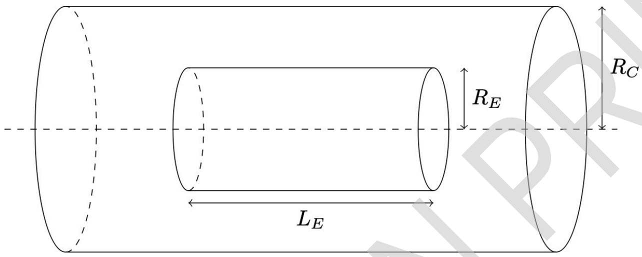
Δίοδος κυλινδρικού σχήματος (8.0 μονάδες)

Πειραματική διάταξη και πειραματικοί στόχοι

Μία δίοδος κενού κυλινδρικού σχήματος αποτελείται από δύο ομοαξονικούς κυλίνδρους. Υπάρχει ένας Εκπομπός ακτίνας R_E και μήκους L_E, ο οποίος εκπέμπει ηλεκτρόνια. Αυτά κινούνται στο κενό προς τον Συλλέκτη, ο οποίος έχει ακτίνα R_C και άπειρο ενεργό μήκος. Ο Συλλέκτης βρίσκεται σε θετικό δυναμικό V, ενώ ο Εκπομπός είναι γειωμένος, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να κινούνται από τον Εκπομπό προς τον Συλλέκτη.



Ο Εκπομπός θερμαίνεται κατά τρόπο ώστε να υπάρχουν πάντα ελεύθερα ηλεκτρόνια ικανά να επιταχυνθούν από την διαφορά δυναμικού προς τον Συλλέκτη. Τα ηλεκτρόνια γεμίζουν το κενό ως πλάσμα (τέταρτη κατάσταση της ύλης). Λόγω των ιδιοτήτων του πλάσματος, υπάρχει μια μέγιστη τιμή ρεύματος που ρέει κατά μήκος της διόδου και εξαρτάται από το δυναμικό του Συλλέκτη και την γεωμετρία του συστήματος.

Καθόλη την διάρκεια του πειράματος αυτού, θα πρέπει να περιορίσετε τις μετρήσεις σας ώστε να ισχύει $R_C \geq 5R_E$.

Όταν το L_E είναι επαρκώς μεγάλο σε σύγκριση με το R_C μπορούμε να υποθέσουμε ότι το μέγιστο ρεύμα που διαρρέει την δίοδο είναι

$$I_\infty = G {R_C}^\alpha {L_E}^\beta V^\gamma \tag{1}$$

όπου $G = G(R_C/R_E)$ δεν είναι μία σταθερά, αλλά συνάρτηση του αδιάστατου λόγου R_C/R_E.

Όταν το L_E είναι συγκρίσιμο με το R_C απαιτείται μια διόρθωση στην προηγούμενη έκφραση και το μέγιστο ρεύμα μέσω των διόδων δίνεται από την σχέση

$$I_L = I_\infty F(R_C, R_E, L_E, V) \tag{2}$$

όπου F είναι μια αδιάστατη συνάρτηση μερικών ή όλων των ποσοστήτων R_C, R_E, L_E, και V. Η εξίσωση (1) αποτελεί ειδική περίπτωση της εξίσωσης (2) όταν $F = 1$.

Κατά την πραγματοποίηση αυτού του πειράματος μπορείτε να προσομοιώσετε την συμπεριφορά οποιουδήποτε κυλίνδρου με τιμές ακτίνας από 0.1 cm ως (κατά μέγιστο) 20.0 cm, σε βήματα του 0.1 cm. Τα μήκη των κυλίνδρων κυμαίνονται από 1.0 cm μέχρι 99.0 cm, επίσης σε βήματα του 0.1 cm. Η προσομοίωση περιλαμβάνει επίσης μια πηγή που δίνει θετικό δυναμικό στον Συλλέκτη με τιμές από 0 ως 2000 volts και ένα αμπερόμετρο που μετρά την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την δίοδο.

Θα ήταν καλό να κάνετε μια γρήγορη ανάγνωση όλων των ερωτημάτων πριν ξεκινήσετε την επεξεργασία, προκειμένου να οργανώσετε την διαδικασία λήψης μετρήσεων πιο αποδοτικά.

Περιγραφή του λογισμικού προσομοίωσης

Το λογισμικό προσομοίωσης που ονομάζεται **Exp2**, επιτρέπει στους χρήστες την πραγματοποίηση απείρίας (απεριόριστων) μετρήσεων του μέγιστου ρεύματος I για διάφορα σύνολα τιμών των παραμέτρων εισόδου – την ακτίνα του Συλλέκτη R_C, την ακτίνα του Εκπομπού R_E και το μήκος του L_E, , και την διαφορά δυναμικού V μεταξύ Εκπομπού και Συλλέκτη. Όλες οι τιμές των παραμέτρων εισόδου δίνονται από το πληκτρολόγιο μετά την εμφάνιση κατάλληλων προτρεπτικών μηνυμάτων και καταχωρούνται με το πάτημα του πλήκτρου **Enter**.

Για να ξεκινήσετε, χρησιμοποιήστε τον ακόλουθο κωδικό εξουσιοδότησης, όταν σας ζητηθεί από το λογισμικό:

```
Enter Valid Authorization Key: 12345678.888
```

Η εισαγωγή μιας λανθασμένης τιμής θα θέσει το λογισμικό σε κατάσταση δοκιμαστικής λειτουργίας. Για να συνεχίσετε θα πρέπει να επανεκινήσετε το λογισμικό.

Κατά την εκτέλεση ενός τυπικού κύκλου προσομοίωσης μετρήσεων θα πρέπει στην οθόνη σας να βλέπετε μια εικόνα αντίστοιχη της ακόλουθης:

```
0.1 < R_C (cm) < 20.0 | R_C (cm): 18.5
0.1 < R_E (cm) < 20.0 | R_E (cm): 13.2
0.1 < L_E (cm) < 99.0 | L_E (cm): 35.3
1.0 < V_C (V) < 2000.0 | V_C (V): 207

I (A) = 1.04
======================================
0.1 < R_C (cm) < 20.0 | R_C (cm):
```

Θα πρέπει πρώτα να εισάγετε την ακτίνα του Συλλέκτη, κατόπιν του Εκπομπού, ακολούθως το μήκος του Εκπομπού (όλες οι τιμές σε εκατοστά του μέτρου) και τελικά την διαφορά δυναμικού, σε volt. Κάθε τιμή καταχωρίζεται με το πάτημα του πλήκτρου **Enter**.

Στην συνέχεια το λογισμικό επανέρχεται στο προτρεπτικό μήνυμα εισαγωγής της ακτίνας του Συλλέκτη.

Η εισαγωγή τιμής εκτός ορίων προκαλεί την εμφάνιση του μηνύματος σφάλματος.

```
Value Out Of Bounds
```

και επανεμφανίζεται το προτρεπτικό μήνυμα εισαγωγής της τιμής που δόθηκε λανθασμένα.

Όλα τα μήκη καταγράφονται με προσέγγιση χιλιοστού του μέτρου, ενώ οι τιμές δυναμικού με προσέγγιση ακέραιας τιμής. Η εισαγωγή τιμών με περισσότερα δεκαδικά ψηφία δεν βελτιώνει την ακρίβεια της μέτρησης. Υπάρχει όμως μια αβεβαιότητα της τάξης του 0.5 mm για οποιοδήποτε μήκος και της τάξης του 0.5 V για κάθε τιμή δυναμικού. Συνεπώς, διαδοχικές μετρήσεις ενδέχεται να οδηγήσουν σε διαφορετικές τιμές της έντασης του ρεύματος.

Η κλίμακα του αμπερομέτρου ρυθμίζεται αυτόματα, ώστε να παρέχει μόνο τρία σημαντικά ψηφία και μεταβαίνει αυτόματα σε κλίμακα A ή mA. Η αβεβαιότητά του είναι $\pm\frac{1}{2}$ του τελευταίου μη μηδενικού ψηφίου. Θα πρέπει να προσέξετε κατά πόσο οι τιμές εμφανίζονται μετρημένες σε mA ή A.

Αν υπερβείτε την τιμή των 40 A, το αμπερόμετρο θα καταστραφεί. Το λογισμικό σας ενημερώνει για το γεγονός αυτό με κατάλληλο μήνυμα. Ακολούθως επισκευάζει αυτόματα το αμπερόμετρο ώστε να είναι διαθέσιμο για την επόμενη μέτρηση.

Οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί να τερματίσετε το λογισμικό για να το επανεκκινήσετε, πατήστε τον συνδυασμό πλήκτρων **Ctrl+C**.

Μέρος A: Υπολογισμός εκθετών (4.5 Μονάδες)

Βρείτε τους εκθέτες στην εξίσωση (1), περιλαμβάνοντας μια ανάλυση επί των ορίων σφάλματος σε κάθε αποτέλεσμα:

A.1	Συλλέξτε ένα σύνολο μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του εκθέτη γ της μεταβλητής V. Σχεδιάστε ένα κατάλληλο γράφημα στον παρεχόμενο χώρο. Για τη διευκόλυνσή σας παρέχεται τόσο γραμμικό όσο και λογαριθμικό (log-log) χαρτί γραφήματος, αλλά χρειάζεται να σχεδιάσετε μόνο ένα γράφημα. Δηλώστε την τιμή που υπολογίσατε για τον συντελεστή γ και δώστε μία ανάλυση της αβεβαιότητάς στο αποτέλεσμά σας. .	1.5pt

A.2	Συλλέξτε ένα σύνολο μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί ο εκθέτης β της μεταβλητής L_E. Σχεδιάστε ένα κατάλληλο γράφημα στον παρεχόμενο χώρο. Χρειάζεται να σχεδιάσετε μόνο ένα γράφημα. Δηλώστε την τιμή που υπολογίσατε για τον συντελεστή β και δώστε μία ανάλυση της αβεβαιότητάς στο αποτέλεσμά σας.	1.5pt

A.3	Συλλέξτε ένα σύνολο μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί ο εκθέτης α της μεταβλητής R_C. Σχεδιάστε ένα κατάλληλο γράφημα στον παρεχόμενο χώρο. Χρειάζεται να σχεδιάσετε μόνο ένα γράφημα. Δηλώστε την τιμή που υπολογίσατε για τον συντελεστή α και δώστε μία ανάλυση της αβεβαιότητάς στο αποτέλεσμά σας.	1.5pt

Μέρος B: Εύρεση του συντελεστή G (1.0 Μονάδα)

Υπολογίστε την τιμή της συνάρτησης G when $R_C = 10R_E$:

B.1	Είτε πραγματοποιώντας πρόσθετες μετρήσεις είτε επαναχρησιμοποιώντας ήδη υπάρχουσες, καθορίστε την τιμή για το G όταν $R_C = 10R_E$ όταν $R_c = 10R_e$ και δώστε μία ανάλυση της αβεβαιότητάς στο αποτέλεσμά σας.	1.0pt

Μέρος C: Εύρεση της αδιάστατης συνάρτησης F (2.5 Μονάδες)

Να προσδιορίσετε πειραματικά από ποιες τις R_C, R_E, L_E, και V εξαρτάται η F όταν η L_E είναι συγκρίσιμη σε μέγεθος με την R_C στην Εξίσωση (2).

C.1	Στη λίστα των μεταβλητών στο φύλλο απαντήσεων, να αναφέρετε την κατεύθυνση του φαινομένου για παράδειγμα η F μεγαλώνει, μικραίνει, ή παραμένει σταθερή όταν η R_C αυξάνεται;	0.5pt

C.2	Παρατηρείται πως όταν $L_E \approx R_C$ η συνάρτηση F μπορεί να προσεγγιστεί ως γραμμική συνάρτηση μιας μοναδικής μεταβλητής x, όπου x είναι συνάρτηση μόνο δύο από τις ποσότητες R_C, R_E, L_E, και V. Το Φύλλο Απαντήσεων περιλαμβάνει αρκετές παραλλαγές της συνάρτησης για την x. Να επιλέξετε εκείνη που αποτυπώνει την πιο σημαντική συμπεριφορά.	0.5pt

C.3	Να θεωρήσετε μία γραμμική συνάρτηση της μορφής $F(x) = A + Bx$ για τιμές του $L_E \approx R_C$, και να προσδιορίσετε πειραματικά την παράμετρο B . Να περιορίσετε το εύρος τιμών στο διάστημα $R_C/2 \leq L_E \leq 2R_C$. Να σχεδιάσετε ένα κατάλληλο γράφημα για την F σε συνάρτηση με την απλή, κατάλληλη ποσότητα x για να προσεγγίσετε την F ως γραμμική συνάρτηση. Η ανάλυση σφαλμάτων δεν είναι απαραίτητη.	1.5pt

Δίοδος κυλινδρικού σχήματος

Μέρος A: Υπολογισμός εκθετών (4.5 μονάδες)

A.1 (1.5 pt)

Πίνακας τιμών

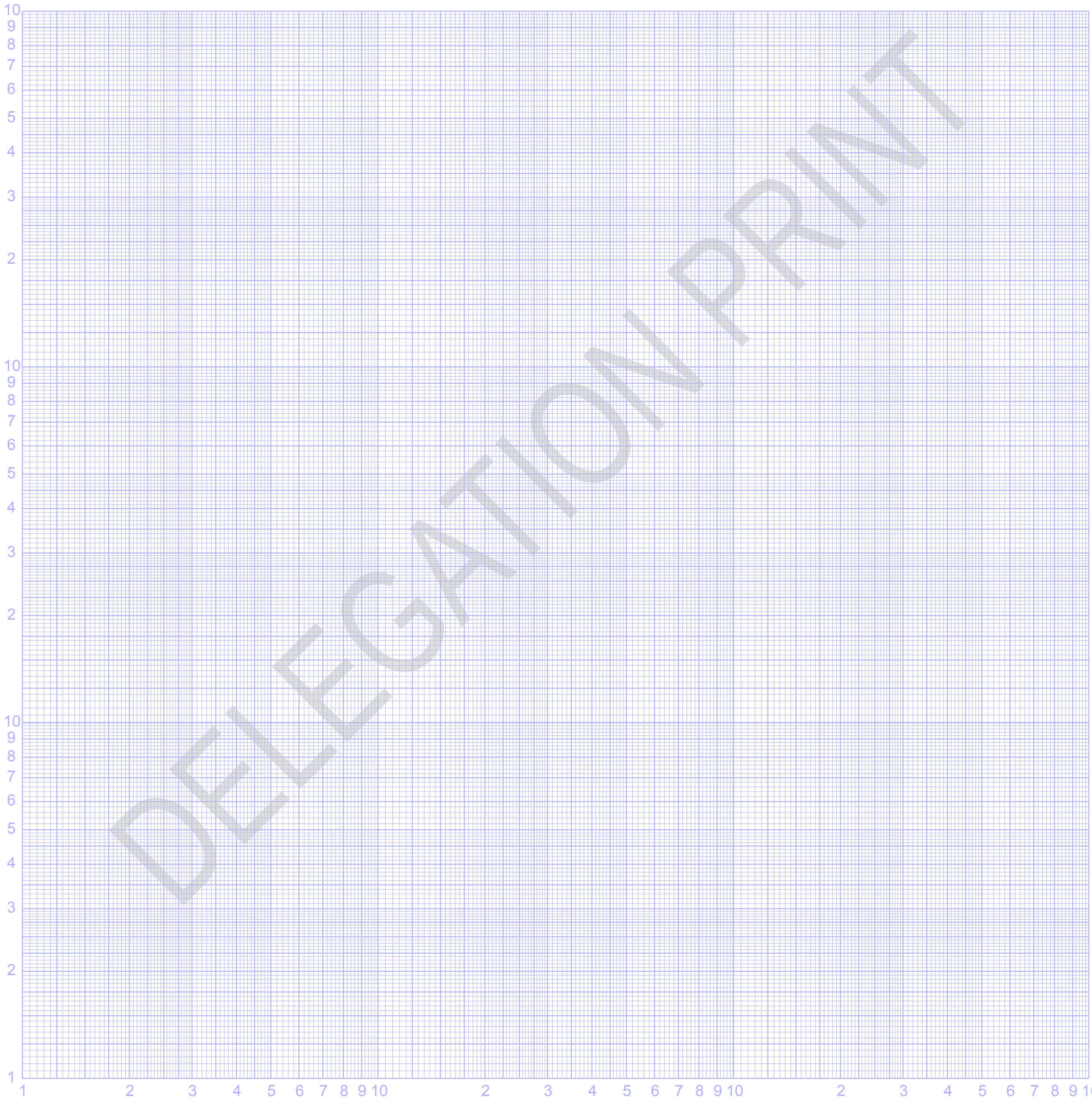
A.1 (cont.)

$\gamma =$

$\delta\gamma =$

A.1 (cont.)

Το λογαριθμικό γράφημα είναι προαιρετικό. Στο ερώτημα αυτό ζητείται η σχεδίαση μίας μόνο γραφικής παράστασης.



A.2 (1.5 pt)

Πίνακας τιμών

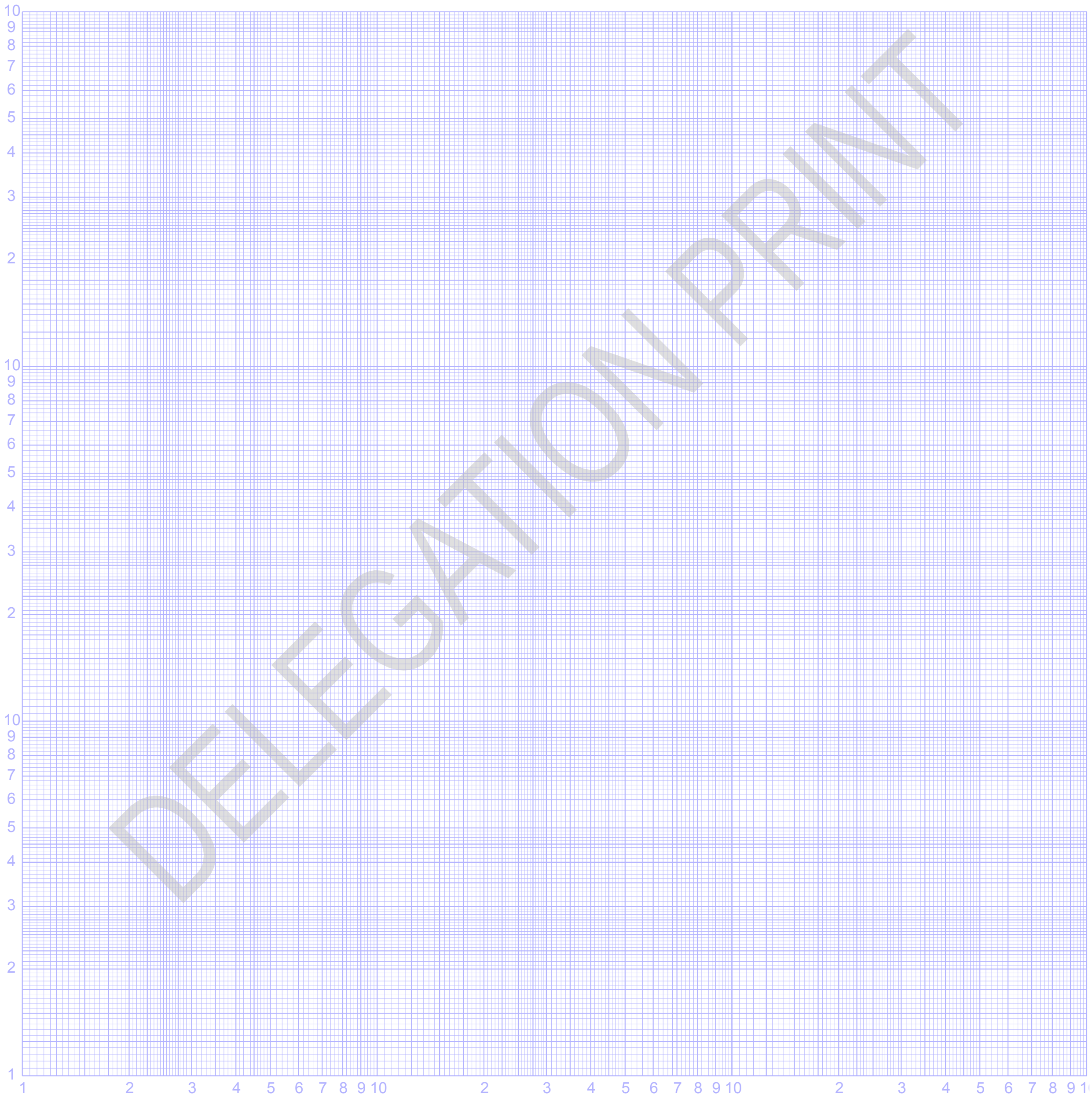
A.2 (cont.)

$\beta =$

$\delta\beta =$

A.2 (cont.)

Το λογαριθμικό γράφημα είναι προαιρετικό. Στο ερώτημα αυτό ζητείται η σχεδίαση μίας μόνο γραφικής παράστασης.



A.3 (1.5 pt)

Πίνακας τιμών

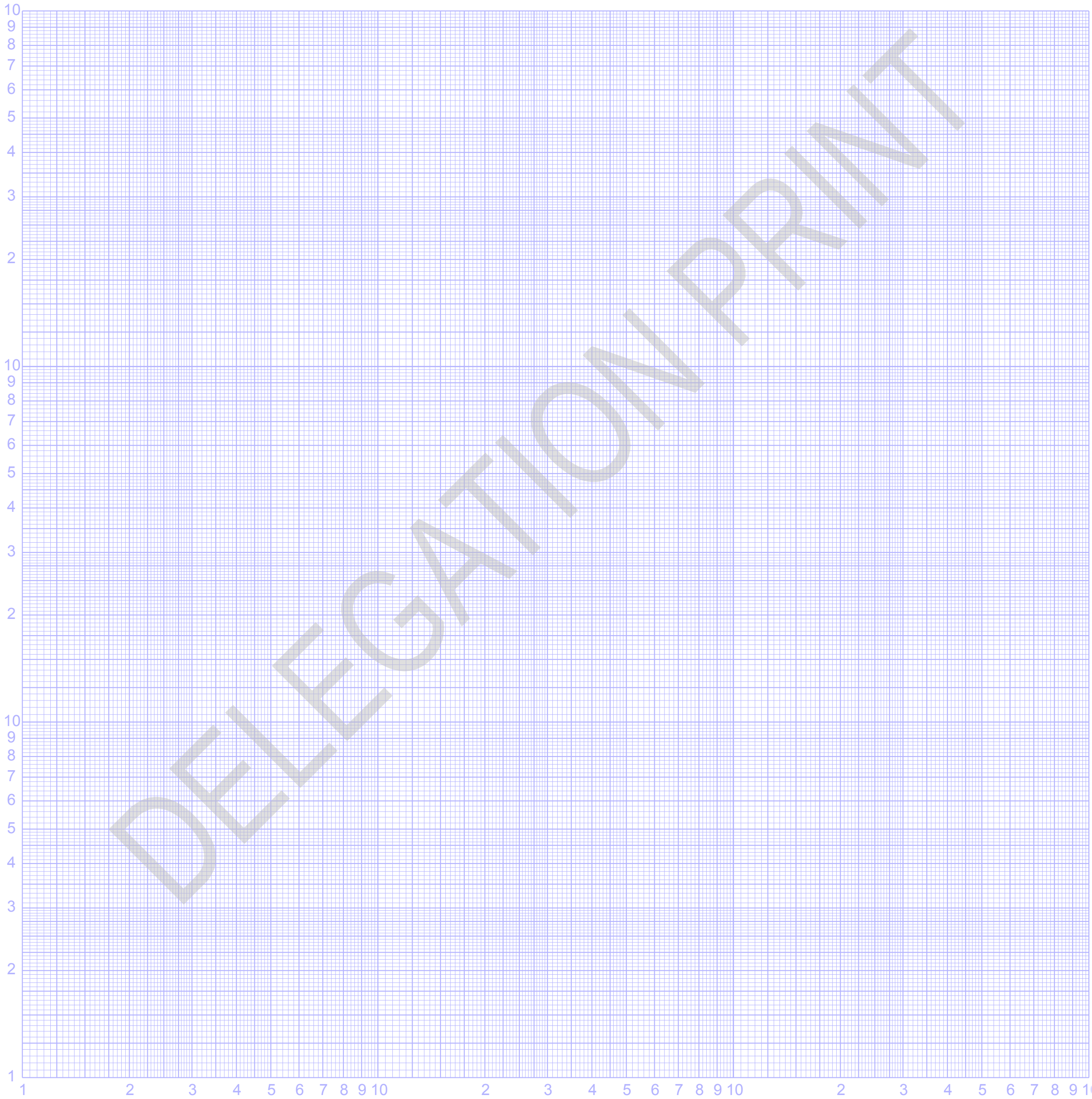
A.3 (cont.)

$\alpha =$

$\delta\alpha =$

A.3 (cont.)

Το λογαριθμικό γράφημα είναι προαιρετικό. Στο ερώτημα αυτό ζητείται η σχεδίαση μίας μόνο γραφικής παράστασης.



Μέρος Β: Εύρεση του συντελεστή G (1.0 μονάδα)

B.1 (1.0 pt)

$C =$

$\delta C =$

Μέρος C: Εύρεση της αδιάστατης συνάρτησης

C.1 (0.5 pt)

Σε κάθε μία από τις ακόλουθες περιπτώσεις, χρησιμοποιήστε ένα από τα προτεινόμενα σύμβολα για να δηλώσετε την μεταβολή: $\uparrow$ αύξηση. $\downarrow$ μείωση, $\longleftrightarrow$ καμία μεταβολή

Όταν η R_c αυξηθεί, η F θα:

Όταν η R_e αυξηθεί, η F θα:

Όταν η L_e αυξηθεί, η F θα:

Όταν η V αυξηθεί, η F θα:

C.2 (0.5 pt)
Οι προτεινόμενες συναρτήσεις του x στην $F(x)$ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα. Να επιλέξετε την βέλτιστη.

$R_C L_E$	$R_C V$	$R_C R_E$	$L_E V$
R_C / R_E	R_C / V	R_C / L_E	L_E / V

C.3 (1.5 pt)

Πίνακας τιμών (αν χρειάζεται):

C.3 (cont.)

Κλίση της ευθείας $F(x) = A + Bx$:

E2: Cylindrical Diode - SOLUTION

Take the logarithm of Equation 1,

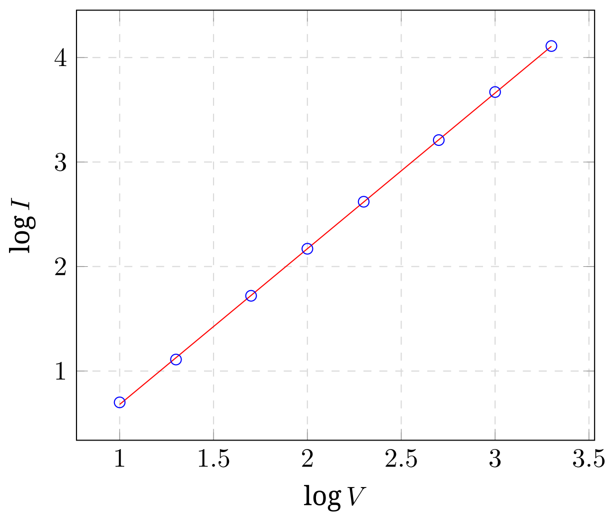
$$\log I_\infty = \log C + \alpha \log R_c + \beta \log L_e + \gamma \log V$$

A.1: Collect data by varying V. To minimize error, select maximum values for all fixed variables, this means $L_e = 99$ cm, $R_c = 10$ cm, and $R_e = 1.0$ cm. Distribute the voltages logarithmically between 10 and 2000

V (V)	I (mA)	$\log V$	$\log I$
10	5	1.0	0.70
20	13	1.3	1.11
50	52	1.7	1.72
100	147	2.0	2.17
200	415	2.3	2.62
500	1620	2.7	3.21
1000	4630	3.0	3.67
2000	12900	3.3	4.11

Plot this on a graph; the best fit line is

$$\log I = 1.490 \log V - 0.8095$$



so $\gamma = 1.49$.

A statistical analysis of the uncertainty in the slope yields $\gamma = 1.490 \pm 0.005$.

Assessing the slope by visually fitting lines through the error bars on the points requires considering that error bars on a log axis are given by

$$\delta(\log y) = \delta\left(\frac{\ln y}{\ln 10}\right) = \frac{1}{\ln 10}\frac{\delta y}{y}$$

Since the largest relative error is in the smallest valued quantity, the focus is on $\delta V/V$ for $V = 10$V and $\delta I/I$ for $I = 5$mA. The error bars associated with the log-log plot at that point are then

$$(1 \pm 0.02, 0.70 \pm 0.04)$$

The other error bars are smaller; focusing on that point alone we can fit two extreme lines and get

$$\gamma = 1.485 \pm 0.025$$

Either approach is acceptable.

Marking scheme:

Data	vary only V	0.05 pts
	$R_e \geq 1$cm	0.05 pts
	$R_c \geq 10R_e$cm	0.05 pts
	$L_e \geq 90$cm	0.05 pts
	table has units	0.05 pts
	V distributed as log	0.05 pts
	$V_{\text{max}} \geq 1000$V	0.05 pts
	$V_{\text{min}} \geq 10$V	0.05 pts
	$V_{\text{min}} \leq 50$V	0.05 pts
	Correct calculations	0.05 pts
	7 or more points	0.30/0.30
	6 points	0.25/0.30
	5 points	0.20/0.30
	4 or fewer points	0.10/0.30
Plotting	covers $>50\%$ of area	0.10 pts
	Axis labels	0.05 pts
	Axis units correct	0.05 pts
	one plotting mistake	-0.05/-0.10
	two or more plotting mistakes	-0.10/-0.10
Fit	line drawn on graph	0.10 pts
	slope correctly computed with units	0.10 pts
	$1.45 < \gamma < 1.55$	0.10 pts
	uncertainty of slope computed	0.10 pts
	$\delta\gamma \leq 0.03$	0.10 pts
	sum	**1.5 pts**

Measured data should be entered into spreadsheet that will calculate results; if deviation is too large, data point should not count.

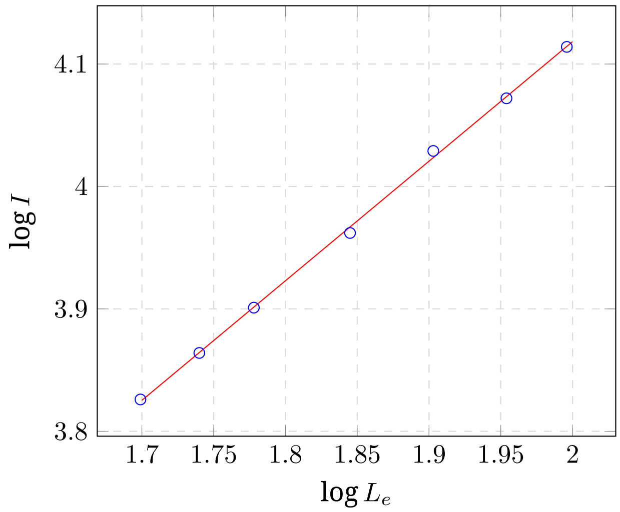
Evidence of reverse engineering should result in zero points for the entire section

A.2: Collect data by varying L_e. To minimize error, select maximum values for all fixed variables, this means $V = 2000$ V, $R_c = 10$ cm, and $R_e = 1$ cm.

L_e (cm)	I (mA)	$\log L_e$	$\log I$
99	13000	1.996	4.144
90	11800	1.954	4.072
80	10700	1.903	4.029
70	9170	1.845	3.962
60	7960	1.778	3.901
55	7310	1.740	3.864
50	6700	1.699	3.826

Plot this on a graph; the best fit line is

$$\log I = 0.9767 \log L_e + 2.1649$$



so $\beta = 0.9767$.

A statistical analysis of the uncertainty in the slope yields $\beta = 0.98 \pm 0.02$.

Graphical fitting of the steepest and shallowest lines yields $\beta = 0.97 \pm 0.02$.

Marking scheme:

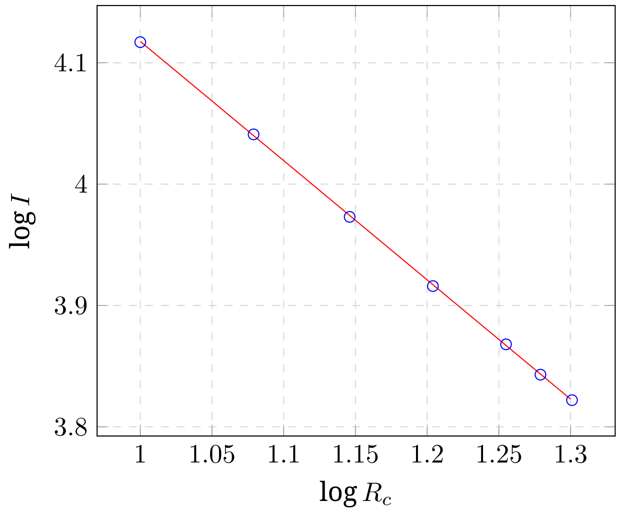
Data	vary only L_e	0.05 pts
	$R_e \geq 1$cm	0.05 pts
	$R_c \geq 10R_e$cm	0.05 pts
	$V \geq 100$V	0.05 pts
	table has units	0.05 pts
	L_e distributed evenly	0.05 pts
	$L_{e,\text{max}} \geq 90$cm	0.05 pts
	$L_{e,\text{min}} \geq 3R_c$	0.05 pts
	$L_{e,\text{min}} \leq 50$cm	0.05 pts
	Correct calculations of derived quantities	0.05 pts
	7 or more points	0.30/0.30
	6 points	0.25/0.30
	5 points	0.20/0.30
	4 or fewer points	0.10/0.30
Plotting	covers $> 50\%$ of area	0.10 pts
	Axis labels	0.05 pts
	Axis units correct	0.05 pts
	one plotting mistake	-0.05/-0.10
	two or more plotting mistakes	-0.10/-0.10
Fit	line drawn on graph	0.10 pts
	slope correctly computed with units	0.10 pts
	$0.97 < \beta < 1.03$	0.10 pts
	uncertainty of slope computed	0.10 pts
	$\delta\beta \leq 0.03$	0.10 pts
	sum	**1.5 pts**

A.3: Collect data by varying R_c. To minimize error, select maximum values for all fixed variables, this means $V = 2000$ V, $L_e = 99$ cm, and $R_e = R_c/10$ cm.

R_c (cm)	I (mA)	log R_c	log I
20	6640	1.301	3.822
19	6970	1.279	3.843
18	7380	1.255	3.868
16	8240	1.204	3.916
14	9390	1.146	3.973
12	11000	1.079	4.041
10	13100	1.000	4.117

Plot this on a graph; the best fit line is

$$\log I = -0.9816 \log R_c + 5.1000$$



so $\alpha = -0.9824$.

A statistical analysis of the uncertainty in the slope yields $\beta = -0.98 \pm 0.01$.

Graphical fitting of the steepest and shallowest lines yields $\beta = 0.97 \pm 0.02$.

Marking scheme:

Data	vary only R_c	0.05 pts
	$R_e \geq 1$cm	0.05 pts
	$R_c \geq 10R_e$cm	0.05 pts
	$V \geq 100$V	0.05 pts
	table has units	0.05 pts
	R_c distributed evenly	0.05 pts
	$R_{c,\text{max}} \geq 15$cm	0.05 pts
	$R_{c,\text{min}} \geq 10R_e$	0.05 pts
	$R_{c,\text{min}} \leq 10$cm	0.05 pts
	Correct calculations of derived quantities	0.05 pts
	7 or more points	0.30/0.30
	6 points	0.25/0.30
	5 points	0.20/0.30
	4 or fewer points	0.10/0.30
Plotting	covers > 50% of area	0.10 pts
	Axis labels	0.05 pts
	Axis units correct	0.05 pts
	one plotting mistake	-0.05/-0.10
	two or more plotting mistakes	-0.10/-0.10
Fit	line drawn on graph	0.10 pts
	slope correctly computed with units	0.10 pts
	$-1.03 < \alpha < -0.97$	0.10 pts
	uncertainty of slope computed	0.10 pts
	$\delta\alpha \leq 0.03$	0.10 pts
	sum	**1.5 pts**

B.1: Use all three sets of data, and the exponents from all three, and then average the results

$$\log C = \log I - 1.495 \log V - 0.9854 \log L_e + 0.9781 \log R_c$$

which gives

$$C = (0.0165 \pm 0.0003)\mathrm{mA/V}^{3/2}$$

The theoretical value is approximately:

$$\frac{8\pi\epsilon_0}{9}\sqrt{\frac{2e}{m}} \approx 1.47 \times 10^{-5}\mathrm{A/V}^{3/2}.$$

Note that there is a nasty correction (the texts usually call it β, which is not the same as our exponent), that we use in the code, but aren't expecting students to find, because of this correction, we don't expect the theoretical value to hold. Students who try to solve the theoretical problem will be vexed by this.

For space reasons, we write numerical C below without explicit units, but using the units of $\mu\mathrm{A/V}^{3/2}$, that is

$$C = 16.5\mu\mathrm{A/V}^{3/2}$$

Students *must* have clear units!

Marking scheme:

Theory	clear statement	0.20 pts
Fit	Used $R_c = 10R_e$	0.10 pts
	C computed	0.10 pts
	More than 9 data points	0.20/0.20 pts
	8 or 9 data points	0.15/0.20 pts
	7 or 8 data points	0.10/0.20 pts
	5 or 6 data points	0.05/0.20 pts
	C has correct units	0.10 pts
	$16.2 \leq C \leq 16.8$	0.10/0.10 pts
	$15.9 \leq C \leq 17.1$	0.05/0.10 pts
	uncertainty computed	0.10 pts
	$0.1 < \delta C \leq 0.03$	0.10 pts
	$0 < \delta C \leq 0.05$	0.05/0.10 pts
	sum	**1.0 pts**

Clear statement of theory means that somewhere there is a justification for the data they are collecting and using. This can be in the form of the log formula; words are not necessary. Reusing data is okay.

C.1: Start by assuming that L_e matters, and look at values near R_c. Repeat for other variables. Remember that C depends on the ratio between R_c/R_e, so change these together!

Using nearest half integers, we have for the first equation

$$I_\infty = C\frac{L_e}{R_c}V^{3/2}$$

so that

$$F = \frac{I_{measured}}{C\frac{L_e}{R_c}V^{3/2}}$$

R_c	R_e	L_e	V	I	I_∞	F
cm	cm	cm	V	mA	mA	
10	1	10	1000	535	500	1.071
12	1.2	10	1000	470	416	1.129
8	0.8	10	1000	647	624	1.036
10	1	12	1000	630	599	1.051
10	1	8	1000	451	400	1.129
12	1.2	12	1000	537	500	1.075
8	0.8	8	1000	537	500	1.075
10	1	10	1100	617	576	1.071
10	1	10	900	457	426	1.072

From this we conclude that if $R_c \uparrow$, $F \uparrow$; if $L_e \uparrow$, $F \downarrow$; if $V \uparrow$, F doesn't change.

Also, we notice that the ratio R_c/L_e seems to be the important quantity.

Marking scheme:

Data	clearly collected	0.10 pts
Data	$R_c \uparrow \Longrightarrow F \uparrow$	0.10 pts
	$L_e \uparrow \Longrightarrow F \downarrow$	0.10 pts
	$V_c \uparrow$: F no significant change	0.10 pts
	$R_e \uparrow$: F no significant change	0.10 pts
	sum	**0.5 pts**

C.2: We propose

$$F = A + B\frac{R_c}{L_e}$$

with $x = R_c/L_e$.

Marking scheme:

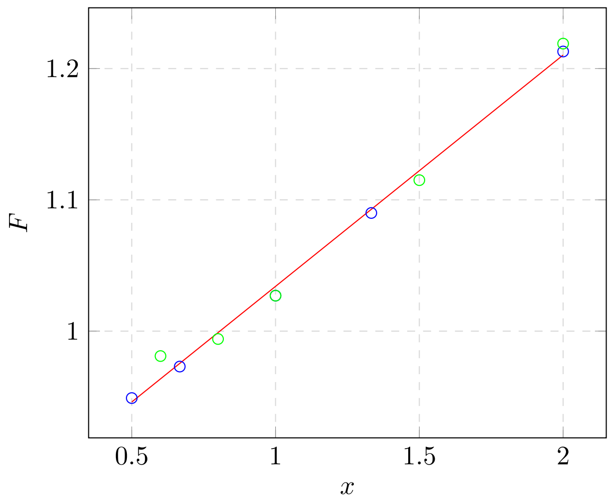
Theory	clear statement	0.20 pts
Def	$x = R_c/L_e$	0.30/0.30 pts
	$x = L_e/R_c$	0.15/0.30 pts
	sum	**0.5 pts**

Any multiple of R_c/L_e is also acceptable.

C.3: It is important to collect data that varies R_c and L_e independently, so as to not bias our hypothesis. We will also keep the ratio with $R_c/R_e = 10$, in order to avoid other effects with the constant in part B.

R_c (cm)	L_e (cm)	I (mA)	I_∞	x	F
20	10	898	740	2.000	1.213
20	15	1210	1110	1.333	1.090
20	20	1520	1480	1.000	1.027
20	30	2160	2221	0.667	0.973
20	40	2810	2961	0.500	0.949
6	10	2420	2467	0.600	0.981
8	10	1840	1850	0.800	0.994
10	10	1520	1480	1.000	1.027
15	10	1100	987	1.500	1.115
20	10	902	740	2.000	1.219

We plot the results below; blue are the values of fixed R_e while green are the values of fixed L_e.



The result is

$$F(x) = 0.8579 + 0.1762x$$

Which is in error at $x = 1$ by about 3%.

If you are thinking that this looks like a quadratic fit might be better, you are correct, but there really isn't time to do that for this experiment.

Marking scheme:

Data	vary L_e	0.10 pts
	vary R_c	0.10 pts
	$R_e \geq 0.5$cm	0.05 pts
	$R_c = 10R_e$cm	0.05 pts
	$V \geq 500$V	0.05 pts
	table has units	0.05 pts
	$L_e \geq 10$cm	0.05 pts
	$L_{e,\text{max}} \leq 40$cm	0.05 pts
	L_e well distributed	0.05 pts
	R_c	0.05 pts
	Correct calculations of derived quantities	0.10 pts
	10 or more points	0.30/0.30
	9 points	0.25/0.30
	8 points	0.20/0.30
	6 or 7 points	0.10/0.30
	5 or fewer points	0.05/0.30
Plotting	covers $>$ 50% of area	0.10 pts
	Axis labels	0.05 pts
	Axis units correct	0.05 pts
	one plotting mistake	-0.05/-0.10
	two or more plotting mistakes	-0.10/-0.10
Fit	line drawn on graph	0.10 pts
	slope correctly computed with units	0.10 pts
	$0.17 < B < 0.18$	0.10 pts
	sum	**1.5 pts**