσης όπως βλέπουμε και στις μετρήσεις παραπάνω επιβεβαιώνεται η διαφορά θερμοκρασίας λόγω διαφοράς ηλικίας, ώρας που μετρήθηκε η θερμοκρασία όπως και της σωματικής άσκησης καθώς βλέπουμε ότι ο «παρατηρούμενος» νούμερο 4 έχει λίγο χαμηλότερη θερμοκρασία από τους υπόλοιπους, όπως ακριβώς και η «παρατηρούμενη» νούμερο 9 της οποίας η μέτρηση έγινε κατά την βραδινή ώρα, τέλος βλέπουμε πως η «παρατηρούμενη» νούμερο 6 έχει αυξημένη θερμοκρασία καθώς μετρήθηκε κατά την μεσημεριανή ώρα μετά από άσκηση. Όσον αφορά την θερμοκρασία των «παρατηρούμενων» 1 και 5, μπορούμε να καταλάβουμε πως έχουν πυρετό παρόλο που έχει απόκλιση 0,3 βαθμούς σε σχέση με το θερμόμετρο του εμπορίου.

Καταλλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως αν και η συσκευή είναι σε μια αρκετά απλή μορφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαπιστωθεί αν κάποιος έχει

υπερθερμία ή υποθερμία. Σαν μελλοντική επέκταση/αναβάθμιση θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια LCD οθόνη με χρώματα ή ένα RGBLED ώστε ανάλογα την θερμοκρασία να ανάβει το ανάλογο χρώμα στην οθόνη/LED, καθώς και να χρησιμοποιηθούν μερικοί ακόμα διακόπτες οι οποίοι θα εναλλάσσουν τον τρόπο λειτουργίας του σε θερμοκρασία σώματος ή σε θερμοκρασία χώρου/αντικειμένων (για παράδειγμα από 0 έως 100 βαθμούς Κελσίου), να εναλλάσσεται η μονάδα μέτρησης από Κελσίου σε Φαρενάιτ, καθώς και να ενεργοποιεί/απενεργοποιεί το ηχειάκι, επίσης θα μπορούσε μέσω Wifi να αποστέλλονται οι μετρήσεις σε μια βάση δεδομένων οι οποία θα έχει τα στοιχεία του εκάστοτε ασθενή ή ακόμα και μέσω Bluetooth να αποστέλλεται στο κινητό του ασθενή ώστε να τα έχει σε έναν «ιατρικό φάκελο». Βέβαια για να γίνει η τελευταία αναβάθμιση που αναφέρθηκε πρέπει να αντικατασταθεί ο μικροελεγκτής και να τοποθετηθεί ο ArduinoNano 33 IOT.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Jones, Andrew Zimmerman. "Temperature Definition in Science." Thought Co, Aug. 26, 2020, [thoughtco.com/temperature-definition-in-science-2699014](https://www.thoughtco.com/temperature-definition-in-science-2699014).
- [2] Michalski, L., Eckersdorf, K., Kucharski, J., & McGhee, J. (2002). Temperature measurement, *Measurement Science and Technology*, 2nd edn (13), doi: 10.1088/0957-0233/13/10/702
- [3] McIldowie, E. (1998). Introducing temperature scales. *Physics Education*, 33(6), 368-372. doi.org/10.1088/0031-9120/33/6/017
- [4] Doran, P. M. (2013). Introduction to Engineering Calculations. *Bioprocess Engineering Principles*, 13–44. doi:10.1016/b978-0-12-220851-5.00002-2 Jean Tate(2009), What is Absolute Temperature?,<https://www.universetoday.com/46840/absolute-temperature/>
- [5] Jean Tate. (2015, December 25). What is absolute temperature? *Universe Today*. <https://www.universetoday.com/46840/absolute-temperature/>
- [6] Romer, R. H. (1982). Temperature scales: Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Réamur, and Ro/mer. *The physics teacher*, 20(7), 450-454.

- [7] Lee Johnson. (2018, April 26). How to calculate the change in temperature. *Sciencing*. <https://sciencing.com/calculate-change-temperature-2696.html>
- [8] Andrew Rubin. (2018, January 11). History of thermometers. *Health Beat*. <https://jamaicahospital.org/newsletter/history-of-thermometers/>
- [9] Dowding, D., Freeman, S., Nimmo, S., Smith, D., & Wisniewski, M. (2002). An investigation into the accuracy of different types of thermometers. *Professional Nurse (London, England)*, 18(3), 166-168.
- [10] Καρπούζας. Κεφάλαιο: Θερμότητα, Σημειώσεις Φυσικής.  
[https://www.aua.gr/fysiki/ekpaideysh\\_fysikh/shmeiwseis/karpusas/Thermo1.pdf](https://www.aua.gr/fysiki/ekpaideysh_fysikh/shmeiwseis/karpusas/Thermo1.pdf)
- [11] Kaviany, M. (2014). Heat Transfer Physics (2nd ed.). *Cambridge*: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107300828
- [12] Μαρία Ασημάκη. (2009). Κεφάλαιο: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ. *Θέματα αναισθησιολογίας και εντατικής ιατρικής*, 19(39). ISBN 1105-7572
- [13] Pušnik, I., & Miklavec, A. (2009). Dilemmas in Measurement of Human Body Temperature. *Instrumentation Science & Technology*, 37(5), 516–530. doi:10.1080/10739140903149061
- [14] Buse, M., & Werner, J. (1985). Heat balance of the human body: Influence of variations of locally distributed parameters. *Journal of Theoretical Biology*, 114(1), 34–51. doi:10.1016/s0022-5193(85)80254-x
- [15] Dakappa, P. H., & Mahabala, C. (2015). Analysis of Long-Term Temperature Variations in the Human Body. *Critical Reviews™ in Biomedical Engineering*, 43(5-6), 385–399. doi:10.1615/critrevbiomedeng.2016
- [16] Arduino Nano. 2018. Arduino Nano. A MOBICON Company (2018)
- [17] The effect of constitutive pigmentation on the measured emissivity of human skin

