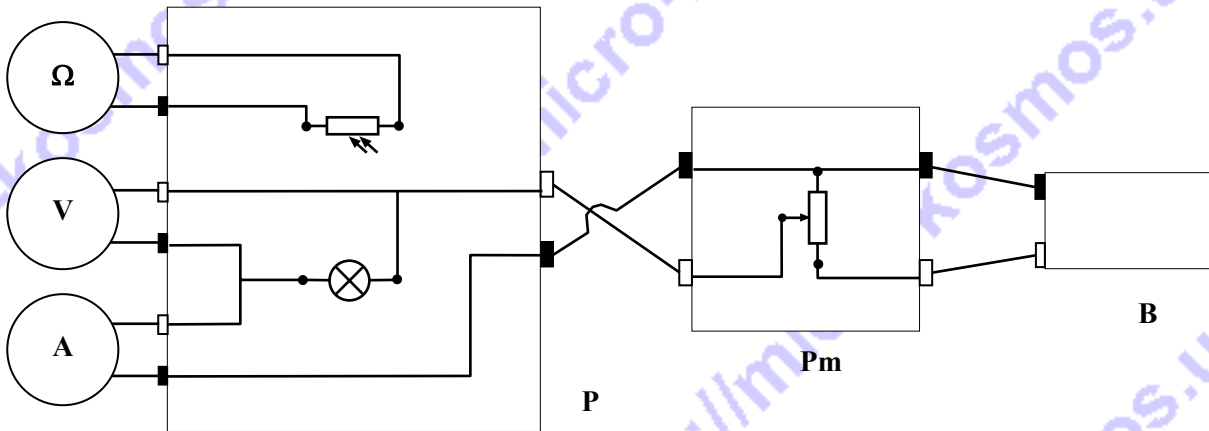







## Η ΣΤΑΘΕΡΑ ΤΟΥ PLANCK ΣΤΟ ΦΩΣ ΛΑΜΠΙΤΗΡΑ ΠΥΡΑΚΤΩΣΗΣ

## ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Σχεδιάστε τις ηλεκτρικές συνδέσεις στα κουτιά και μεταξύ των κουτιών παρακάτω.



Φωτοαντίσταση	
Λαμπτήρας πυράκτωσης	
Ποτενσιόμετρο	
Κόκκινη υποδοχή	
Μαύρη υποδοχή	

$\Omega$	Ωμόμετρο
V	βολτόμετρο
A	Αμπερόμετρο
P	Πλατφόρμα
Pm	Ποτενσιόμετρο
B	Μπαταρία

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2**

a)

$t_0 = 24 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_0 = 297 \text{ K}$	$\Delta T_0 = 1 \text{ K}$
-----------------------------------	-----------------------	----------------------------

b)

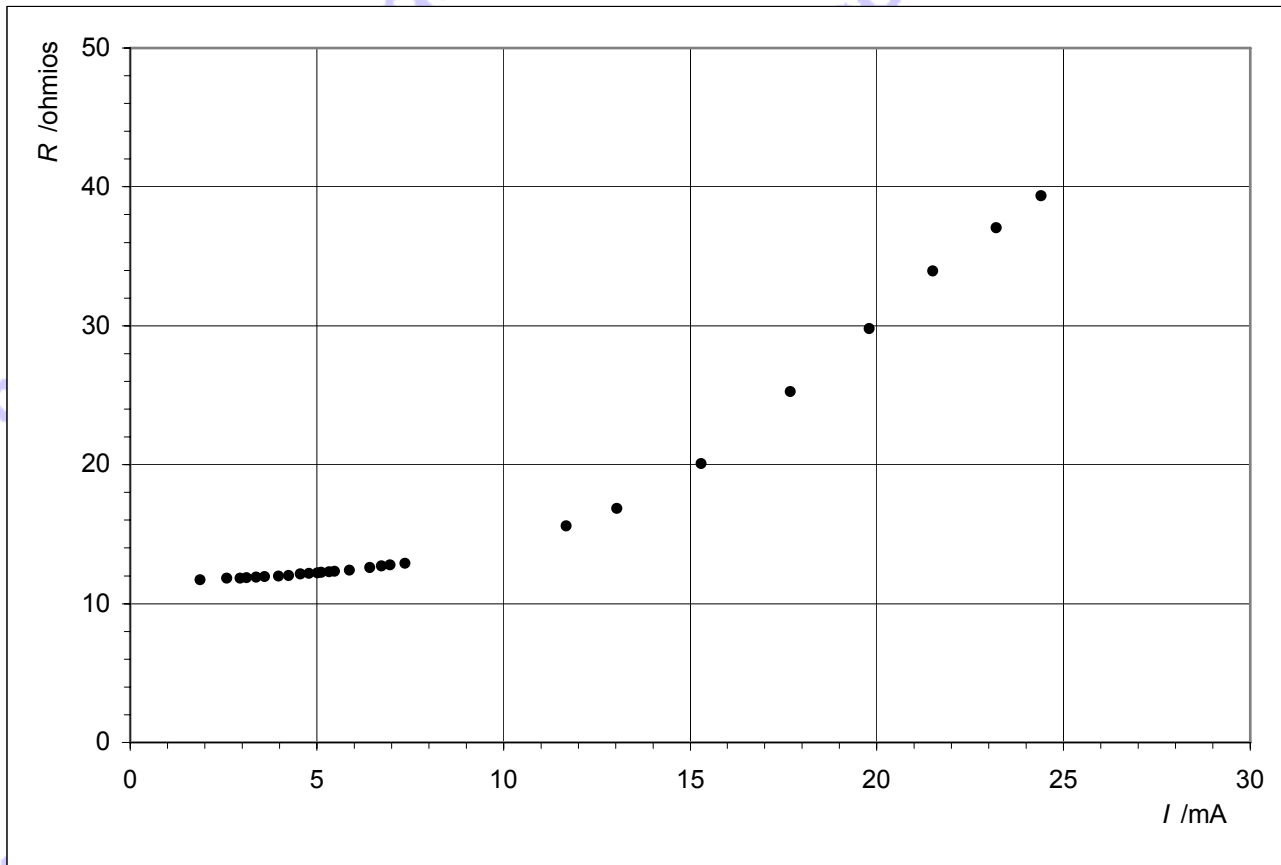
$V / \text{mV}$	$I / \text{mA}$	$R_B / \Omega$
21.9	1.87	11.71
30.5	2.58	11.82
34.9	2.95	11.83
37.0	3.12	11.86
40.1	3.37	11.90
43.0	3.60	11.94
47.6	3.97	11.99
51.1	4.24	12.05
55.3	4.56	12.13
58.3	4.79	12.17
61.3	5.02	12.21
65.5	5.33	12.29
67.5	5.47	12.34
73.0	5.88	12.41
80.9	6.42	12.60
85.6	6.73	12.72
89.0	6.96	12.79
95.1	7.36	12.92
111.9	8.38	13.35
130.2	9.37	13.89
181.8	11.67	15.63
220	13.04	16.87
307	15.29	20.08
447	17.68	25.28
590	19.8	29.80
730	21.5	33.95
860	23.2	37.07
960	24.4	39.34

 $V_{min} = 9.2 \text{ mV}$ 

\*

\* Αυτή είναι χαρακτηριστική του οργάνου σας. Δεν μπορείτε να πάτε κάτω από αυτήν.

 Παριστάνουμε γραφικά την  $R_B$  στον κατακόρυφο άξονα σε σχέση με το  $I$ .

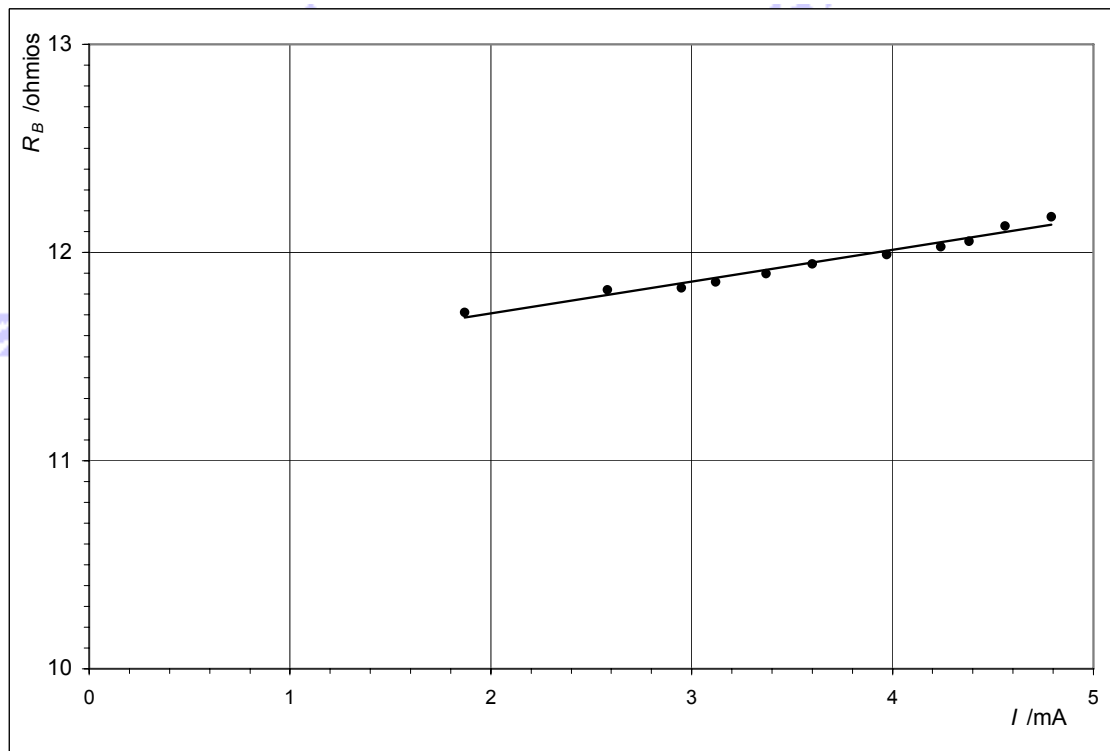


Με σκοπό τον υπολογισμό του  $R_{B0}$ , επιλέγουμε τις δέκα πρώτες μετρήσεις.

TASK 2

c)

$V/mV$	$I/mA$	$R_B/\Omega$
$21.9 \pm 0.1$	$1.87 \pm 0.01$	$11.71 \pm 0.08$
$30.5 \pm 0.1$	$2.58 \pm 0.01$	$11.82 \pm 0.06$
$34.9 \pm 0.1$	$2.95 \pm 0.01$	$11.83 \pm 0.05$
$37.0 \pm 0.1$	$3.12 \pm 0.01$	$11.86 \pm 0.05$
$40.1 \pm 0.1$	$3.37 \pm 0.01$	$11.90 \pm 0.05$
$43.0 \pm 0.1$	$3.60 \pm 0.01$	$11.94 \pm 0.04$
$47.6 \pm 0.1$	$3.97 \pm 0.01$	$11.99 \pm 0.04$
$51.1 \pm 0.1$	$4.24 \pm 0.01$	$12.05 \pm 0.04$
$55.3 \pm 0.1$	$4.56 \pm 0.01$	$12.13 \pm 0.03$
$58.3 \pm 0.1$	$4.79 \pm 0.01$	$12.17 \pm 0.03$



Σφάλμα για την  $R_B$  (Υπολογίσαμε το σφάλμα για την πρώτη τιμή ως παράδειγμα).

$$\Delta R_B = R_B \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} = 11.71 \sqrt{\left(\frac{0.1}{21.9}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{1.87}\right)^2} = 0.08$$

Το  $R_{B0}$  υπολογίστηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

$$R_{B0} = 11.39$$

$$\text{slope} = m = 0.157$$

$$\sum I^2 = 130.38$$

$$\sum I = 35.05$$

$$n = 10$$

$$\text{For axis } X : \sigma_I = \frac{\sum \Delta I}{n} = 0.01$$

$$\text{For axis } Y : \sigma_{R_B} = \frac{\sum \Delta R_B}{n} = 0.047$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{R_B}^2 + m^2 \sigma_I^2} = \sqrt{0.047^2 + 0.157^2 \cdot 0.01^2} = 0.047$$

$$\Delta R_{B0} = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum I^2}{n \sum I^2 - (\sum I)^2}} = \sqrt{\frac{0.047^2 \times 130.38}{10 \cdot 130.38 - 35.05^2}} = 0.06$$

$R_{B0} = 11,39 \Omega$	$\Delta R_{B0} = 0.06 \Omega$
-------------------------	-------------------------------

$$d) \quad T = aR^{0.83} ; \quad a = \frac{T_0}{R_0^{0.83}} ; \quad a = \frac{297}{11.39^{0.83}} = 39.43$$

Υπολογισμός του σφάλματος με δύο μεθόδους:

Μέθοδος Α

$$\ln a = \ln T_0 - 0.83 \ln R_{B0} ; \quad \Delta a = a \left( \frac{\Delta T_0}{T_0} + 0.83 \frac{\Delta R_{B0}}{R_{B0}} \right) ; \quad \Delta a = 39.43 \left( \frac{1}{297} + 0.83 \frac{0.06}{11.39} \right) = 0.305 = 0.3$$

Μέθοδος Β

$$\text{Υψηλότερη τιμή του } a: \quad a_{\max} = \frac{T_0 + \Delta T_0}{(R_0 - \Delta R_0)^{0.83}} = \frac{297 + 1}{(11.39 - 0.06)^{0.83}} = 39.7379$$

$$\text{Μικρότερη τιμή του } a: \quad a_{\min} = \frac{T_0 - \Delta T_0}{(R_0 + \Delta R_0)^{0.83}} = \frac{297 - 1}{(11.39 + 0.06)^{0.83}} = 39.1276$$

$$\Delta a = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{2} = \frac{39.7379 - 39.1276}{2} = 0.305 = 0.3$$

$a = 39.4$	$\Delta a = 0.3$
------------	------------------

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3**

Επειδή  $2\Delta\lambda = 620 - 565$  ;  $\Delta\lambda = 28 \text{ nm}$

$\lambda_0 = 590 \text{ nm}$	$\Delta\lambda = 28 \text{ nm}$
------------------------------	---------------------------------

**ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4**

a)

$V / \text{V}$	$I / \text{mA}$	$R / \text{k}\Omega$
9.48	85.5	8.77
9.73	86.8	8.11
9.83	87.3	7.90
100.1	88.2	7.49
10.25	89.4	7.00
10.41	90.2	6.67
10.61	91.2	6.35
10.72	91.8	6.16
10.82	92.2	6.01
10.97	93.0	5.77
11.03	93.3	5.69
11.27	94.5	5.35
11.42	95.1	5.17
11.50	95.5	5.07

b)

$$\text{Επειδή } \ln \frac{R}{R'} = \gamma \ln 0.512 ; \quad \gamma = \ln \frac{R}{R'} / \ln 0.512 = \ln \frac{5.07}{8.11} / \ln 0.512 = 0.702$$

 Για τον υπολογισμό του  $\Delta\gamma$  γνωρίζουμε ότι:

$$R \pm \Delta R = 5.07 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$$

$$R' \pm \Delta R' = 8.11 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Διαπερατότητα, } t = 51.2 \%$$

Υπολογισμός του σφάλματος με δύο μεθόδους:

Μέθοδος Α

$$\gamma = \frac{\ln R/R'}{\ln t} ; \quad \Delta\gamma = \frac{1}{\ln t} \left( \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta R'}{R'} \right) = \frac{1}{\ln 0.512} \left( \frac{0.01}{5.07} + \frac{0.01}{8.11} \right) = 0.00479 ; \quad \Delta\gamma = 0.01$$

Μέθοδος Β

$$\text{Υψηλότερη τιμή του } \gamma: \quad \gamma_{\max} = \ln \frac{R - \Delta R}{R' + \Delta R'} / \ln \gamma = \ln \frac{5.07 - 0.01}{8.11 + 0.01} / \ln 0.512 = 0.70654$$

$$\text{Χαμηλότερη τιμή του } \gamma: \quad \gamma_{\min} = \ln \frac{R + \Delta R}{R' - \Delta R'} / \ln \gamma = \ln \frac{5.07 + 0.01}{8.11 - 0.01} / \ln 0.512 = 0.69696$$

$$\Delta\gamma = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}{2} = \frac{0.70654 - 0.69696}{2} = 0.00479 ; \quad \Delta\gamma = 0.01$$

$R = 5.07 \text{ k}\Omega$	$\gamma = 0.70$
$R' = 8.11 \text{ k}\Omega$	$\Delta\gamma = 0.01$

c)

$$\text{Γνωρίζουμε ότι } R = c_3 e^{\frac{c_2\gamma}{\lambda_0 T}} \quad (3)$$

$$\text{έτσι } \ln R = \ln c_3 + \frac{c_2\gamma}{\lambda_0 T}$$

$$\text{Επειδή } T = aR_B^{0.83} \quad (6)$$

$$\text{συνεπώς } \ln R = \ln c_3 + \frac{c_2\gamma}{\lambda_0 a} R_B^{-0.83}$$

$$\ln R = \ln c_3 + \frac{c_2\gamma}{\lambda_0 a} R_B^{-0.83} \quad \text{Eq. (9)}$$

d)

$V/V$	$I/\text{mA}$	$R_B/\Omega$	$T/\text{K}$	$R_B^{-0.83}$ (S.I.)	$R/\text{k}\Omega$	$\ln R$
$9.48 \pm 0.01$	$85.5 \pm 0.1$	$110.9 \pm 0.2$	$1962 \pm 18$	$(2.008 \pm 0.004)10^{-2}$	$8.77 \pm 0.01$	$2.171 \pm 0.001$
$9.73 \pm 0.01$	$86.8 \pm 0.1$	$112.1 \pm 0.2$	$1980 \pm 18$	$(1.990 \pm 0.004)10^{-2}$	$8.11 \pm 0.01$	$2.093 \pm 0.001$
$9.83 \pm 0.01$	$87.3 \pm 0.1$	$112.6 \pm 0.2$	$1987 \pm 18$	$(1.983 \pm 0.004)10^{-2}$	$7.90 \pm 0.01$	$2.067 \pm 0.001$
$10.01 \pm 0.01$	$88.2 \pm 0.1$	$113.5 \pm 0.2$	$2000 \pm 18$	$(1.970 \pm 0.004)10^{-2}$	$7.49 \pm 0.01$	$2.014 \pm 0.001$
$10.25 \pm 0.01$	$89.4 \pm 0.1$	$114.7 \pm 0.2$	$2018 \pm 18$	$(1.952 \pm 0.003)10^{-2}$	$7.00 \pm 0.01$	$1.946 \pm 0.001$
$10.41 \pm 0.01$	$90.2 \pm 0.1$	$115.4 \pm 0.2$	$2028 \pm 18$	$(1.943 \pm 0.003)10^{-2}$	$6.67 \pm 0.01$	$1.894 \pm 0.002$
$10.61 \pm 0.01$	$91.2 \pm 0.1$	$116.3 \pm 0.2$	$2041 \pm 18$	$(1.930 \pm 0.003)10^{-2}$	$6.35 \pm 0.01$	$1.849 \pm 0.002$
$10.72 \pm 0.01$	$91.8 \pm 0.1$	$116.8 \pm 0.2$	$2049 \pm 19$	$(1.923 \pm 0.003)10^{-2}$	$6.16 \pm 0.01$	$1.818 \pm 0.002$
$10.82 \pm 0.01$	$92.2 \pm 0.1$	$117.4 \pm 0.2$	$2057 \pm 19$	$(1.915 \pm 0.003)10^{-2}$	$6.01 \pm 0.01$	$1.793 \pm 0.002$
$10.97 \pm 0.01$	$93.0 \pm 0.1$	$118.0 \pm 0.2$	$2066 \pm 19$	$(1.907 \pm 0.003)10^{-2}$	$5.77 \pm 0.01$	$1.753 \pm 0.002$
$11.03 \pm 0.01$	$93.3 \pm 0.1$	$118.2 \pm 0.2$	$2069 \pm 19$	$(1.904 \pm 0.003)10^{-2}$	$5.69 \pm 0.01$	$1.739 \pm 0.002$
$11.27 \pm 0.01$	$94.5 \pm 0.1$	$119.3 \pm 0.2$	$2085 \pm 19$	$(1.890 \pm 0.003)10^{-2}$	$5.35 \pm 0.01$	$1.677 \pm 0.002$
$11.42 \pm 0.01$	$95.1 \pm 0.1$	$120.1 \pm 0.2$	$2096 \pm 19$	$(1.880 \pm 0.003)10^{-2}$	$5.15 \pm 0.01$	$1.639 \pm 0.002$
$11.50 \pm 0.01$	$95.5 \pm 0.1$	$120.4 \pm 0.2$	$2101 \pm 19$	$(1.875 \pm 0.003)10^{-2}$	$5.07 \pm 0.01$	$1.623 \pm 0.002$
			unnecessary			

Υπολογίσαμε τα σφάλματα για την πρώτη στήλη, ως παράδειγμα.

$$\text{Σφάλμα για } R_B: \Delta R_B = R_B \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} = 110.9 \sqrt{\left(\frac{0.01}{9.48}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{85.5}\right)^2} = 0.2 \Omega$$

$$\text{Σφάλμα για } T: \Delta T = T \left( \frac{\Delta a}{a} + 0.83 \frac{\Delta R_B}{R_B} \right); \Delta T = 1962 \left( \frac{0.3}{39.4} + 0.83 \frac{0.2}{110.9} \right) = 18 \text{ K}$$

Σφάλμα για  $R_B^{-0.83}$ :

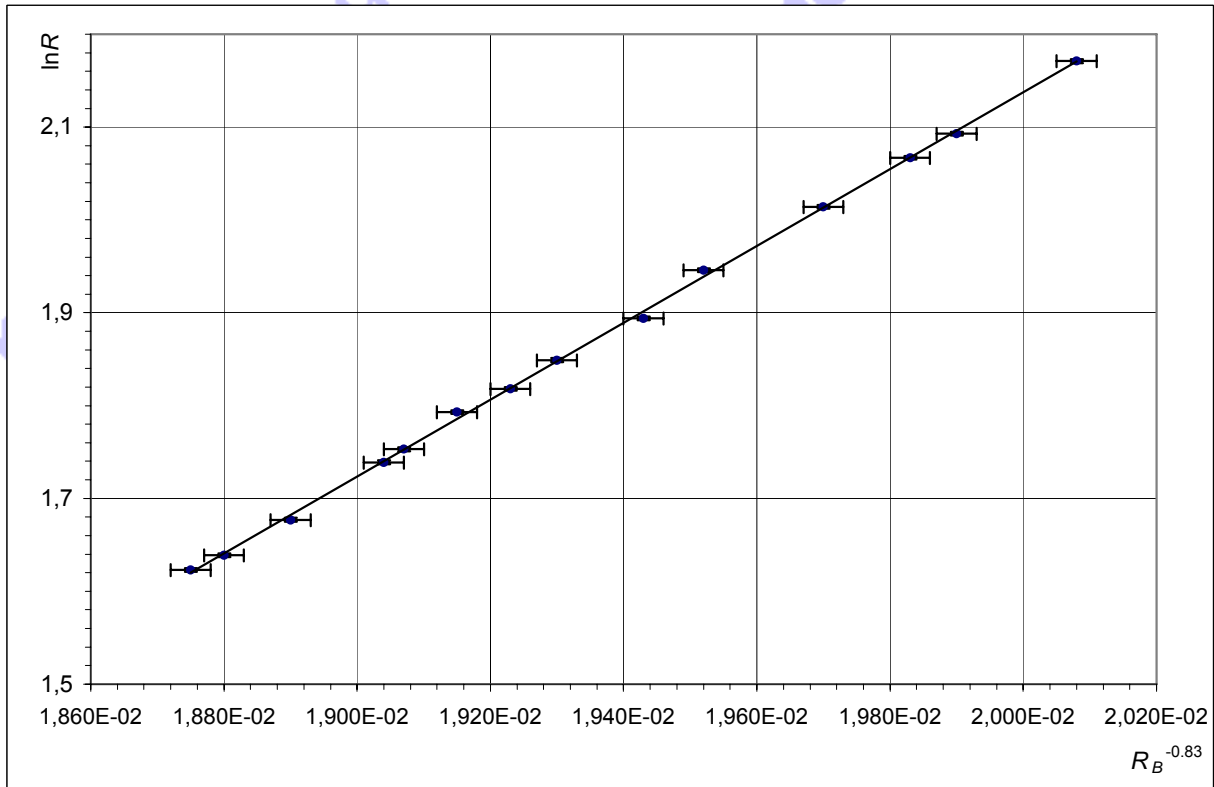
$$x = R_B^{-0.83}; \ln x = -0.83 \ln R_B; \Delta x = x \cdot 0.83 \frac{\Delta R_B}{R_B}; \Delta(R_B^{-0.83}) = R_B^{-0.83} \frac{\Delta R_B}{R_B}$$

$$\Delta(R_B^{-0.83}) = 0.020077 \frac{0.2}{110.9} \approx 0.004 \times 10^{-2}$$

$$\text{Σφάλμα για } \ln R: \Delta \ln R = \frac{\Delta R}{R}; \Delta \ln R = \frac{0.01}{8.77} = 0.001$$

e)

Παριστάνουμε γραφικά τον  $\ln R$  σε σχέση με  $R_B^{-0.83}$ .



Από τα ελάχιστα τετράγωνα

Κλίση =  $m = 414,6717$

$$\sum (R_B^{-0.83})^2 = 5.23559 \times 10^{-3}$$

$$\sum (R_B^{-0.83}) = 0.27068$$

$n = 14$

Για τον άξονα  $X$ :  $\sigma_{R_B^{-0.83}} = \frac{\sum \Delta(R_B^{-0.83})}{n} = 0.003 \times 10^{-2}$

Για τον άξονα  $Y$ :  $\sigma_{\ln R} = \frac{\sum \Delta(\ln R)}{n} = 0.002$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\ln R}^2 + m^2 \sigma_{R_B^{-0.83}}^2} = \sqrt{0.002^2 + 414.672^2 \cdot (0.003 \times 10^{-2})^2} = 0.0126$$

$$\Delta m = \sqrt{\frac{n \sigma^2}{n \sum (R_B^{-0.83})^2 - (\sum R_B^{-0.83})^2}} = \sqrt{\frac{14 \cdot 0.0126^2}{14 \cdot 5.23559 \times 10^{-3} - (0.27068)^2}} = 8.295$$

Επειδή

$$m = \frac{c_2 \gamma}{\lambda_0 a}$$

και

$$c_2 = \frac{hc}{k}$$

έτσι

$$h = \frac{mk \lambda_0 a}{c \gamma}$$



$$h = \frac{414.67 \cdot 1.381 \times 10^{-23} \cdot 590 \times 10^{-9} \cdot 39.4}{2.998 \times 10^8 \cdot 0.70} = 6.35 \times 10^{-34}$$

$$\Delta h = h \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \gamma}{\gamma}\right)^2}$$

$$\Delta h = 6.34 \times 10^{-34} \sqrt{\left(\frac{8.3}{415}\right)^2 + 0 + \left(\frac{28}{590}\right)^2 + \left(\frac{0.3}{39.4}\right)^2 + 0 + \left(\frac{0.01}{0.70}\right)^2} = 0.34 \times 10^{-34}$$

$h = 6.4 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	$\Delta h = 0.3 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
--	---

## ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΠΟΛΥΜΕΤΡΟΥ (Συνοπτικά)

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ

Συνδέστε το μικρό μαύρο βύσμα (-) στην COM είσοδο και το κόκκινο (+) στη V/Ω είσοδο. Θέστε τον περιστροφικό διακόπτη επιλογών στην περιοχή των συνεχών τάσεων V.

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Συνδέστε τα μικρά βύσματα στις εισόδους mA (κόκκινο) και COM (μαύρο). Θέστε το διακόπτη επιλογών στην περιοχή μέτρησης συνεχών ρευμάτων A και μπορείτε να δοκιμάσετε τη λειτουργία του συνδέοντάς το σε ΣΕΙΡΑ. Για ρεύματα μεγαλύτερα από 200 mA, συνδέστε τα βύσματα στις εισόδους 20 A (κόκκινο) και COM (μαύρο). Θέστε το διακόπτη επιλογών στην κατάλληλη θέση (κλίμακα). Έπειτα, συνεχίστε όπως προηγουμένως.

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Συνδέστε το μικρό μαύρο βύσμα στην COM είσοδο και το κόκκινο στην V/Ω είσοδο. Επιλέξτε την κατάλληλη θέση (κλίμακα) στην περιοχή Ω.

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Θέστε το διακόπτη επιλογών στο K TEMP °C. Η χρήση του εξωτερικού αισθητήρα (θερμοζεύγος) είναι περιττή.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΛΥΜΕΤΡΟΥ

Πάντα να θεωρείτε ότι η ανάλυση περιορίζεται από το μικρότερο ψηφίο που εμφανίζεται στο όργανο στην επιλεγμένη θέση του διακόπτη επιλογών.

## ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Έστω  $x$  και  $y$  τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών που μετρήθηκαν με αβεβαιότητες  $\Delta x$  και  $\Delta y$ . Έστω επίσης  $a$  μια αυθαίρετη εξωτερική σταθερή παράμετρος και  $z$  η εξαρτημένη μεταβλητή της οποίας η τιμή πρέπει να καθοριστεί. Η αβεβαιότητα,  $\Delta z$ , στην τιμή της  $z$  μπορεί να προκύψει χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους μερικές από τις οποίες παρουσιάζουμε παρακάτω:

ΕΞΑΡΤΗΣΗ	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ	ΕΞΑΡΤΗΣΗ	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ
$z = xy$ and $z = \frac{x}{y}$	$\Delta z = z \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$ or $\Delta z = z \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}\right)$	$z = xy^a$	$\Delta z = z \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(a \frac{\Delta y}{y}\right)^2}$ or $\Delta z = z \left(\frac{\Delta x}{x} + a \frac{\Delta y}{y}\right)$
$z = x^a$	$\Delta z = za \frac{\Delta x}{x}$	$z = \ln x$	$\Delta z = \frac{\Delta x}{x}$

## ΧΑΡΑΞΗ ΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

Έστω  $y = mx + b$  η ευθεία που προκύπτει με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Τότε:

$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$	$b = \frac{\sum x \sum xy - \sum y \sum x^2}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$
$\Delta m = \sqrt{\frac{n \sigma^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}$	$\Delta b = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum x^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}$

$\sigma$  μπορεί να βρεθεί από  $\sigma = \sqrt{\sigma_y^2 + m^2 \sigma_x^2}$ , με  $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n}}$  και  $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n}}$  όπου  $\Delta x$  και  $\Delta y$  είναι οι ανεξάρτητες αβεβαιότητες των  $n$  ανεξαρτήτων μετρήσεων.

