

Εισαγωγή στους Επιταχυντές Ι

Δρ. Εμμανουήλ Τσεσμελής (CERN)

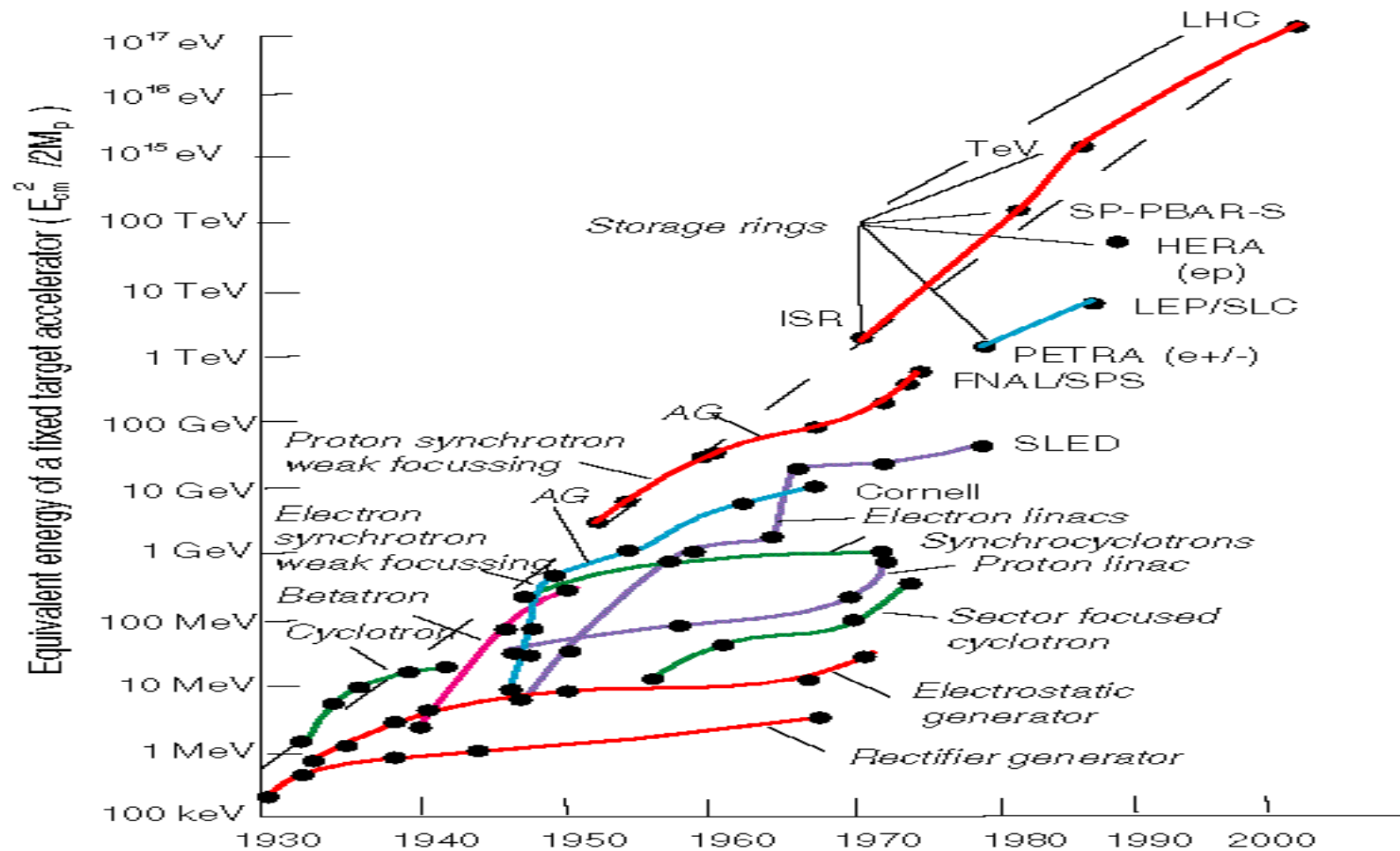
24-25 Ιουνίου 2008

Εισαγωγή

- ▶ Όλοι οι επιταχυντές αξιοποιούν ηλεκτρικά πεδία για την επιτάχυνση φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων, πρωτονίων ή βαρύτερων ιόντων) σε υψηλές ενέργειες.
- ▶ Οι απλούστερες μηχανές για σχετικά χαμηλές ενέργειες είναι βασισμένες απάνω σε μια πηγή συνεχούς υψηλής τάσης.
- ▶ Για υψηλότερες ενέργειες είναι αναγκαία η χρήση εναλλασσόμενης τάσης υψηλής συχνότητας και ο προσεκτικός χρονισμός της.
- ▶ Τα παραπάνω ικανοποιούνται στους γραμμικούς και κυκλικούς επιταχυντές.



Η Ιστορία των Επιταχυνητών



Γιατί Χρειαζόμαστε Επιταχυντές;

- ▶ Λειτουργούν σαν μικροσκόπια σωματιδίων
 - ▶ Το μήκος κύματος σωματιδίων (φωτόνιο, ηλεκτρόνιο, πρωτόνιο,...) είναι από τον de Broglie 1923
 - $\lambda = h / p$
 - h = ανηγμένη σταθερά Planck (= $6.58 \times 10^{-22} \times 2\pi$ MeV s)
 - p = ορμή
 - Όσο μεγαλύτερη είναι η ορμή, τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος και καλύτερη η ευκρίνεια.
- ▶ Ενέργεια και μάζα (Einstein 1905)
 - $E = mc^2 = \gamma m_0 c^2$ $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$; $\beta = v/c$
 - Με υψηλότερη ενέργεια παράγονται σωματίδια με υψηλότερη μάζα.



Ο Αγώνας για Υψηλότερες Ενέργειες

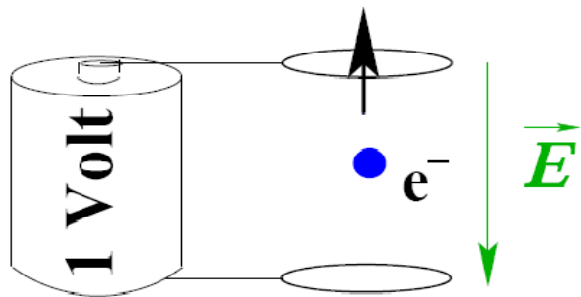


- ◎ Ο Rutherford έκανε την αρχή
Στό Royal Society του 1928 είπε -
“I have long hoped for a source of positive particles more energetic than those emitted from natural radioactive substances”.
-



Cockcroft και Walton

- ▶ Ηλεκτροστατικοί επιταχυντές
- ▶ Μονάδες ενέργειας
 - ▶ Βασίζεται στο ηλεκτρονιοβόλτ ($1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)
 - ▶ **1 eV είναι η ενέργεια που χρειάζεται να κινηθεί σε απόσταση 1 μ. ένα ηλεκτρόνιο με φορτίο e ($1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$) σε ηλεκτρικό πεδίο με δύναμη 1 V/μ.**
 - ▶ Η μονάδα eV χρησιμοποιείται και σαν μονάδα μάζας.



Cavendish Laboratory, Cambridge, UK

Walton and the machine used to "split the atom"

Επιταχυντές Van de Graaff

- ▶ Μία πηγή συνεχούς υψηλής τάσης (ηλεκτροστατικοί επιταχυντές).
- ▶ Επιταχύνονται σωματίδια μέχρι περίπου 20 MeV.
- ▶ Ο Van de Graaff κατασκεύασε έναν από τους πρώτους μεγάλους επιταχυντές στο MIT Round Hill Experiment Station στις αρχές τις δεκαετίες του 1930.
 - ▶ Τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι λεία και να έχουν σχήμα σφαίρας για να σπινθηρίζουν.



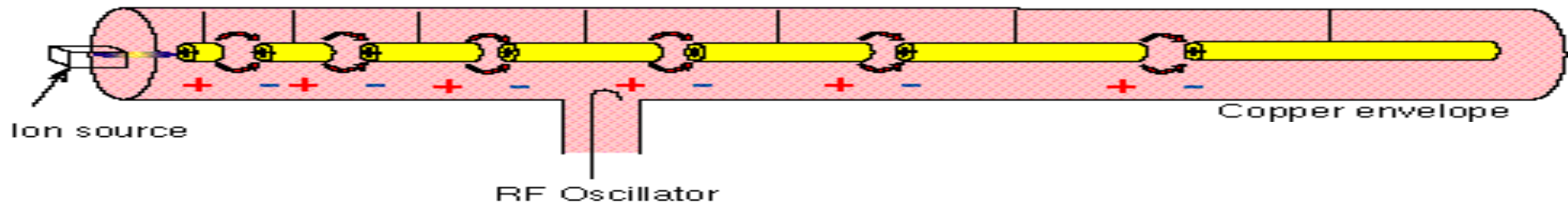
THE GENERATOR IN THE HANGAR AT ROUND HILL
©MIT Museum All rights reserved



AT ROUND HILL SPARKING TO HANGAR (LONG EXPOSURE)
©MIT Museum All rights reserved

Σπινθήρες από περιπτώματα περιστεριών!!!

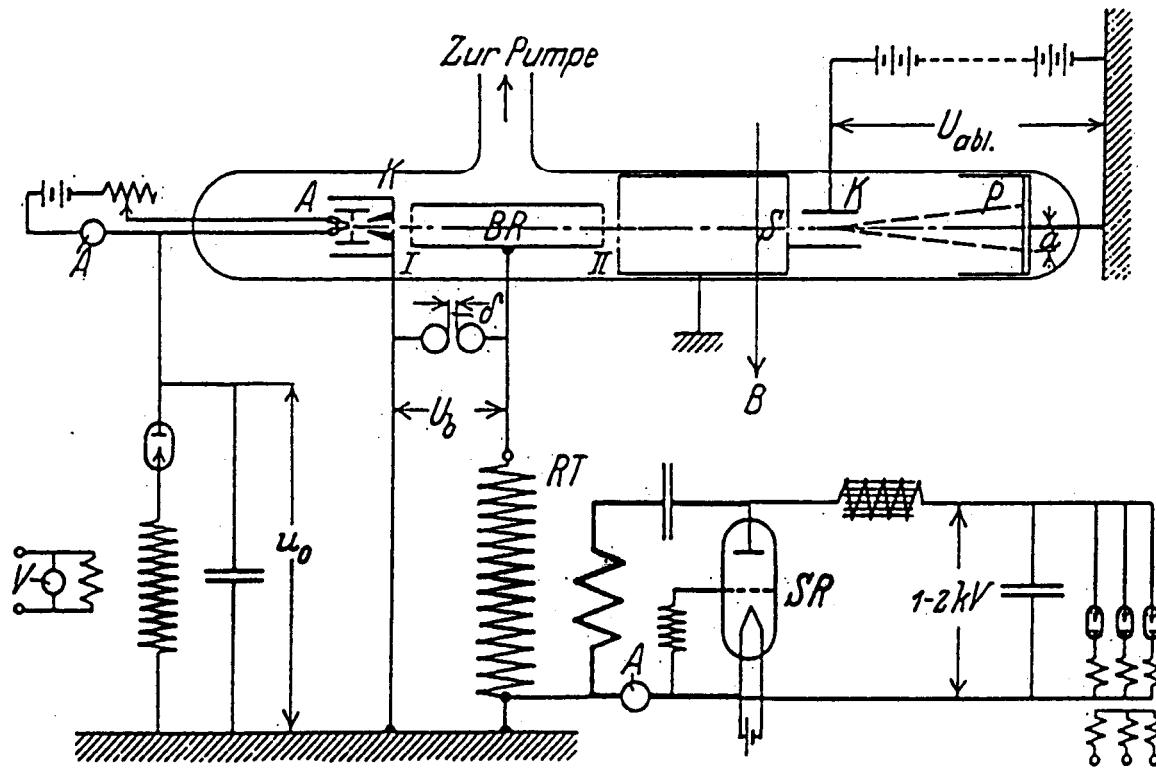
Γραμμικοί Επιταχυντές (LINAC)



- ◆ Τα σωματίδια αποκτούν ενέργεια σε κάθε διάκενο.
- ◆ Το μήκος των κυλίνδρων αυξάνεται καθώς αυξάνει η ταχύτητα των σωματιδίων.
- ◆ Τα μήκη των κυλίνδρων γίνονται ίσα όταν το v προσεγγίζει το c .



Το Πρώτο LINAC του Wideroe (1932)



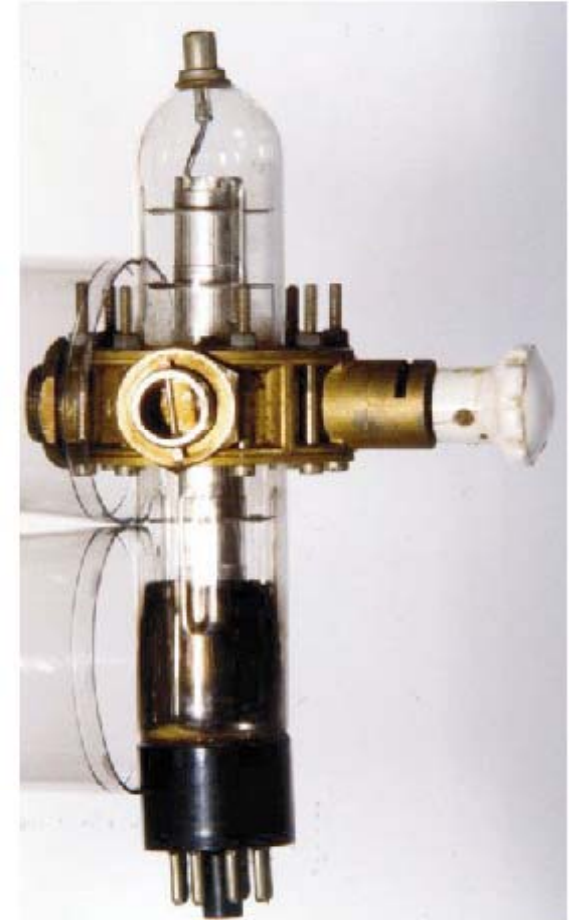
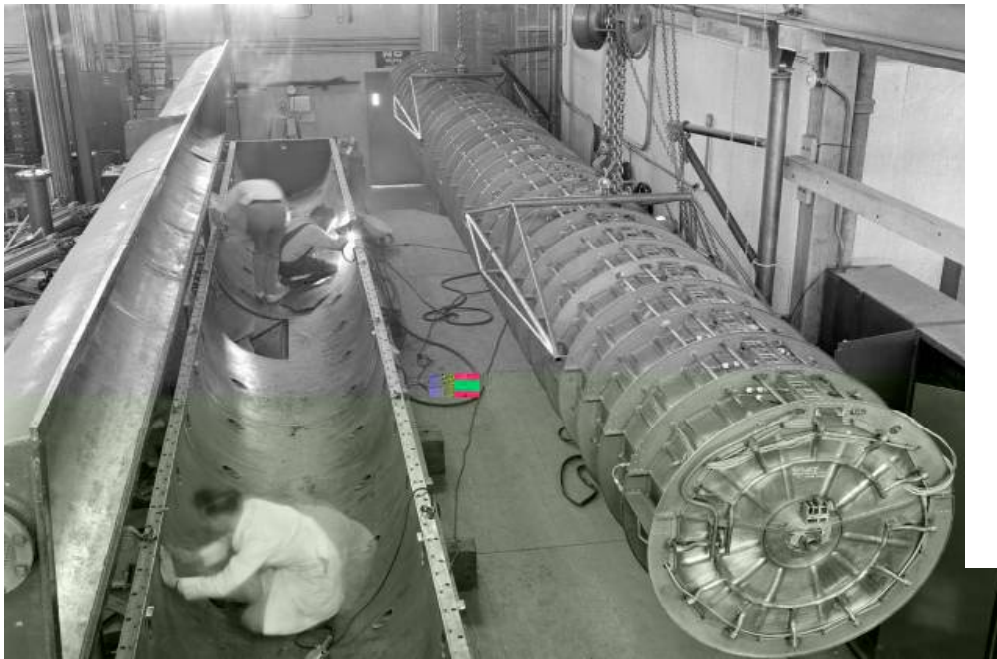
Επιτάχυνση στα LINAC



Luis Alvarez



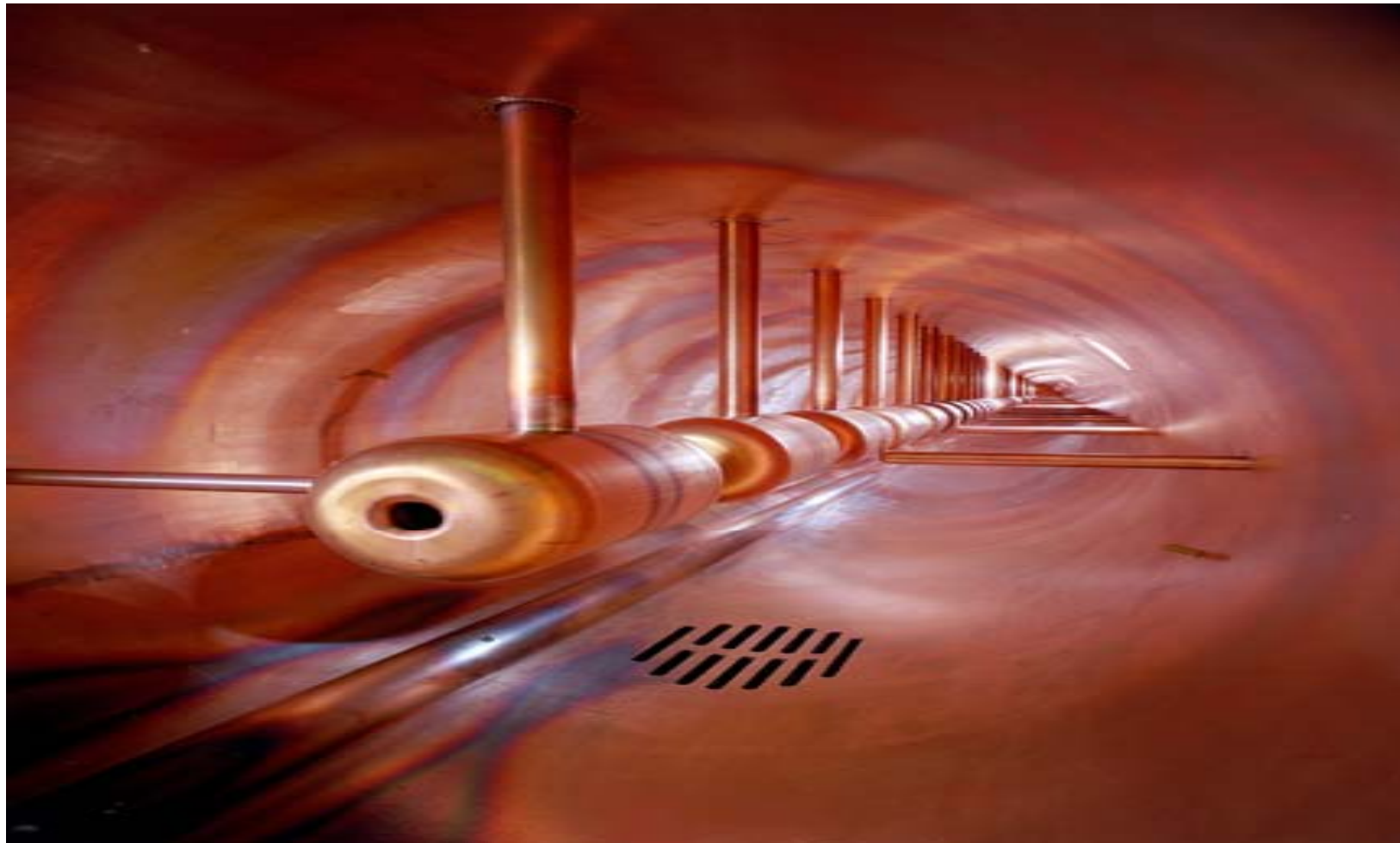
Ed Ginzton



FERMILAB LINAC (400 MeV)



Το Εσωτερικό του FERMILAB LINAC



The Stanford Linear Accelerator (SLAC)

Ο μεγαλύτερος γραμμικός επιταχυντής που έχει κατασκευαστεί



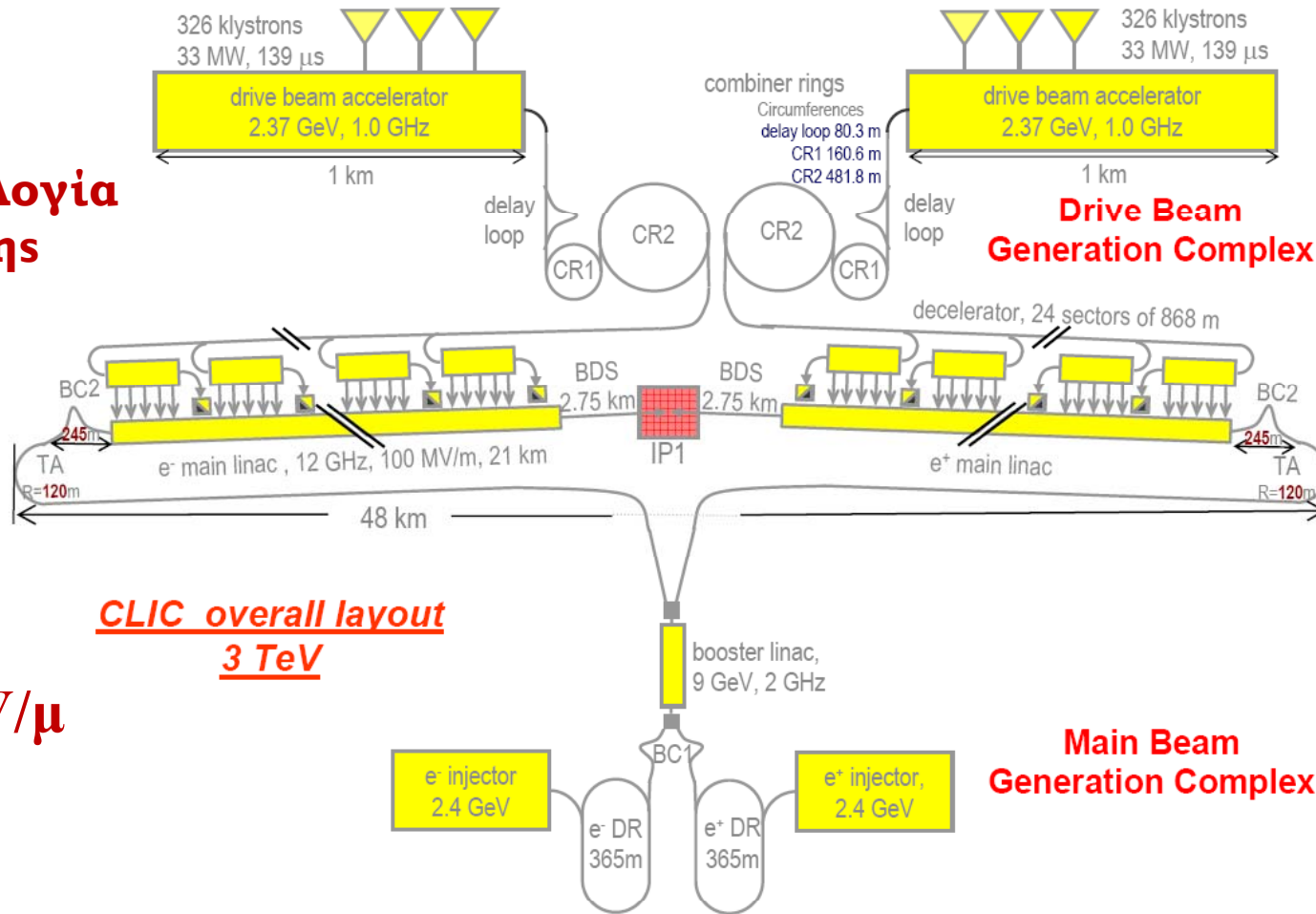
International Linear Collider (ILC)

- ▶ Μία διεθνής κοινοπραξία για την έρευνα και ανάπτυξη ενός γραμμικού επιταχυντή με δέσμες ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων να συγκρούονται σε ενέργειες των 500 GeV.
- ▶ Το ILC βασίζεται απάνω στην τεχνολογία υπεραγωγού νιόβιο για το επιταχυντικό σύστημα (35 MeV/μ.)



CLIC – Compact Linear Collider

**Νέα Τεχνολογία
Επιτάχυνσης**

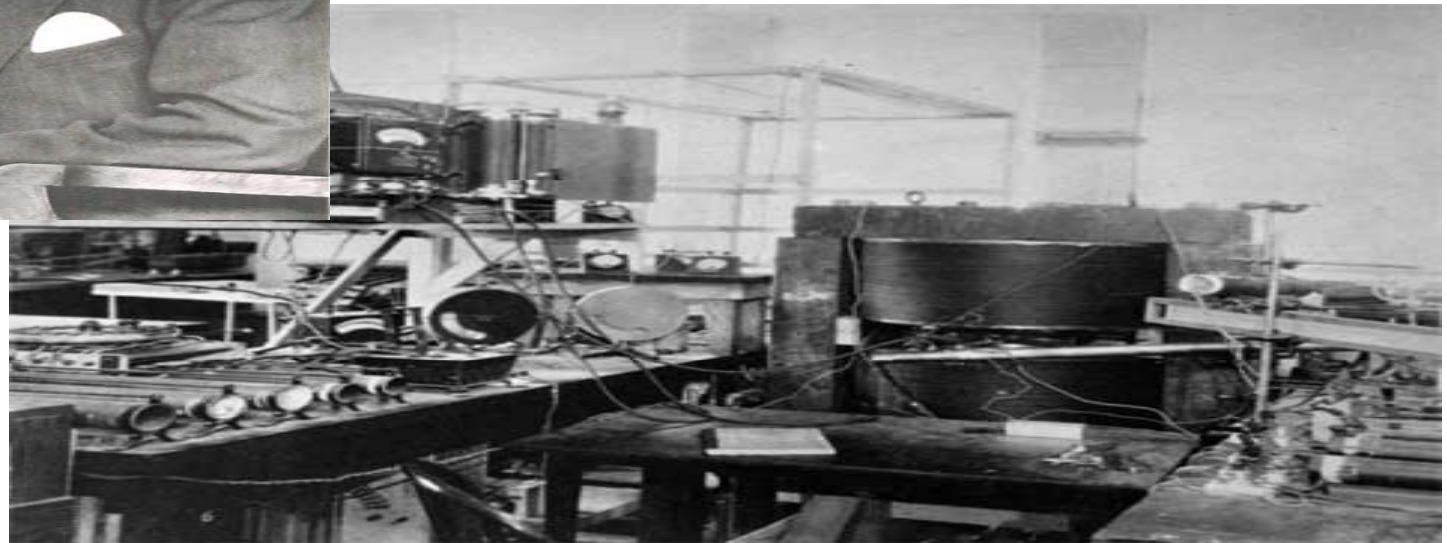


>100 MeV/ μ

Κύκλοτρον – μία εμπνευσμένη εφεύρεση



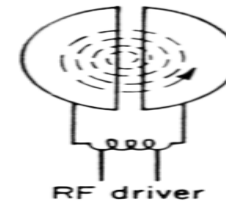
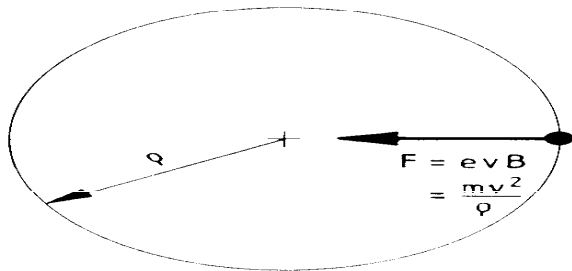
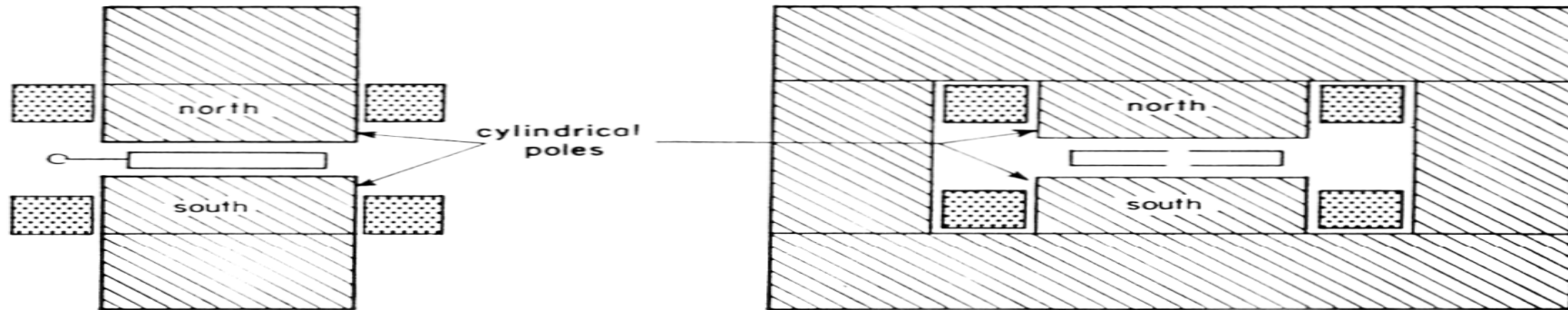
Ernest Lawrence



Φωτογραφία του 11-ιν. κύκλοτρον που κατασκεύασε ο Ernest Lawrence με τούς μεταπτυχιακούς φοιτητές του, David Sloan και Stanley Livingston στήν Καλιφόρνια το 1931.



Πως Λειτουργεί το Κύκλοτρον;



Μαγνητική Ακαμψία

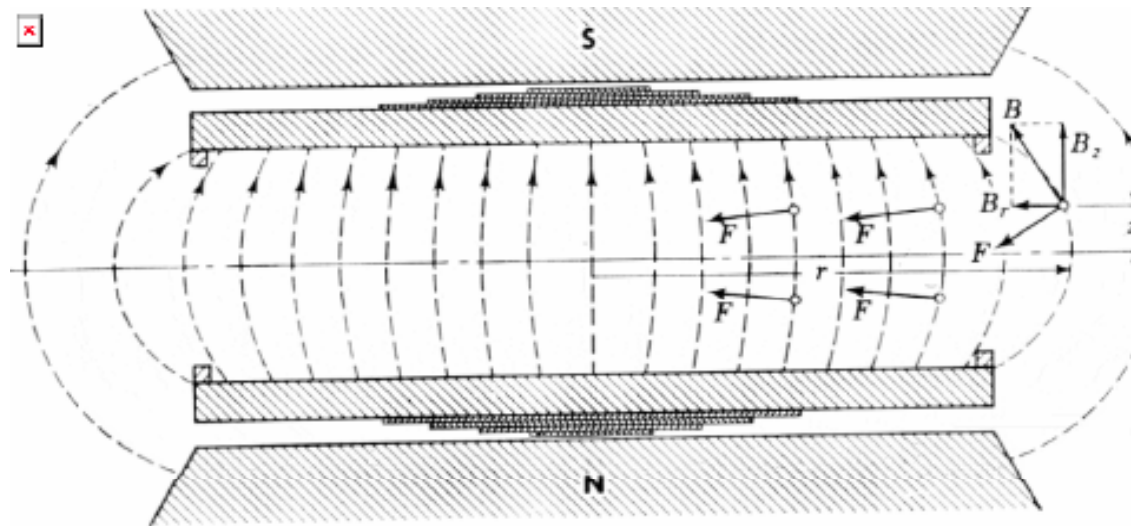
$$B \rho = \frac{mv}{e} = \frac{p}{e}$$

Σταθερή συχνότητα περιστροφής

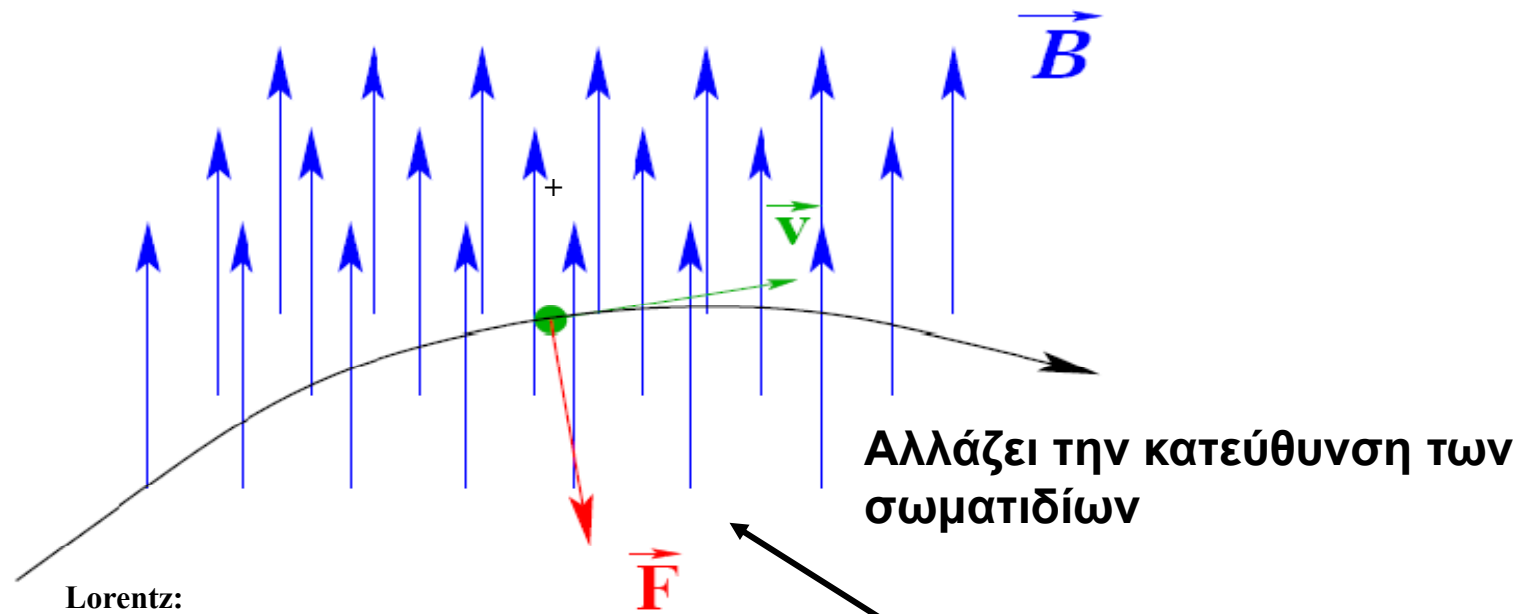
$$f_{rev} = \frac{v}{2\pi\rho} = \frac{v}{2\pi} \frac{eB}{mv} = \frac{eB}{2\pi m}$$

Κάθετη Εστίαση (Vertical Focusing)

- ▶ Τα σωματίδια πρέπει να πειθούν να ταξιδεύουν σε ακτίνα όπου θα επιταχύνονται και μακριά από τούς πάνω και κάτω πόλους του μαγνήτη.



Η Δύναμη Lorentz



$$\frac{d\vec{p}}{dt} = Q * (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Επιτάχυνση των σωματιδίων με το ηλεκτρικό πεδίο να είναι στην ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητα κίνησης

Τα Δίπολα

Οι μαγνήτες απόκλισης προκαλούν ομοιόμορφο κατακόρυφο διπολικό πεδίο κατά πλάτος του σωλήνα της δέσμης και συγκρατούν τα σωματίδια σε κυκλική τροχιά.

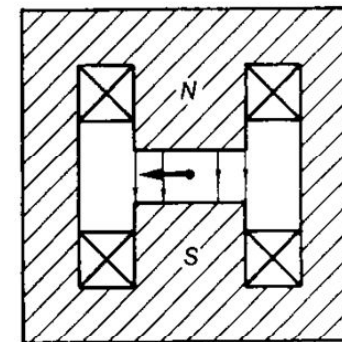
$$F_x = -ev_s B_y$$

$$F_r = mv_s^2 / \rho$$

$$p = mv_s$$

$$\frac{1}{\rho(x, y, s)} = \frac{e}{p} B_y(x, y, s)$$

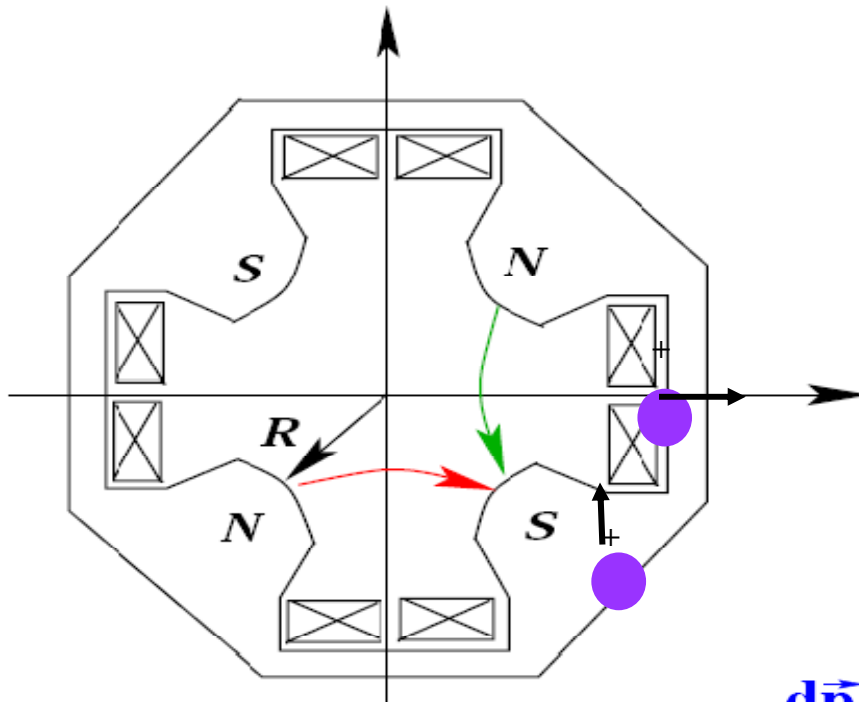
$$B\rho = \frac{p}{e}$$



(a)

Τα Τετράπολα

Οι μαγνήτες εστίασης δημιουργούν ένα τετραπολικό πεδίο τεσσάρων πόλων.



Ένα θετικό φορτισμένο σωματίδιο κινείται προς εμάς.

Εστιάζει στο κάθετο επίπεδο και απεστιάζει στο οριζόντιο επίπεδο.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = Q * (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

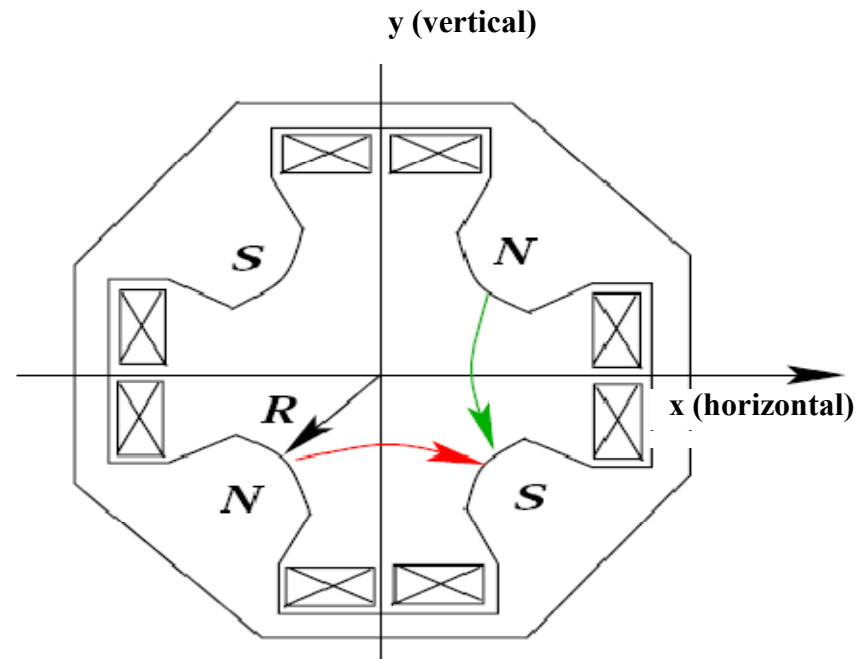
Τα Τετράπολα

$$B_x = -g \cdot y$$

$$B_y = -g \cdot x$$

$$F_x = g \cdot x$$

$$F_y = -g \cdot y$$

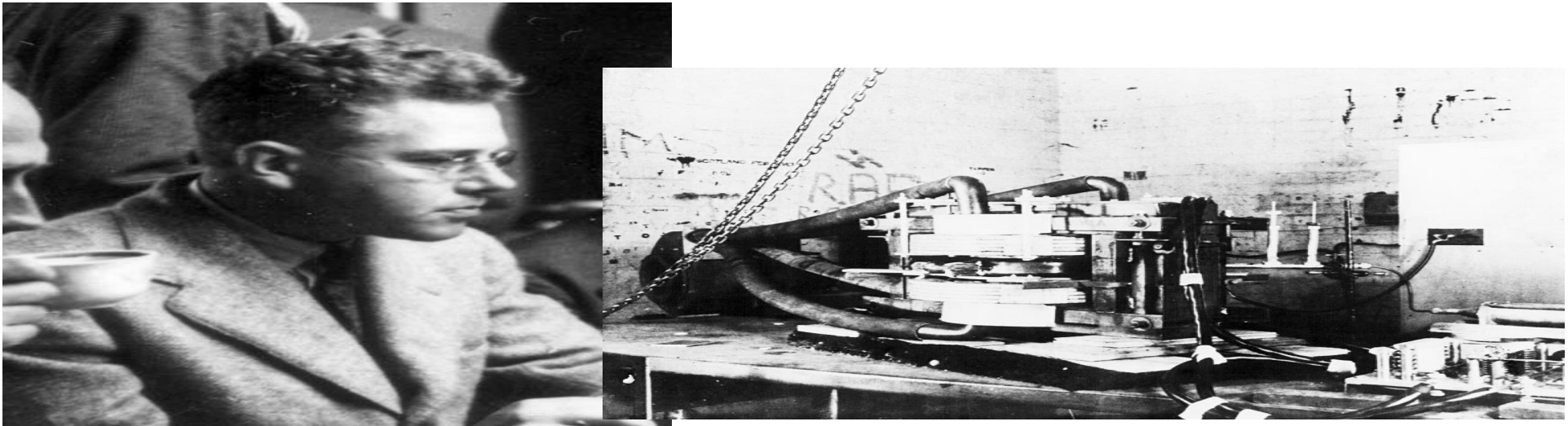


Η δύναμη είναι ανάλογη με την συντεταγμένη x και y .

Σωματίδια μακριά από το κέντρο του μαγνήτη έχουν μεγαλύτερη γωνία στροφής και συνεπώς μεγαλύτερη διόρθωση.

Η Εφεύρεση του Συγχροτόνιου

- ⦿ Από τον Marcus Oliphant – Αυστραλός φυσικός στο Birmingham της Αγγλίας

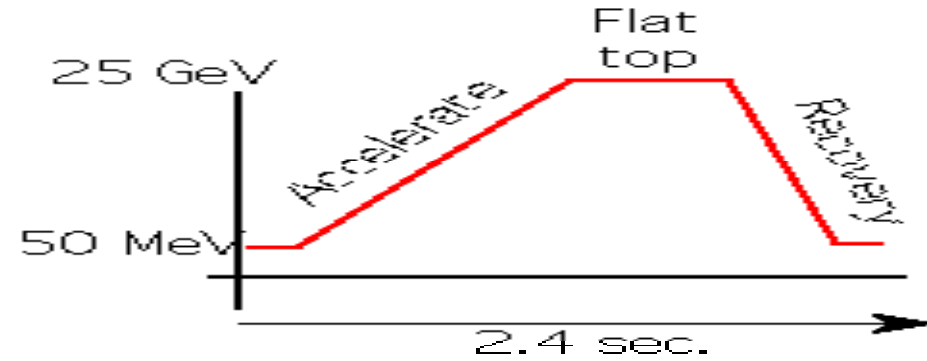
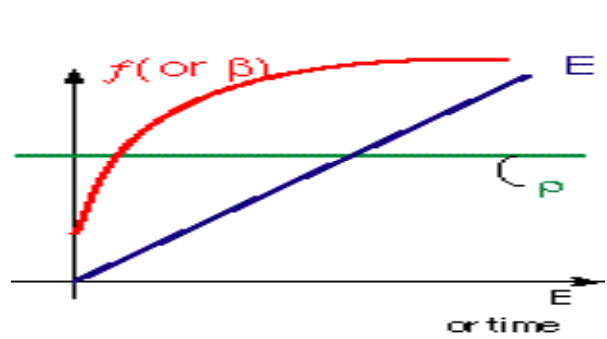
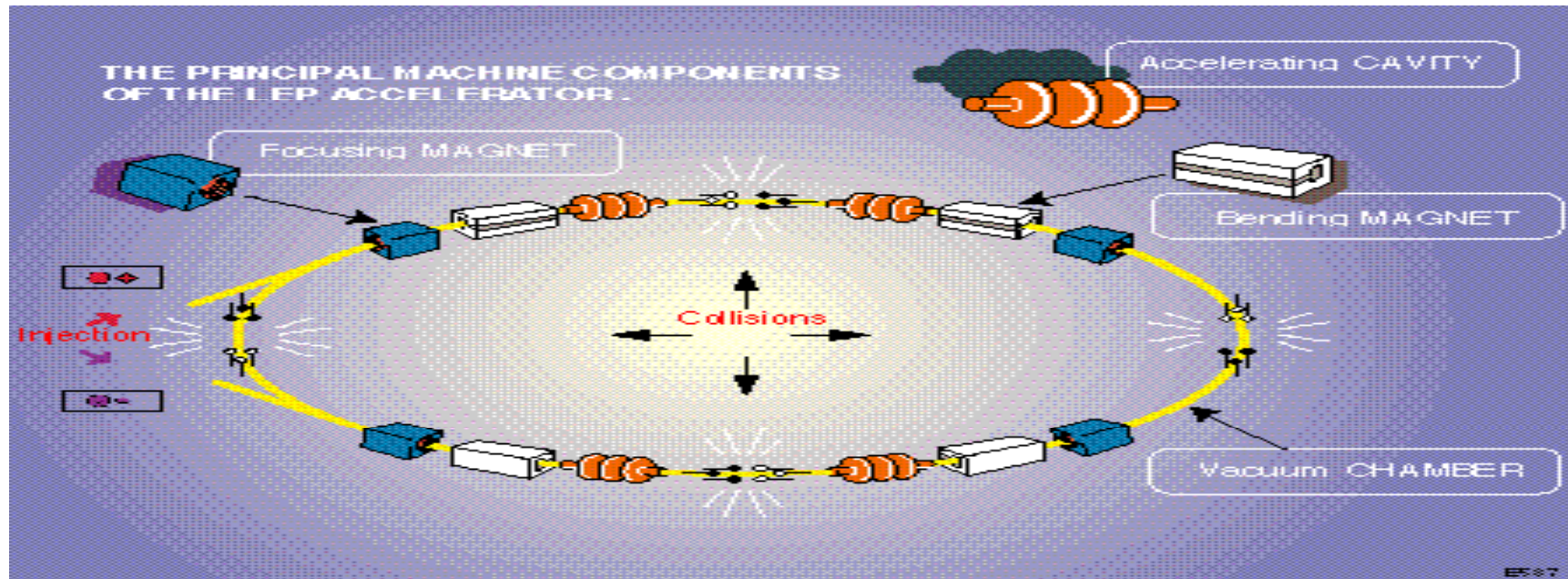


Σχεδίασε το πρώτο σύγχροτρο πρωτονίων αλλά η κατασκευή του άργησε λόγω έλλειψης πόρων.

Τελικά άρχισε να λειτουργεί το 1953.



Συστατικά Μέρη του Συγχροτρονίου



Σταθερότητα Φάσης (Phase Stability)

