

Εισαγωγή στους Επιταχυντές II

Δρ. Εμμανουήλ Τσεσμελής (CERN)

24-25 Ιουνίου 2008

Cosmotron – Brookhaven National Laboratory (BNL)

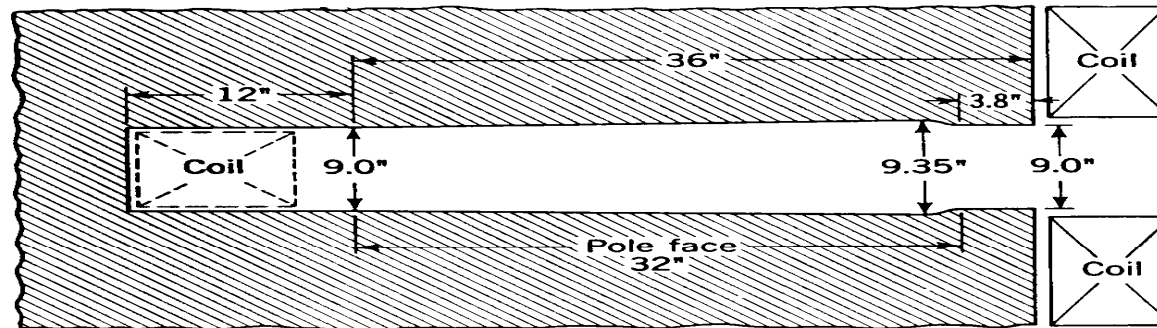


Το COSMOTRON ενέργειας 3 GeV ήταν το πρώτο σύγχροτρο πρωτονίων που τέθηκε σε λειτουργία το 1952.

Οι *New York Times* έγραψαν για το πρώτο 'Billion Volt Shot'.



Ασθενή Εστίαση σε Σύγχροτρον



Ο μαγνήτης του COSMOTRON



- ⊙ Η κατακόρυφη εστίαση δημιουργείται από την καμπύλωση των δυναμικών γραμμών όταν το πεδίο γίνεται πιο μικρό με την ακτίνα.
- ⊙ Οριζόντια εστίαση από την καμπύλωση της τροχιάς.

Οι Άνθρωποι του Cosmotron

E. Courant - Σχεδιαστής



Stan Livingston –
Επικεφαλής



Snyder - Θεωρητικός

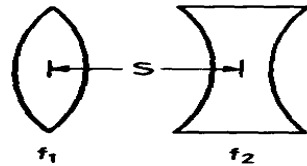


Christofilos - Εφευρέτης



Ισχυρή Εστίαση

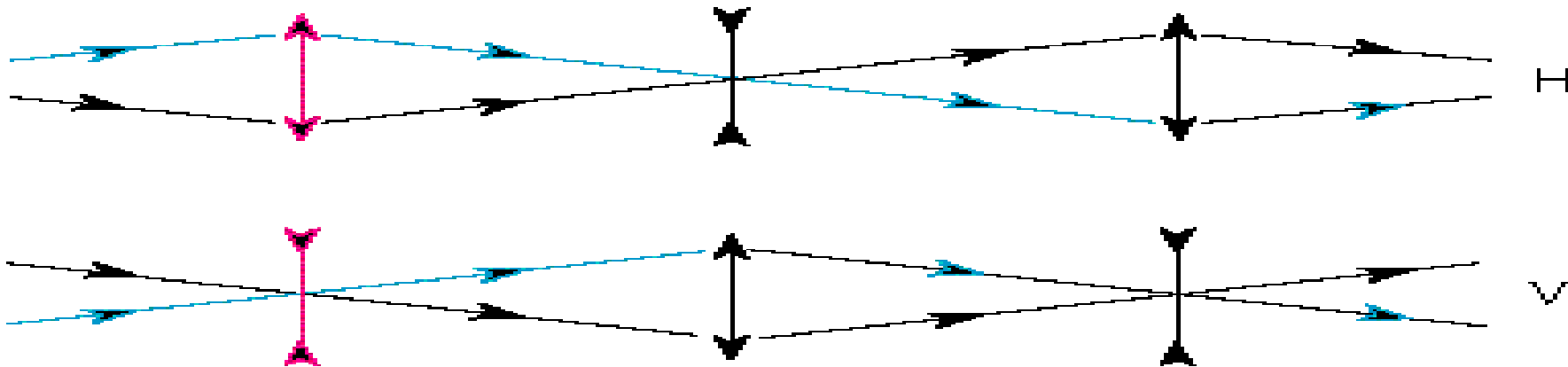
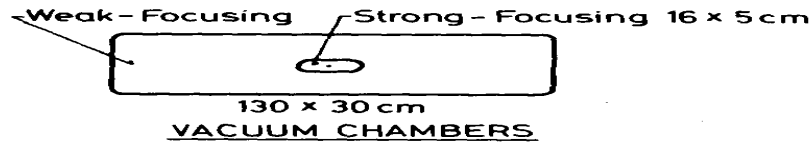
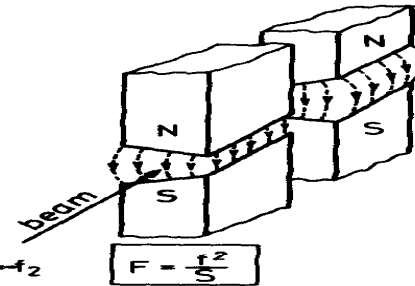
Positive - Negative Lens



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{S}{f_1 \cdot f_2}$$

$n \gg 0$ $n \ll 0$
 $|n| \gg 1$

Alternating Gradient, AG



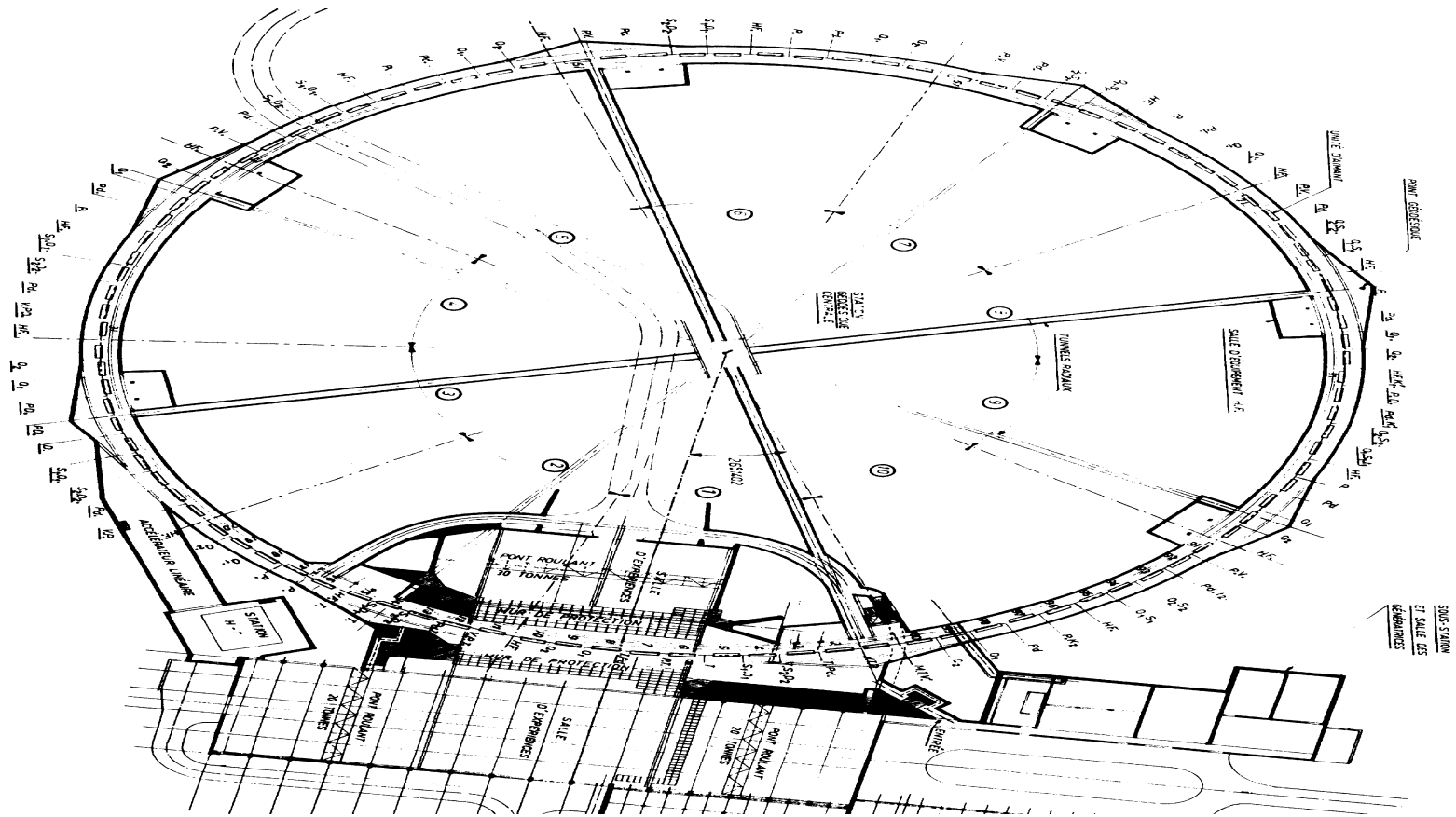
To CERN και το BNL

Odd Dahl, Frank Goward, and Rolf Wideröe



CERN PS – Σύγχροτρον Πρωτονίων

25 GeV
1959

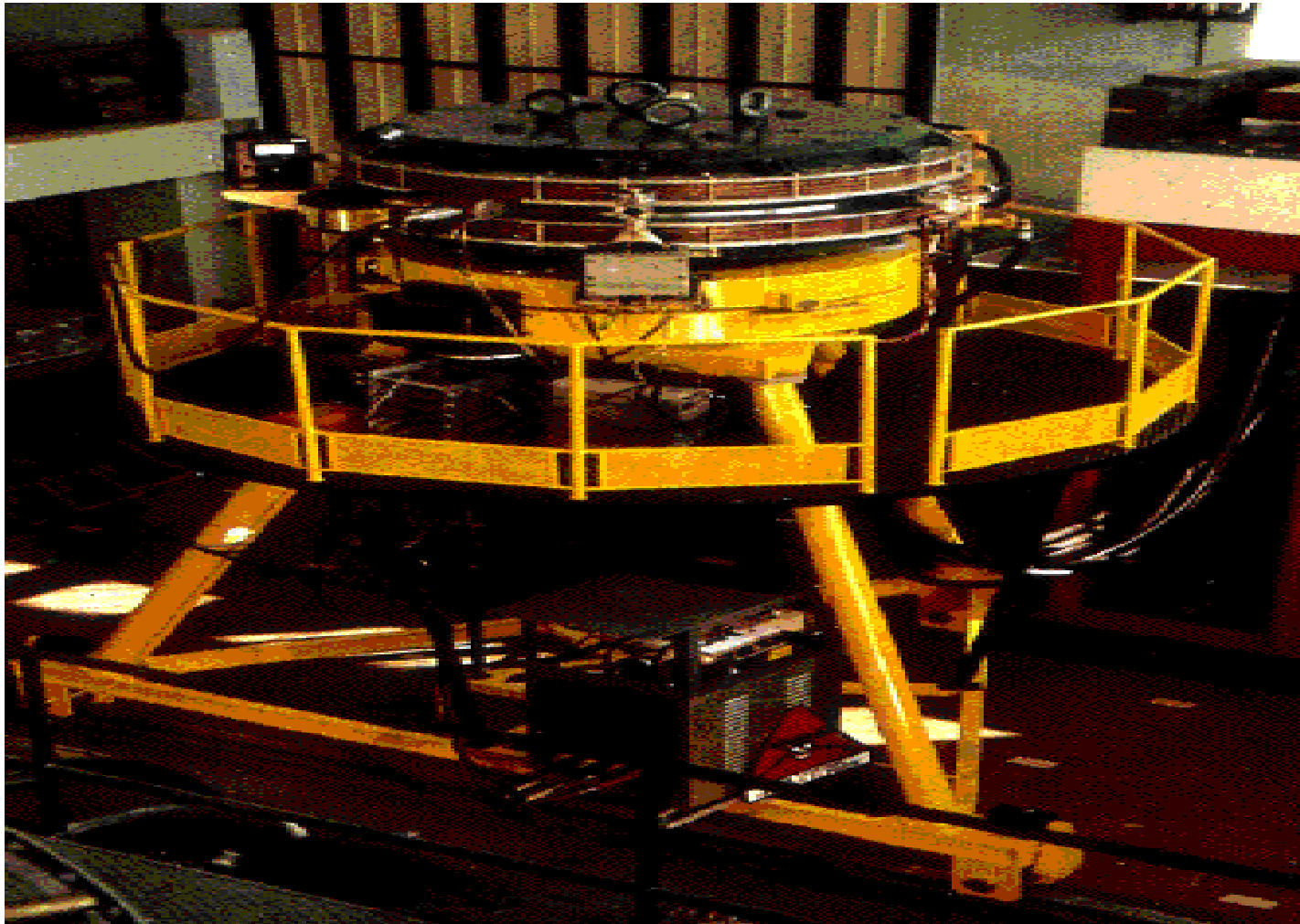


CERN SPS – Σύγχροτρον Πρωτονίων

- ▶ **450 GeV**
- ▶ **1976**



AdA – Ο Πρώτος Επιταχυντής e^+e^-



Επιταχυντές και Ενέργεια

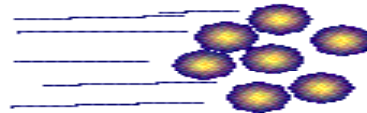
1. Επιταχυντές ακίνητου σταθερού στόχου

2. Επιταχυντές συγκρουομένων δεσμών

W = Energy available in center-of-mass for making new particles

For **fixed target** :

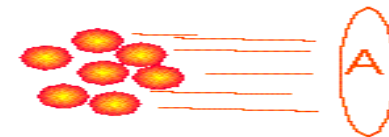
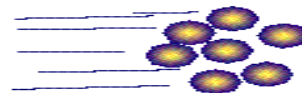
$$E_{c.m.} \cong \sqrt{2 m_T E_B}$$



... and we rapidly run out of money trying to gain a factor 10 in c.m. energy

But a **storage ring**, **colliding** two beams, gives:

$$E_{c.m.} \cong 2 E_B$$



Problem: Smaller probability that accelerated particles collide "Luminosity" of a collider

$$L = N_1 N_2 \frac{1}{A} \frac{\beta c}{2 \pi R} \approx 10^{29} \dots 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Φωτεινότητα Συγκρουόμενων Δεσμών



- Το γαλάζιο σωματίδιο συγκρούεται με μία δέσμη με εγκάρσια διατομή A
- Με μία συγκεκριμένη πιθανότητα σύγκρουσης
- Για N σωματίδια σε κάθε δέσμη
- Οι δέσμες συναντιούνται f_{rev} φορές ανά δευτερόλεπτο
- Ρυθμός αντιδράσεων

$$f_{rev} = \frac{\beta c}{2 \pi R}$$

**Φωτεινότητα
(ανά ομάδας)**

$$\frac{f_{rev} N^2}{A} \cdot \sigma$$

Μεγάλο

10^{-25} cm^2

Μικρό

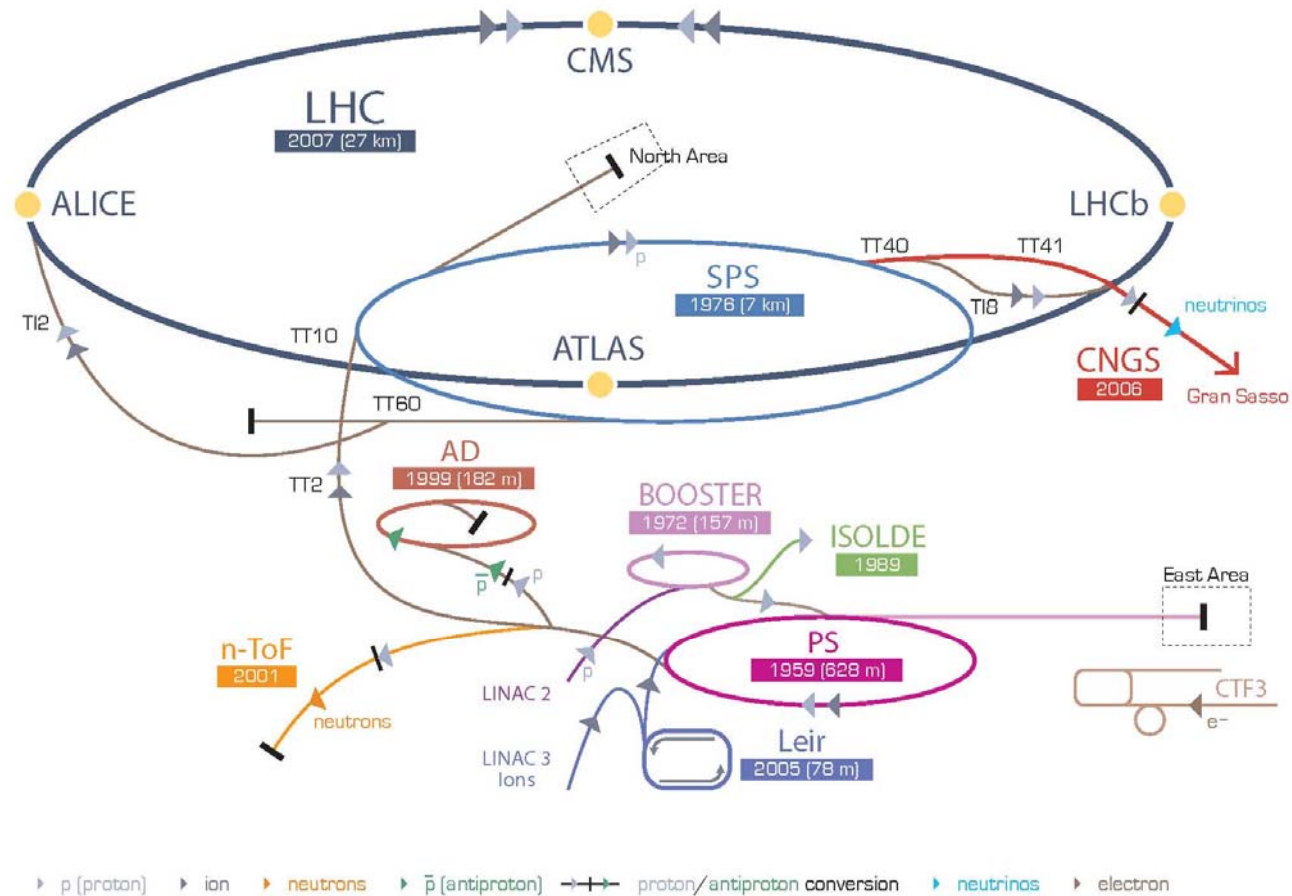
$$\approx 10^{30} \text{ to } 10^{34} \left[\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \right]$$

Φυσική με Δέσμες Ηλεκτρονίων η Πρωτονίων

- ⊙ Κατά τη σύγκρουση δύο πρωτονίων συνθλίβονται δύο κουάρκς η γκλουόνια.
- ⊙ Η διαθέσιμη ενέργεια για την παραγωγή νέων σωματιδίων είναι μόλις 10% της ολικής ενέργειας στο σύστημα κέντρου μάζας.
- ⊙ Δεν ξέρουμε όμως ποιά από τα κουάρκς η γκλουόνια συγκρούονται.
- ⊙ Έτσι το 100 GeV + 100 GeV LEP μπορεί να θεωρηθεί εξίσου καλό όσο το 1000 GeV + 1000 GeV TEVATRON.
- ⊙ Αλλά στην ουσία οι επιταχυντές ηλεκτρονίων είναι για μετρήσεις ακρίβειας ενώ οι επιταχυντές πρωτονίων είναι για ανακαλύψεις σωματιδίων.

Έτσι είχαμε το SPS -> LEP -> LHC -> ILC/CLIC?

Οι Επιταχυντές του CERN



LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

LEP – Large Electron Positron Collider

Μεγάλος επιταχυντής συγκρουομένων δεσμών ηλεκτρονίων – ποζιτρονίων – 1989

100 GeV + 100 GeV



Μέσα στο LEP



Το Tevatron στο FNAL (Chicago)



Ο μεγάλος επιταχυντής συγκρουσμένων δεσμών πρωτονίων – αντιπρωτονίων με υπεραγωγικούς μαγνήτες.



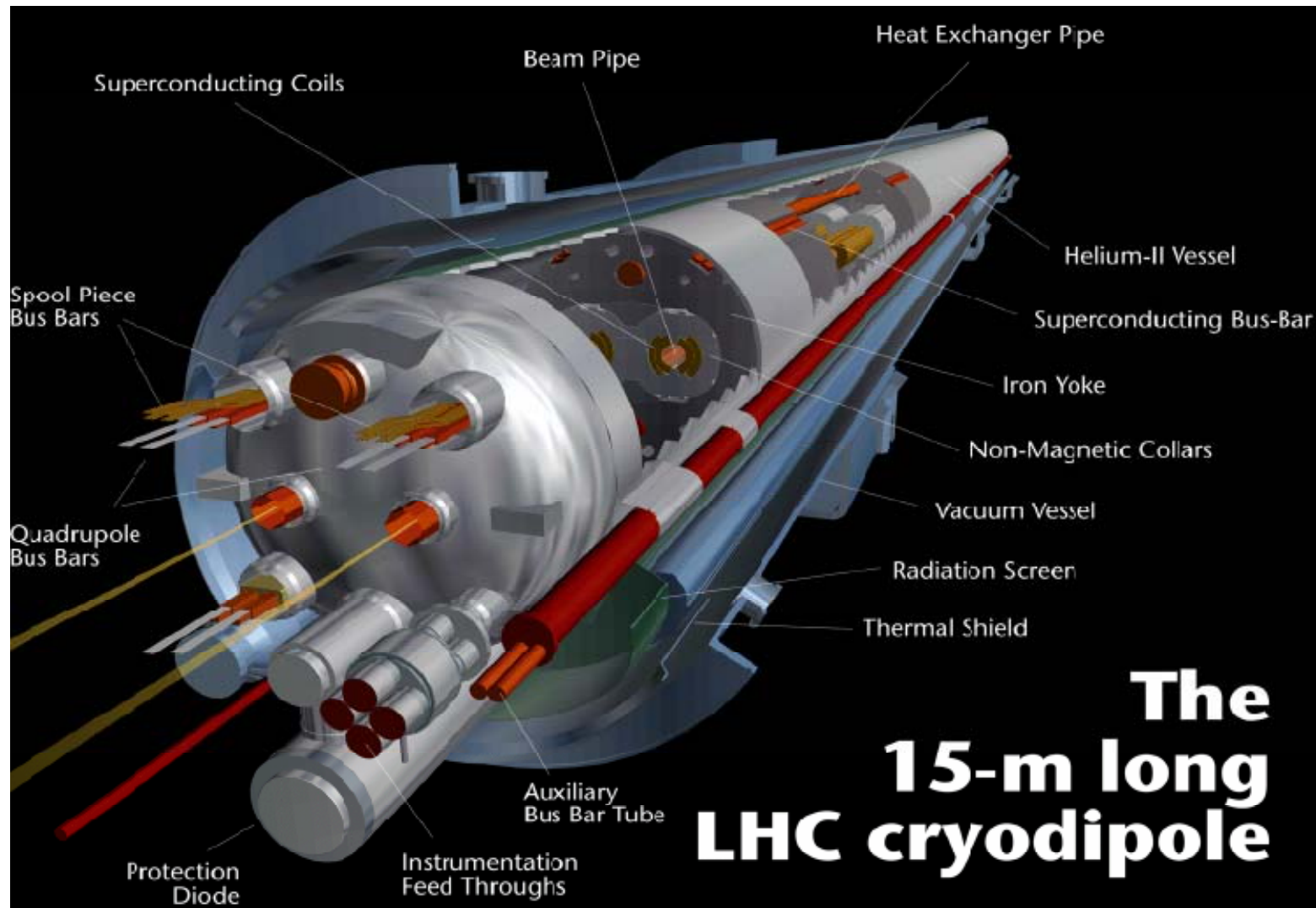
Ο Μεγάλος Αδρονικός Επιταχυντής (LHC)



Underground
circular tunnel
27 km circum-
ference; 100 m
underground

4 caverns for
experiments (●)

Υπεραγωγιμοί Μαγνήτες LHC



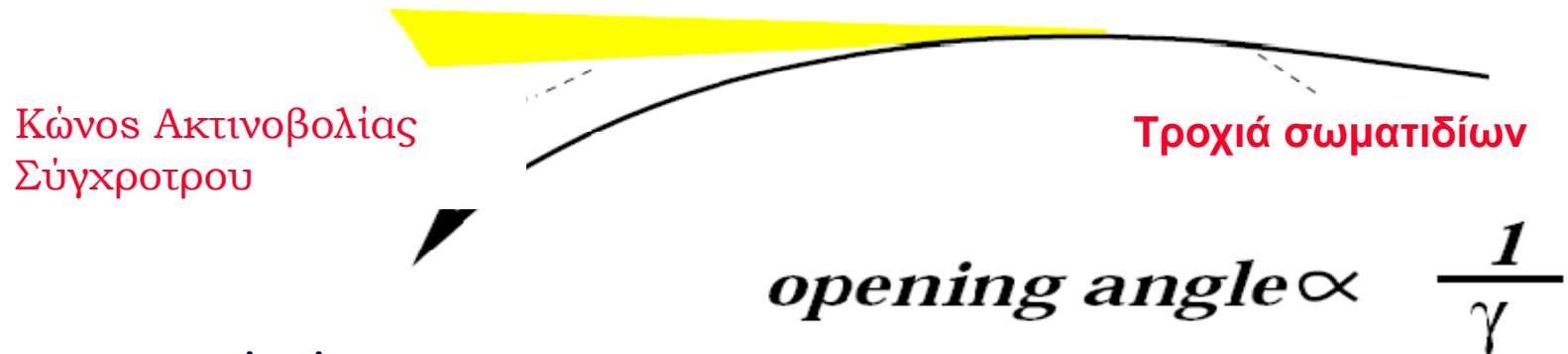
Υπεραγώγιμοι Μαγνήτες LHC



Η Σήραγγα του LHC



Ακτινοβολία Σύγχροτρου



Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Επιταχόμενα φορτισμένα σωματίδια εκπέμπουν φωτόνια

Σήματα ράδιο και Ακτίνες X

$$\Delta E = (4\pi/3) (e^2\beta^2\gamma^4/\rho)$$

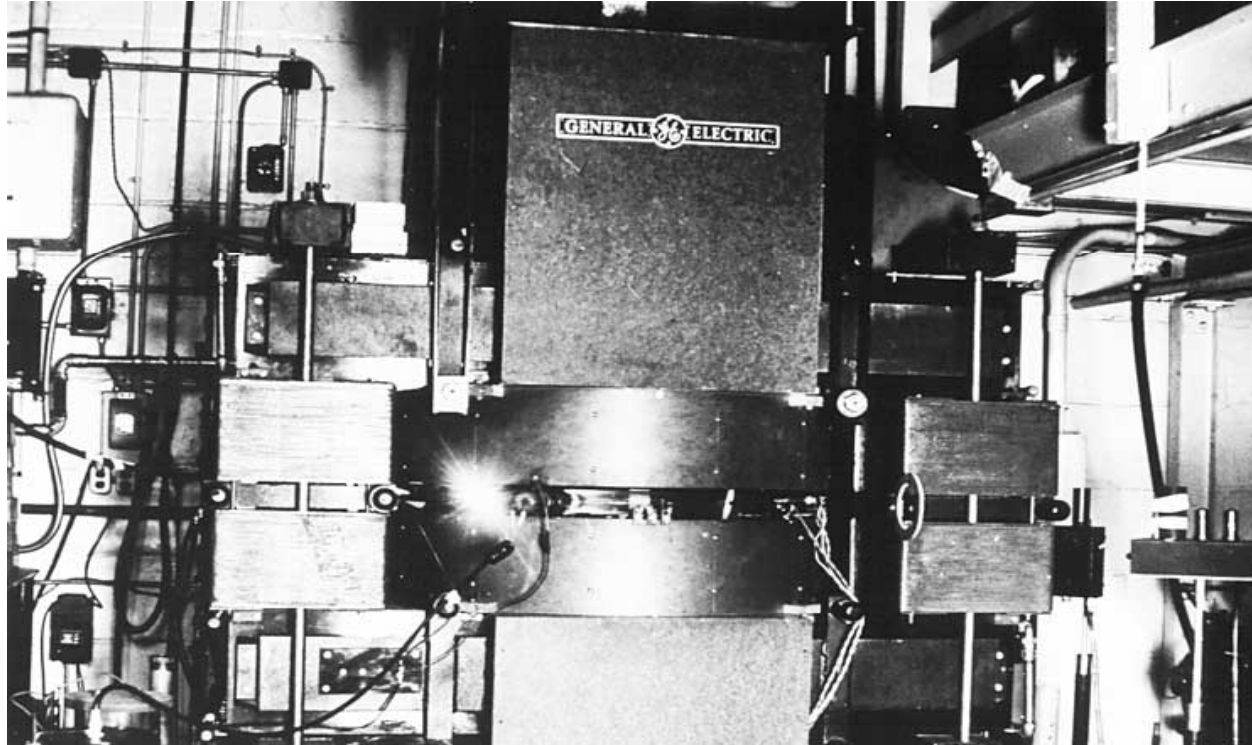
$$\gamma = (1-\beta^2)^{-1/2}$$

$$\beta = v / c$$

$$\text{LEP: } \gamma = 200000$$

$$\text{LHC: } \gamma = 7000$$

Ακτινοβολία Σύγχροτρου



Το 300 MeV σύγχροτρον στο General Electric Co. Schenectady που κατασκευάστηκε στα τέλη της δεκαετίας 1940. Η φωτογραφία δείχνει την δέσμη ακτινοβολίας σύγχροτρου που παράγεται.

Επιταχυντές για Θεραπεία Καρκίνου



Ένα σύγχρονο σύστημα για θεραπεία ασθενών με Ακτίνες-X από δέσμες ηλεκτρονίων υψηλών ενεργειών.

Οι Επιταχυντές Ενώνουν Κράτη



Ο Βασιλιάς της Ιορδανίας και το Sesame Project που κατασκευάζεται στην χώρα του και που θα είναι διαθέσιμο για όλους τους επιστήμονες του κόσμου.

Σύνοψη και Προοπτική

- ▶ Οι επιταχυντές τα τελευταία 90 χρόνια χρησιμοποιήθηκαν για:
 - ▶ Την «έρευνα και ανακάλυψη» για την καλύτερη κατανόηση του Σύμπαντος.
 - ▶ Εφαρμογές σε ιατρική απεικόνιση / θεραπεία, μελέτη βιολογικών συστημάτων και μορίων.
 - ▶ Η εξεδείκευση νέων επιστημών.
 - ▶ Διεθνής συνεργασία.
- ▶ Το μέλλον
 - ▶ Οι επιταχυντές που σχεδιάζουμε ή κατασκευάζουμε σήμερα έχουν φθάσει στα όριά τους.
 - ▶ LEP, LHC, ILC, CLIC
 - ▶ Για τα επόμενα βήματα, χρειαζόμαστε νέες μεθόδους επιτάχυνσης (lasers, plasma, ...)

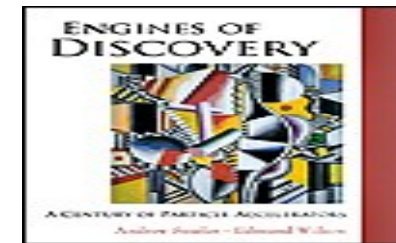


Βιβλιογραφία

“Engines of Discovery”:

<http://www.worldscibooks.com/physics/6272.html>

<http://www.enginesofdiscovery.com>



“Particle Accelerators”

<http://www.oup.com/uk/catalogue/?ci=9780198508298>

