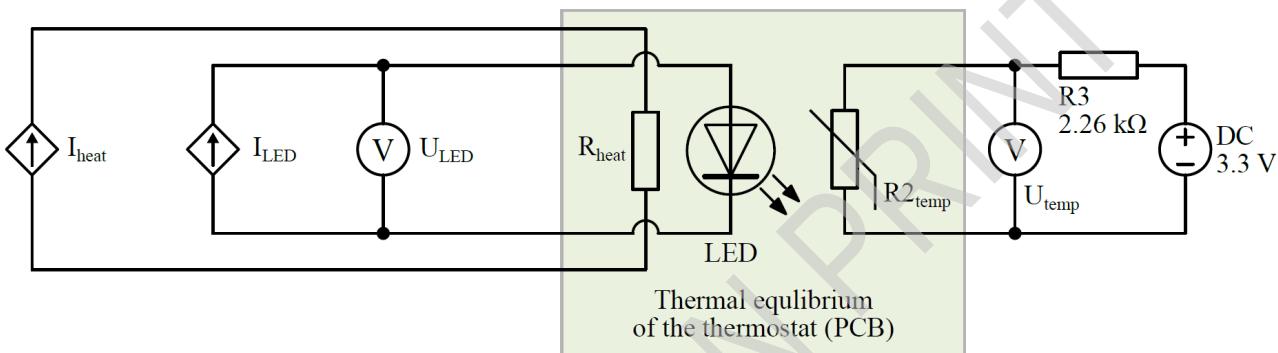


Δίοδοι Εκπομπής Φωτός (LEDs) (10 Μονάδες)

Το πείραμα αυτό σχεδιάστηκε για την διερεύνηση των θερμικών και των ηλεκτρικών ιδιοτήτων μιας LED. Για τις μετρήσεις θερμοκρασίας του του *Τυπωμένου Κυκλώματος* (*printed circuit board* ή PCB) θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε τις τιμές των συντελεστών που βρήκατε στο ερώτημα B.1 του Πειράματος 1. Το ηλεκτρικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται σε αυτό το πείραμα φαίνεται στην Εικ. 2.1. Για τον οδηγό που σχετίζεται με τον εξοπλισμό δείτε την περιγραφή για την ερώτηση 1.



Εικόνα 2.1. Πειραματική διάταξη του πειράματος που διερευνά τις διόδους LED. Οι δίοδοι LED τροφοδοτούνται από σταθερό ρεύμα (είτε επιλέξτε την κατάσταση αδιάκοπης λειτουργίας ή την κατάσταση λειτουργίας διακριτών παλμών ρεύματος) και από τάση ορθής πόλωσης (με αυτήν και μόνο επιτρέπεται στο ρεύμα να περάσει, ενώ με την αντίθετη το ρεύμα δεν περνά από τη δίοδο), η οποία μετριέται με Βολτόμετρο πολύ υψηλής αντίστασης. Οι μετρήσεις θερμότητας και θερμοκρασίας έχουν ήδη πραγματοποιηθεί στο Πείραμα 1 και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εδώ αν χρειαστεί. Η θερμική ισορροπία διατηρείται μεταξύ όλων των εξαρτημάτων στην πλακέτα του PCB.

Οι δίοδοι LED τυπικά λειτουργούν τροφοδοτούμενες από σταθερό ρεύμα σε αντίθεση με την σταθερή τάση που χρησιμοποιείται στα άκρα λαμπτήρων πυρακτώσεως. Η μετρούμενη τάση στα άκρα των LED εξαρτάται από τις ρυθμίσεις στο ρεύμα και τη θερμοκρασία του ημιαγωγού. Η μαθηματική έκφραση των χαρακτηριστικών volt-ampere (V-I τάσης-ρεύματος) είναι περίπλοκη και εξαρτάται από φυσικές και τεχνολογικές παραμέτρους, οι οποίες συνήθως δεν είναι γνωστές. Επομένως, σε αυτό το πείραμα η δισδιάστατη εξάρτηση της τάσης στα άκρα της ως συνάρτηση του ρεύματος που διαρρέει τη δίοδο LED και της θερμοκρασίας αδιάκοπης λειτουργίας του ημιαγώγιμου υλικού T_J θα πρέπει να διερευνηθεί:

$$U_{LED} = \text{function}(I_{LED}, T_J).$$

Η θερμική αντίσταση μεταξύ του ημιαγώγιμου υλικού της LED και του PCB σχετίζεται με την ηλεκτρική ισχύ P όπως περιγράφεται ακολούθως (για διάφορες τιμές του ρεύματος (I_{LED})):

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{(T_J - T_{PCB})}{P}.$$

Προσοχή: Οι δίοδοι LED μπορούν να τροφοδοτούνται με σταθερό ρεύμα είτε σε κατάσταση αδιάκοπης λειτουργίας ή σε κατάσταση διακριτών παλμών μικρής διάρκειας. Στην τελευταία περίπτωση, θεωρείται ότι η διάρκεια του παλμού είναι αρκετά μικρή για να αποφευχθεί η αυτο-θέρμανση της διόδου LED (για παράδειγμα, θεωρείται κατάλληλη διάρκεια παλμού 1 ms με μετρήσεις σε απόσταση τουλάχιστον 100 ms). Επίσης, θεωρούμε ότι ισχύει $T_J = T_{PCB}$. Κατά την αδιάκοπη λειτουργία ισχύει $T_J > T_{PCB}$ και η θερμική αντίσταση $\frac{\Delta T}{P}$ μπορεί να υπολογιστεί.

Μέρος Α. Χαρακτηριστικές Volt-ampere σε διαφορετικές θερμοκρασίες (5.0 Μονάδες)

Η φυσική διεργασία θέρμανσης είναι κοινή στα δύο πειράματα. Συνεπώς, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το αποτέλεσμα που προέκυψε στο Πείραμα 1 για να συσχετίσετε την τάση του θερμίστορ με την θερμοκρασία του. Εναλλακτικά, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την ακόλουθη έκφραση:

$$T(U) = \frac{3500}{9.9 - \ln(\frac{1}{U} - 0.3)},$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του θερμίστορ, μετρημένη σε kelvin, και U είναι η τάση του θερμίστορ, μετρημένη σε volt.

Μετρήστε και σχεδιάστε την γραφική παράσταση του ρεύματος ως προς την τάση της LED σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από θερμοκρασία δωματίου μέχρι 80 °C σε κατάσταση λειτουργίας παλμών.

- | | | |
|------------|--|-------|
| A.1 | Να πάρετε κατάλληλες μετρήσεις και να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση της συνάρτησης $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ για τιμές ρεύματος από 3 mA ως 50 mA σε θερμοκρασία δωματίου και σε θερμοκρασίες 40, 60, και 80 °C. Να σχεδιάσετε όλες τις γραφικές παραστάσεις στο ίδιο σύστημα αξόνων. | 2.5pt |
| A.2 | Στο Φύλλο Απαντήσεων να συμπληρώσετε τον πίνακα με τις τιμές της τάσης $U_{\text{LED_pulsed}}$ για τιμές του ρεύματος $I_{\text{LED_pulsed}}$ 3, 10, 20, και 40 mA σε θερμοκρασία δωματίου και σε θερμοκρασίες, 40, 60, and 80 °C. | 1.0pt |
| A.3 | Να σχεδιάσετε τα κύρια σημεία της συνάρτησης $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ (αυτά που περιλαμβάνονται στο ερώτημα A.2) και να υπολογίσετε (κατά προσέγγιση από το γράφημα) την γραμμική εξάρτηση της τάσης από τον συντελεστή θερμοκρασίας ($\Delta U(I)/\Delta T$) για 3, 10, 20, and 40 mA. | 1.5pt |

Μέρος Β. Μέτρηση χαρακτηριστικών στην καμπύλη Volt-Ampere για τη δίοδο LED που βρίσκεται σε κατάσταση αδιάκοπης λειτουργίας (3.5 μονάδες)

- | | | |
|------------|--|-------|
| B.1 | Να πάρετε κατάλληλες μετρήσεις και να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση της συνάρτησης $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ για τιμές ρεύματος από 3 mA ως 50 mA, χωρίς θέρμανση, για ρεύμα αδιάκοπης λειτουργίας. Στο Φύλλο Απαντήσεων να συμπεριλάβετε τις τιμές της τάσης $U_{\text{LED_continuous}}$, της θερμοκρασίας T_{PCB} του PCB (θερμοστάτη), και της διαφοράς $\Delta U = U_{\text{LED_pulsed}} - U_{\text{LED_continuous}}$ για 3, 10, 20, and 40 mA. | 1.5pt |
| B.2 | Δεδομένου ότι η αντίσταση των LED δεν παραμένει σταθερή (αλλά εξαρτάται από το ρεύμα), χρησιμοποιείται το φυσικό μέγεθος Δυναμική Αντίσταση που ισούται με $\frac{dU}{dI}$. Χρησιμοποιώντας το γράφημα του ερωτήματος (B.1), να εκτιμήσετε την τιμή του αντίστροφου της Δυναμικής Αντίστασης $1/(\frac{dU}{dI}) = \frac{dI}{dU}$ της LED. Στο Φύλλο Απαντήσεων να σημειώσετε τις τιμές του μεγέθους $\frac{dI}{dU}$ για 3, 10, 20, and 40 mA. Να σχεδιάσετε τις εφαπτόμενες $\frac{dI}{dU}$ σε αυτά τα σημεία του γραφήματος. | 0.5pt |

- B.3** Να υπολογίσετε και να σχεδιάσετε την διαφορά $\Delta T(P)$ μεταξύ της θερμοκρασίας αδιάκοπης λειτουργίας του ημιαγώγιμου υλικού (T_J) και της θερμοκρασίας του PCB (T_{PCB}) ως συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος (για 3, 10, 20, και 40 mA). Να υπολογίσετε (προσεγγιστικά από το γράφημα) την γραμμική θερμική αντίσταση $\frac{\Delta T}{P}$ της LED, και να την γράψετε στο Φύλλο Απαντήσεων.
Σημείωση: Να υποθέσετε πως όλη η ηλεκτρική ενέργεια που καταλήγει στην LED μετατρέπεται σε θερμότητα και η ενέργεια που εκπέμπεται υπό μορφή φωτός μπορεί να αγνοηθεί.

Μέρος C. Υπολογισμός της μεταβολής του ρεύματος της LED λόγω της θερμοκρασίας (1.5 μονάδες)

Στην Εισαγωγή αναφέρθηκε ότι κατά την τυπική τους λειτουργία οι LED τροφοδοτούνται από σταθερό ρεύμα και όχι από σταθερή τάση. Να υποθέσετε ότι αποφασίζουμε να τροφοδοτήσουμε την LED με ονομαστική τιμή ρεύματος 20 mA υπό την σταθερή τιμή τάσης που μετρήσατε για ρεύμα έντασης 20 mA στο ερώτημα B.1.

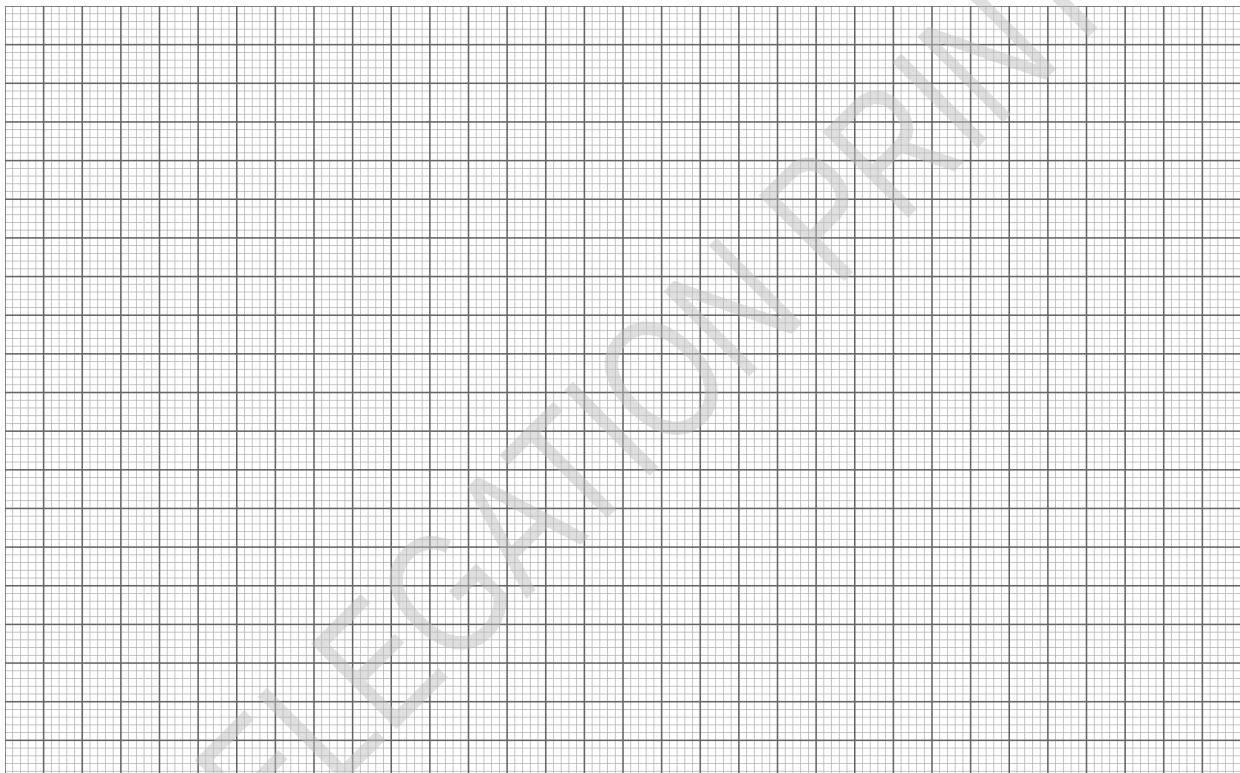
- C.1** Χρησιμοποιώντας τις χαρακτηριστικές της LED της μέρους B, να εκτιμήσετε την πραγματική τιμή της έντασης του ρεύματος που διαφέρει την LED, αν η τάση διατηρείται σταθερή (η τάση που μετρήθηκε στο ερώτημα B.1, $U(20mA)$), για θερμοκρασία του PCB σε 0 °C και σε 40 °C.

Δίοδοι Εκπομπής Φωτός (LEDs) (10 Μονάδες)

Μέρος Α. Χαρακτηριστικές Volt-ampere σε διαφορετικές θερμοκρασίες (5.0 Μονάδες)

A.1 (2.5 pt)

Να κατασκευάσετε την γραφική παράσταση της συνάρτησης $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ σε θερμοκρασία δωματίου και σε θερμοκρασίες 40, 60, and 80 °C (σε λειτουργία διακριτών παλμών) χρησιμοποιώντας το χαρτί μιλιμετρέ:



Experiment



A2-2

Greek (Greece)

A.2 (1.0 pt)

Να συμπληρώσετε τον πίνακα με τις τιμές της τάσης για τις αντίστοιχες τιμές ρεύματος και θερμοκρασίας $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$:

	"Θερμοκρασία Δωματίου" _____ °C	40 °C	60 °C	80 °C
3 mA				
10 mA				
20 mA				
40 mA				

Experiment

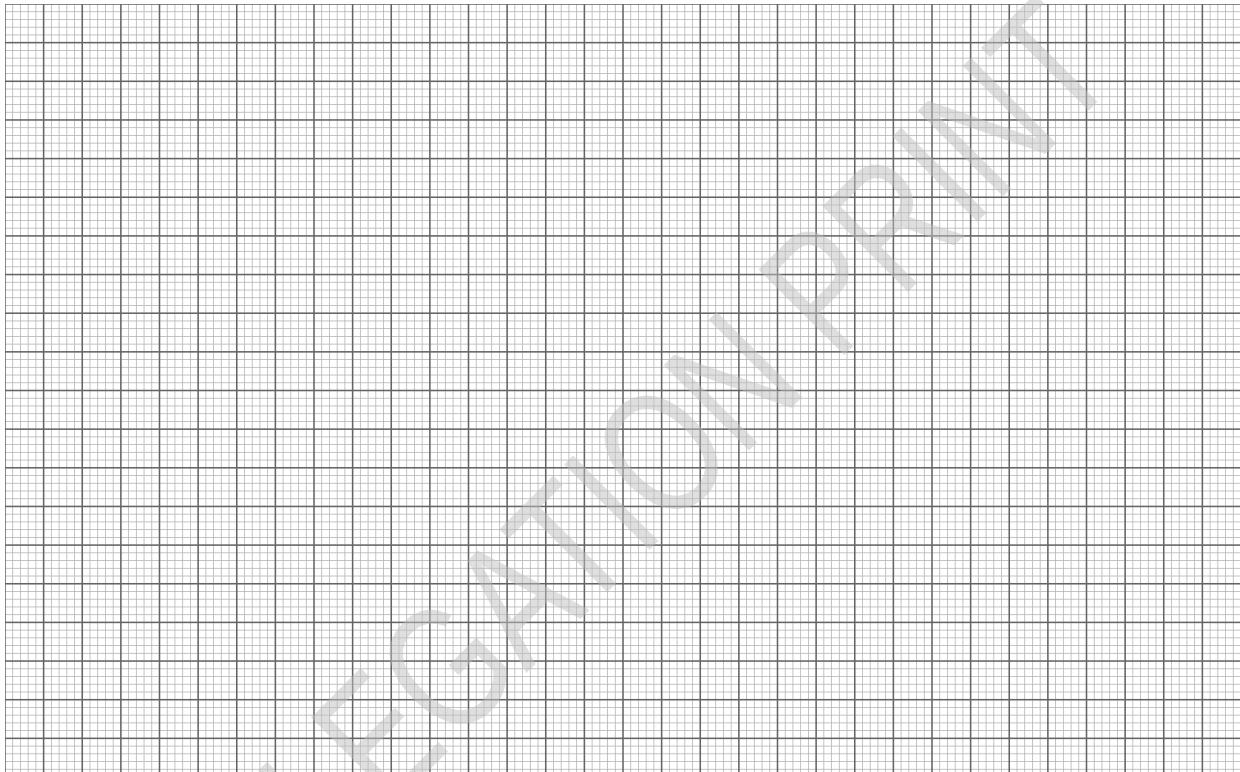


A2-3

Greek (Greece)

A.3 (1.5 pt)

Να σχεδιάσετε τα κύρια σημεία της συνάρτησης $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ (A.2) στο χαρτί μιλιμετρέ. Να χρησιμοποιήσετε γραμμική προσέγγιση για την εξάρτηση της τάσης από τον συντελεστή θερμοκρασίας για να προσδιορίσετε την $\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$:



Γραμμική προσέγγιση από το γράφημα:

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$				

Experiment



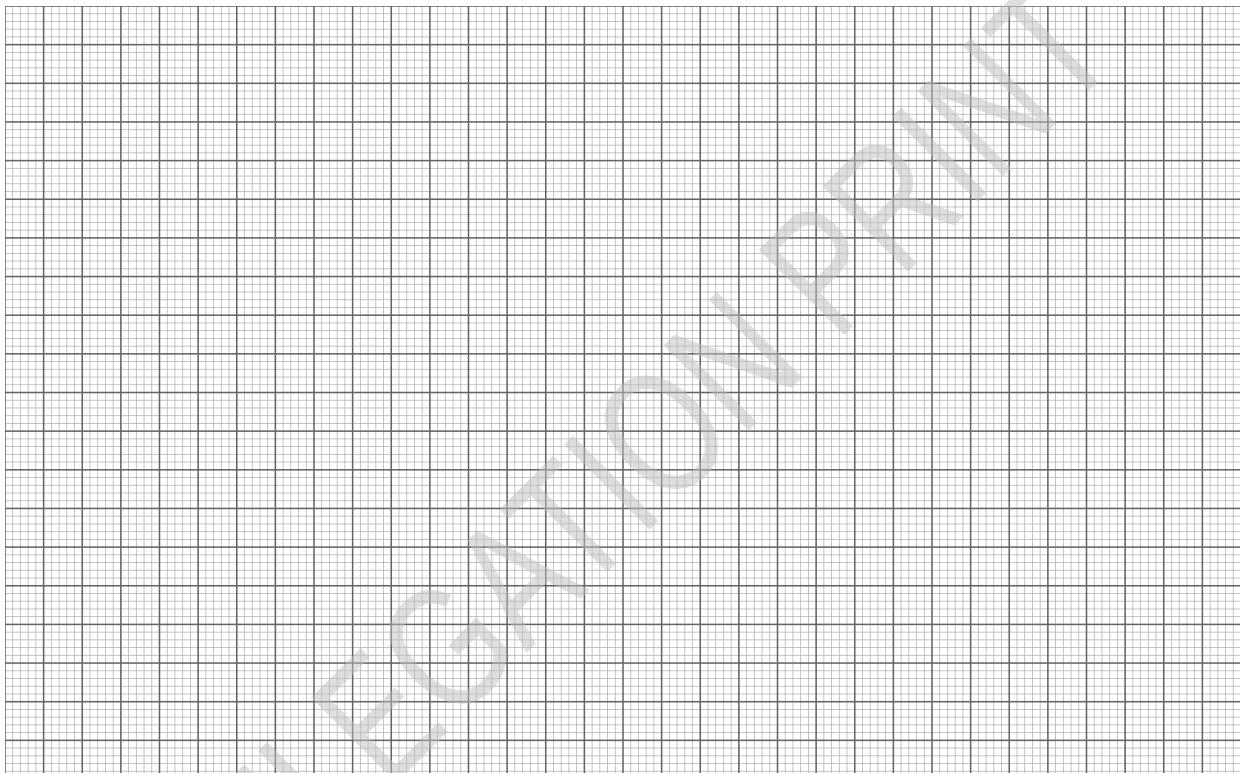
A2-4

Greek (Greece)

Μέρος Β. Μέτρηση χαρακτηριστικών στην καμπύλη Volt-Ampere για τη δίοδο LED που βρίσκεται σε κατάσταση αδιάκοπης λειτουργίας (3.5 Μονάδες)

B.1 (1.5 pt)

Να κατασκευάσετε την γραφική παράσταση της συνάρτησης $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ σε θερμοκρασία δωματίου (στην κατάσταση αδιάκοπης λειτουργίας) χρησιμοποιώντας το χαρτί μιλιμετρέ:



Να συμπληρώσετε τον πίνακα με τις αντίστοιχες τιμές:

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
U_{LED}				
ΔU				
T_j				
T_{PCB}				

Experiment



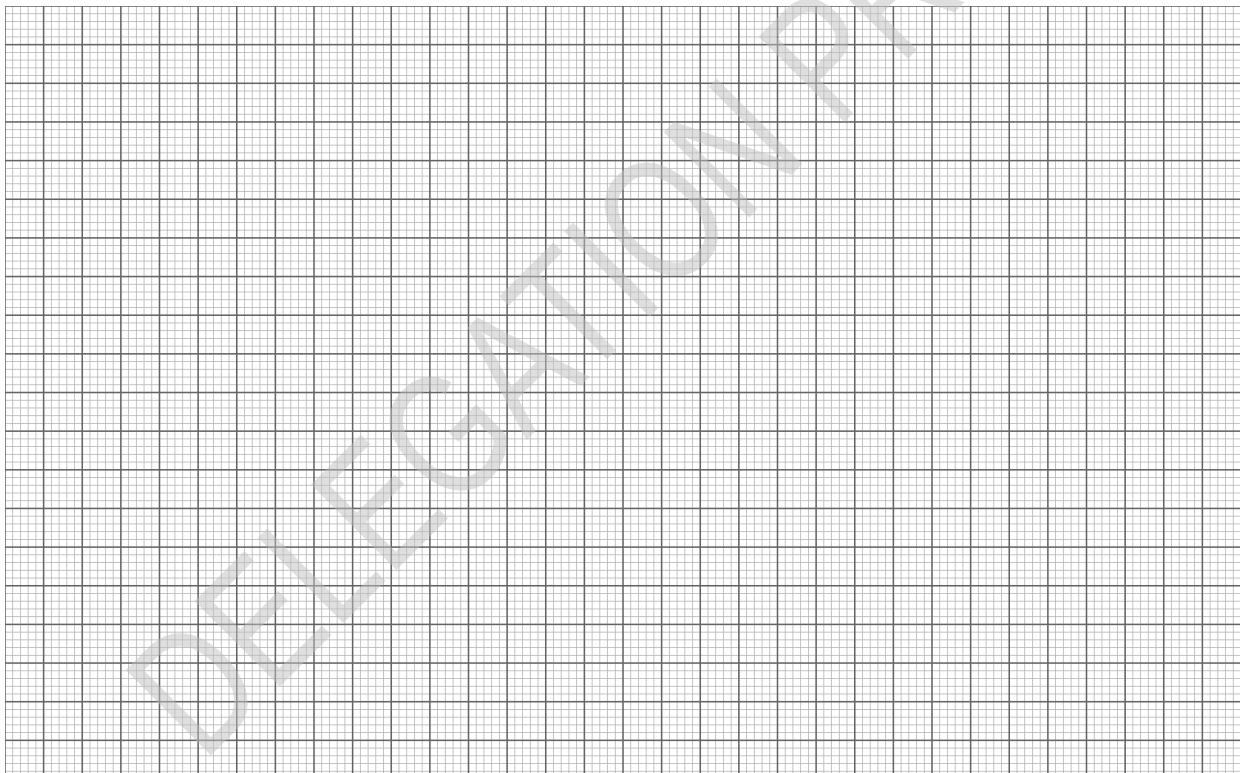
A2-5
Greek (Greece)

B.2 (0.5 pt)

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{dI}{dU}$				

B.3 (1.5 pt)

Να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση της $\Delta T(P)$ στο χαρτί μιλιμετρέ:



Να συμπληρώσετε τον πίνακα με τις αντίστοιχες τιμές:

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
ΔT				

Γραμμική θερμική αντίσταση της διόδου LED όπως προέκυψε από το γράφημα $\frac{\Delta T}{P}$:

Experiment



A2-6
Greek (Greece)

Μέρος Γ. Υπολογισμός της μεταβολής του ρεύματος της LED λόγω της θερμοκρασίας(1.5 Μονάδα)

C.1 (1.5 pt)

$$I_{\text{LED}}(U_{20 \text{ mA}}, 0^{\circ}\text{C}) =$$

$$I_{\text{LED}}(U_{20 \text{ mA}}, 40^{\circ}\text{C}) =$$

DELEGATION PRINT

Light Emitting Diodes (LEDs)

Volt-Ampere characteristics of the LED have to be measured in two modes: pulsed (part A) and continuous (part B). Running LED continuously produces a noticeable amount of heat, while running it in the pulsed mode allows minimizing and neglecting self-heating effect.

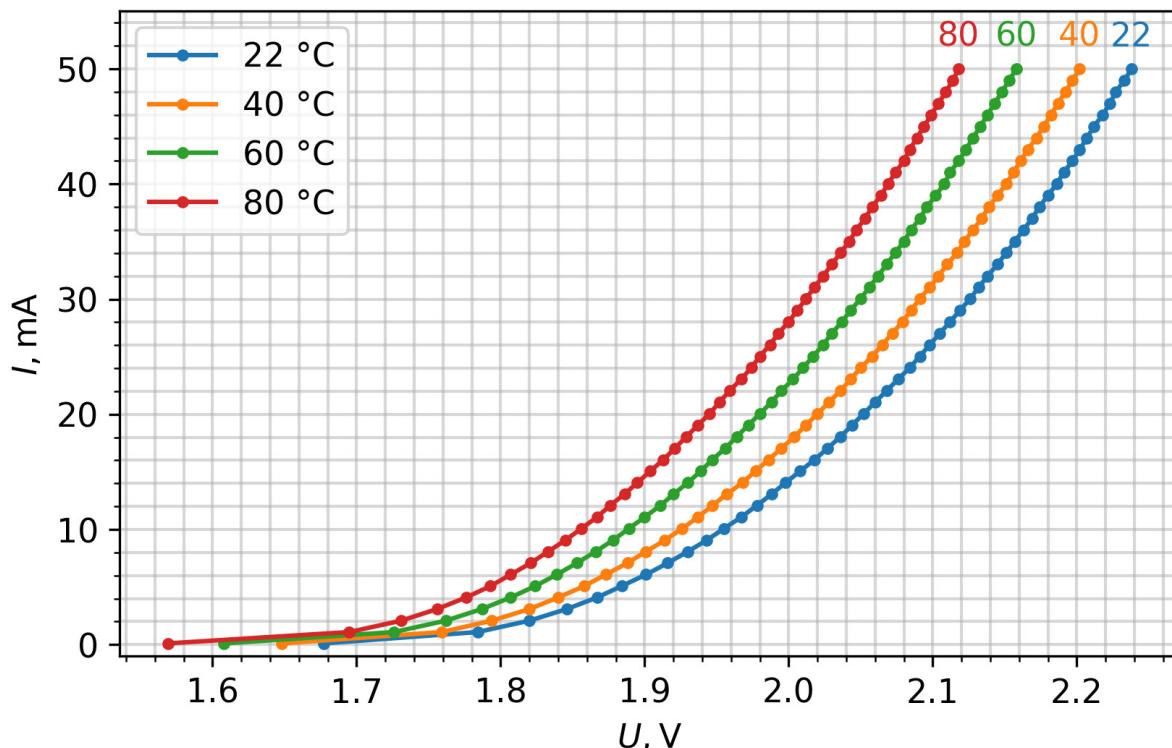
Students have to be able to run the automated $I_{LED}(U_{LED})$ measurement procedure and extract the required point by visually interpolating data for required values of I_{LED} .

The temperature of PCB is controlled by changing the current of the heating circuit. The heating and temperature measurement parts of this Experiment are identical to the Experiment 1.

Part A: Volt-ampere characteristics at different temperatures (5.0 points)

A.1 (2.5 pt.)

Graph $I_{LED}(U_{LED})$ has to be accurate (in right range) and smooth.



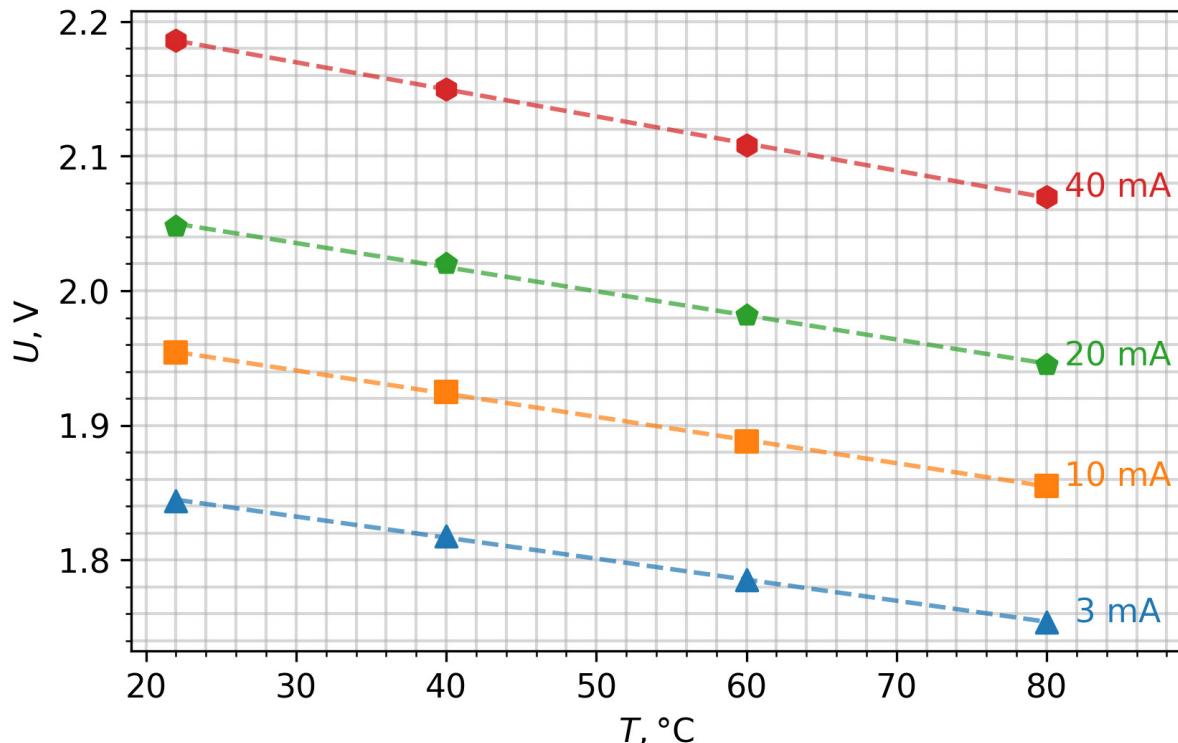
A.2 (1.0 pt.)

$U_{\text{LED}}(I_{\text{LED}}, T)$:

I_{LED}	T	"Room" 22°C	40°C	60°C	80°C
3 mA		1.844 V	1.818	1.785	1.754
10 mA		1.954	1.925	1.888	1.855
20 mA		2.048	2.02	1.982	1.945
40 mA		2.186	2.15	2.108	2.07

A.3 (1.5 pt.)

Graphed $U_{\text{LED}}(I_{\text{LED}}, T)$ from A.2 data. $U_{\text{LED}}(T)$ should show clear linear trend and be approximated graphically. The slope $\left(\frac{\Delta U(I, T)}{\Delta T}\right)$ should also be calculated.



I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\left(\frac{\Delta U(I, T)}{\Delta T}\right)$	-1.55 mV/K	-1.7 mV/K	-1.8 mV/K	-2.0 mV/K



IPhO

Lithuania
2021

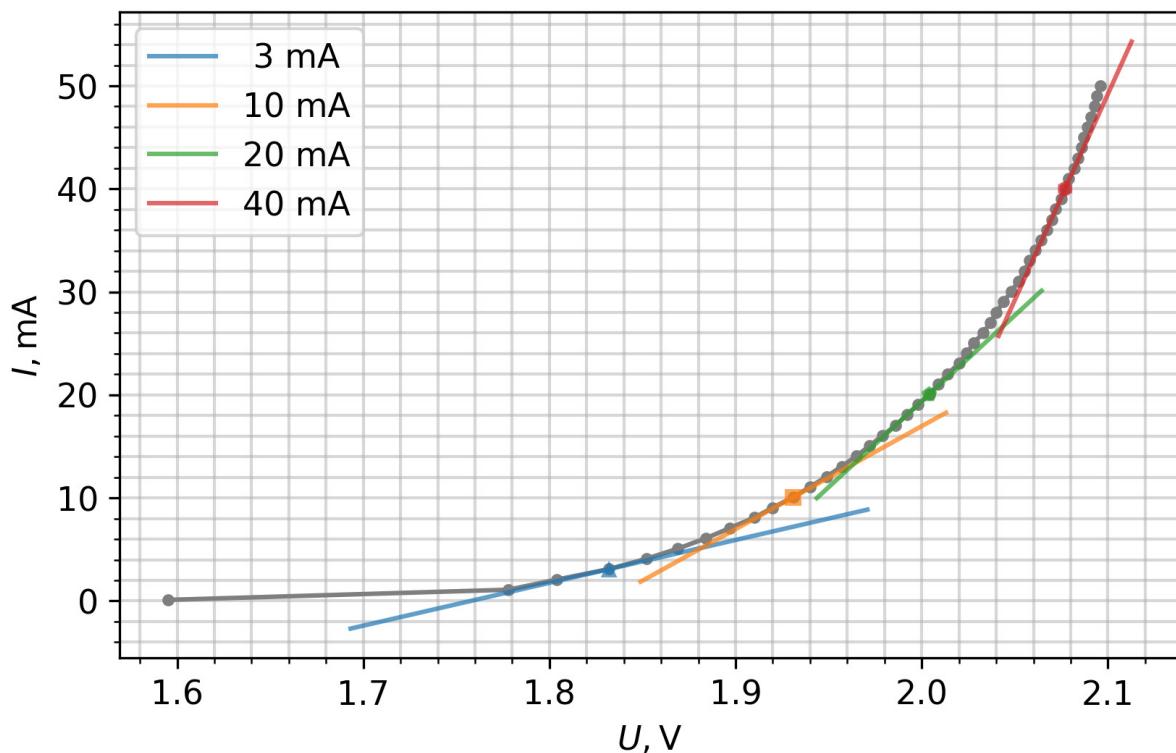
Experimental Question 2 – Solution

S2-3

ENGLISH

Part B: Measurement of the LED Volt-Ampere characteristics at continuous driving current (3.5 points)

B.1 (1.5 pt.)

Graph $I_{\text{LED}}(U_{\text{LED}})$ has to be accurate (in right range) and smooth.

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
U_{LED}	1.83 V	1.93 V	2.00 V	2.08 V
ΔU	0.014 V	0.024 V	0.048 V	0.106 V
T_J	~32.3 °C	~43 °C	~49 °C	~76.5 °C
T_{PCB}	~25–30 °C	~30–35 °C	~33–37 °C	~35–40 °C

B.2 (0.5 pt.)

The dynamic resistance of the LED has to be calculated as derivative at the asked values of I_{LED} .

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{dI}{dU}$	41.6 mA/V	100 mA/V	166.7 mA/V	400 mA/V

**IPhO**Lithuania
2021

Experimental Question 2 – Solution

S2-4

ENGLISH

B.3 (1.5 pt.)

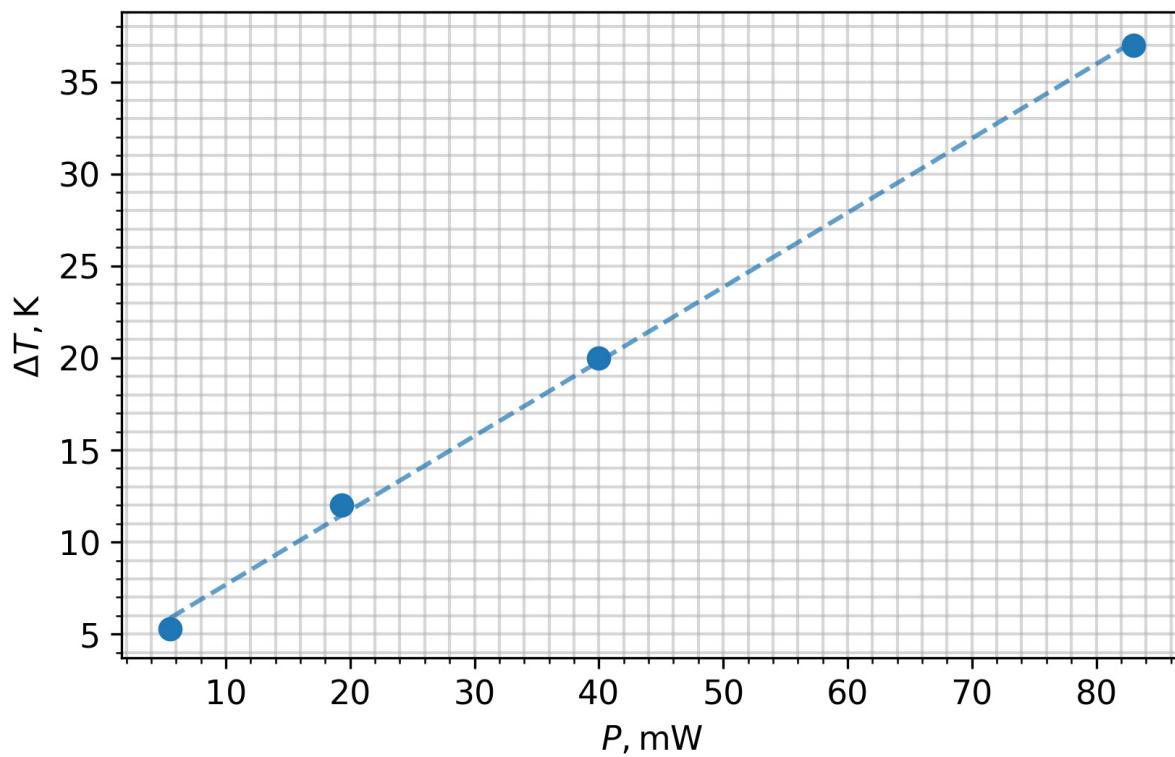
Graphed $\Delta T(P)$. ΔT for each I_{LED} has to be calculated as $\Delta T = \frac{U(\text{pulsed}) - U(\text{CW})}{\left(\frac{\Delta U(I,T)}{\Delta T}\right)} - (T_{\text{PCB}}(\text{CW}) - T_{\text{PCB}}(\text{pulsed}))$

from the data of A.2, B.1 and A.3.

Caution: during the measurement of B.1, the temperature of the PCB is not constant and rises up to 7 °C above the “room” temperature at higher currents. This has to be taken into account when calculating ΔT .

The generated heat is taken as electrical power: $P = I_{\text{LED}} \times U_{\text{LED}}$. The energy emitted by the escaping light is neglected.

The graph should have a clear linear trend and approximated graphically. Thermal resistance is calculated as linear slope $\frac{d}{dP}(\Delta T(P)) = 400 \text{ K/W}$.



I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
ΔT	5.0 K	12 K	20 K	37 K

Part C: Calculation of the LED current drift due to the temperature (1.5 points).

C.1 (1.5 pt)

The I_{LED} under constant $U_{LED} = U_{20mA}$ is calculated:

$$I_{LED}(U_{20mA}, T) = 20 \text{ mA} - (T - T_{\text{room}}) \times \left(\frac{\Delta U(20 \text{ mA}, T)}{\Delta T} \right) \times \frac{dI(20 \text{ mA}, U)}{dU}.$$

$$I_{LED}(U_{20mA}, 0^\circ\text{C}) = 13.3 \text{ mA}, \quad I_{LED}(U_{20mA}, 40^\circ\text{C}) = 25.7 \text{ mA}.$$

Light Emitting Diodes (LEDs)

Depending on how far participant's measurements are from the correct ones, an extra multiplier η is applied to reduce the points for the task.

For each task (for example, A1, A2, B2, ...) the final score has to be rounded up to a single decimal digit.

Part A: Volt-ampere characteristics at different temperatures (5.0 points)

A.1 (2.5 pt)	<p>Graph $I_{\text{LED}}(U_{\text{LED}})$, 4 curves at different temperatures. 0.1 pt. for the axis and ranges correctly marked; 0.6 pt for each curve (4×0.6 max).</p> <p>-1 pt penalty if $I_{\text{LED}}(U_{\text{LED}})$ curves are not smooth and have less than 15 points per curve.</p>	2.5 pt
A.2 (1.0 pt)	<p>Table 4×4 cells. Each cell is worth of $1/16$ pt = 0.0625 pt. Marking is based on the average of five biggest errors of all U values. Correct if within 3%; $\eta = 0.7$, if error within 4–7% $\eta = 0.5$, if error within 8–10% $\eta = 0.2$, if error within 11–12%</p> <p>At final step, the sum of cell points multiplied by η has to be averaged to a single decimal digit by general averaging rules.</p>	1.0 pt
A.3 (1.5 pt)	<p>Graph $U_{\text{LED}}(I_{\text{LED}}, T)$: 4 curves with linear approximations; 0.2 pt for the axis and ranges correctly marked; 0.2 pt for each curve (4×0.2 max). -0.25 pt penalty if $U_{\text{LED}}(I_{\text{LED}}, T)$ if linear approximations not shown.</p> <p>Table 1×4 cells. Each cell is worth of $0.5/4$ pt = 0.125 pt.</p> <p>Correct $\frac{\Delta U(I,T)}{\Delta T}$ value (within 5%). Marking is based only on the biggest error of all four values. $\eta = 0.7$, if error within 6–10% $\eta = 0.5$, if error within 11–15% $\eta = 0.2$, if error within 16–20%</p>	1.0 pt 0.5 pt

Part B: Measurement of the LED Volt-Ampere characteristics at continuous driving current (3.5 points)

B.1 (1.5 pt)	<p>Graph $I_{LED}(U_{LED})$: single curve with derivatives at certain points: 0.15 pt for the axis and ranges correctly marked; 0.6 pt for the smooth graph with at least 15 points. -0.25 pt penalty if $I_{LED}(U_{LED})$ curves are not smooth and have less than 15 points.</p>	0.5 pt
	<p>Table 4×4 cells. Each cell is worth of $1/16$ pt. = 0.0625 pt.</p> <p>Correct $I_{LED}(U_{LED})$ values (error under 5%) Marking is based only on the biggest error of U_{LED} (other values are not evaluated at this point since they can depend on room temperature etc.)</p> <p>$\eta = 0.7$, if error within 6–10% $\eta = 0.5$, if error within 11–15% $\eta = 0.2$, if error within 16–20%</p>	1.0 pt

B.2 (0.5 pt)	<p>Table 1×4 cells. Each cell is worth of $0.4/4$ pt. = 0.1 pt.</p> <p>0.1 pr for the graphical representation of the derivatives on B.1 graph.</p> <p>Correct $\frac{dI}{dU}$ values (within 5%). Marking is based only on the biggest error of all four values.</p> <p>$\eta = 0.7$, if error within 6–10% $\eta = 0.5$, if error within 11–15% $\eta = 0.2$, if error within 16–20%</p>	0.5 pt
-----------------	---	--------

B.3 (1.5 pt)	<p>Graph $\Delta T(P)$: 4 points with linear approximation.</p> <p>0.1 pt for the axis and ranges correctly marked; 0.2 pt for the correct P points on X axis (~6, ~20, ~40 and ~83 mW); 0.2 pt for the linear approximation visually correctly shown.</p>	0.5 pt
	<p>Table 1×4 cells. Each cell is worth of $0.5/4$ pt = 0.125 pt.</p> <p>Marking is based only on the biggest error of all four values.</p> <p>Correct ΔT values (error under 10%).</p> <p>$\eta = 0.7$, if error within 11–15% $\eta = 0.5$, if error within 16–20% $\eta = 0.2$, if error within 20–30%</p>	0.5 pt
	<p>Correct $\frac{d}{dP}(\Delta T(P))$: value (within 10%).</p> <p>$\eta = 0.7$, if error within 11–15% $\eta = 0.5$, if error within 16–20% $\eta = 0.2$, if error within 20–30%</p>	0.5 pt

**IPhO**Lithuania
2021

Experimental Question 2 – Marking Scheme

M2-3**ENGLISH****Part C: Calculation of the LED current drift due to the temperature
(1.5 points)**

C.1 (1.5 pt)	Correct I_{LED} values (within 5%) $\eta = 0.7$, if error within 6–10% $\eta = 0.5$, if error within 11–15% $\eta = 0.2$, if error within 16–20%	1.5 pt
-----------------	---	--------