

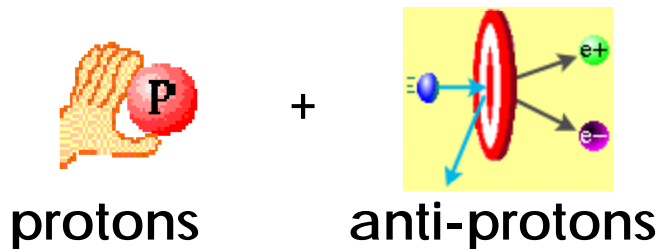
Επιταχυντές

Γ. Τσιπολίτης

Γιατί Χρειαζόμαστε τους Επιταχυντές;

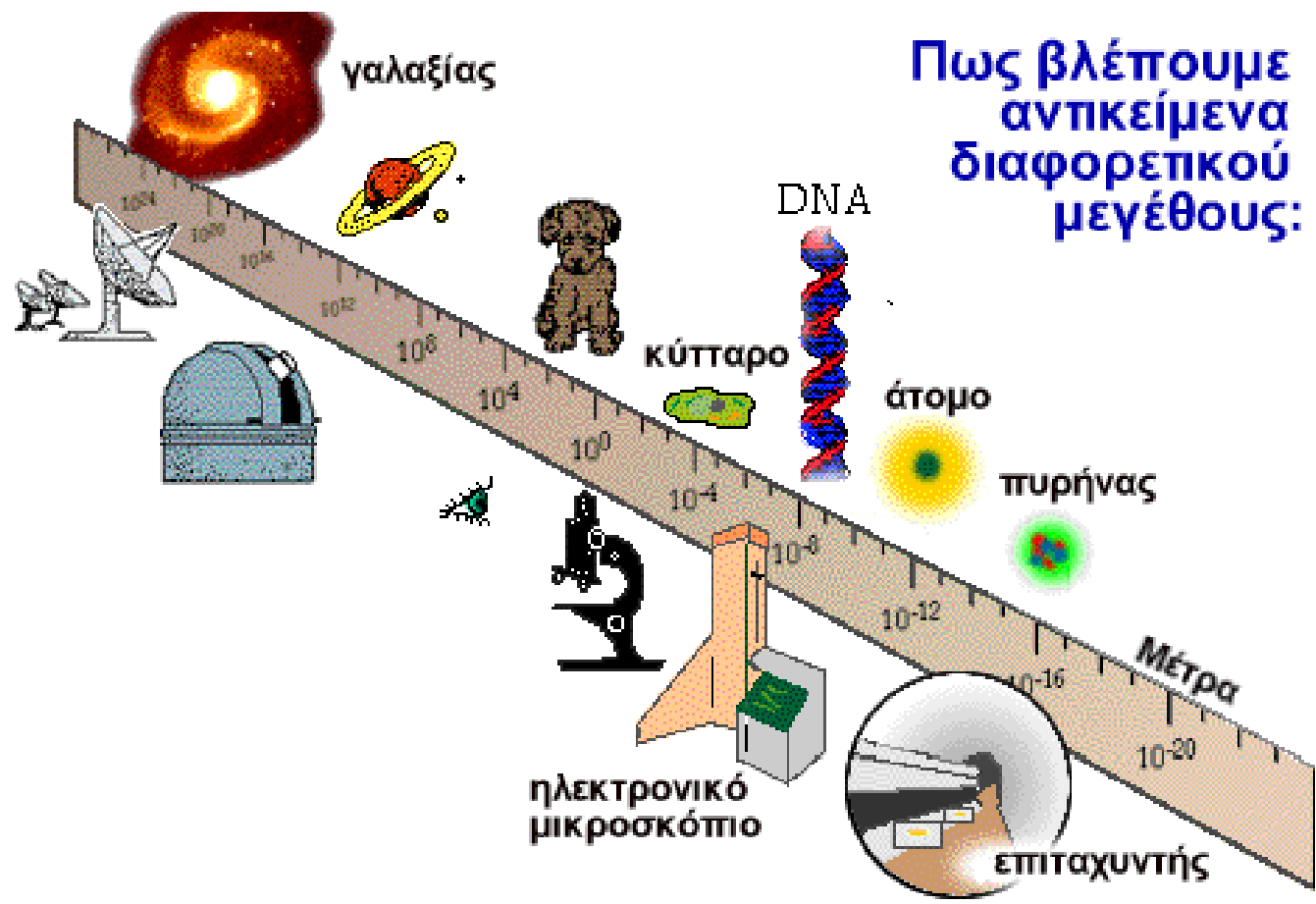
Οι επιταχυντές επιλύουν δυο προβλήματα :

1. Αφού όλα τα σωματίδια συμπεριφέρονται σαν κύματα, χρησιμοποιώντας επιταχυντές αυξάνουμε την ορμή των σωματιδίων, → μικραίνει το μήκος κύματος αρκετά ώστε να μπορούμε να ξεχωρίσουμε μικρές αποστάσεις. (Resolving power!)
2. Η ενέργεια των γρήγορων σωματιδίων χρησιμοποιείται για τη δημιουργία βαριών σωματιδίων τα οποία θέλουμε να μελετήσουμε.



$$E=mc^2 !$$





Γ. Τσιπολίτης

Επιταχυντές - Τα Βασικά

Ένας επιταχυντής επιταχύνει τα σωματίδια σε μεγάλες ταχύτητες με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών πεδίων όπου κτυπούν ένα στόχο ή άλλα σωματίδια. Γύρω από το σύγκρουσης τοποθετούμε ανιχνευτικά συστήματα για να μελετήσουμε τα αποτελέσματα αυτής της αντίδρασης ή γεγονότος.

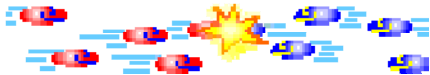
Δυο κύριες κατηγορίες:

- **Σταθερός στόχος:** Τα σωματίδια κτυπούν ένα ακίνητο στόχο



Ένα φορτισμένο σωματίδιο (electron ή proton) επιταχύνεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο και κτυπά ένα στόχο, που μπορεί να είναι στερεός, υγρός, ή αέριο. Ένας ανιχνευτής καθορίζει Το φορτίο, ορμή, μάζα, κλπ. Των παραγόμενων σωματιδίων.

- **Συγκρουόμενες δέσμες :** δυο δέσμες σωματιδίων διαπερνούν η μια την άλλη



Το πλεονέκτημα: και οι δυο δέσμες έχουν μεγάλη ενέργεια, επομένως θα μπορέσουμε να παράγουμε βαριά σωματίδια από ότι παράγουμε σε πειράματα σταθερού στόχου με την ίδια ενέργεια. Αυτά τα σωματίδια έχουν μεγάλες ορμές (μικρά μήκη κύματος), καλύτερα «μικροσκοπία».

Γ. Τσιπολίτης

Τύποι Επιταχυντών

Δυο βασικές κατηγορίες:

Γραμμικοί Επιταχυντές (Linacs): Σωματίδια εκτοξεύονται όπως σ' ένα όπλο. Χρησιμοποιούνται στα πειράματα σταθερού στόχου, ως το πρώτο στάδιο επιτάχυνσης σ' ένα κυκλικό επιταχυντή, ή σαν γραμμικοί επιταχυντές.



	• Σταθερός στόχος
	• Ψεκαστήρας σε κυκλικό επιταχυντή
	• Γραμμικός επιταχυντής

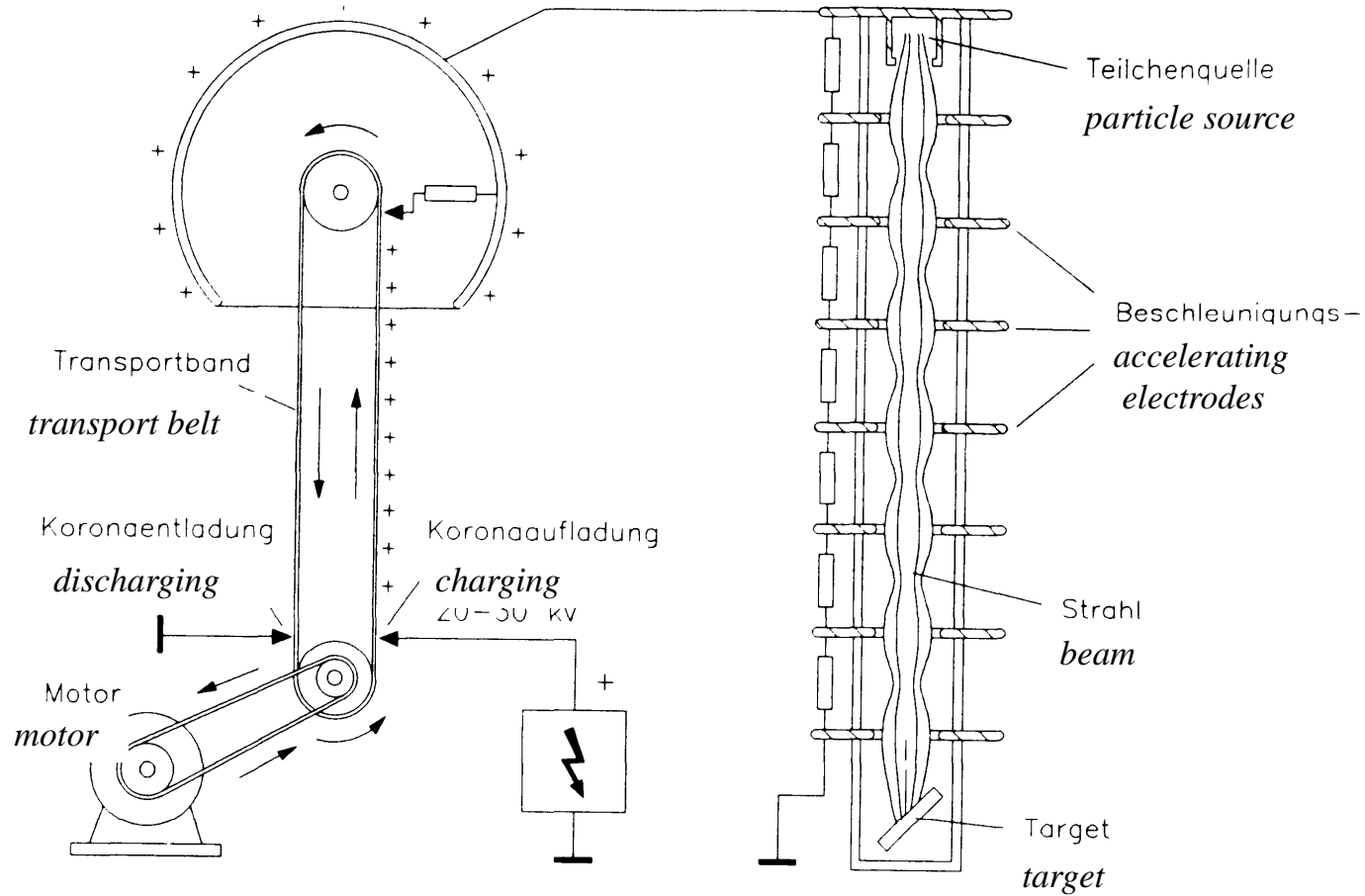
Κυκλικοί Επιταχυντές (Synchrotron): Χρησιμοποιούνται σε πειράματα συγκρουόμενων δεσμών ή αποσπώνται από το δακτύλιο για τα πειράματα σταθερού στόχου. Μεγάλοι μαγνήτες καθοδηγούν το σωματίδιο ώστε να παραμένει σε κυκλική τροχιά.



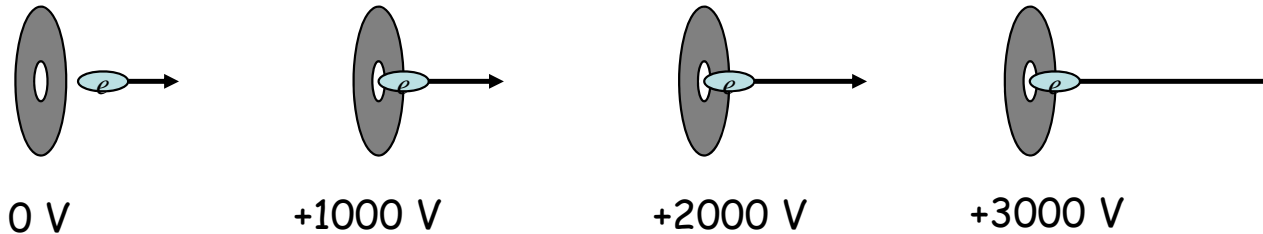
	• Συγκρουόμενες δέσμες	
	• Αποσπώνται για σταθερό στόχο	

Γ. Τσιπολίτης

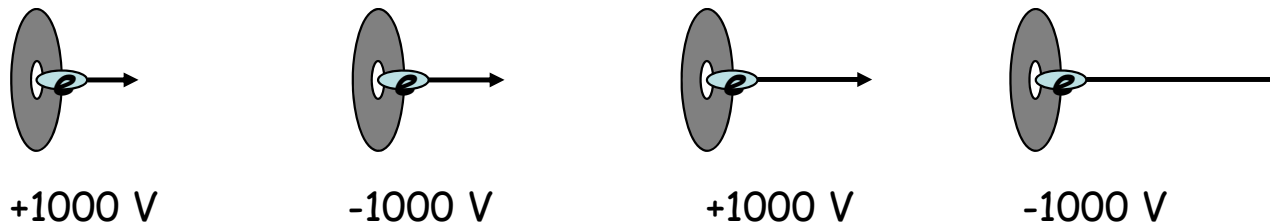
Van-de-Graaf επιταχυντής



Επιταχύνοντας σωματίδια



Μετά από αυτή τη διαδικασία το e έχει ενέργεια ... 3000 [eV]. Άρα για να έχουμε 5 MeV, π.χ., χρειαζόμαστε 5 MV !!! **Ασύμφορο!**



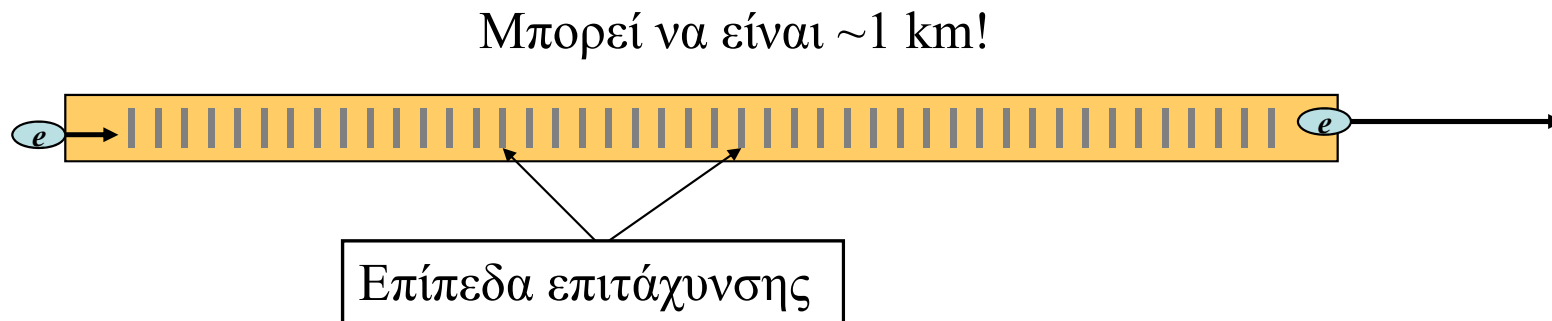
Η υψηλή τάση μεταβάλλεται από θετική σε αρνητική την κατάλληλη χρονική στιγμή ώστε το ηλεκτρόνιο να επιταχύνεται προς το επόμενο επίπεδο!

Χρειαζόμαστε μόνο 1000 V, ΟΧΙ 1 MV. Αν περάσει ανάμεσα από 1000 τέτοια επίπεδα, θα αποκτήσει 1000 φορές την ενέργεια που αποκτά όταν περνά ανάμεσα από ένα ζεύγος τέτοιων επιπέδων!

Με αυτό τον τρόπο, επιταχύνουμε ένα ηλεκτρόνιο σε πολύ μεγάλες ενέργειες.

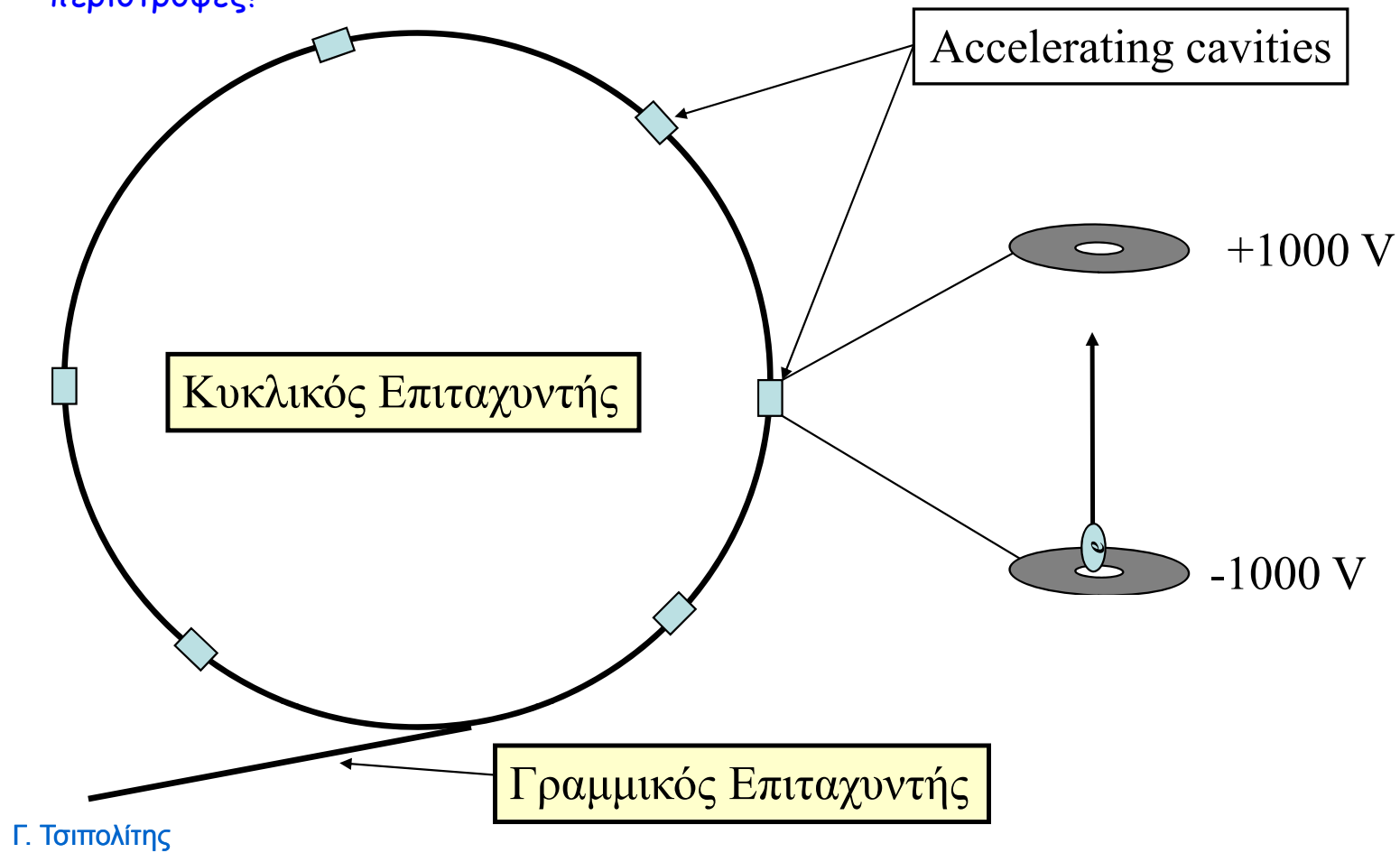
Γ. Τσιπολίτης

Γραμμικός Επιταχυντής

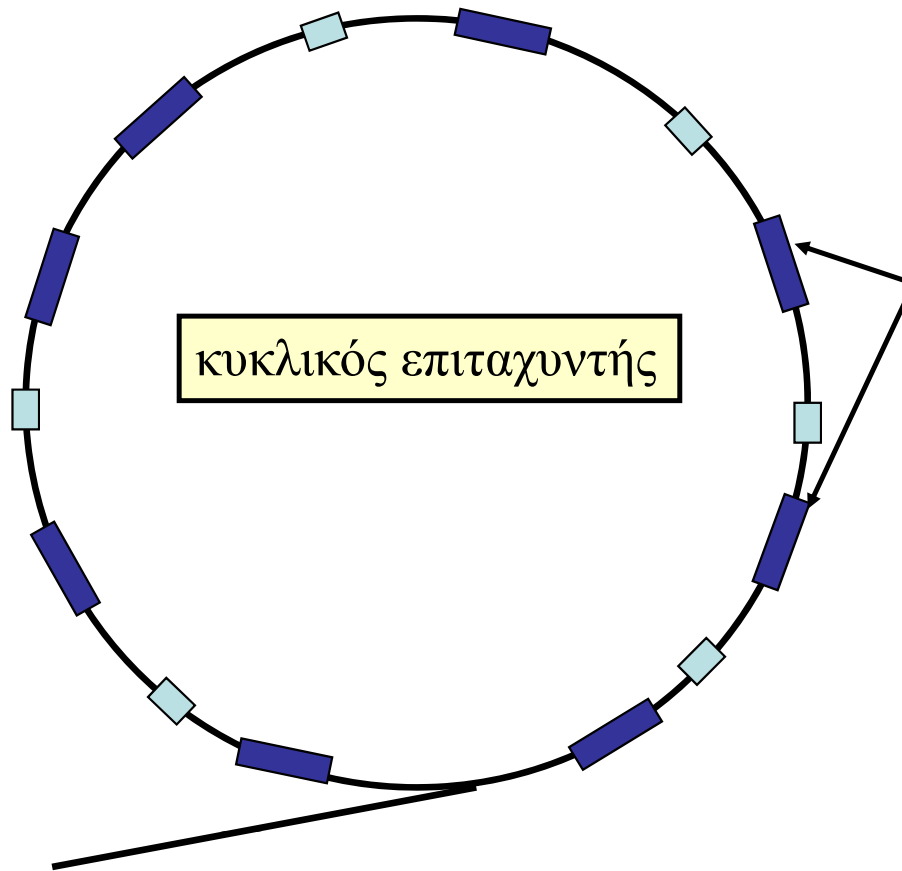


Κυκλικοί Επιταχυντές

Ηλεκτρόνιο "αποκτά" την τελική του ενέργεια μετά από πολλές περιστροφές!



Κυκλικός Επιταχυντής



- Τα φορτισμένα σωματίδια περιστρέφονται και σε κάθε περιστροφή αυξάνεται η ενέργεια τους με τη βοήθεια των accelerating cavities.
- Τα σωματίδια καμπυλώνονται με τη βοήθεια των διπολικών μαγνητών!!!
- Η "ισχύς καμπύλωσης" των μαγνητών πρέπει να αυξάνεται καθώς αυξάνει η ενέργεια (δύσκολο πρόβλημα)..
- Το όριο της ενέργειας περιορίζεται από την ικανότητα μας να μπορέσουμε να τα κρατήσουμε σε κύκλο...

Γ. Τσιπολίτης

Επιτάχυνση Σωματιδίων

Μπορούμε να επιταχύνουμε ηλεκτρόνια διότι είναι φορτισμένα σωματίδια και έλκονται από θετικά μεταλλικά επίπεδα που έχουν θετική τάση.

Με την ίδια ιδέα, μπορούμε να επιταχύνουμε θετικά φορτία όπως πρωτόνια.

Απλά αντιστρέφοντας τη θετική με αρνητική τάση !!!

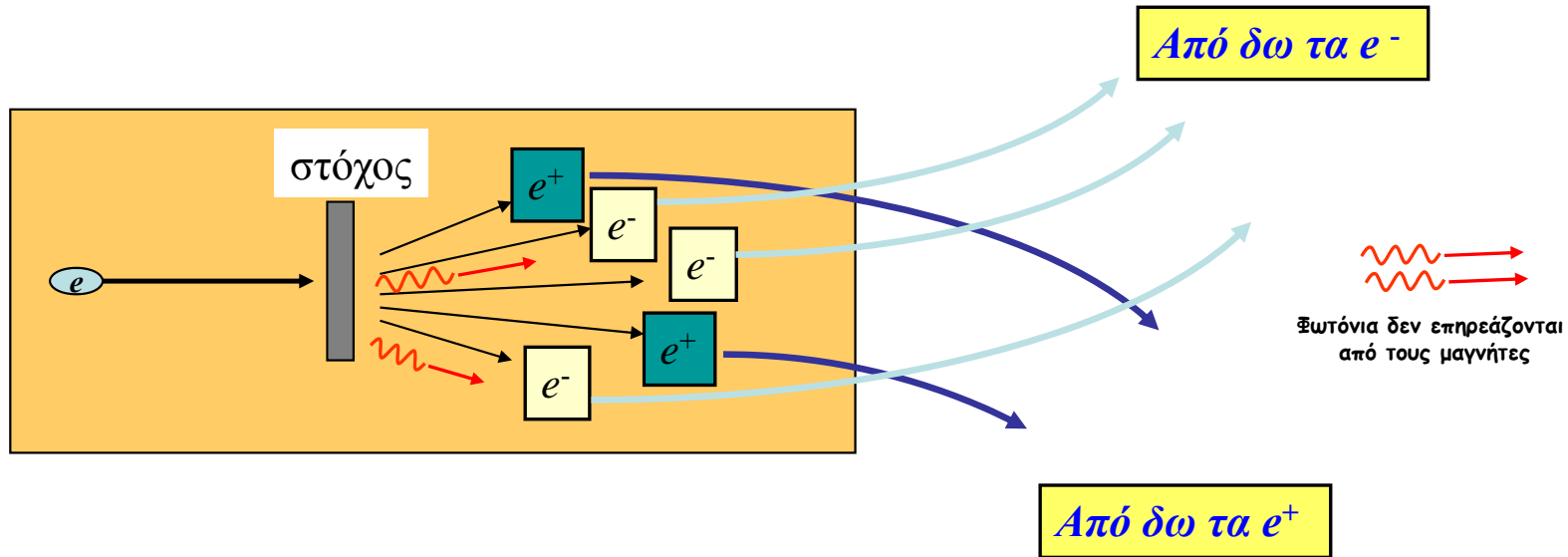
Επομένως, μπορούμε να επιταχύνουμε ποζιτρόνια (ηλεκτρόνια με θετικό φορτίο). Όλες οι τάσεις είναι αντεστραμμένες!!

Δηλαδή, γνωρίζουμε πώς να επιταχύνουμε φορτισμένα σωματίδια!

Πως μπορούμε να παράγουμε ποζιτρόνια;

Γ. Τσιπολίτης

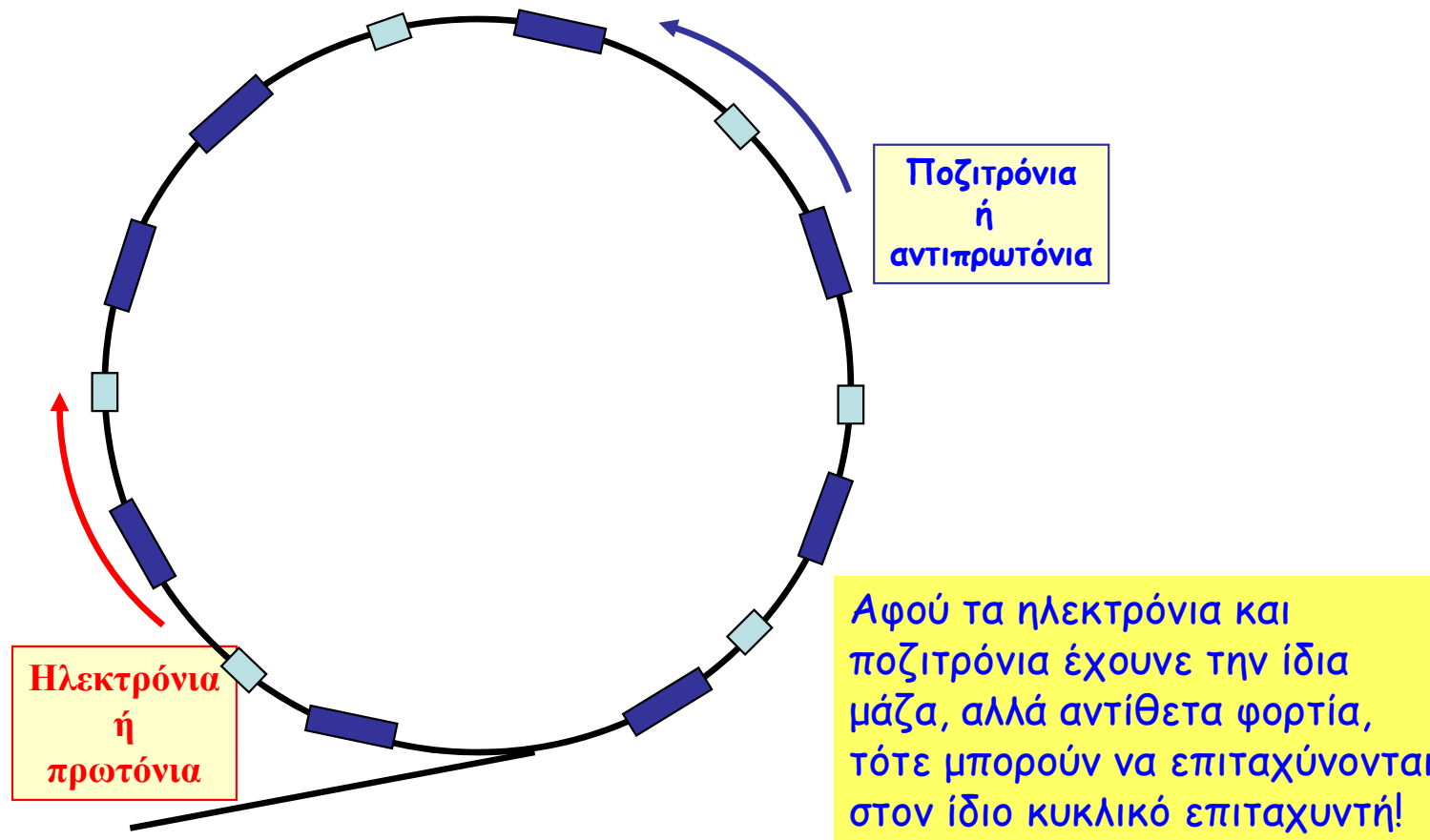
Παραγωγή Αντισωματιδίων



Με τη βοήθεια μαγνητών τα αρνητικά ηλεκτρόνια καμπυλώνονται προς τη μια πλευρά ενώ τα ποζιτρόνια προς την άλλη, επομένως με αυτό τον τρόπο τα "ξεχωρίζουμε" μεταξύ τους!

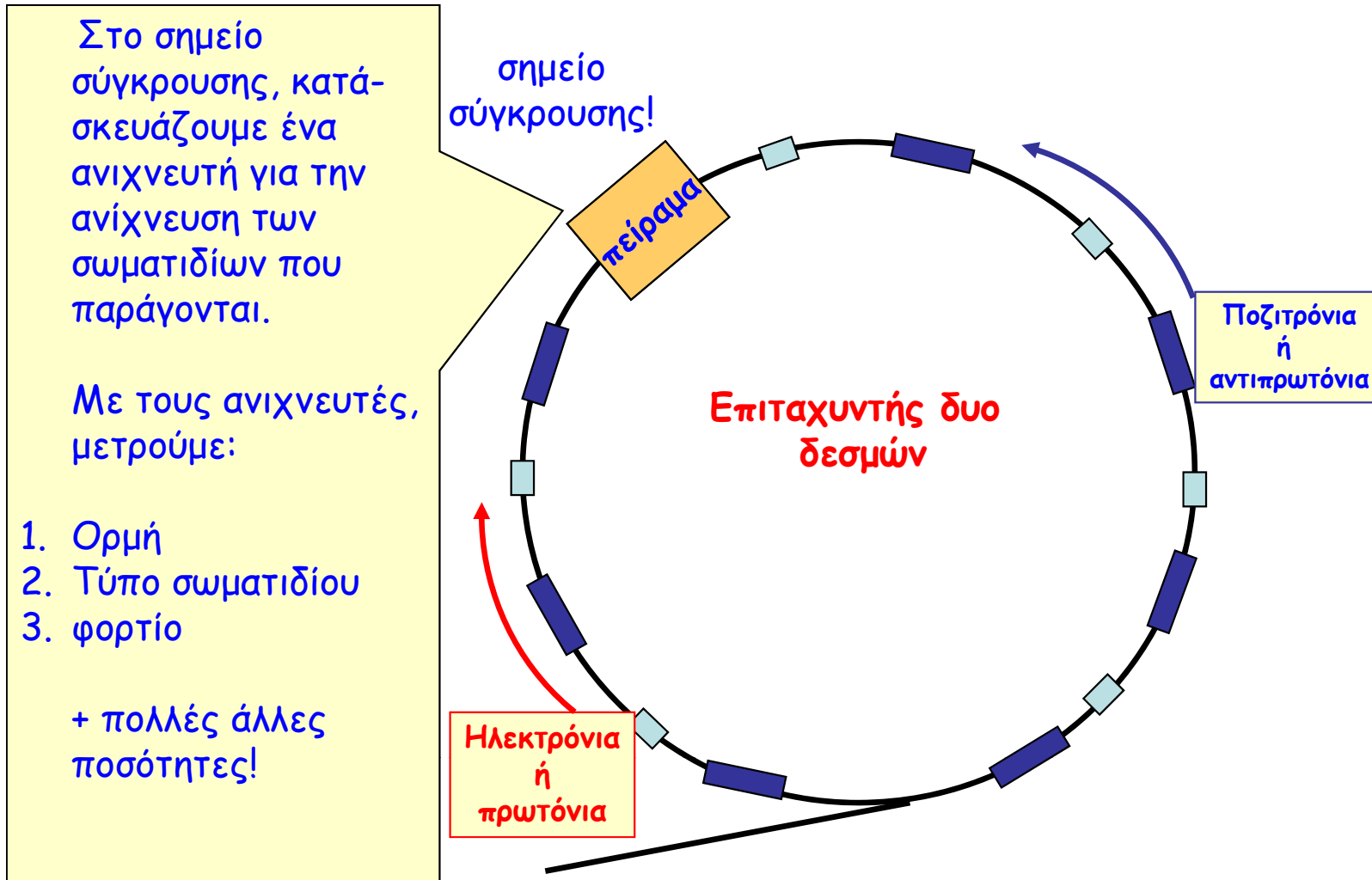
Αφού ξεχωριστούν, τα ποζιτρόνια "εστιάζονται" και επιταχύνονται !

Κυκλικός Επιταχυντής



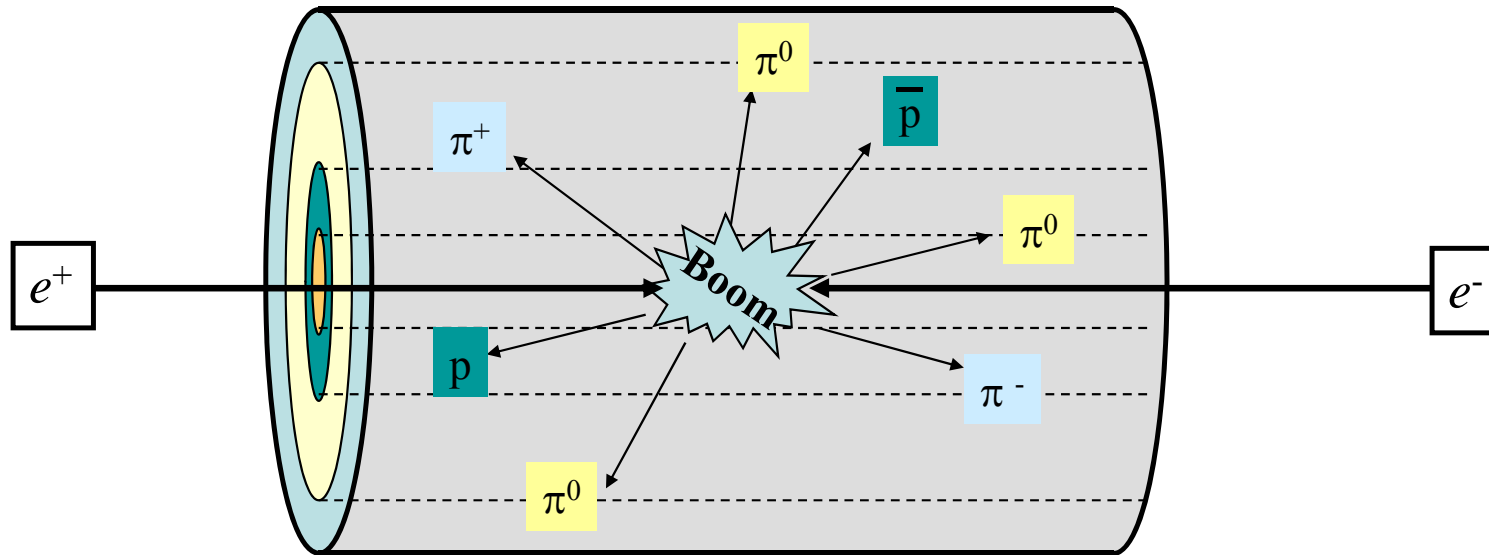
Γ. Τσιπολίτης

Σύγκρουση !!!!!



Γ. Τσιπολιτης

ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ



Υπάρχουν αρκετά ομόκεντρα επίπεδα στον ανιχνευτή. Κάθε επίπεδο Εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό:

1. **Tracking** - προσδιορίζεται η τροχιά των σωματιδίων
2. **Καλορίμετρο** - μέτρηση ενέργειας σωματιδίων και φωτονίων
3. **Ταυτοποίηση σωματιδίου**: ξεχωρίζονται οι διάφοροι τύποι των σωματιδίων, πιόνια από πρωτόνια από καόνια, κλπ.

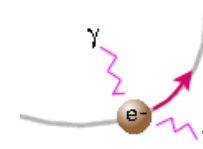
Υπέρ & Κατά

Πλεονεκτήματα κυκλικού ως προς γραμμικό επιταχυντή:

- Στον κυκλικό επιταχυντή τα σωματίδια περνάνε πολλές φορές από το ίδιο σημείο και κάθε φορά παίρνουν μια επιπλέον επιτάχυνση → τα συγχροτρα μπορούν να δώσουν μεγάλες ενέργειες χωρίς να έχουν πολύ μεγάλο μήκος.
- Το γεγονός ότι τα σωματίδια γυρνάνε πολλές φορές σημαίνει ότι έχουν πολλές ευκαιρίες για συγκρούσεις στα σημεία που έχουμε προεπιλέξει.

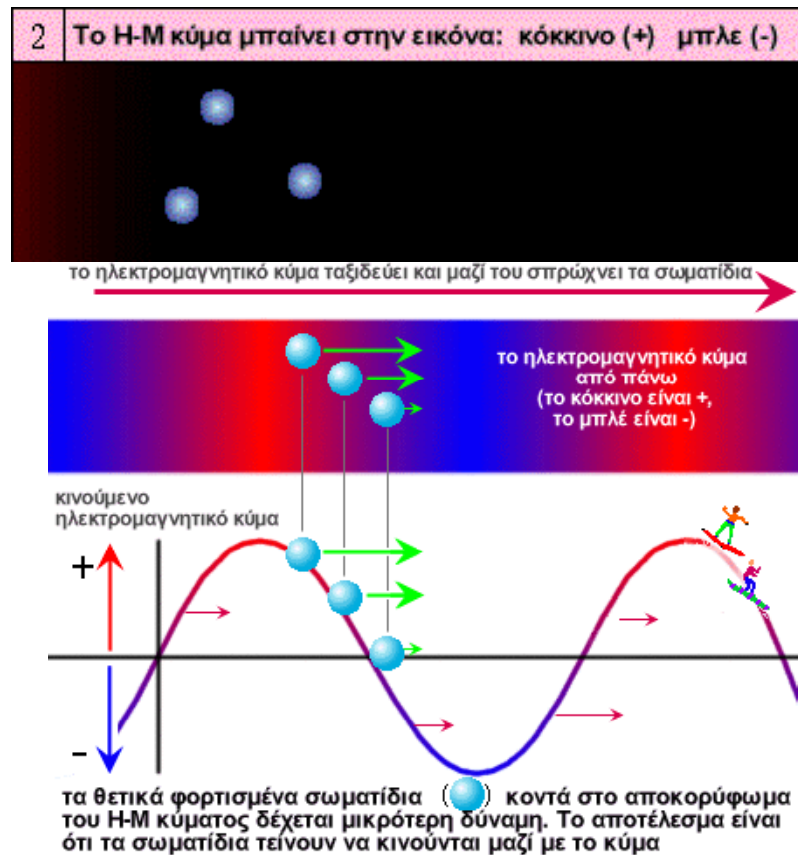
Πλεονεκτήματα γραμμικού ως προς κυκλικό επιταχυντή:

- Είναι πολύ πιο εύκολο να κατασκευάσουμε γραμμικούς επιταχυντές επειδή δεν χρειάζονται οι μαγνήτες που κάνουν τα σωματίδια να κινούνται σε κύκλο. Οι κυκλικοί επιταχυντές χρειάζονται, επιπλέον, τούνελ μεγάλης ακτίνας που ανεβάζει το κόστος κατασκευής.
- Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο επιταχύνεται ακτινοβολεί ενέργεια (bremsstrahlung) και όταν είμαστε σε μεγάλες ενέργειες η απώλεια ενέργειας από ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη για κυκλικό επιταχυντή απ' ό,τι σε γραμμικό.



Πως δουλεύουν οι Επιταχυντές :

Οι επιταχυντές επιταχύνουν τα φορτισμένα σωματίδια μέσω ισχυρών ηλεκτρικών πεδίων όπου έλκονται ή απωθούνται. Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο κινείται κατά μήκος του επιταχυντή, «παρασύροντας» το σωματίδιο μαζί του.



Γ. Τσιπολίτης

CRTs και επιτάχυνση

Ένας CRT μπορεί να θεωρηθεί ως ένας επιταχυντής:



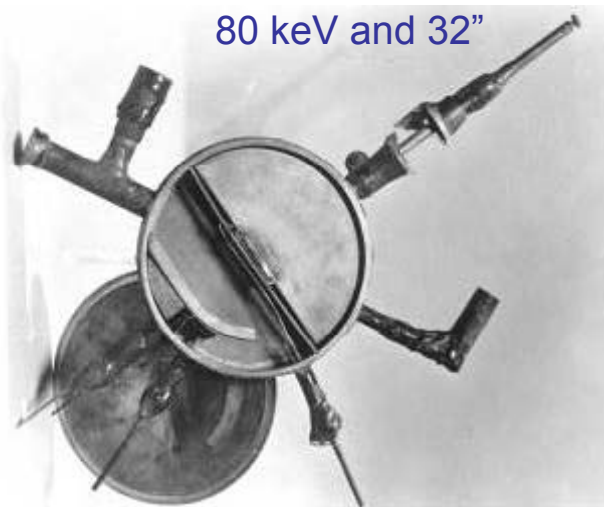
$$1 \text{ eV} = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \text{ J/C})$$

Κυκλοτρονική Συχνότητα

- Η κυκλοτρονική συχνότητα για ένα μη-σχετικιστικό σωματίδιο που κινείται σε κυκλική τροχιά μέσα σ' ένα ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο, είναι:

$$\omega_c = \frac{v}{r} = \frac{qvB}{p} \approx \frac{qB}{m}$$

- αυτή η ανεξαρτησία της κυκλοτρονικής συχνότητας από την ταχύτητα οδηγεί στην ιδέα των επιταχυντών που ονομάζονται κυκλοτρόνια (cyclotrons)



E. O. Lawrence
first cyclotron



UC Davis 76 cyclotron

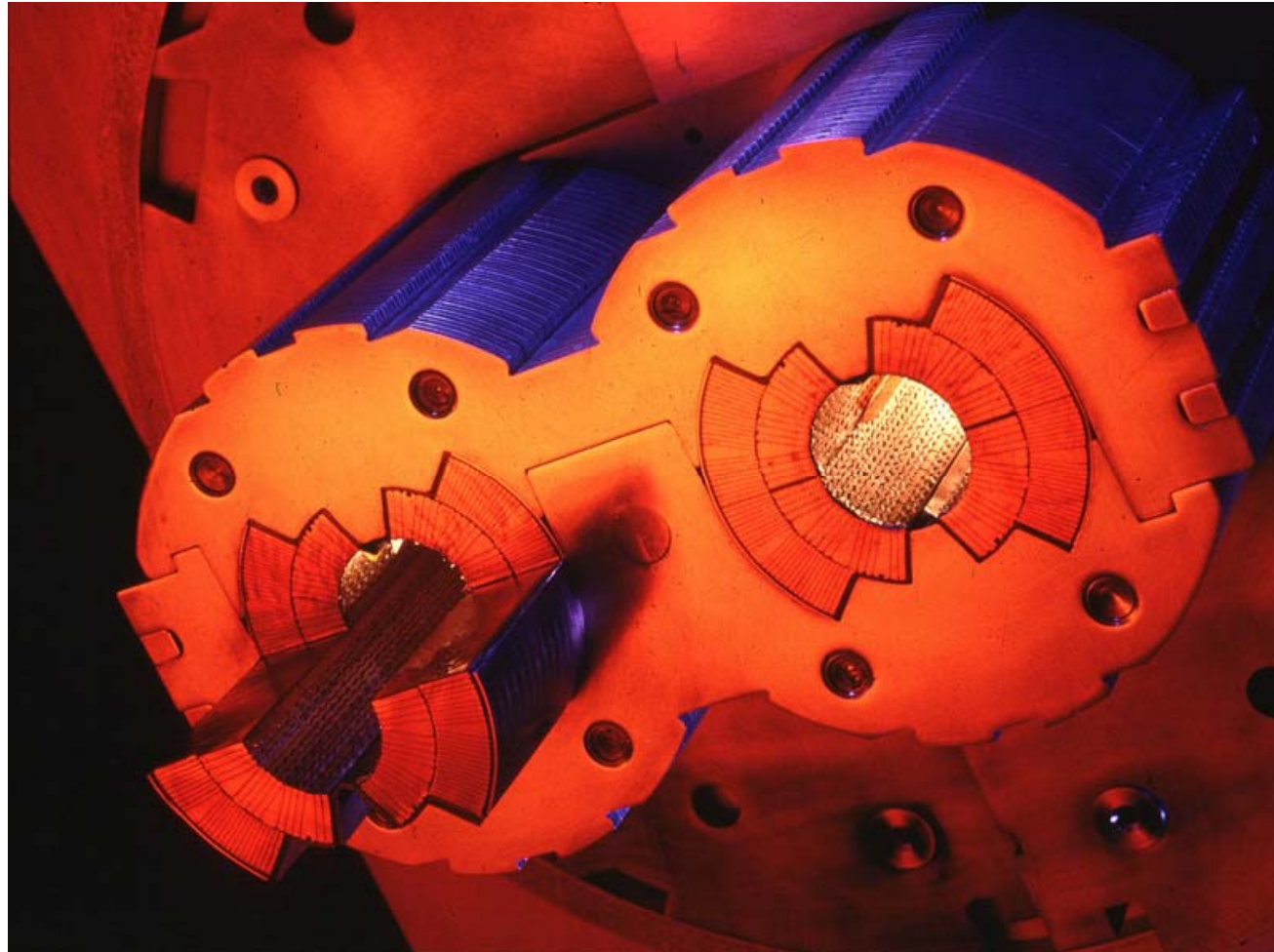
Μαγνήτες καμπύλωσης (Bending Magnets)

- ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο: διπολικός μαγνήτης
- Θεωρείστε έναν αγωγό με κυκλική διατομή που μεταφέρει σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά με μια κυκλική σπή στον αγωγό:



Μαγνήτες καμπύλωσης (Bending Magnets)

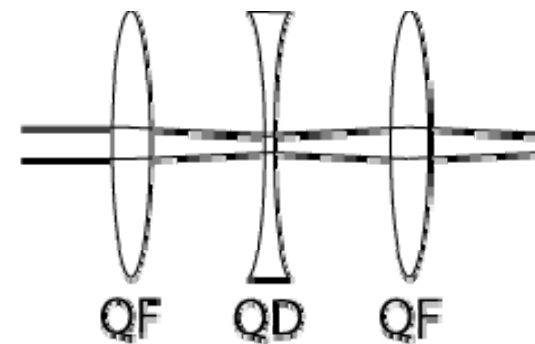
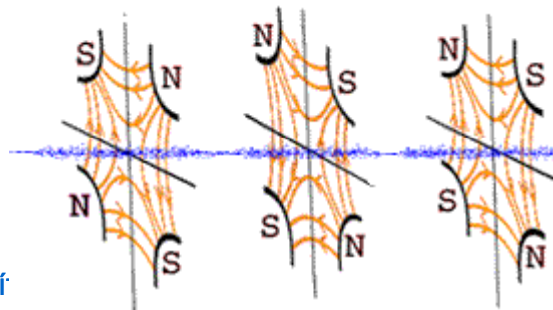
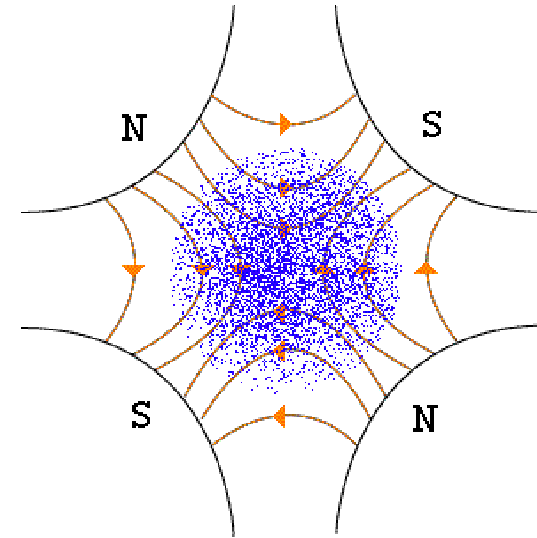
στο Tevatron and LHC είναι υπεραγώγιμοι μαγνήτες



Γ. Τσιπολίτης

Μαγνήτες εστίασης (Focusing Magnets)

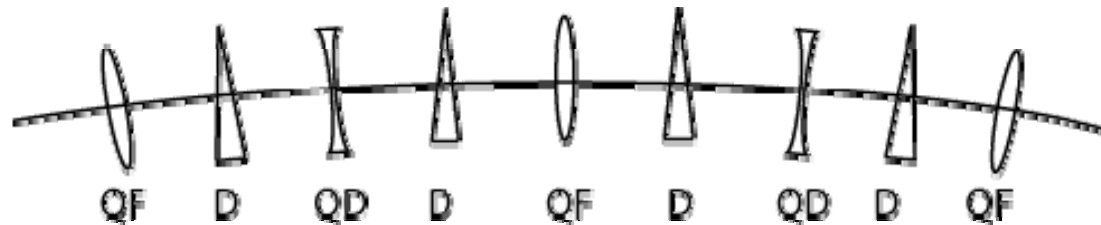
- ένας τετραπολικός μαγνήτης εστιάζει στη μια διάσταση, και αποκλίνει στην άλλη
- σωματίδια πάνω στον άξονα δεν επηρεάζονται!
- Μια σειρά από μαγνήτες focusing and defocusing φέρει ένα καθαρό αποτέλεσμα εστίασης



Γ. Τσιπολί

Συγχροτρόνια (Synchrotrons)

- ένα synchrotron είναι ένας περίπου κυκλικός δακτύλιος με μαγνήτες:



- σε κάποιο σημείο ή σε περισσότερα σημεία πάνω στο δακτύλιο, εισάγουμε μια κοιλότητα (cavity) που φέρει ένα ταλαντωμένο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο RF
- Θέτουμε τη συχνότητα RF τέτοια ώστε κάθε φορά που το σωματίδια περνούν, επιταχύνονται κατά τη διεύθυνση του πεδίου (από κει προκύπτει το όνομα συγχροτρόνιο (synchrotron))



Γ. Τσιπολίτης

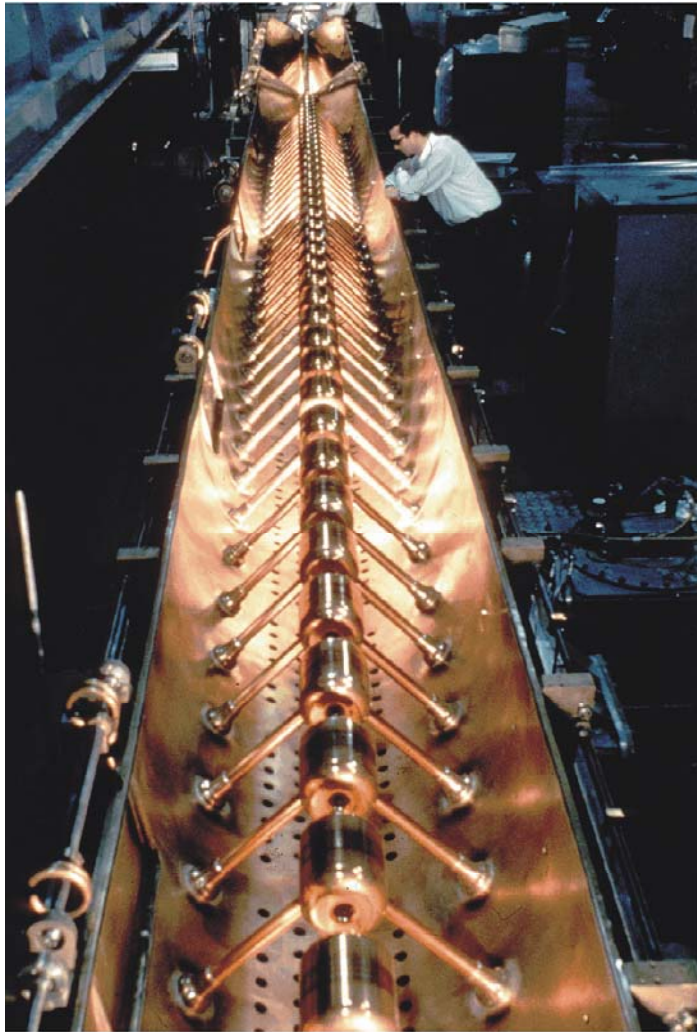
Fermilab Accelerator Complex: The Tevatron



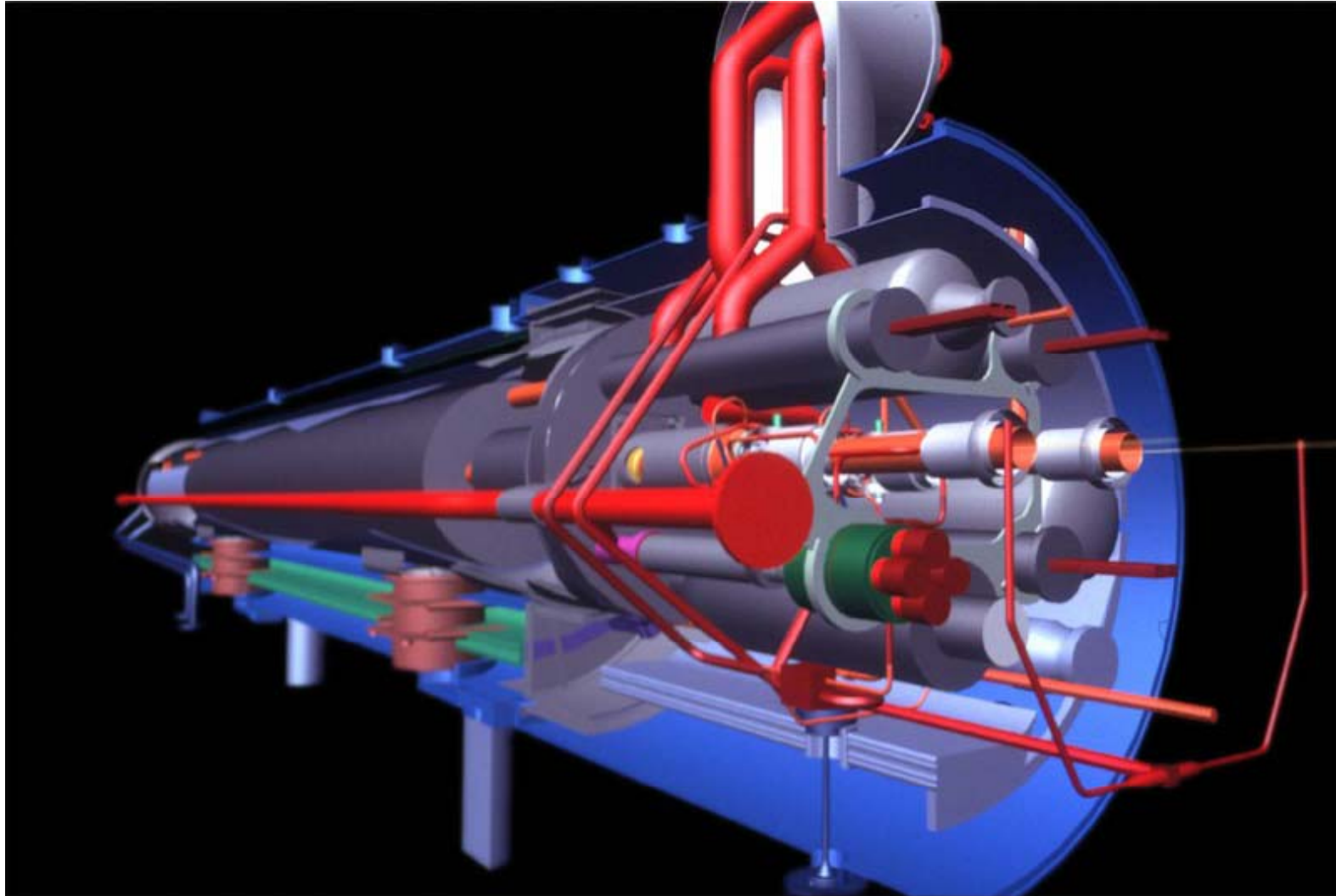
ακτίνα = 4.2 km
περιφέρεια=27 km

Γ. Τσιπολίτης

Linacs at CERN



LHC beampipe drawing

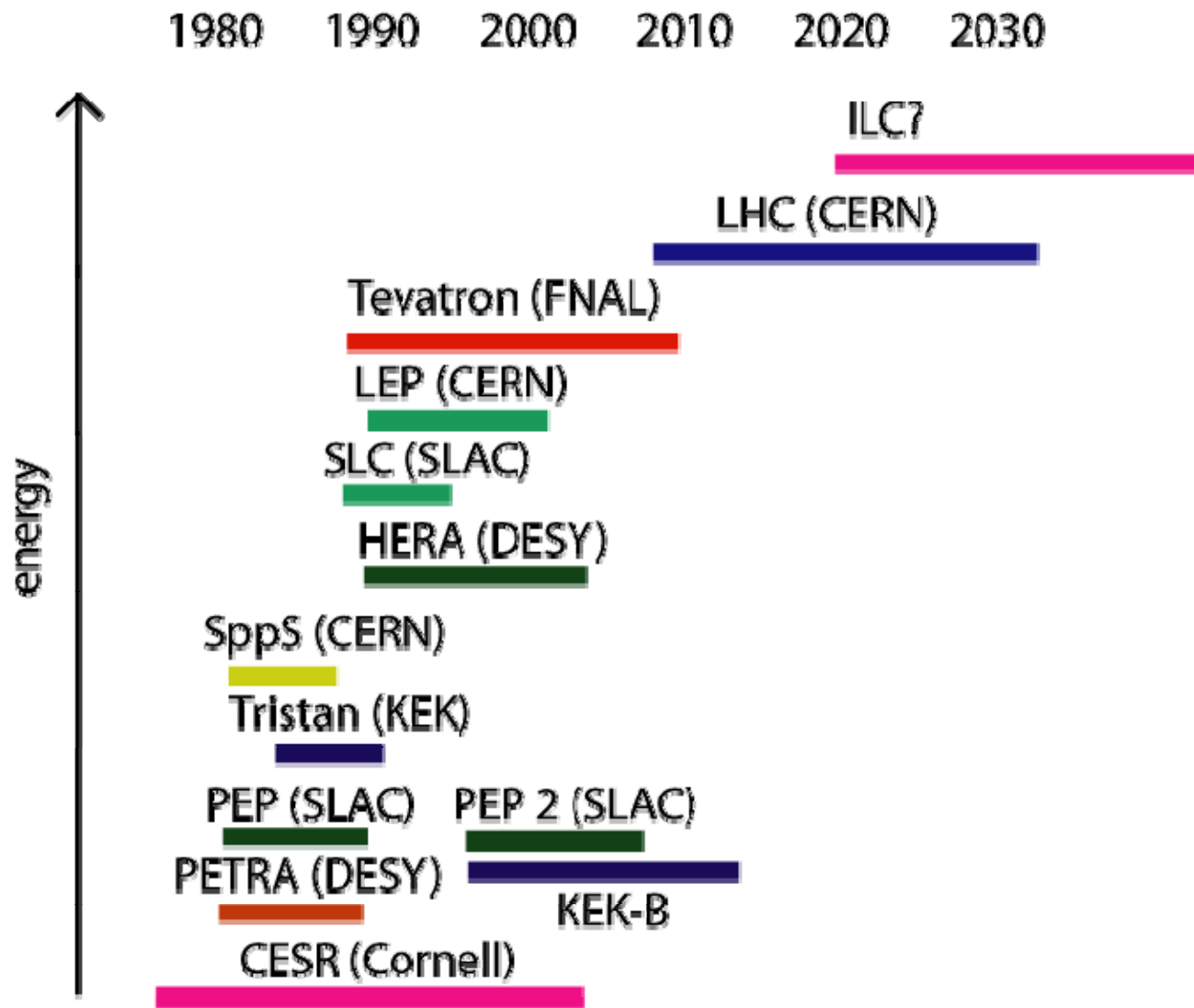


Γ. Τσιπολίτης

Επιταχυντές

name	where	what	when
LHC	Geneva, Switzerland	pp, 14 TeV	2009+
Tevatron	Batavia, Illinois	pp, 2 TeV	1986-present
LEP 2	Geneva, Switzerland	e^+e^- , 200 GeV	1994-2000
LEP 1	Geneva, Switzerland	e^+e^- , 90 GeV	1989-1994
HERA	Hamburg, Germany	ep, 30x800 GeV	1992-2007
PEP-2	Palo Alto, California	e^+e^- , 10 GeV	1998-2007
KEK-B	Tsukuba, Japan	e^+e^- , 10 GeV	1998-present

Γ. Τσιπολίτης



Γ. Τσιπολίτης