

# **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΔΕΣΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ**

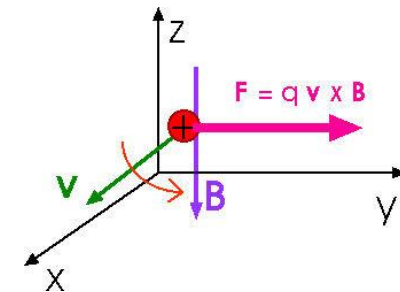
Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση παρουσιάζεται η επίδραση ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου σε δέσμη ηλεκτρονίων συγκεκριμένης ενέργειας.

Η δέσμη των ηλεκτρονίων δημιουργεί ένα σχετικά λεπτό αλλά ευδιάκριτο ίχνος, κυκλικού σχήματος στο εσωτερικό μιας λυχνίας.

Με την μέτρηση της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς προσδιορίζεται το ειδικό φορτίο ( $e / m$ ) του ηλεκτρονίου και συγκρίνεται με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή  $1.76 \times 10^{11} \text{ C / Kg}$

$$F_L = e v \times B = e v B \sin \theta$$

$$\theta = 90^\circ \quad \sin 90 = 1$$



## 2. Θεωρία

Ηλεκτρόνιο μάζας  $m$  και φορτίου  $e$  κινείται με ταχύτητα  $v$  μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B$  που έχει διεύθυνση κάθετη στην διεύθυνση της κίνησης.

Το ηλεκτρόνιο δέχεται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο το μέτρο της οποίας είναι ίσο με :

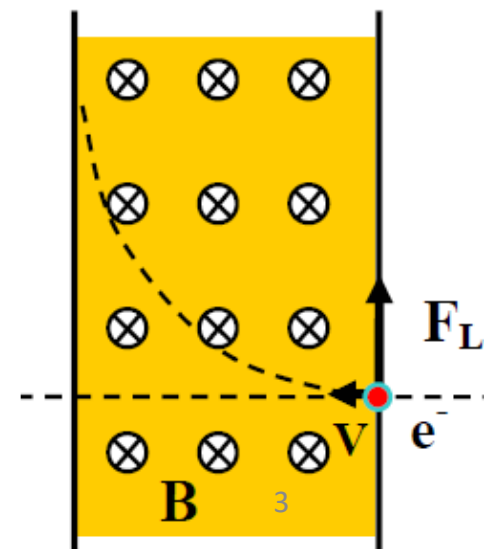
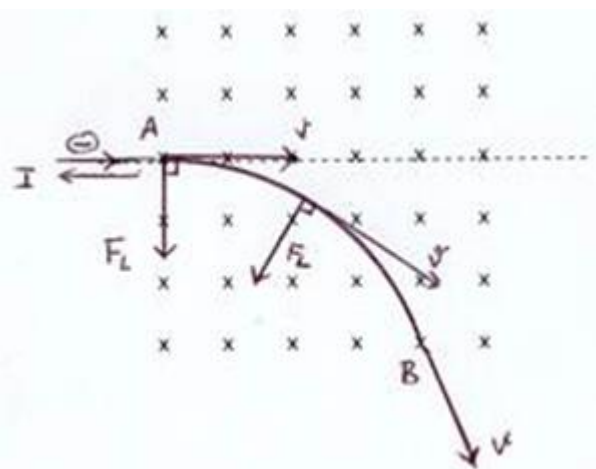
$$F_L = e B v$$

Η δύναμη αυτή εξαναγκάζει το ηλεκτρόνιο σε κυκλική κίνηση ακτίνας  $R$  έτσι ώστε να ισχύει :

$$F_L = m v^2 / R \text{ ή ακόμη}$$

$$e B v = m v^2 / R, \text{ και τελικά :}$$

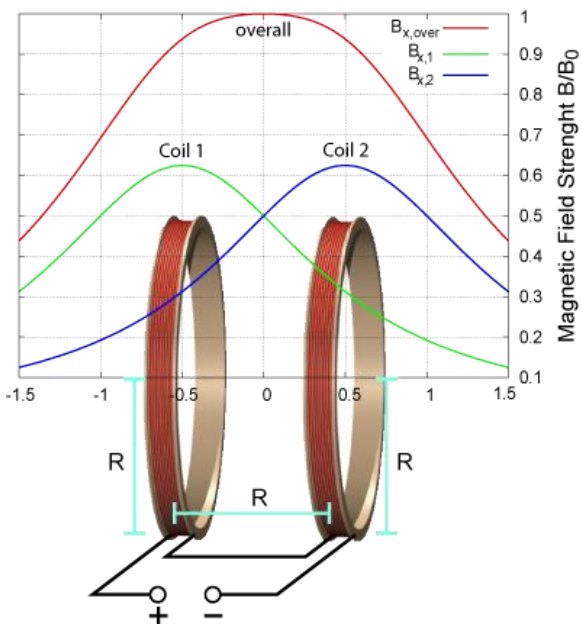
$$e / m = v / B R$$



## 2. Θεωρία

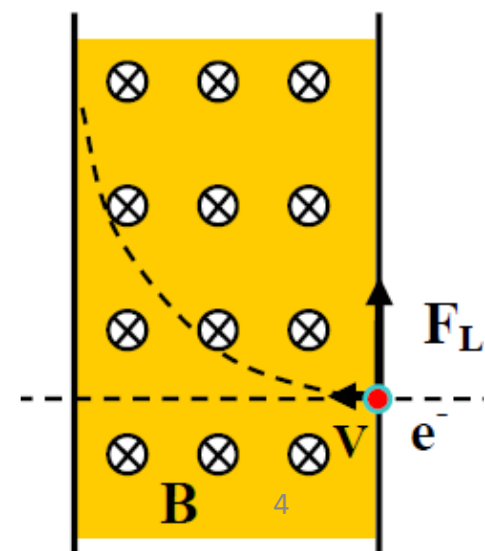
Τώρα, εάν η ταχύτητα  $v$  είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης ενός επιταχυντικού ηλεκτροστατικού πεδίου διαφοράς δυναμικού  $V$  τότε ισχύει :

$$m v^2 / 2 = e V \Rightarrow v^2 = 2 e V / m = ( e / m )^2 B^2 R^2 \Rightarrow e / m = 2 V / ( B R )^2$$



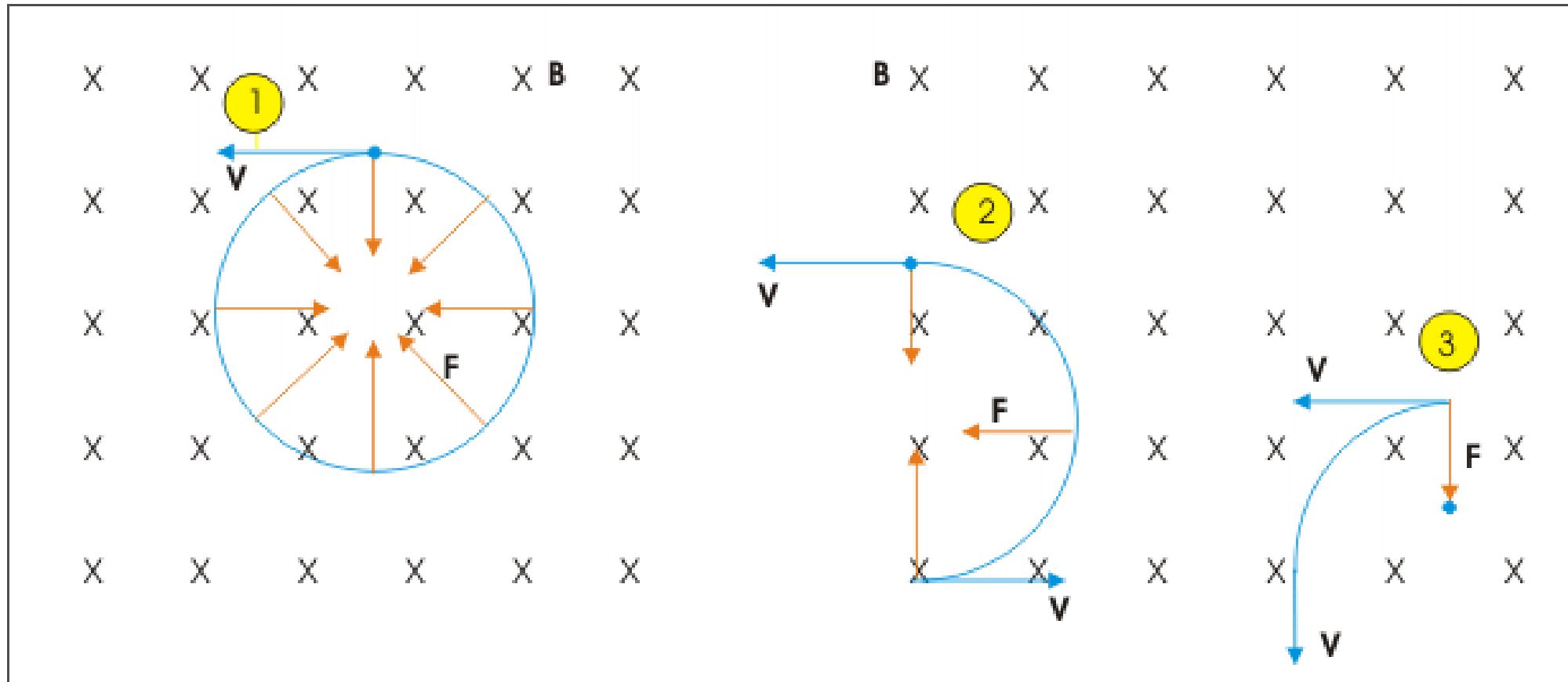
Η τάση  $V$  επιλέγεται από τον πειραματιστή όπως άλλωστε και το ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B$  (μέσω του ρεύματος  $I$  που διαρρέει το ζευγάρι των πηνίων Helmholtz).

Με δεδομένα τα  $V$  και  $I$  εάν μετρηθεί πειραματικά η ακτίνα  $R$  υπολογίζεται το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου  $e / m$ .



## 2. Θεωρία

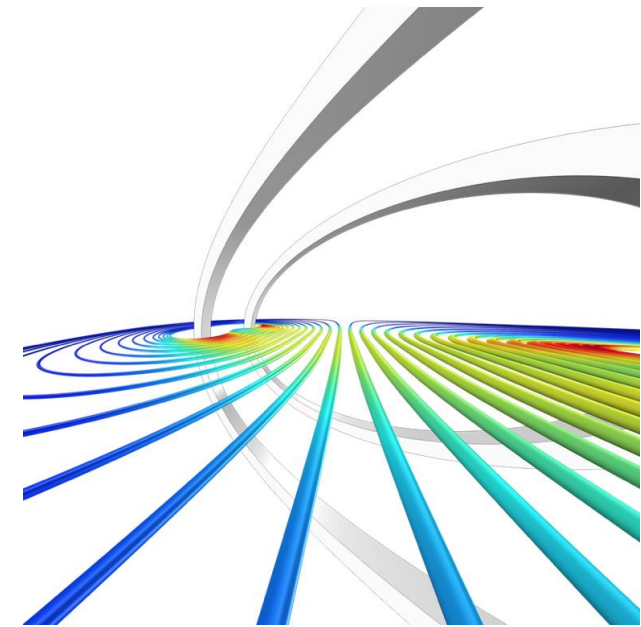
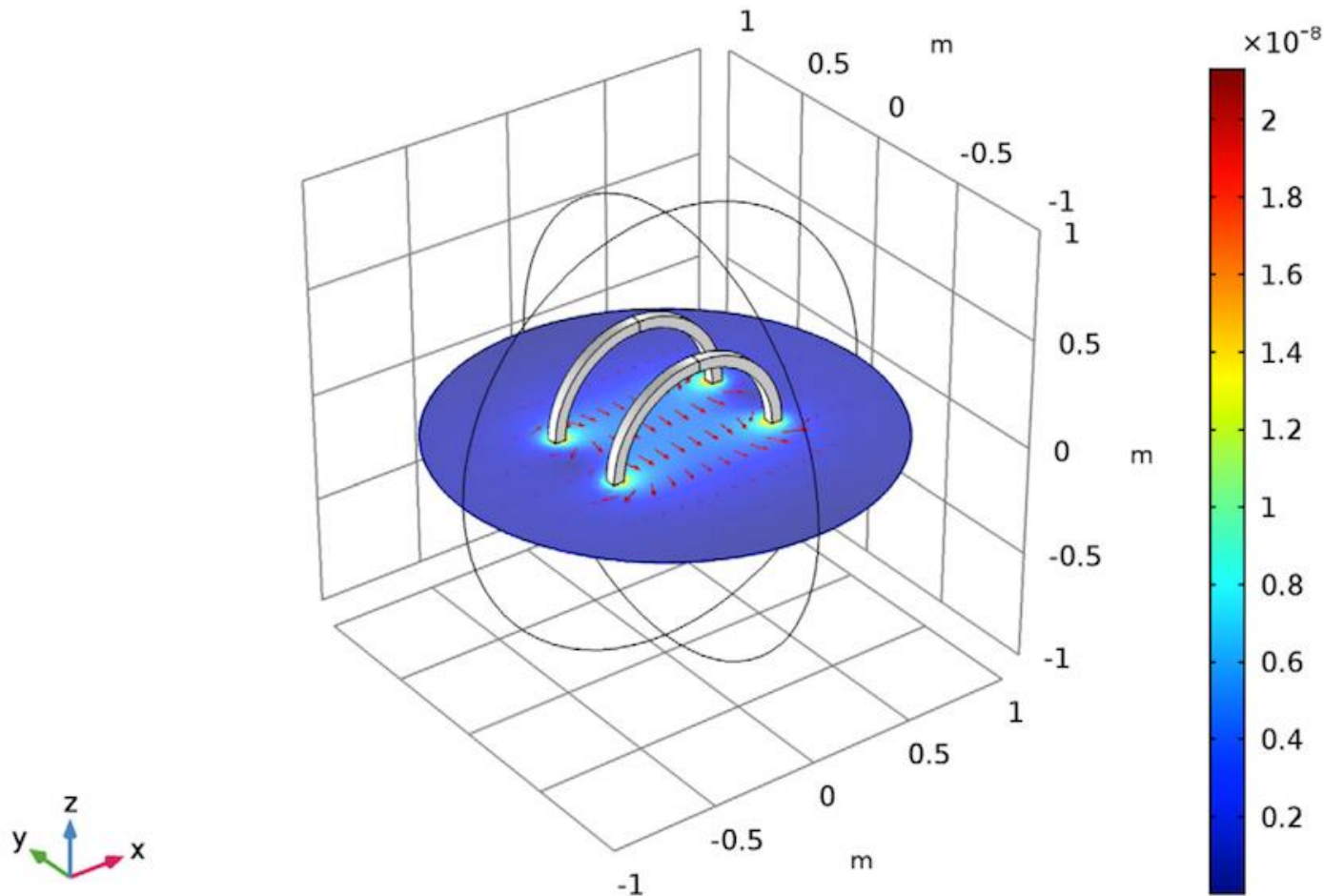
### Κίνηση θετικού φορτίου σε μαγνητικό πεδίο



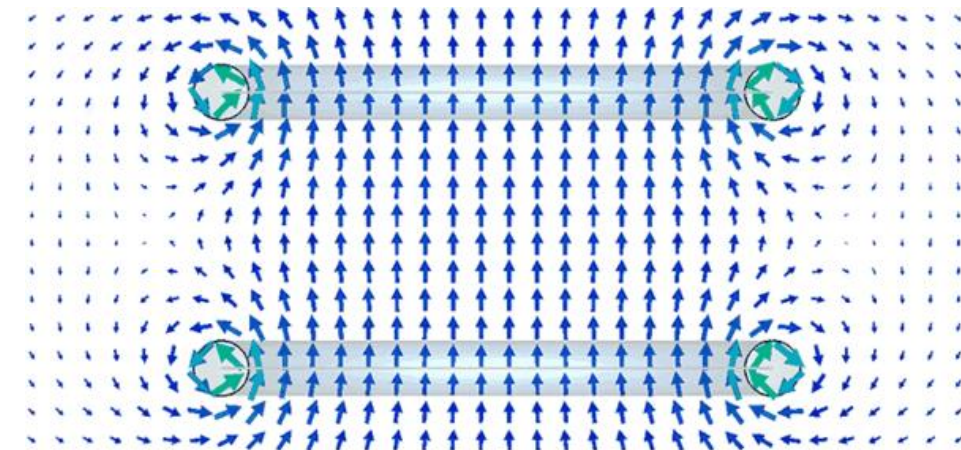
[https://cnx.org/contents/UBPo-xuY@13.12:d\\_ghSIZu@9/Motion-of-a-charged-particle-in-magnetic-field](https://cnx.org/contents/UBPo-xuY@13.12:d_ghSIZu@9/Motion-of-a-charged-particle-in-magnetic-field)

## 2. Θεωρία

Slice: Magnetic flux density norm (T) Arrow Volume: Magnetic field Surface: 1 (1)



<https://www.comsol.com/blogs/simulating-helmholtz-coils-comsol-multiphysics/>

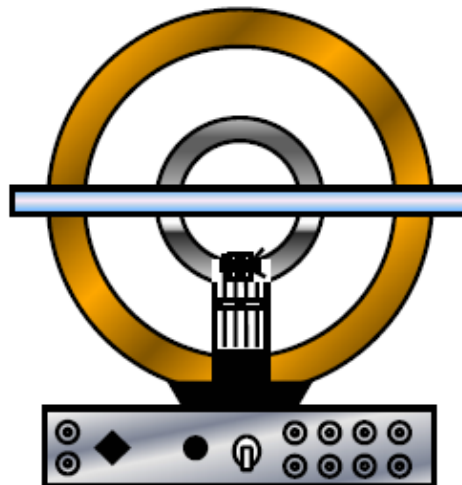
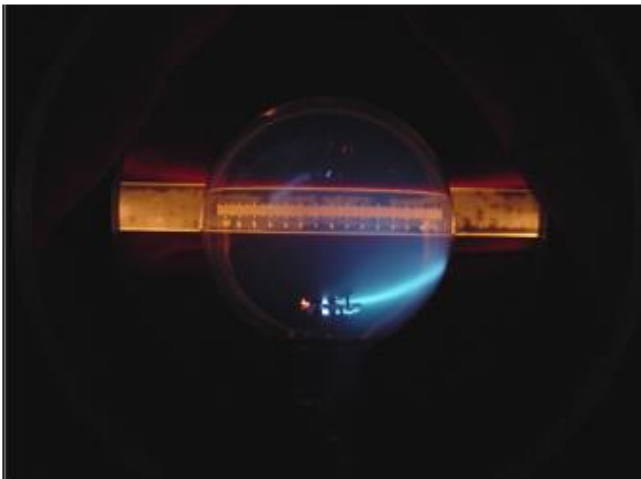


<https://www.3ds.com/products-services/simulia/resources/helmholtz-coil/6>

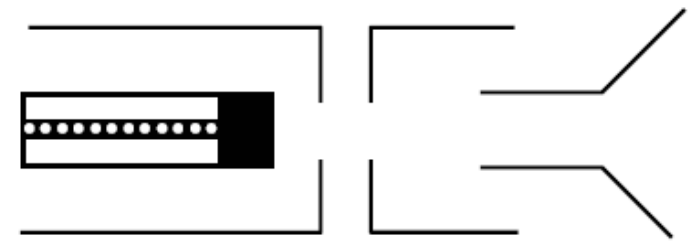
### 3. Πειραματική διαδικασία

Η σφαιρική, γυάλινη λυχνία περιέχει αέριο ήλιο (He) υπό πίεση  $10^{-2}$  mm στήλης υδραργύρου (Hg) ενώ στην βάση της διαθέτει μικροσκοπικό «ηλεκτρονικό πυροβόλο» που θερμαινόμενο εκπέμπει ηλεκτρόνια.

Η δέσμη ηλεκτρονίων δημιουργεί ένα ορατό, ευδιάκριτο ίχνος στο εσωτερικό της λυχνίας διότι κάποια από αυτά συγκρούονται και διεγείρουν τα άτομα του ηλίου τα οποία αποδιεγείρονται εκπέμποντας ορατή ακτινοβολία γαλάζιας απόχρωσης.



### 3. Πειραματική διαδικασία



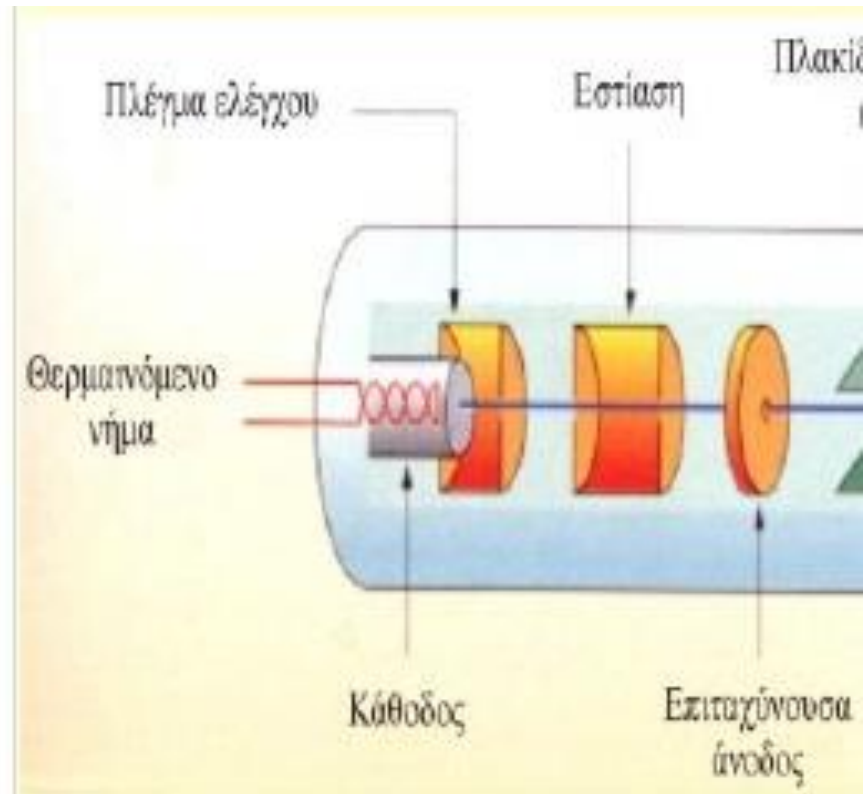
Το ηλεκτρονικό πυροβόλο παρουσιάζεται σχηματικά στην συνέχεια.

Το νήμα θέρμανσης θερμαίνει την κάθοδο η οποία εκπέμπει έτσι μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων.

Τα ηλεκτρόνια αυτά επιταχύνονται στο ηλεκτροστατικό δυναμικό μεταξύ ανόδου και καθόδου.

Το πλέγμα χαρακτηρίζεται από θετικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο και αρνητικό δυναμικό σε σχέση με την άνοδο.

Ο ρόλος του πλέγματος είναι για την καλλίτερη εστίαση της δέσμης των ηλεκτρονίων.





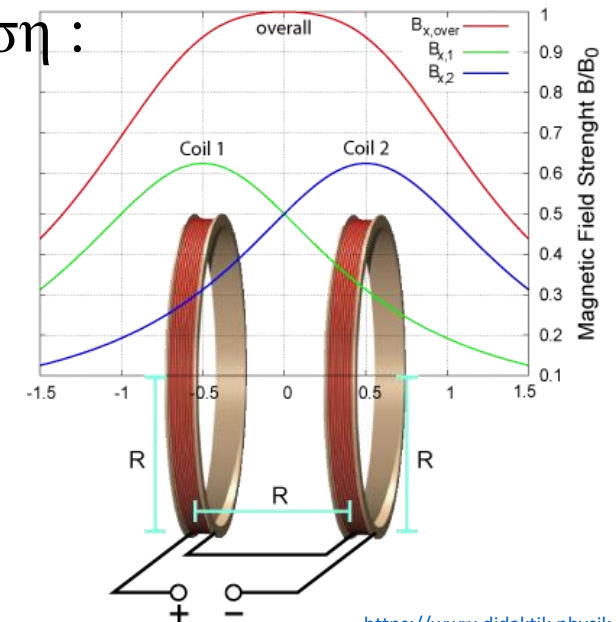
### 3. Πειραματική διαδικασία

Η γεωμετρία των πηνίων Helmholtz είναι τέτοια ώστε η ακτίνα του κάθε πηνίου να είναι ακριβώς ίση με την μεταξύ τους απόσταση. Η διάταξη αυτή δημιουργεί ένα σχεδόν ομογενές μαγνητικό πεδίο στο κατακόρυφο επίπεδο της κίνησης των ηλεκτρονίων.

Τα πηνία Helmholtz έχουν εν προκειμένω ακτίνα **R= 14,9 cm**, αυτή άλλωστε είναι και η απόσταση μεταξύ τους. Κάθε πηνίο διαθέτει **N=124 σπείρες** από μεταλλικό σύρμα που διαρρέεται από ρεύμα σταθερής φοράς, εντάσεως I. Το ομογενές μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο μέσον της διάταξης των πηνίων είναι ανάλογο του ρεύματος I που τα διαρρέει και μάλιστα δίνεται, στην συγκεκριμένη διάταξη, από την σχέση :

$$B = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot I \cdot N}{\sqrt{125} \cdot R} \Rightarrow B \text{ (σε Tesla)} = 7.48 \times 10^{-6} I \text{ (σε A)}$$

*Πως βγήκε αυτός ο τύπος του μαγνητικού πεδίου????*



### 3. Πειραματική διαδικασία

Από νομο του Biot-Savart

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2} \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \vec{e}_x$$

Το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο δύο πηνίων Helmholtz με την υπέρθεση δύο κυκλικών ρευμάτων. Για λόγους συμμετρίας γίνεται:

$$B = B\left(\frac{R}{2}\right) + B\left(-\frac{R}{2}\right) = 2 \cdot B\left(\frac{R}{2}\right)$$

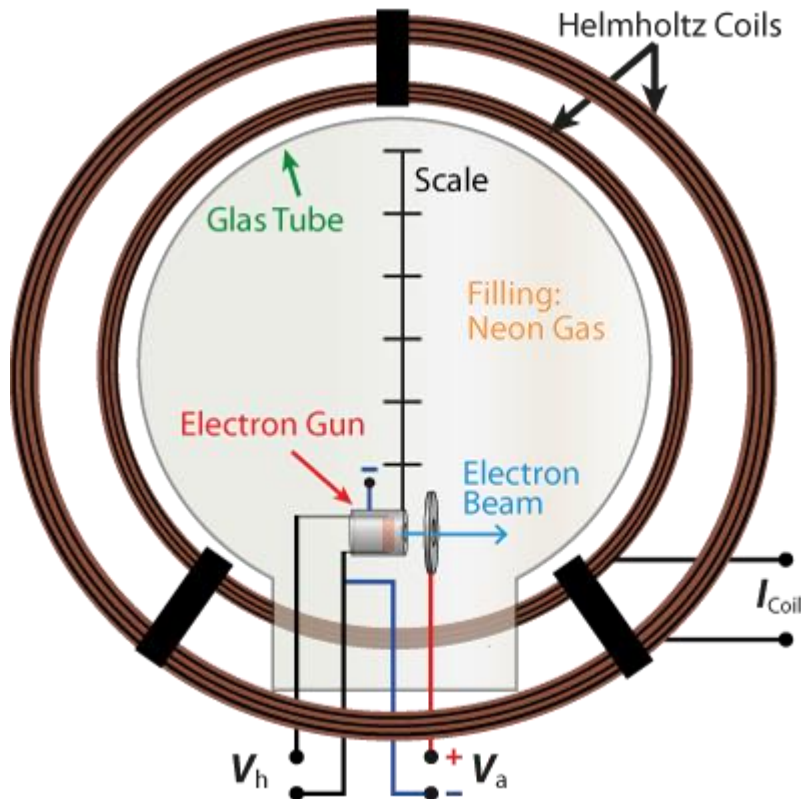
$$B = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot R^2}{\left(R^2 + \frac{R^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \Rightarrow \quad B = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot I}{\sqrt{125} \cdot R} \quad (1 \text{ σπειρας})$$

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{|\mathbf{ds} \times \mathbf{r}|}{r^2} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{ds}{z^2 + a^2}$$

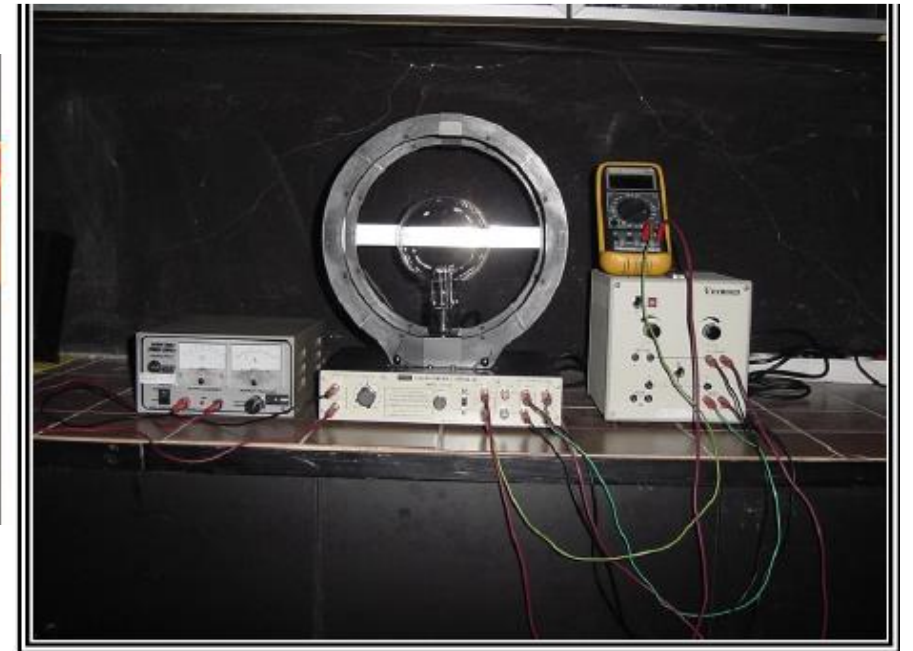
Κυκλικος αγωγος ακτινας  $a$ , που διαρρεται με ρευμα  $I$   
 $ds$  στοιχειωδες τμημα αγωγου,  $z$  αποσταση από  
κεντρου του κυκλου

### 3. Πειραματική διαδικασία

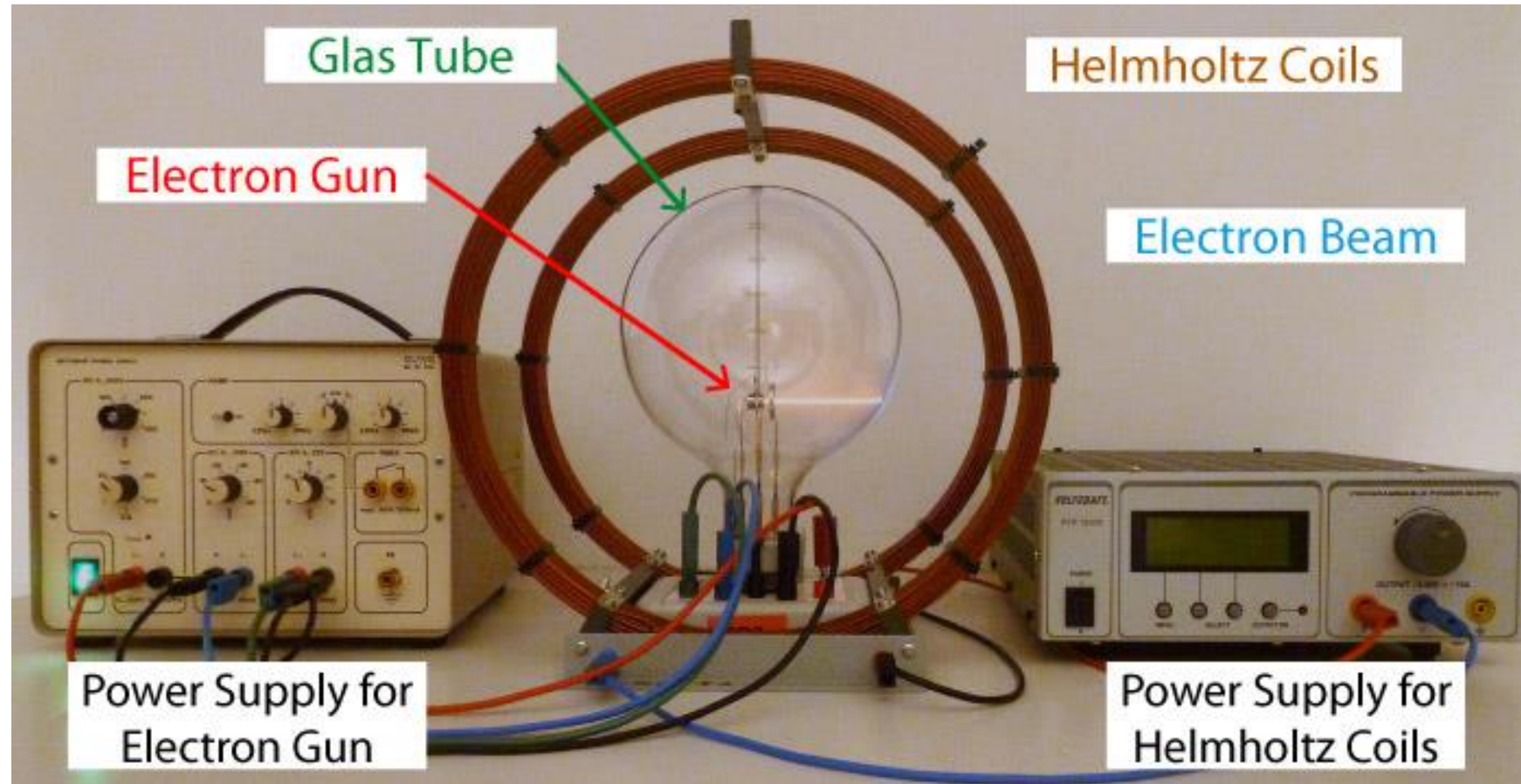
Η σφαιρική γυάλινη λυχνία τοποθετείται κατακόρυφα σε ορθογώνιο, μεταλλικό κιβώτιο συνδεσμολογίας στο οποίο στηρίζονται ήδη και τα πηνία Helmholtz. Το κιβώτιο αυτό έχει και τις κατάλληλες, σημειωμένες υποδοχές για την απαιτούμενη συνδεσμολογία της πειραματικής διάταξης.



<http://berkeleyphysicsdemos.net/node/471>



### 3. Πειραματική διαδικασία



<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/B-Feld/Versuchsaufbau.php>

### 3. Πειραματική διαδικασία

Με σκοπό την βελτίωση των συνθηκών παρατήρησης η όλη διάταξη της λυχνίας καλύπτεται από αδιαφανές, σκούρο ύφασμα και έτσι οι μετρήσεις του ίχνους της ακτίνας των ηλεκτρονίων μπορεί να πραγματοποιηθούν και σε εργαστηριακές συνθήκες με φωτεινό σχετικά περιβάλλον.

Το κύκλωμα του πειράματος αποτελείται από δυο κυρίως μέρη που συνδυάζονται με το προαναφερθέν κιβώτιο της συνδεσμολογίας. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πλήρης πειραματική διάταξη με την σφαιρική λυχνία, τα δυο τροφοδοτικά και το ψηφιακό πολύμετρο.

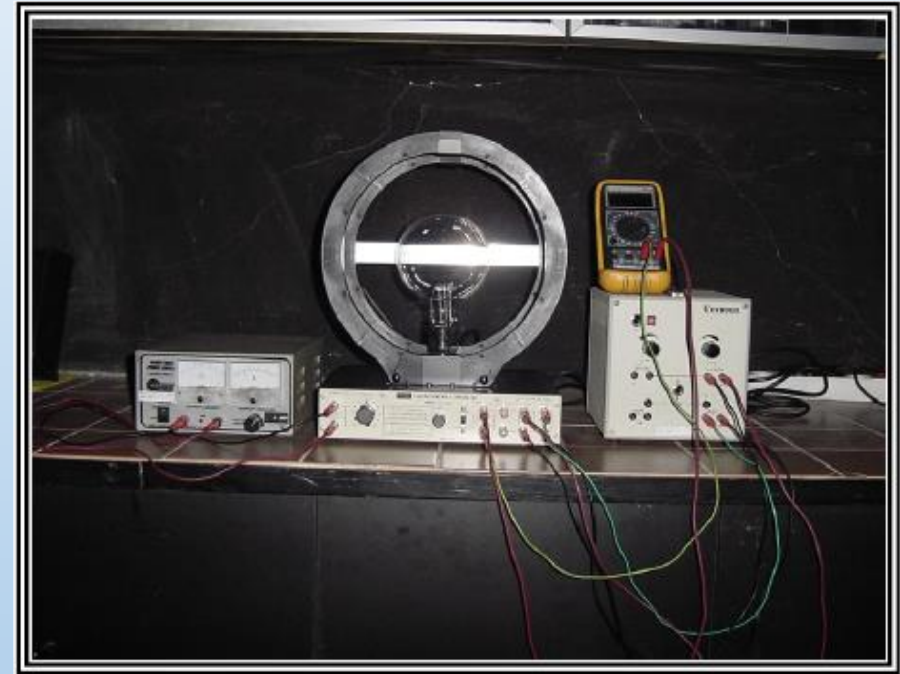


### 3. Πειραματική διαδικασία

Αριστερά είναι το τροφοδοτικό των πηνίων Helmholtz, η τάση μεταβάλλεται από 5 έως 9 Volts ενώ η αντίστοιχη μεταβολή στο ρεύμα των πηνίων είναι από 1.0 έως (το πολύ) 2.0 A. Δεξιά της λυχνίας βρίσκεται το τροφοδοτικό που εξυπηρετεί ταυτόχρονα δυο απαιτήσεις.

Η μια είναι να τροφοδοτεί με την σταθερή τάση θέρμανσης των 6.5 V το νήμα της καθόδου ενώ η άλλη είναι να δημιουργεί κατάλληλα το επιταχυντικό δυναμικό με τιμές της τάσης από 100 έως και 250 Volts.

Το ψηφιακό πολύμετρο που παρουσιάζεται στο επάνω μέρος του δεξιά τροφοδοτικού αξιοποιείται σαν βολτόμετρο και αφού συνδεθεί κατάλληλα με το κιβώτιο της συνδεσμολογίας καταμετρά κάθε φορά την τάση που εφαρμόζεται για την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων.

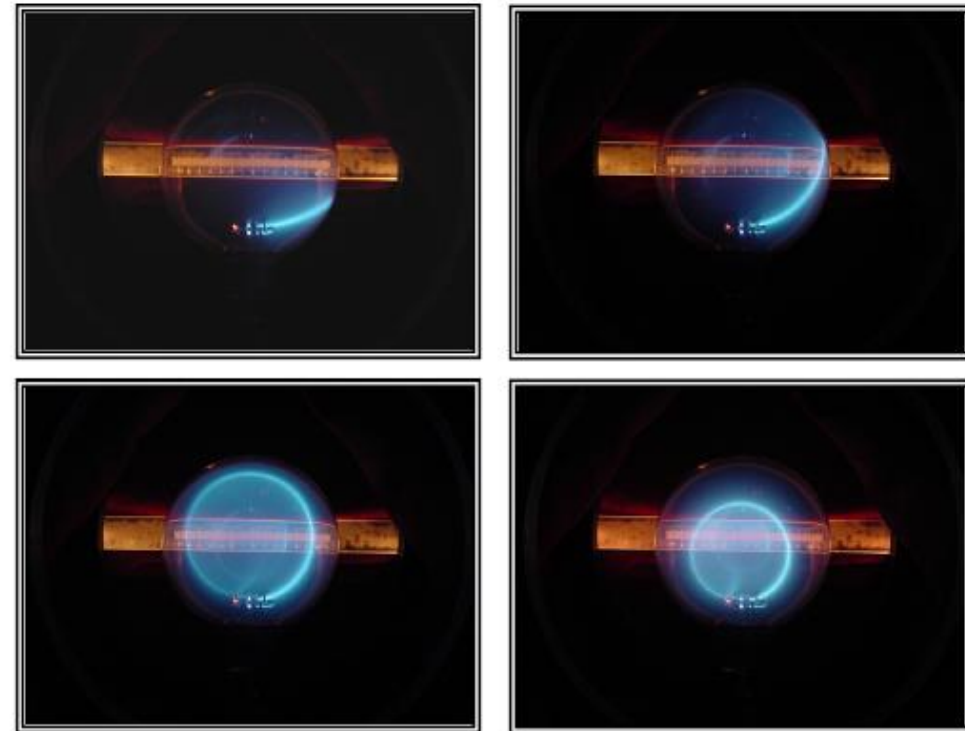


### 3. Πειραματική διαδικασία

Είναι προφανές ότι η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς των ηλεκτρονίων είναι ανάλογη του  $V^{1/2}$  και αντιστρόφως ανάλογη του ρεύματος  $I$  των πηνίων Helmholtz.

Αυτό σημαίνει ότι, για μικρά ρεύματα πηνίων ή αντίστοιχα για μεγάλες τιμές του επιταχυντικού δυναμικού  $V$  η ακτίνα είναι ιδιαίτερα μεγάλη με αποτέλεσμα η διάσταση της σφαιρικής λυχνίας να μην επαρκεί για την ανάδειξη ενός πλήρη κύκλου.

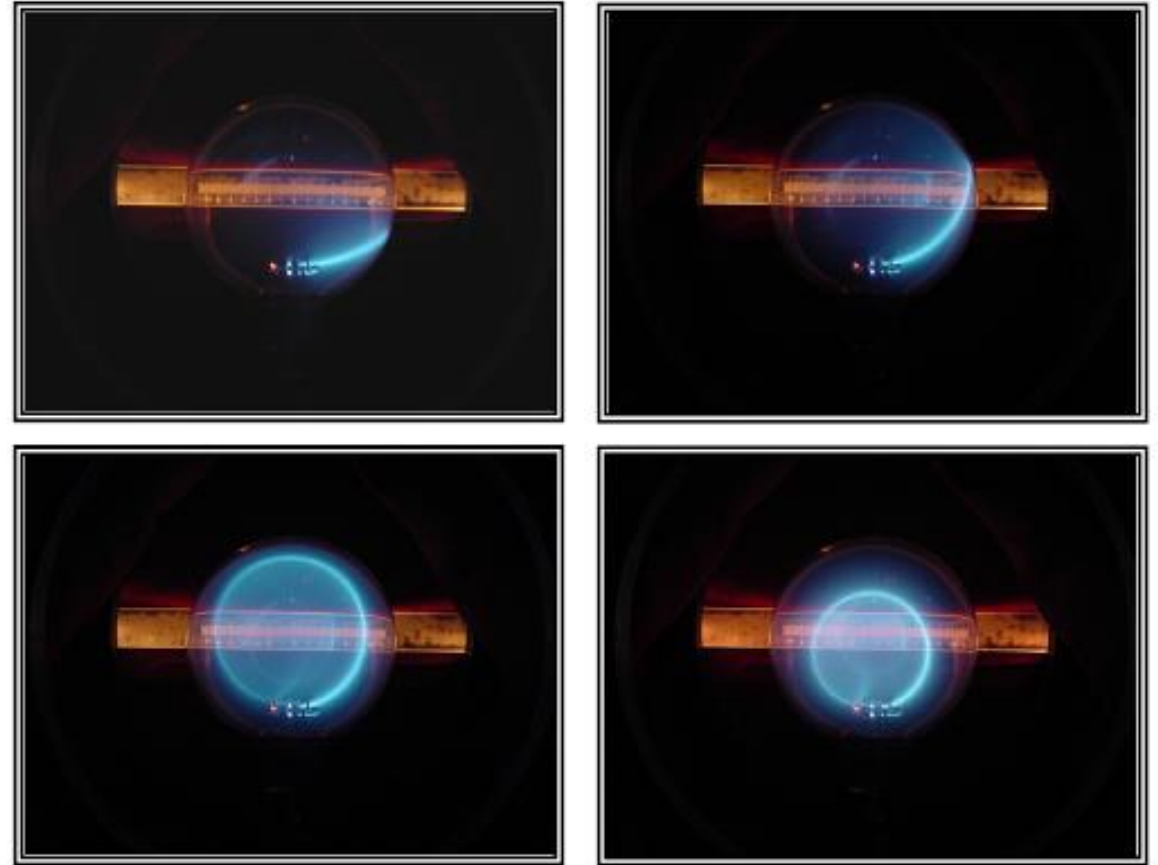
Αποτέλεσμα είναι τα ηλεκτρόνια της δέσμης να προσπίπτουν στο εσωτερικό τοίχωμα του σφαιρικού γυάλινου περιβλήματος.



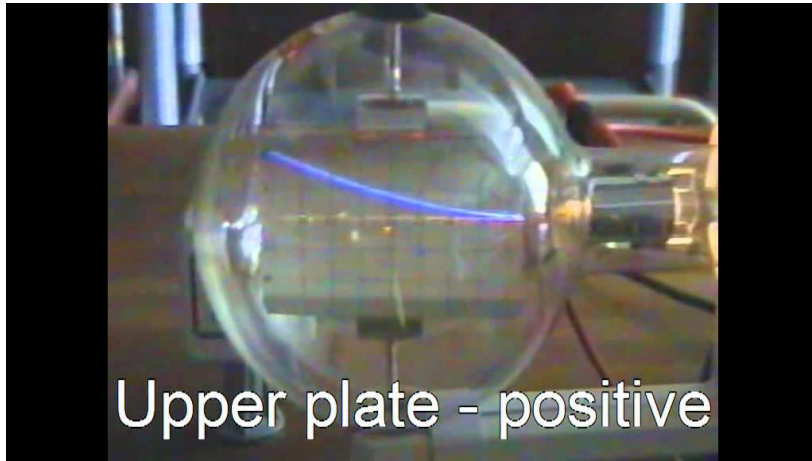
### 3. Πειραματική διαδικασία

Στις εικόνες που ακολουθούν παρατηρεί κανείς πως οι κυκλικές τροχιές των ηλεκτρονίων μεταβάλλονται διαδοχικά με την σταδιακή ελάττωση της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς.

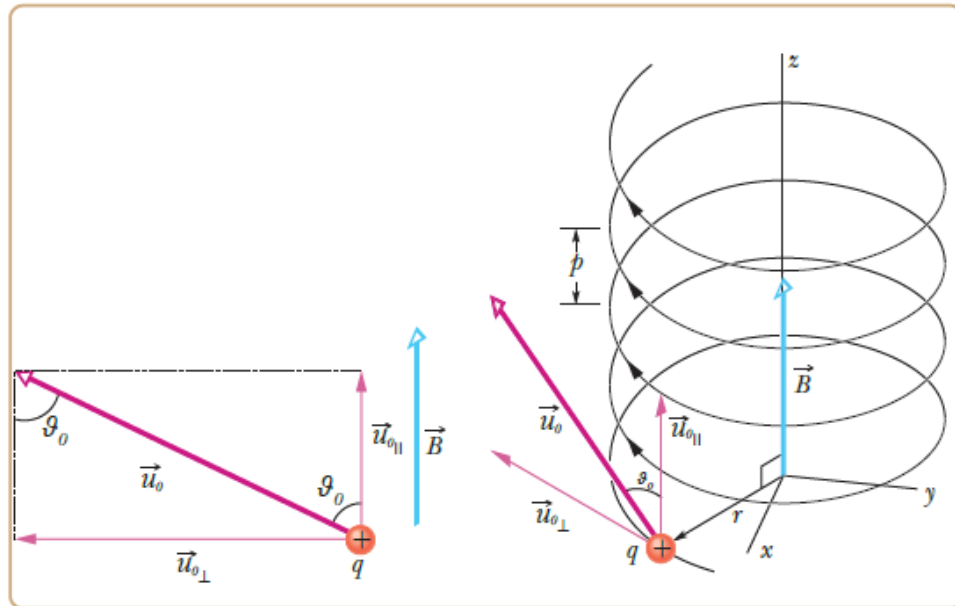
Η μεταβολή αυτή προήλθε από την κατάλληλη **αύξηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου ενώ το επιταχυντικό δυναμικό παραμένει σταθερό.**



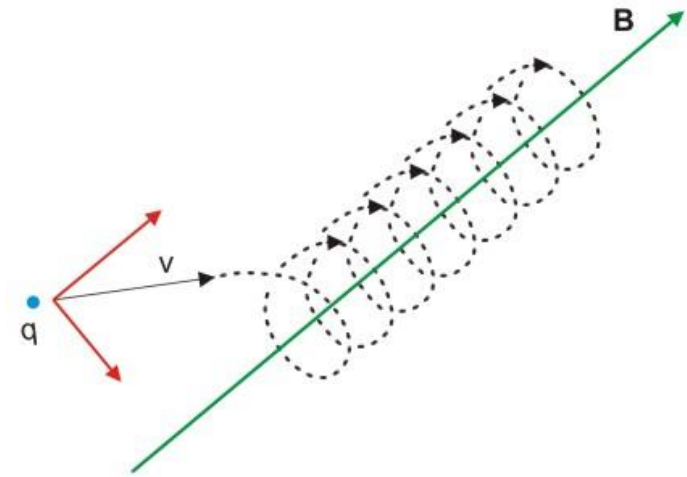




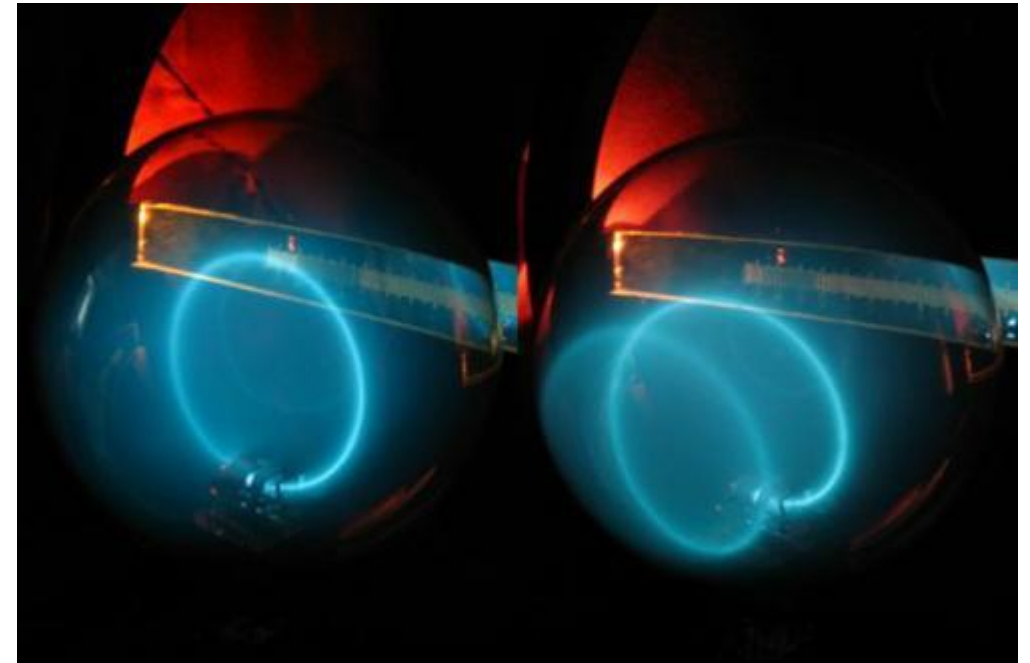
<https://www.youtube.com/watch?v=PpOAlj7sOEc>



<https://physics.stackexchange.com/questions/491287/motion-of-a-charged-particle-in-a-constant-and-uniform-magnetic-field>



<https://www.saburchill.com/physics/chapters/0055.html>



<https://www.askamathematician.com/2011/10/q-what-is-spin-in-particle-physics-why-is-it-different-from-just-ordinary-rotation/comment-page-1/>

$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em7.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών ή αρνητικών φορτίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

The screenshot shows a web browser window with the URL [ophysics.com/em7.html](https://ophysics.com/em7.html). The page title is "Charged Particle in a Magnetic Field". The simulation interface includes the following controls:

- Mass: 6.2 (x 10<sup>-25</sup> kg)
- Velocity: 7.5 (x 10<sup>6</sup> m/s)
- Charge: 2 (x 10<sup>-18</sup> C)
- Magnetic Field Strength: 6.3 (T)
- Show Radius
- Start, Reset, Clear Trace buttons

The main display area shows a 2D coordinate system with a grid of dots representing a magnetic field. The vertical axis is labeled (mm) and ranges from -5 to 5. The horizontal axis is unlabeled but also ranges from -5 to 5.

$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em7.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών η αρνητικών φορτιών σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

Charged Particle in a Magnetic Field

Mass 6.2 (x 10<sup>-25</sup> kg)

Velocity 7.5 (x 10<sup>6</sup> m/s)

Charge 2 (x 10<sup>-16</sup> C)

Magnetic Field Strength 6.3 (T)

Show Radius

Start Reset

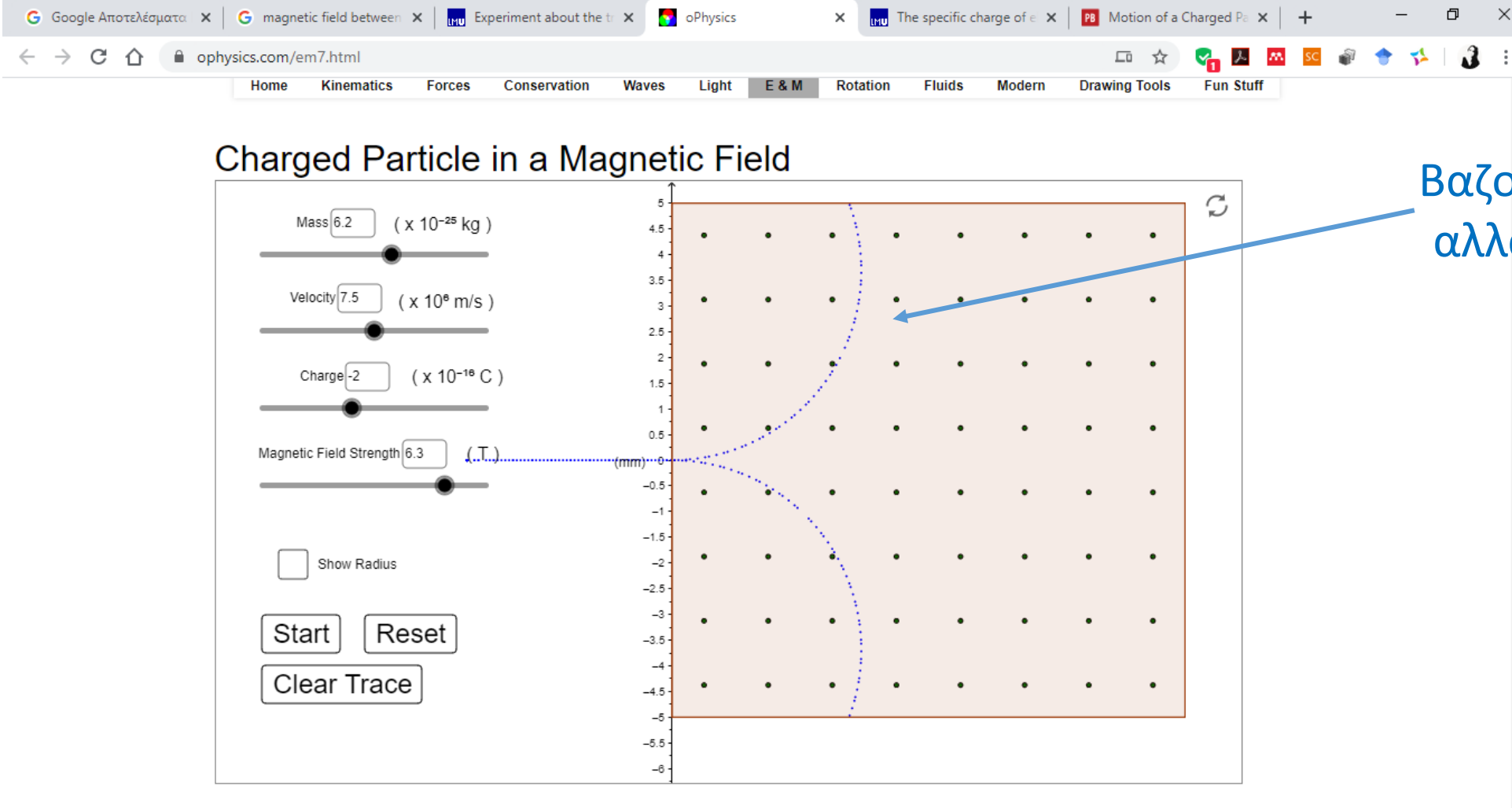
Clear Trace

mm

$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em7.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών η αρνητικών φορτιών σε ομογενές μαγνητικό πεδίο



Βάζοντας ιδίου μετρου,  
αλλα αρνητικο φορτιο

$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em7.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών ή αρνητικών φορτίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

Charged Particle in a Magnetic Field

Mass 6.2 (x 10<sup>-25</sup> kg)

Velocity 7.5 (x 10<sup>6</sup> m/s)

Charge 2 (x 10<sup>-16</sup> C)

Magnetic Field Strength 6.3 (T)

Show Radius r = 3.69 mm

Start Reset

Clear Trace

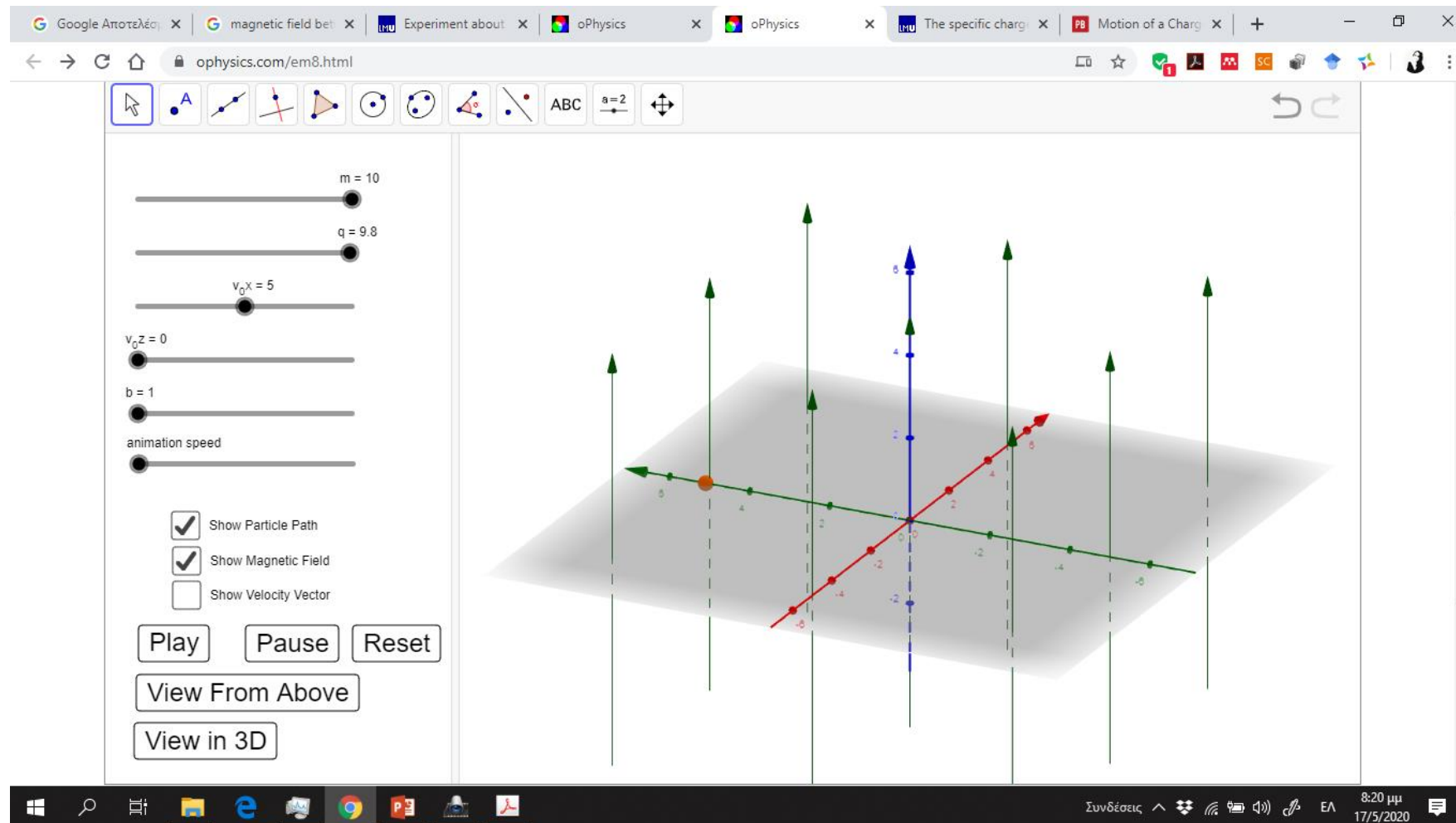
Βάζοντας μικρότερη μάζα

Απο  $m=6,2 \cdot 10^{-25} \Rightarrow m=1,2 \cdot 10^{-25}$

$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em8.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών ή αρνητικών φορτίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο



$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em8.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών η αρνητικών φορτιών σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

M=10

Q=10

$U_{0x}=5$

$U_{0z}=0$

b=1

The screenshot shows a web browser window with the URL [ophysics.com/em8.html](https://ophysics.com/em8.html). The browser's address bar and tabs are visible at the top. The main content area displays a 3D simulation of a charged particle's motion in a magnetic field. The particle path is shown as a red helix around the z-axis. The magnetic field is represented by a blue vertical arrow pointing upwards. The particle's velocity vector is shown as a red arrow tangent to the path. The simulation interface includes a toolbar with various icons for navigation and a control panel on the left. The control panel has sliders for mass (m=10), charge (q=9.8), initial velocity components (v<sub>0x</sub>=5, v<sub>0z</sub>=0), and animation speed. It also has checkboxes for 'Show Particle Path', 'Show Magnetic Field', and 'Show Velocity Vector'. Buttons for 'Play', 'Pause', 'Reset', 'View From Above', and 'View in 3D' are located at the bottom of the control panel. The Windows taskbar is visible at the bottom of the screen, showing the time as 8:17 μμ on 17/5/2020.

$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em8.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών ή αρνητικών φορτίων σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

$M=10$

$Q=10$

$U_{0x}=5$

$U_{0z}=0$

$b=1$

Αλλάξτε το  
σε αρνητικό φορτίο  
και σχολιαστεί τι γίνεται

The screenshot shows the oPhysics simulation interface. The browser address bar displays [ophysics.com/em8.html](https://ophysics.com/em8.html). The simulation controls on the left include sliders for mass ( $m=10$ ), charge ( $q=-10$ ), initial velocity components ( $v_{0x}=5$ ,  $v_{0z}=0$ ), magnetic field strength ( $b=1$ ), and animation speed. There are checkboxes for 'Show Particle Path' (checked), 'Show Magnetic Field' (unchecked), and 'Show Velocity Vector' (checked). Below the sliders are buttons for 'Play', 'Pause', 'Reset', 'View From Above', and 'View in 3D'. The main 3D plot shows a particle's path in a coordinate system with axes labeled from -5 to 5. The path is a helix around the z-axis, with a red arrow indicating the direction of motion. The z-axis is vertical, and the x and y axes are horizontal. The particle starts at the origin and moves in a circular path in the xy-plane while also moving along the z-axis.



$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e}$$

<https://ophysics.com/em8.html>

Για επιδειξη κίνησης θετικών η αρνητικών φορτιών σε ομογενές μαγνητικό πεδίο

M=10

Q=10

$U_{0x}=5$

$U_{0z}=5$

b=1

The screenshot shows a web browser window with the URL [ophysics.com/em8.html](https://ophysics.com/em8.html). The browser's address bar and tabs are visible at the top. The simulation interface includes a toolbar with various icons for navigation and interaction. On the left side, there are several sliders and checkboxes for controlling the simulation parameters:

- Sliders for mass ( $m = 10$ ), charge ( $q = 9.8$ ), initial velocity components ( $v_{0x} = 5$  and  $v_{0z} = 0.51$ ), magnetic field strength ( $b = 1$ ), and animation speed.
- Checkboxes for "Show Particle Path" (checked), "Show Magnetic Field" (unchecked), and "Show Velocity Vector" (checked).
- Buttons for "Play", "Pause", "Reset", "View From Above", and "View in 3D".

The main simulation area displays a 3D coordinate system with a gray plane representing the xy-plane. A blue vertical axis represents the z-axis. A red line with arrows indicates the particle's path, which is a helix winding around the z-axis. A green line with arrows represents the initial velocity vector. The axes are labeled with numerical values from -5 to 5.

The Windows taskbar is visible at the bottom of the screen, showing the system tray with the time 8:19 μμ and date 17/5/2020, and the page number 26.

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/B-Feld/Helmholtzspulenpaar.php>

$$B = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot I \cdot N}{\sqrt{125} \cdot R} \quad I = \text{coil current}, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}, N = 124 \text{ windings}, R = 14,9 \text{ cm} \quad B \approx 7,48 \cdot 10^{-4} \frac{\text{T}}{\text{A}} \cdot I$$

**Magnetic field of two Helmholtz coils:**

To setup a Helmholtz coil two similar coils with radius  $R$  are placed in the same distance  $R$ . When the coils are so connected that the current through the coils flows in the same direction, the Helmholtz coils produce a region with a nearly uniform magnetic field.

The magnetic field at center of the coils with  $N$  wire windings is proportional to current through coils:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot I \cdot N}{\sqrt{125} \cdot R}$$

$I$  = coil current,  $\mu_0$  = vacuum permeability,  $N$  = windings,  $R$  = radius and distance of coils

The magnetic field of the Helmholtz coil used on the next pages, depending on the coil current  $I$ , is:

$$B \approx 7,48 \cdot 10^{-4} \frac{\text{T}}{\text{A}} \cdot I$$

$I$  = coil current,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$ ,  $N = 124$  windings,  $R = 14,9 \text{ cm}$

[Show Derivation \(for interested students\)](#)

**This derivation is beyond school level!**  
This equation is indicated by Biot-Savart law. For the magnetic field in horizontal direction and a coil with only one winding applies

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2} \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \cdot \vec{e}_x$$

Αυτές τις πληροφορίες τις θέλουμε για το πείραμα!!!

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/B-Feld/Versuchsaufbau.php>

Browser tabs: Google Αποτελέσ..., magnetic field bet..., Experimental setup..., oPhysics..., The specific charg..., Motion of a Charg..., Yahoo

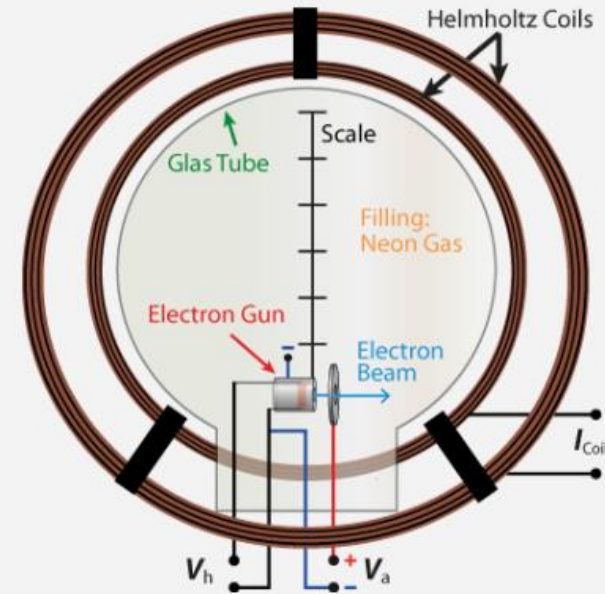
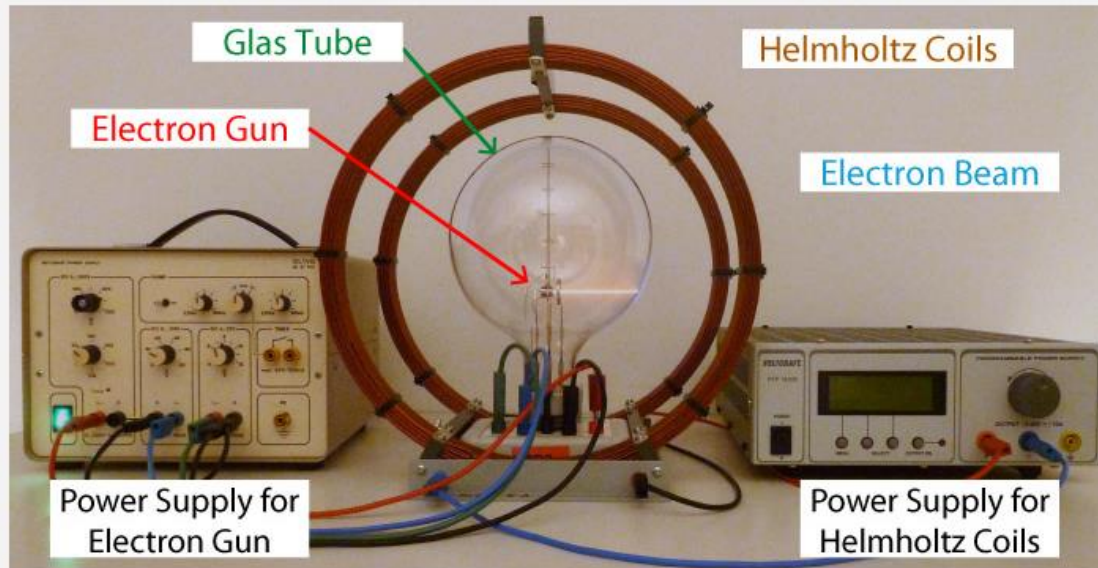
Address bar: didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/B-Feld/Versuchsaufbau.php

Navigation: Home, B-Field, Charge-Mass Ratio, Applications, Practice

- Helmholtz Coils
- Experimental Setup
- Experiment
- Hypotheses
- Check Hypotheses
- Forces
- Laboratory
- Evaluation

### How does electrons move in magnetic fields?

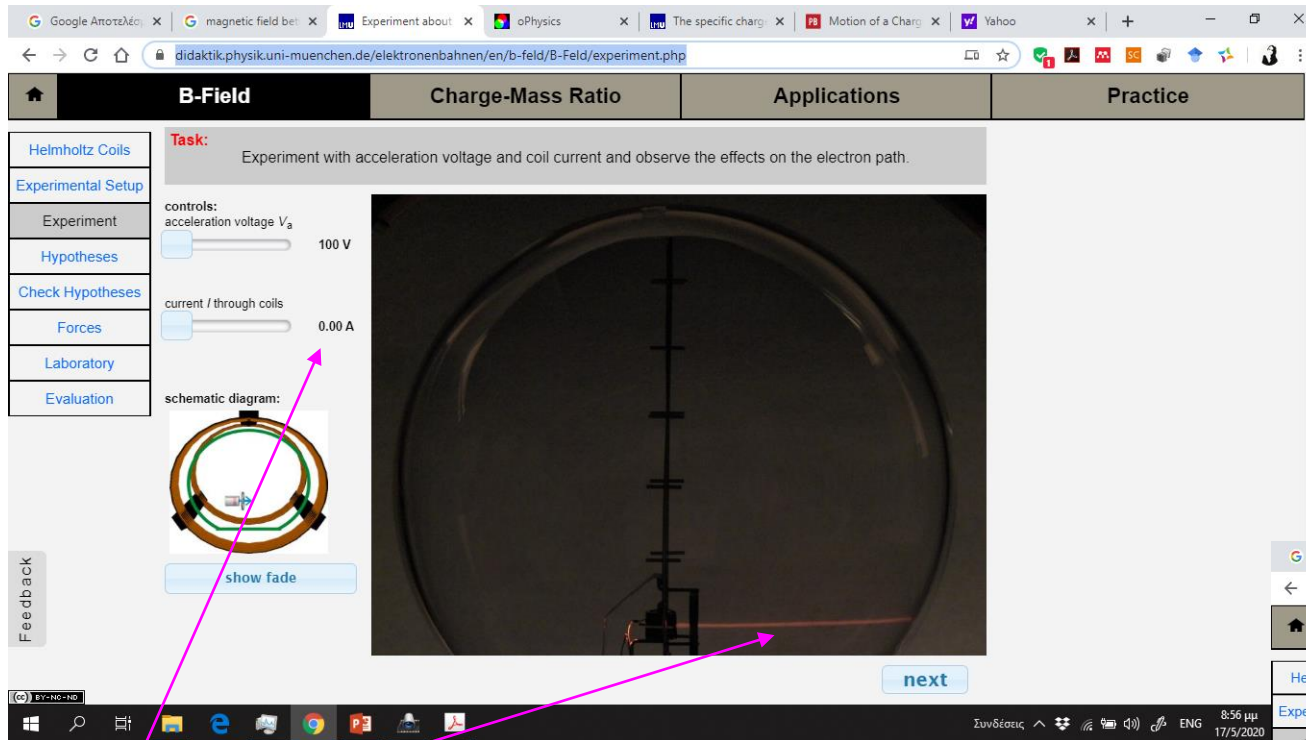
To investigate this question, the following experimental setup can be used:  
A electron gun produces an electron beam. This beam is perpendicular to the b-field of the Helmholtz coils. Neongas makes the trajectory of the electrons visible.



next

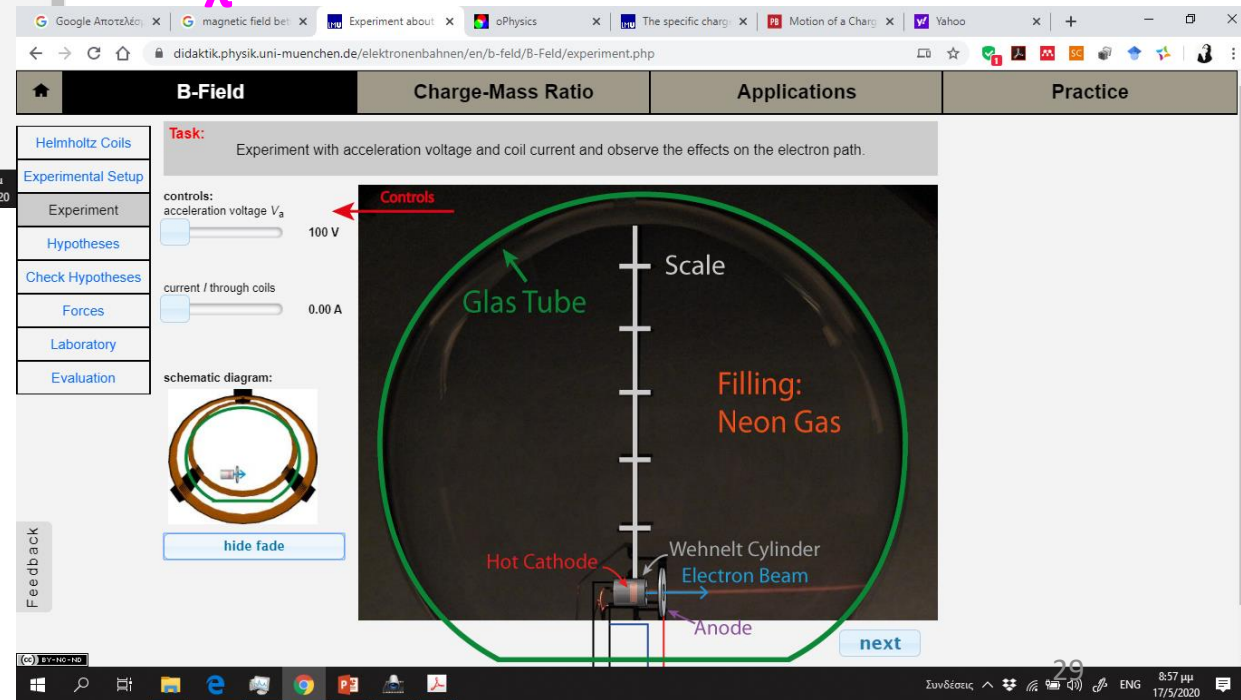
CC BY-NC-ND

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/B-Feld/experiment.php>



Γιατι πανε ευθεια τα ηλεκτρονια??  
 $I=0A$  αρα δεν εχουμε ακομη μαγνητικο πεδιο!!!

- Μεταβαλετε το δυναμικο επιταχυνσης με σταθερο ρευμα (2A) και παρατηρηστε το φαινομενο και σχολιαστε
- Μεταβαλλετε το ρευμα (1,25-2,5A) με σταθερο δυναμικο (100V) και παρατηρηστε το φαινομενο και σχολιαστε



$$\frac{e}{m} = \frac{u}{BR} \Rightarrow R = \frac{u \cdot m}{B \cdot e} \quad B = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot I}{\sqrt{125} \cdot R}$$

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/B-Feld/hypothesen.php>

Πώς επηρεάζουν οι τροποποιήσιμες τιμές στην ακτίνα της κυκλικής τροχιάς; Επιλέξτε εάν ή με ποιο τρόπο η τάση επιτάχυνσης  $V_a$  και το ρεύμα πηνίου επηρεάζουν την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς των ηλεκτρονίων

**Ποια επιρροή έχει το ρεύμα  $I$  μέσω των πηνίων Helmholtz στην ακτίνα της κυκλικής τροχιάς;**

- Δεν έχει καμία επιρροή?
- Όσο υψηλότερη είναι η ένταση του ρεύματος  $I$ , τόσο μικρότερη είναι η ακτίνα?
- Όσο χαμηλότερη είναι η ένταση του ρεύματος  $I$ , τόσο μικρότερη είναι η ακτίνα?

**Ποια επίδραση έχει η τάση επιτάχυνσης  $V_a$  στην ακτίνα της κυκλικής τροχιάς;**

- Δεν έχει καμία επιρροή?
- Όσο υψηλότερη είναι η τάση επιτάχυνσης  $V_a$ , τόσο μικρότερη είναι η ακτίνα?
- Όσο χαμηλότερη είναι η τάση επιτάχυνσης  $V_a$ , τόσο μικρότερη είναι η ακτίνα?

Helmholtz Coils
Experimental Setup
Experiment
Hypotheses
Check Hypotheses
Forces
Laboratory
Evaluation

How does the modifiable values affect on the radius of the circular orbit?  
Choose if or in which way the acceleration voltage  $V_a$  and the coil current  $I$  affect the radius of the electrons circular orbit.

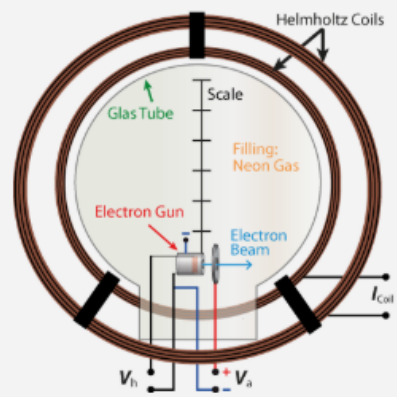


diagram picture

Which influence does the current  $I$  through the Helmholtz coils have on the radius of the circular orbit?

- $I$  has no influence.
- The higher  $I$ , the smaller the radius of the circular orbit.
- The lower  $I$ , the smaller the radius of the circular orbit.

Which influence does the acceleration voltage  $V_a$  have on the radius of the circular orbit?

- $V_a$  has no influence.
- The higher  $V_a$ , the smaller the radius of the circular orbit.
- The lower  $V_a$ , the smaller the radius of the circular orbit.

next

Feedback

$$e / m = 2 V / ( B R )^2$$
$$B \text{ (σε Tesla)} = 7,48 \times 10^{-6} * I$$

R=14,9 cm

N=124 σπειρες

$$e / m = 0,3575 \times 10^{11} V / ( I R )$$

$$V = 2,797 \times 10^{-11} \left( \frac{e}{m} \right) \cdot ( I R )^2$$

(με Volts, Ampere και cm).

Διάγραμμα  $V = f [ ( I R )^2 ]$

Η κλίση της πειραματικής ευθείας ισούται με τον παράγοντα

$$2,797 \times 10^{-11} ( e / m ) .$$

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/e-m-bestimmung/edurchm.php>

**Task:**  
Use the experiment to measure the ratio of the electrons charge to it's mass.  
Fill the table with different acceleration voltages  $V_a$  respectively coil currents  $I$  and the radius you will see in the experiment. So you can determine the charge to mass ratio.

controls:  
 acceleration voltage  $V_a$    
 $v_0 = 5.930 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$   
 current  $I$  through coils   
 $B = 9.35 \cdot 10^{-4} T$   
  
 Radius of measure circle

$V_a$ in V	$v_0$ in $\frac{m}{s}$	coil current $I$ in A	$B$ in T	Radius $r$ in cm	$\frac{e}{m} = \frac{v_0}{r \cdot B}$ in $\frac{C}{kg}$
150	0	1,25	0	4,4	—
0	0	0	0	0	—
0	0	0	0	0	—
0	0	0	0	0	—
0	0	0	0	0	—

Ελεγχος ότι μετρησατε καλα την ακτινα

επιταχυντικό δυναμικό

ρεύμα  $I$  των πηνίων Helmholtz

Ακτίνα  $R$  των ηλεκτρονίων

Με σταθερο δυναμικο  $V$  και αυξανοντας το ρευμα  $I$  θα μετρατε την ακτινα  $R$ , προσαρμοζοντας το δεικτη αυτο πανω στη φωτεινη κυκλικη τροχια



<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/e-m-bestimmung/edurchm.php>

V (Volts)	I(A)	R(cm)	(IR) <sup>2</sup>	V / (I R) <sup>2</sup>	e/m (*10 <sup>11</sup> )	Μεση τιμη
						e/m (*10 <sup>11</sup> )
100	1					
100	1,25					
100	1,5					
100	1,75					
100	2					
125	1					
125	1,25					
125	1,5					
125	1,75					
125	2					
150	1					
150	1,25					
150	1,5					
150	1,75					
150	2					
175	1					
175	1,25					
175	1,5					
175	1,75					
175	2					
200	1,25					
200	1,5					
200	1,75					
200	2					

1. Υπολογίστε την μέση τιμή  $\langle e/m \rangle$  των πειραματικών τιμών του Πίνακα Μετρήσεων - Υπολογισμών. Συγκρίνουμε την τιμή αυτή με την αντίστοιχη θεωρητική. Ποια η επί της % διαφορά ; Βρείτε και την τυπική αποκλιση μεσης τιμής ώστε να παραθεσετε μετα  $\frac{e}{m_{\text{μεση}}} \pm \delta \frac{e}{m}$  **Coulomb/Kgr**
  2. Να γίνει η γραφική παράσταση  $V = f [ (I R)^2 ]$  και να χαραχθεί η – κατά προσέγγιση – πειραματική ευθεία για **I=1,5A**.  $V = 2,797 * 10^{-11} \frac{e}{m} (IR)^2$
  3. Να προσδιοριστεί η κλίση της προηγούμενης πειραματικής ευθείας και γνωρίζοντας ότι αυτή είναι ίση θεωρητικά με  $2,797 \times 10^{-11} (e/m)$  να υπολογιστεί το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου  $e/m^*$ . Να συγκρίνετε την τιμή που μόλις βρέθηκε με την μέση τιμή  $\langle e/m \rangle$  της ερώτησης 1.
1. Ποιο κατά την γνώμη σας από τα πειραματικά μεγέθη V, I, και R κυριαρχεί στην αβεβαιότητα του μετρούμενου ειδικού φορτίου  $e/m$  του ηλεκτρονίου ; Δικαιολογείστε την απάντησή σας.

\* Χρηση excell, linest, σφαγμα κλισης, σφαγμα στο γραφικο e/m, συγκριση με το αλγεβρικο e/m

#### 4. Θεματολογικές Ερωτήσεις Κατανόησης

1. Τι ταχύτητες  $u$  μπορεί να αναπτύξει το ηλεκτρόνιο στην συγκεκριμένη διάταξη ; Αξιοποιείστε την σχέση  $u = [ 2 (e / m) V ]^{1/2}$ . Να συγκρίνετε την τιμή που υπολογίσατε με αυτή της ταχύτητας  $c$  του φωτός.
2. Να υπολογιστεί ο χρόνος που χρειάζεται ώστε το κάθε ηλεκτρόνιο να εκτελέσει ένα πλήρη κύκλο.
3. Πότε πρώτο - προσδιορίστηκε πειραματικά το ειδικό φορτίο του ηλεκτρονίου ; Ποιος το προσδιόρισε ; (J.J. Thomson, Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 1906)
4. Πόση είναι η ενέργεια ενός φωτονίου μπλε χρώματος ; Αξιοποιείστε την σχέση  $E_{\text{photon}} = 1240 \text{ eV nm} / \lambda$  (σε nm) όπου  $\lambda$  το μήκος κύματος (π.χ.  $\lambda = 400 \text{ nm}$  στο μπλε).
5. Μπορείτε να διαπιστώσετε εάν η λαμπρότητα της κυκλικής τροχιάς είναι περισσότερο έντονη στην αρχή της (κάτω δεξιά) από ότι στο τέλος της ; Πως δικαιολογείται ένα τέτοιο φαινόμενο ;
6. Αφού το ηλεκτρόνιο διαθέτει μάζα γιατί η βαρύτητα της γης δεν συμμετέχει στους υπολογισμούς ;
7. Γιατί ηλεκτρόνια της άσκησης με μεγάλη ή μικρή ταχύτητα ενώ κινούνται σε κύκλους με διαφορετική ακτίνα έχουν όλα την ίδια κυκλική συχνότητα  $\omega$  ;
8. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου της γης (οριζόντια συνιστώσα) συμμετέχει ή όχι στην κίνηση του ηλεκτρονίου ;
9. Τι θα αλλάξει στην εικόνα της δέσμης των ηλεκτρονίων εάν : (α) αλλάξουμε το αέριο της λυχνίας, (β) αλλάξουμε το υλικό της καθόδου και (γ) περιστρέψουμε, αξονικά την λυχνία ;

Να απαντήσετε τις ερωτήσεις 1, 7 και 8, αλλά διαβάστε και τις υπολοιπες 6.

## ΒΙΝΤΕΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ

<https://www.youtube.com/watch?v=4ra63RidO-8>

<https://www.youtube.com/watch?v=A00pxFwPINg>

<https://www.youtube.com/watch?v=l2wS4QtphRs>

# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/anwendung/massenspektrometer.php>

**Model of a Bainbridge Mass Spectrometer**

A Wien filter (velocity-selector) allows to isolate particles with a specific velocity of a particle beam. To investigate the mass of the particles the experimental setup must be extended. A simple setup to examine the mass of particles is the Bainbridge Mass Spectrometer.

**Setup:**  
In the extended setup the magnetic field does not end on the aperture. So, after passing the velocity-selector, stay in the magnetic field. There the Lorentz force is the only force that affects the motion of the particles. So the particles start moving in a circle. In addition to the setup of a Wien filter there is a detector plate on the back of the aperture. This plate detects where the particles impinge.

**Function:**  
If a charged particle moves with velocity  $v$  in the presence of a magnetic field  $B$ , then it will experience a Lorentz force perpendicular to the direction on motion:  
$$F_{\text{Lorentz}} = q \cdot v \cdot B$$
  
This force causes that the particles start moving in a circle because the Lorentz force acts as centripetal force on the particle.

$$m = \frac{q \cdot B \cdot d}{2 \cdot v_{\text{passage}}} = \frac{q \cdot B^2 \cdot d}{2 \cdot E}$$

Η **φασματομετρία μάζας** είναι μία ευαίσθητη τεχνική για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό χημικών ενώσεων. Βασίζεται στον διαχωρισμό των μαζών φορτισμένων σωματιδίων (κυρίως κατιόντων) με την βοήθεια κατάλληλης διάταξης (μαγνητική, τετραπόλου, χρόνου πτήσης) και την εύρεση της αντιστοιχίας των μαζών των λαμβανομένων ιόντων με την δομή της πρόδρομης ένωσης. Η αντιστοιχία αυτή προϋποθέτει την γνώση των διαδικασιών ιονισμού και επιπλέον του μηχανισμού της πιθανής θραυσματοποίησης των ιόντων. Ο ιονισμός των μορίων γίνεται με διάφορες τεχνικές, με συνηθέστερες τις α) ηλεκτρονιακή πρόσκρουση (Electron impact ionization, EI) με ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια σε ηλεκτρικό πεδίο, β) φωτοϊονισμός (Photoionization, PI), με την βοήθεια φωτός στην υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και γ) χημικός ιονισμός (Chemical ionization, CI), μέσω κρούσεως με άλλα ιόντα.

# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/anwendung/zyklotron.php>

**Modell of a Cyclotron (non relativistic)**  
Setup:  
Main Parts of a Cyclotron are two hollow D-shaped sheet metal electrodes called "Dees". To the Dees a high frequency alternating voltage is applied. This voltage charges the Dees alternately positive and negative. So in the narrow gap between the "Dees" an electric field emerge. Above and below the "Dees" two strong electromagnets are placed. They produce a static magnetic field perpendicular to the electrode plane. In one "Dee" a particle source is placed. It emits charged particles in the gap between the "Dees".

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \cdot q \cdot V \cdot n}$$

**Function of a Cyclotron:**  
The particle source T emits for example protons (positive charged) with an initial speed  $v_0$  in the gap between the dees. If dee 1 is charged negative and dee 2 positive, the particle is accelerated in the gap because of the electric field. When the particle enters dee 1, it leaves the electric field. In the dee is a static magnetic field perpendicular to the electrode plane. So a Lorentz force acts on the particles which causes the particles path to bend in a circle. While the proton is in the dee, the charge of the dees changes - the electric field in the gap changes the direction. So, after a semicircle the protons get accelerated again in the gap between the dees. In dee 2 the Lorentz force causes the particles path to bend in a circle again. Because of the now higher speed of the particle the radius of this semicircle is bigger as in dee 1. Increasing distance and higher speed lead to a constant cycle time. After several times the velocity of the protons gets near 10% of the speed of light where relativistic effects become relevant. Prior that, in a non-relativistic cyclotron a deflection plate directs the particles out of the cyclotron and on any target.

**Restrictions:**  
This type of cyclotron can be used only for particle speeds up to 10% of the speed of light. When the particles are getting faster relativistic effects must be considered. These effects lead to an increasing mass. So the cycle time  $T$  is no more constant. So the frequency of the acceleration voltage does not fit to the cycle time of the particles anymore. Because of that, only heavy particles as protons or deuterons are accelerated with such a cyclotron. In a typical cyclotron with acceleration voltages of several hundred volt protons reach energies of 10 MeV after 50 circulations.

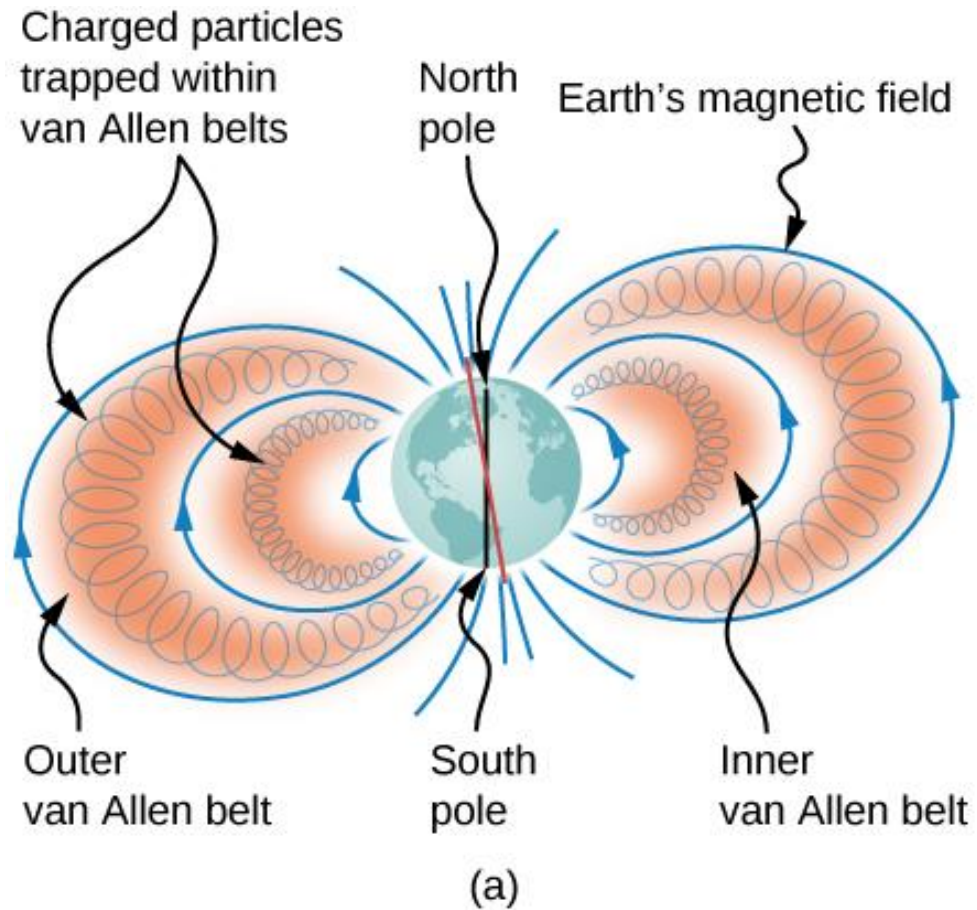
## Κυκλικός επιταχυντής πρωτονίων (Κύκλοτρο)

Το κύκλοτρο χρησιμοποιείται: (α) Στην έρευνα στην Πυρηνική Φυσική και (β) σε Ιατρικές εφαρμογές στην Ακτινοθεραπεία με πρωτόνια, θετικά ιόντα ή νετρόνια και στην Πυρηνική Ιατρική για παραγωγή ισοτόπων που εκπέμπουν ραδιενέργεια β+

Πρόκειται για μηχανές επιτάχυνσης που αποτελούνται κατά βάση από δυο κοίλα ημικυλινδρικά ηλεκτρόδια σχήματος D (Dee) (επόμενο σχήμα). Μεταξύ των ηλεκτροδίων παρεμβάλλεται ένας χώρος μικρού εύρους στο κέντρο του οποίου υπάρχει μια πηγή ιόντων. Η όλη διάταξη βρίσκεται μέσα σε κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο που προκαλεί περιστροφική κίνηση (δύναμη Lorentz) σε φορτισμένα σωματία (ιόντα: πρωτόνια, δευτερόνια). Στον ενδιαμέσο χώρο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Dee) εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο μεταβαλλόμενης πολικότητας με τη μορφή τετραγωνικού κύματος. Η συχνότητα του πεδίου βρίσκεται στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων. Το πεδίο δημιουργείται και διαμορφώνεται από κατάλληλο ηλεκτρονικό σύστημα ραδιοσυχνότητας. Τα περιστρεφόμενα πρωτόνια επιταχύνονται από το ηλεκτρικό πεδίο κάθε φορά που εισέρχονται μέσα στον κενό χώρο (χώρος επιτάχυνσης). Η ακτίνα της περιστροφικής κίνησης αυξάνεται κάθε φορά και τελικά τα επιταχυνόμενα σωματίδια ακολουθούν μια σπειροειδή τροχιά.

Η περίοδος και η συχνότητα εξαρτώνται από τη μάζα των σωματιδίων. Αυτό δημιουργεί προβλήματα σε σωματίδια μικρής μάζας (π.χ. ηλεκτρόνια) στα οποία εμφανίζονται φαινόμενα σχετικότητας σε χαμηλότερες ενέργειες από ότι στα βαρέα σωματίδια

## ΚΙΝΗΣΗ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ



<https://opentextbc.ca/universityphysicsv2openstax/chapter/motion-of-a-charged-particle-in-a-magnetic-field/>

<https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/elektronenbahnen/en/b-feld/uebungen/Zuordnung.php>

## ΤΕΣΤΑΡΕΤΕ ΑΝ ΘΥΜΑΣΤΕ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Match the technical terms with the correct components of the experimental setup!

**Multiple Choice**  
Practice Setup  
Practice Radius  
Radius

**B-Field**      **Charge-Mass Ratio**      **Applications**      **Practice**

**Anode**  
Acceleration Voltage  
Coil Current  
Electron Beam  
Glas Tube  
Hot Cathode  
Filament Voltage  
Heimholtz Coils  
Neon Gas  
Scale  
Wehnelt Cylinder

Check

Feedback

11:36 μμ  
17/5/2020



Α. Αραβαντινος ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΔΕΣΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ, [eclass.uniwa.gr](http://eclass.uniwa.gr) > document > file.php > NAFP135 > H1

[https://www.atas.gr/product.php?products\\_id=5207](https://www.atas.gr/product.php?products_id=5207)

I. ΒΑΜΒΑΚΑΣ

[https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP\\_UNDER120/%CE%95%CE%BA%CF%80%CE%B1%CE%B9%CE%B4%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/2\\_%CE%95%CF%80%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7\\_%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D\\_%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%AF%CE%BF%CF%85\\_%CF%83%CE%B5\\_%CE%B4%CE%AD%CF%83%CE%BC%CE%B5%CF%82\\_%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%89%CE%BD%28%CE%95%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BD%CF%8C\\_2014%29.pdf](https://ocp.teiath.gr/modules/document/file.php/NAFP_UNDER120/%CE%95%CE%BA%CF%80%CE%B1%CE%B9%CE%B4%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/2_%CE%95%CF%80%CE%AF%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7_%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D_%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%AF%CE%BF%CF%85_%CF%83%CE%B5_%CE%B4%CE%AD%CF%83%CE%BC%CE%B5%CF%82_%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CF%89%CE%BD%28%CE%95%CE%B1%CF%81%CE%B9%CE%BD%CF%8C_2014%29.pdf)

<http://users.uoa.gr/~eanason/a.pdf>

[http://tccc.iesl.forth.gr/AMS\\_EPEAEK/courses/LazPap/MSLab\\_AMS.htm](http://tccc.iesl.forth.gr/AMS_EPEAEK/courses/LazPap/MSLab_AMS.htm)

ΒΙΝΤΕΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ

<https://www.youtube.com/watch?v=4ra63RidO-8>

<https://www.youtube.com/watch?v=AO0pxFwPINg>