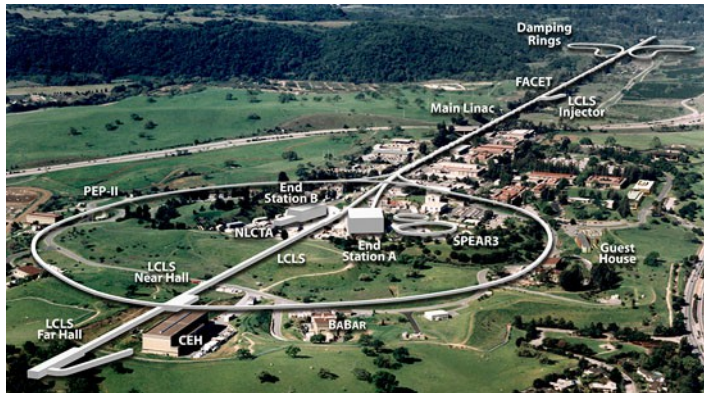
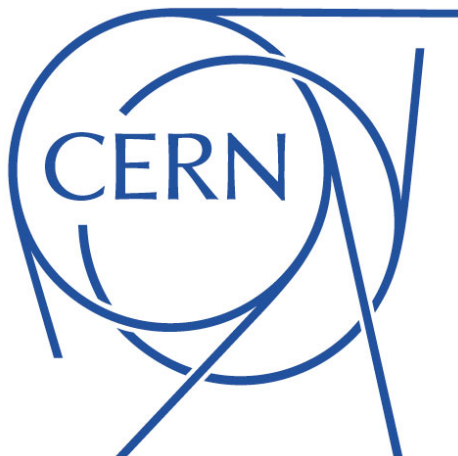


Fermilab



NATIONAL
ACCELERATOR
LABORATORY



Επιταχυντής: Ορισμός

- Γενικά επιταχυντής σωματίδιων ονομάζεται μια ειδική μηχανική διάταξη που μπορεί και επιταχύνει σωματίδια σε μεγάλες ταχύτητες, που μπορεί να φτάσουν ένα σημαντικό ποσοστό της ταχύτητας του φωτός.
- Στη πραγματικότητα ο επιταχυντής σωματιδίων επιταχύνει δέσμες φορτισμένων σωματιδίων (π.χ. πρωτονίων και ηλεκτρονίων) κατά μήκος μιας τροχιάς, χρησιμοποιώντας ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Όταν πλέον οι δέσμες των σωματιδίων αυτών αναπτύξουν πολύ μεγάλη ταχύτητα οδηγούνται σε σύγκρουση με άλλα σωματίδια καλούμενα σωματίδια στόχοι. Άλλες φορές, δέσμες σωματιδίων που κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις συγκρούονται στο εσωτερικό του επιταχυντή με συνέπεια να δημιουργούν νέα σωματίδια. Ειδικές ανιχνευτικές διατάξεις καθώς και υπολογιστές μπορούν και καταγράφουν τις τροχιές των σωματιδίων αυτών καθώς και τις εκτροπές και τροχιές των νέων σωματιδίων που προκύπτουν μετά τις συγκρούσεις των πρώτων.
















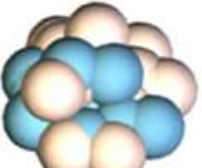

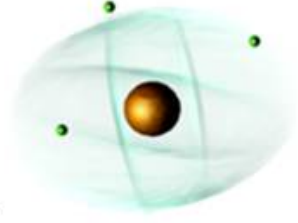



















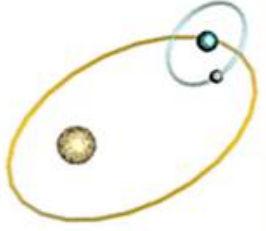
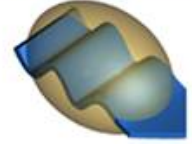
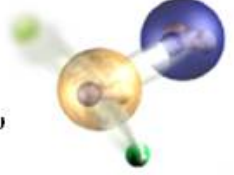






<https://el.wikipedia.org>

Ειδική σχετικότητα

- Μεταβολή της μάζας (αδράνειας) με την αύξηση της ταχύτητας. Αυτό γίνεται αντιληπτό όταν η ταχύτητα πλησιάζει τη ταχύτητα του φωτός.
- Ισοδυναμία μάζας-ενέργειας($E=m \cdot c^2$)
- Η ενέργεια αλλά και η μάζα των σωματιδίων (δεν γίνεται διάκριση στο μικρόκοσμο) μετριέται σε (eV) ή σε πολλαπλάσια όπως MeV, GeV και TeV.

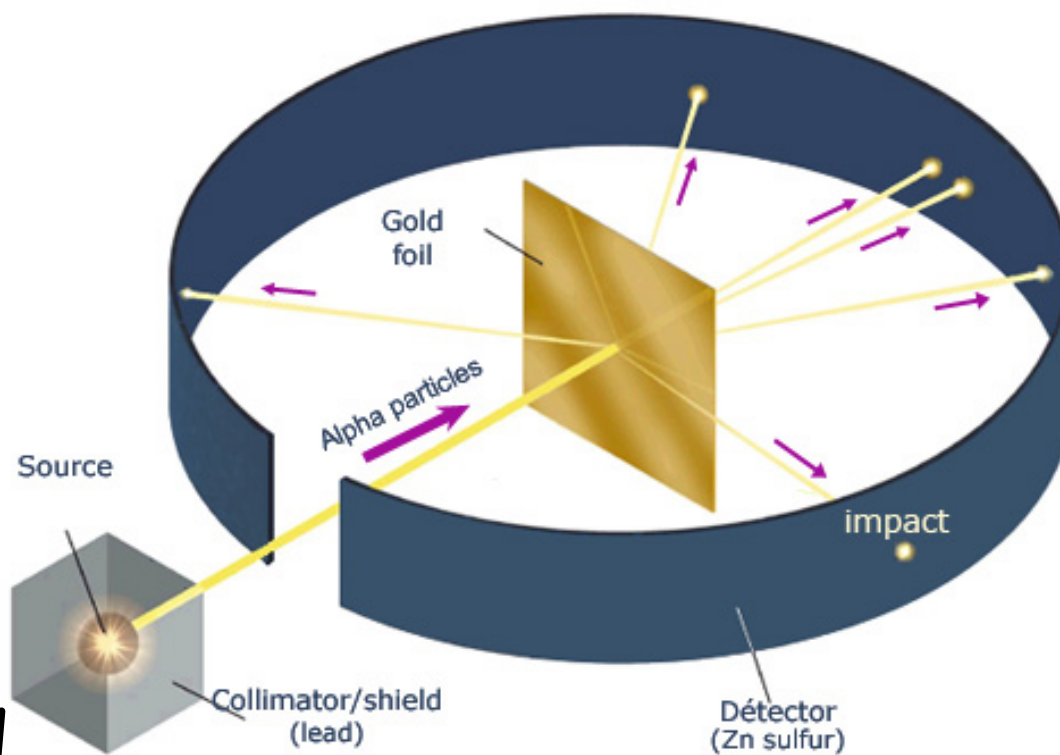
“Μπαίνουν στον LHC με ταχύτητα ίση με το **99.9997828 %** της ταχύτητας του φωτός. Μετά από την επιτάχυνσή τους, η ταχύτητά τους φθάνει το **99.9999991 %** της ταχύτητας του φωτός. Αυτή είναι περίπου η μέγιστη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να επιτευχθεί, δεδομένου ότι τίποτα δεν μπορεί να κινηθεί γρηγορότερα από το φως, σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας. Αν και φαίνεται σε μια πολύ μικρή αύξηση στην ταχύτητα, για ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός, ακόμη και μια μικρή επιτάχυνση οδηγεί σε μια πολύ μεγάλη αύξηση της μάζας, κάτι που είναι το σημαντικό μέρος. Ένα ακίνητο πρωτόνιο έχει μάζα 0.938 GeV (εκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτς). Οι επιταχυντές τα φέρνουν σε μια τελική μάζα (ή ενέργεια, που σε αυτήν την περίπτωση είναι ουσιαστικά το ίδιο πράγμα) 7000 δισεκατομμυρίων ηλεκτρονιοβόλτς (7 tera-eV ή 7 TeV). Εάν θα μπορούσατε - υποθετικά - να επιταχύνετε έναν άνθρωπο 100 κιλών στον LHC, η μάζα του/της θα κατέληγε να είναι 700 τόνων”

Καθιερωμένο πρότυπο

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|------|---|---|--------------|---------|---|------|-----|---|------------------|------------|---|------|-----|---|----------------------|--|---|
| <h3>Λεπτόνια</h3> <p>Ηλεκτρικό Φορτίο</p> <table border="0"> <tr> <td>Ταυ</td> <td></td> <td>-1</td> <td>0</td> <td></td> <td>Ταυ Νεutrίνο</td> </tr> <tr> <td>Μιόνιο</td> <td></td> <td>-1</td> <td>0</td> <td></td> <td>Νεutrίνο Μιονίου</td> </tr> <tr> <td>Ηλεκτρόνιο</td> <td></td> <td>-1</td> <td>0</td> <td></td> <td>Νεutrίνο Ηλεκτρονίου</td> </tr> </table> | Ταυ |  | -1 | 0 |  | Ταυ Νεutrίνο | Μιόνιο |  | -1 | 0 |  | Νεutrίνο Μιονίου | Ηλεκτρόνιο |  | -1 | 0 |  | Νεutrίνο Ηλεκτρονίου | <h3>Ισχυρή</h3> <p>Γκλουόνια (8) </p> <p>Κουάρκς </p> <p>Μεσόνια Βαρυόνια </p> <p>Πυρήνες </p> | <h3>Ηλεκτρομαγνητική</h3> <p>Φωτόνιο </p> <p>Άτομα Φως Χημεία Ηλεκτρονικά </p> |
| Ταυ |  | -1 | 0 |  | Ταυ Νεutrίνο | | | | | | | | | | | | | | | |
| Μιόνιο |  | -1 | 0 |  | Νεutrίνο Μιονίου | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ηλεκτρόνιο |  | -1 | 0 |  | Νεutrίνο Ηλεκτρονίου | | | | | | | | | | | | | | | |
| <h3>Κουάρκς</h3> <p>Ηλεκτρικό Φορτίο</p> <table border="0"> <tr> <td>Bottom</td> <td></td> <td>-1/3</td> <td>2/3</td> <td></td> <td>Top</td> </tr> <tr> <td>Strange</td> <td></td> <td>-1/3</td> <td>2/3</td> <td></td> <td>Charm</td> </tr> <tr> <td>Down</td> <td></td> <td>-1/3</td> <td>2/3</td> <td></td> <td>Up</td> </tr> </table> <p>κάθε κουάρκ: R, B, G χρώματα</p> | Bottom |  | -1/3 | 2/3 |  | Top | Strange |  | -1/3 | 2/3 |  | Charm | Down |  | -1/3 | 2/3 |  | Up | <h3>Βαρυτική</h3> <p>Βαρυτόνιο ? </p> <p>Ηλιακό σύστημα Γαλαξίες Μαύρες τρύπες </p> | <h3>Ασθενής</h3> <p>Μποζόνια (W,Z) </p> <p>Διάσπαση νετρονίου Βήτα διάσπαση Αλλ/σεις νετρίνων Πυρηνική ενέργεια Ήλιου </p> |
| Bottom |  | -1/3 | 2/3 |  | Top | | | | | | | | | | | | | | | |
| Strange |  | -1/3 | 2/3 |  | Charm | | | | | | | | | | | | | | | |
| Down |  | -1/3 | 2/3 |  | Up | | | | | | | | | | | | | | | |

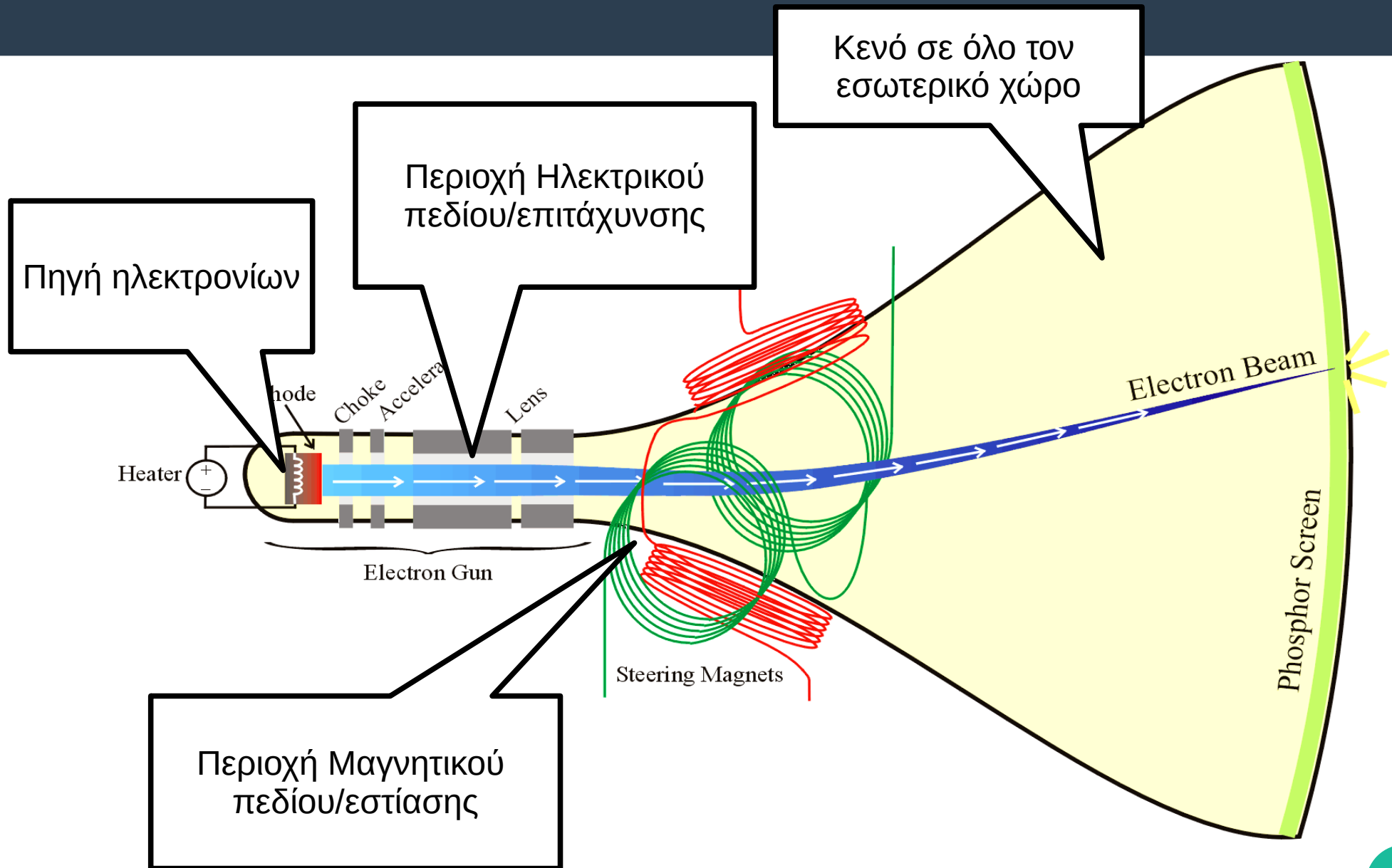
Πείραμα του Rutherford

1911



Φυσική πηγή
ακτινοβολίας σωματιδίων α

Cathode Ray Tube/ Καθοδικός σωλήνας

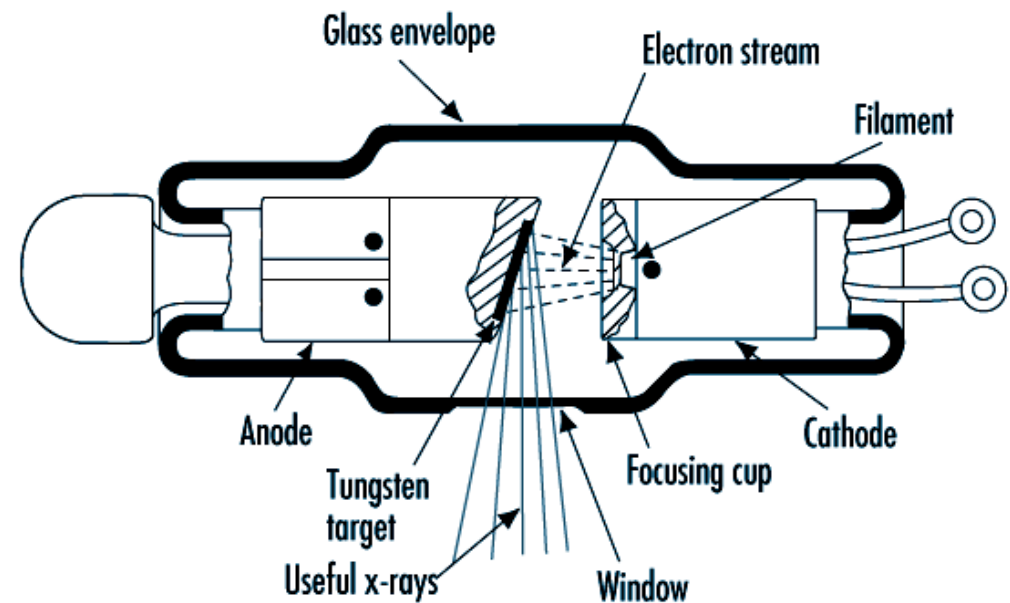
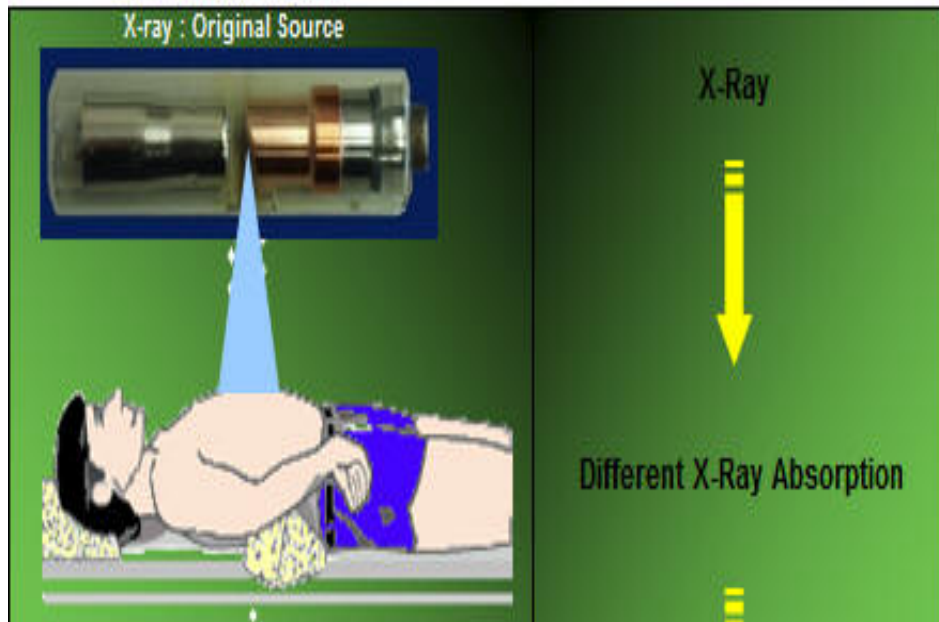




Μαγνητικό Πεδίο

Ηλεκτρικό Πεδίο

Παραγωγή Ακτίνων Χ



Στο θάλαμο κενού ηλεκτρόνια επιταχύνονται με τάση χιλιάδων βολτ και προσκρούουν σε μεταλλικό στόχο (βολφράμιο) ο οποίος με τη σειρά του ακτινοβολεί το γραμμικό και συνεχές φάσμα των Ακτίνων Χ

Επιταχυντής Cockcroft-Walton

1932

Με τη ηλεκτρονική διάταξη του σχήματος η εναλλασσόμενη τάση πολλαπλασιάζεται κάθε φορά X2 και μετατρέπεται σε συνεχή. Η τάση αυτή επιταχύνει τα φορτισμένα σωματίδια. Με τον επιταχυντή αυτό πραγματοποιήθηκε η πρώτη τεχνητή πυρηνική αντίδραση

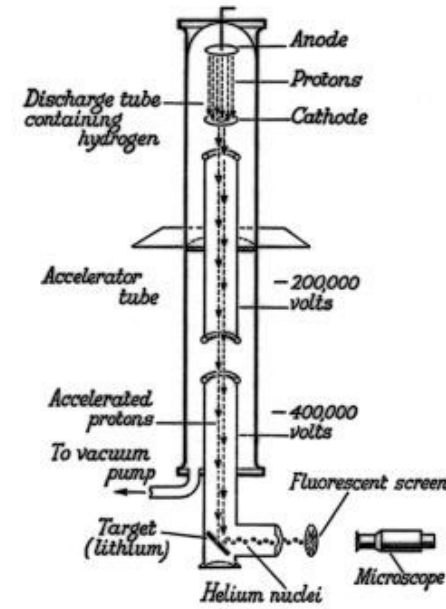
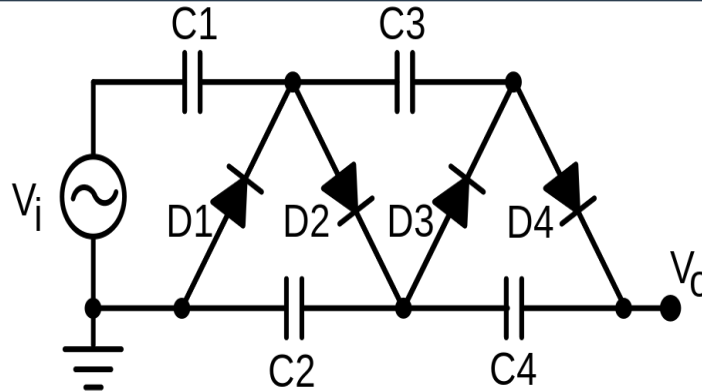
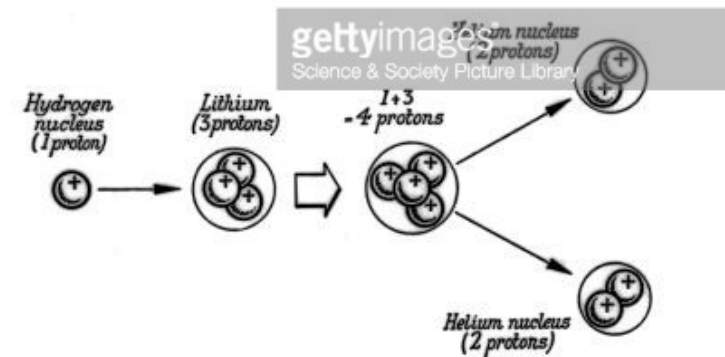


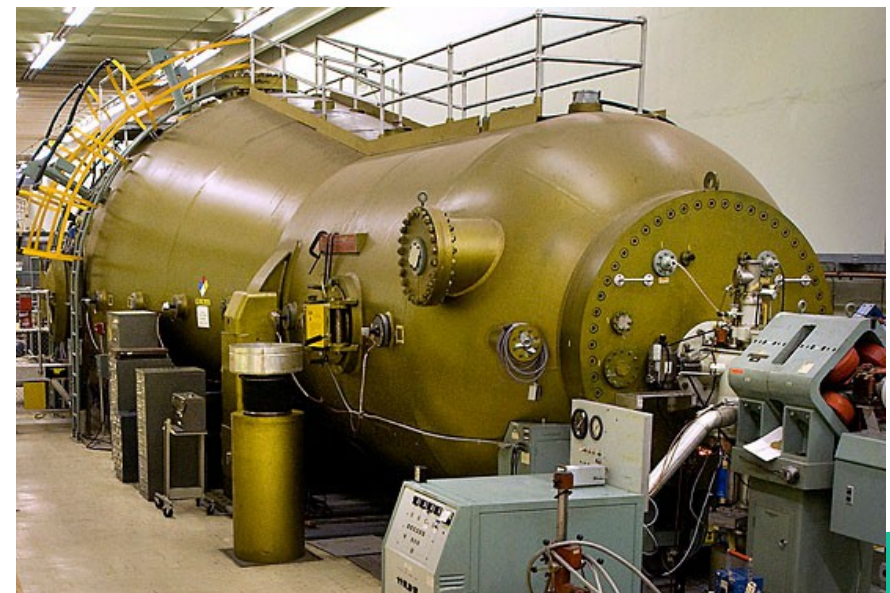
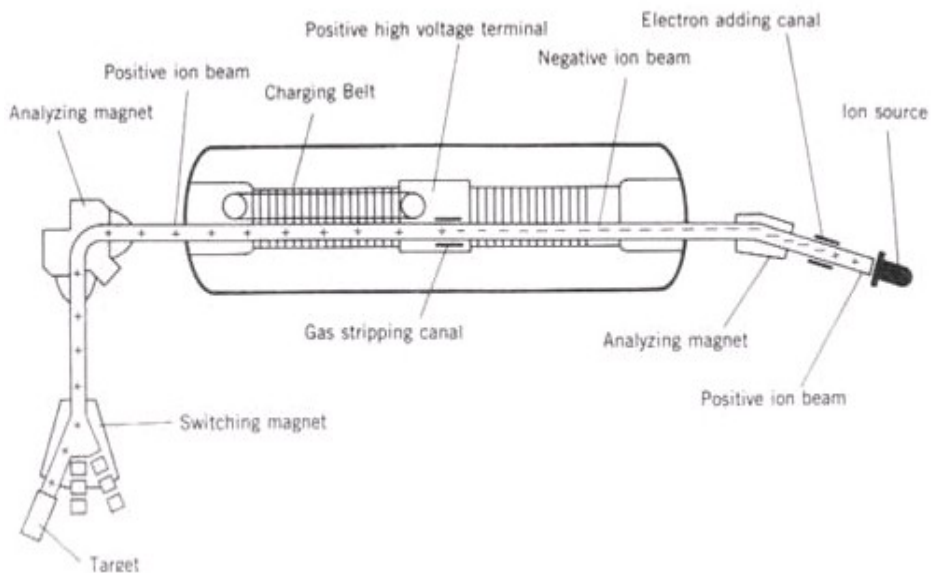
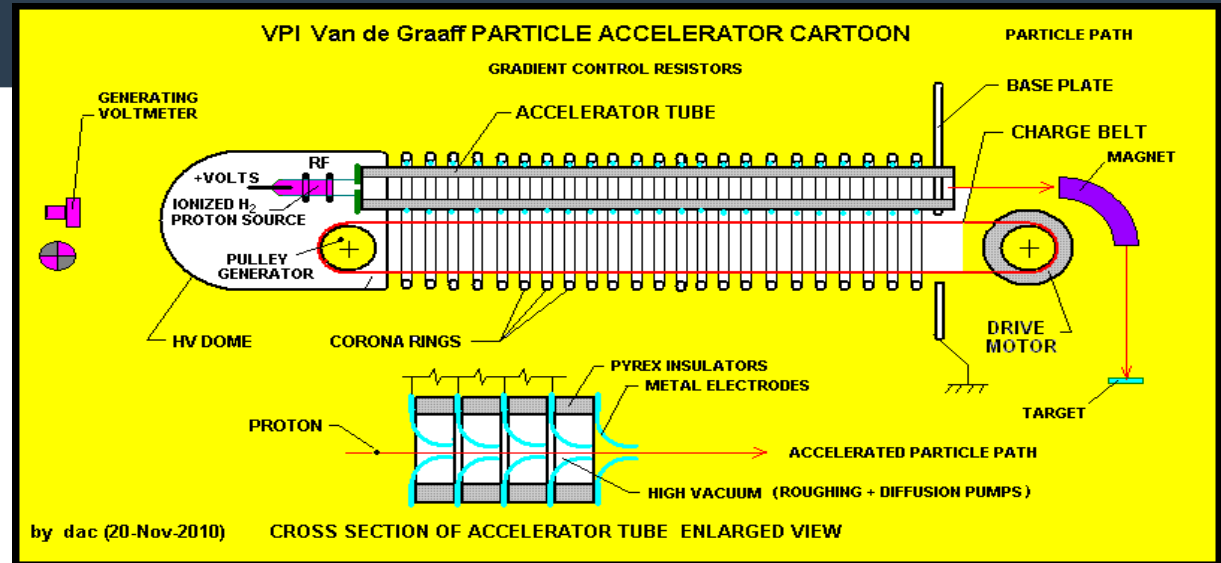
FIG. 56. Principles of Cockcroft-Walton apparatus



90738353

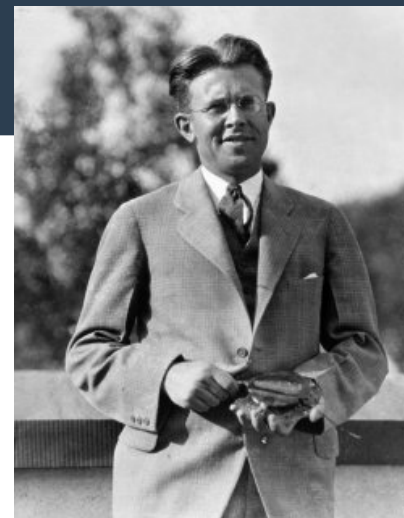
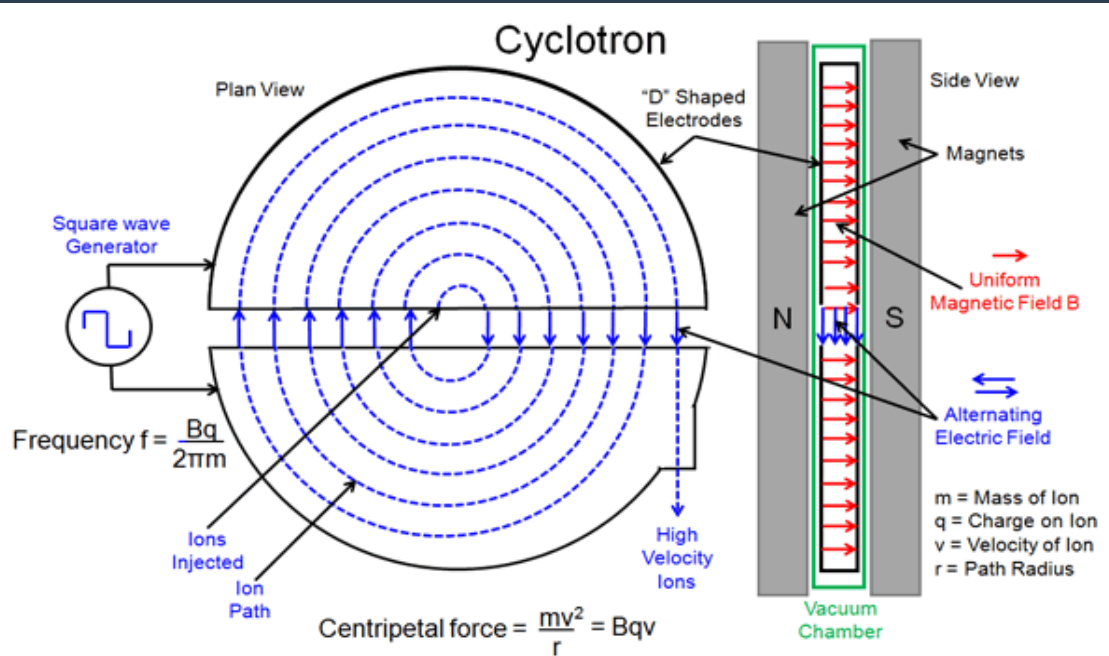
FIG. 57 Transmutation of lithium into helium

Επιταχυντής Van de Graaf - Επιταχυντής Tandem

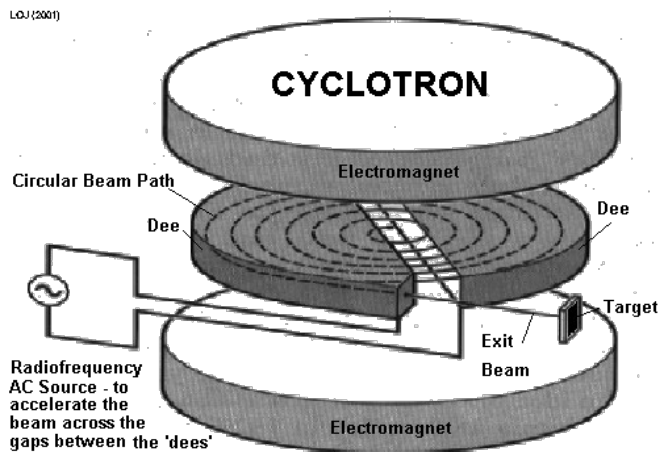


Κύκλοτρο

1934



Ernest Lawrence



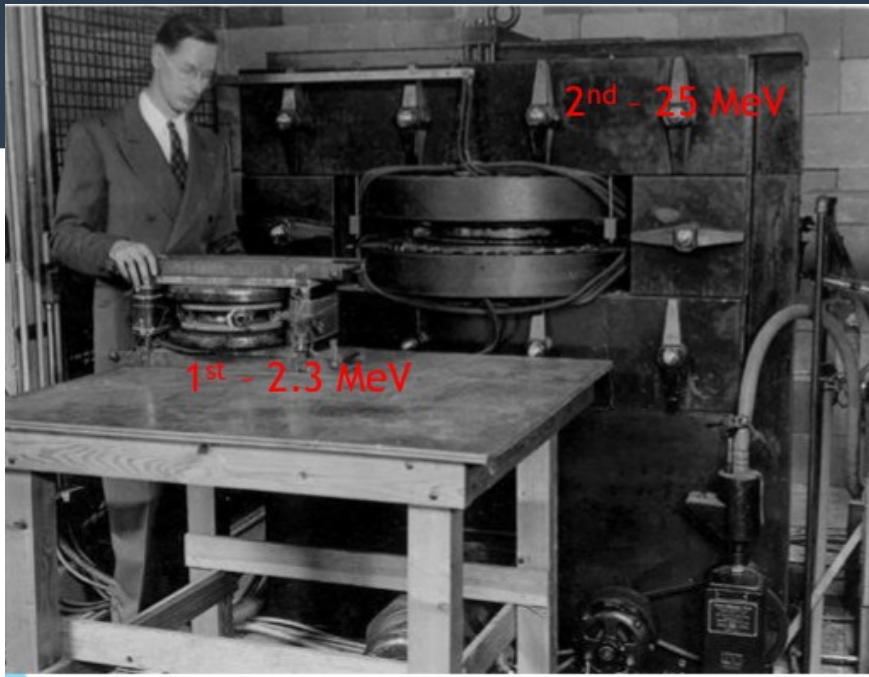
Το κύκλοτρο είναι ο πρώτος κυκλικός επιταχυντής. Τα σωματίδια παραγονται στο κέντρο και κάθε φορά που περνάνε από το κενό ανάμεσα στα ημικύκλια κερδίζουν επιπλέον ενέργεια από το ηλεκτρικό πεδίο. Μαγνήτες δημιουργούν ισχυρό κάθετο μαγνητικό πεδίο και περιστρέφουν τη δέσμη σωματιδίων. Η εφαρμοζόμενη τάση πρέπει να έχει την ίδια συχνότητα περιστροφής ώστε να αλλάζει πολικότητα κάθε φορά που τα σωματίδια φτάνουν στο κενό. Η ταχύτητα συνεχώς αυξάνεται και ανάλογα αυξάνεται και η ακτίνα της τροχιάς.

Όριο λειτουργίας κύκλωτρου ~ 30 MeV

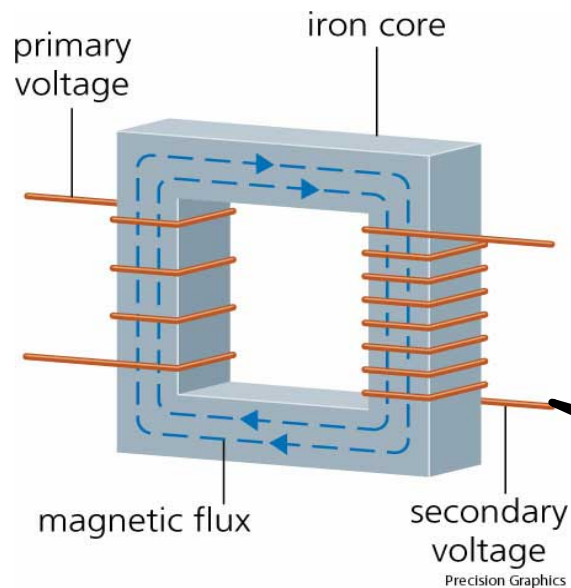
Όταν τα σωματίδια αποκτούσαν μεγάλες (σχετικιστικές) ταχύτητες τότε η συχνότητα των σωματιδίων ελαττωνόταν αφού πλέον η μάζα τους (αδράνεια) δεν μπορούσε να θεωρηθεί σταθερή. Η λύση στο πρόβλημα αυτό οδήγησε στη δημιουργία νέων διατάξεων κυκλικών επιταχυντών.

- Ελάττωση της εξωτερικής (RF) συχνότητας :
Συγχροκύκλωτρο
- Αύξηση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου :
Σύγχροτρο

Βήτατρο



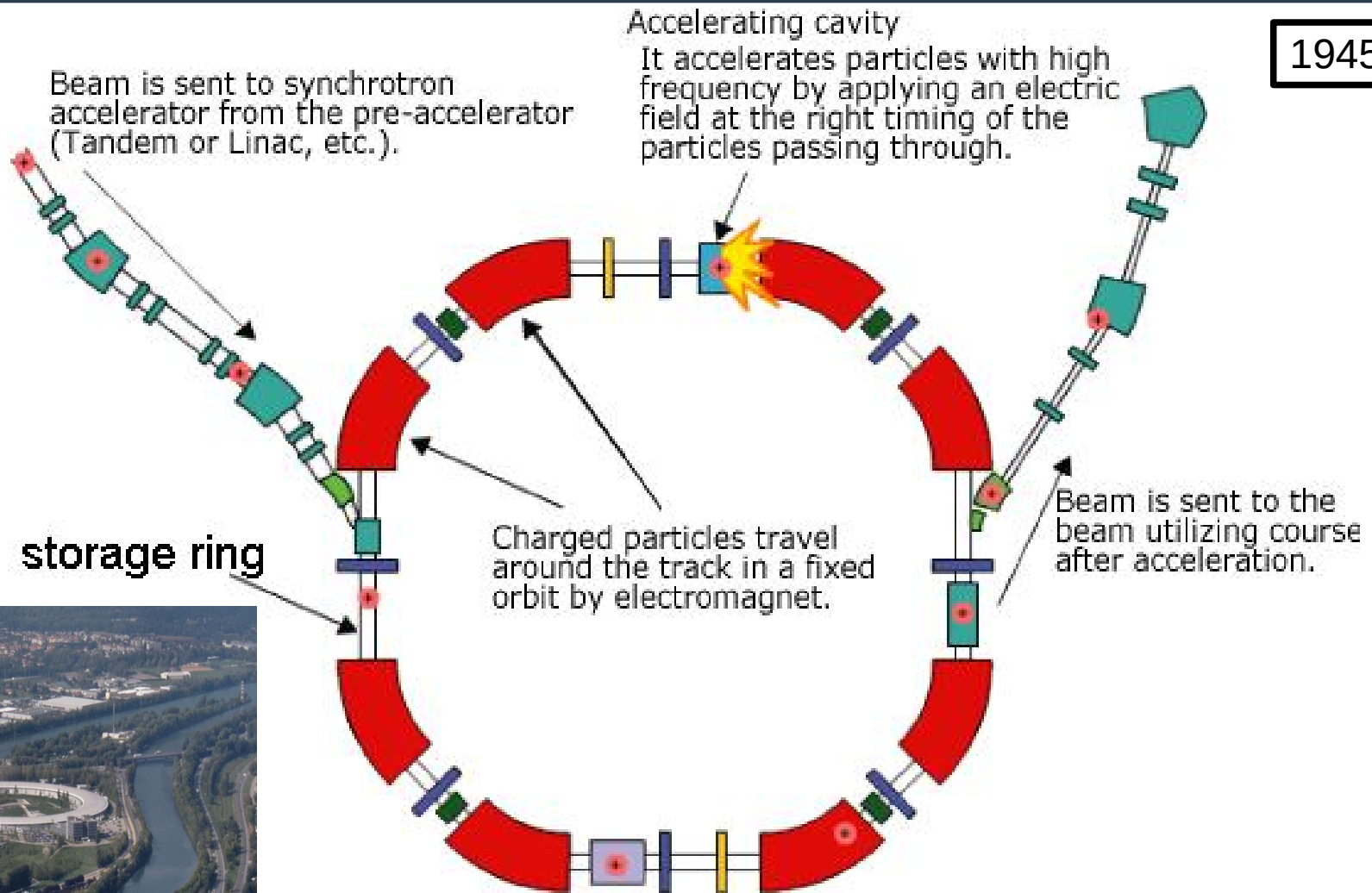
Rolf Wideroe



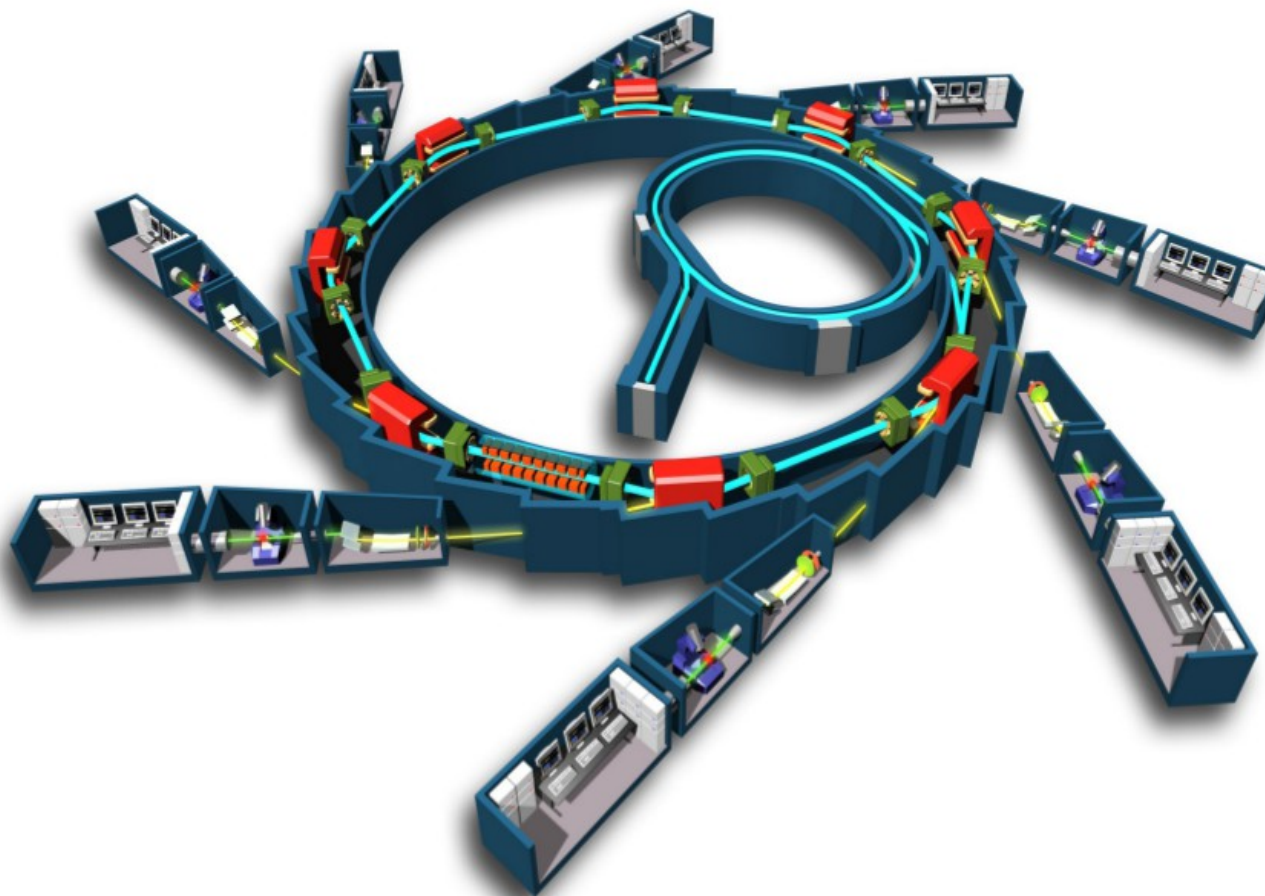
Μετασχηματιστής

Είναι ένας κυκλικός επιταχυντής που στην ουσία είναι ένας μετασχηματιστής, ο οποίος αντί για δευτερεύον πηνίο επιταχύνει κατευθείαν ηλεκτρόνια στο κενό.

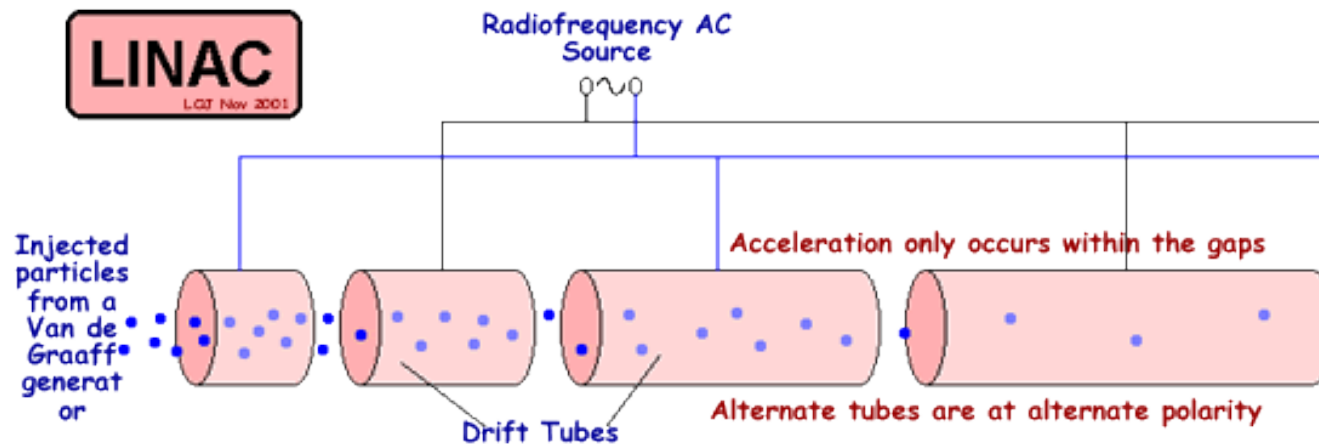
Σύγχροτρο



Ακτινοβολία Σύγχροτρον

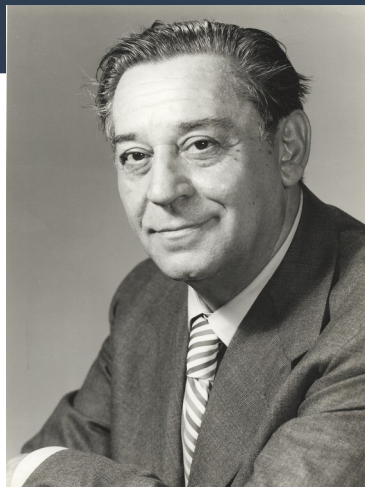


Γραμμικός επιταχυντής/LINAC

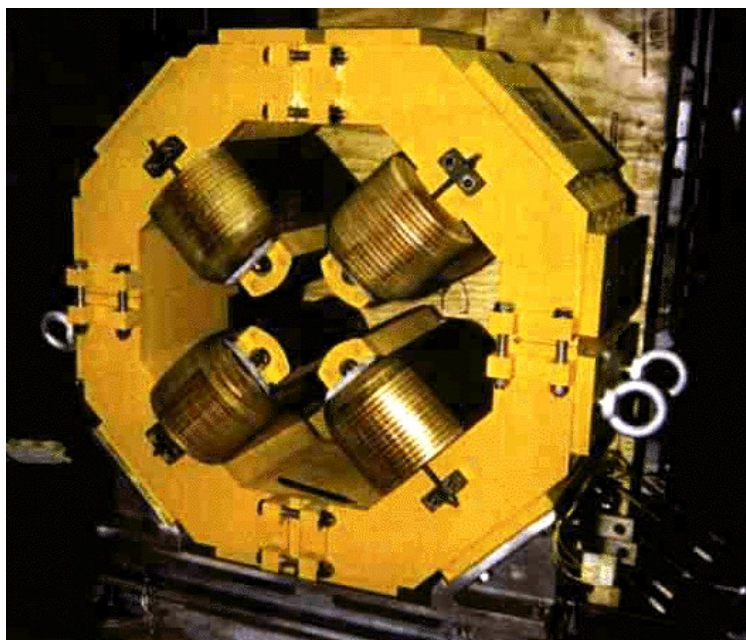
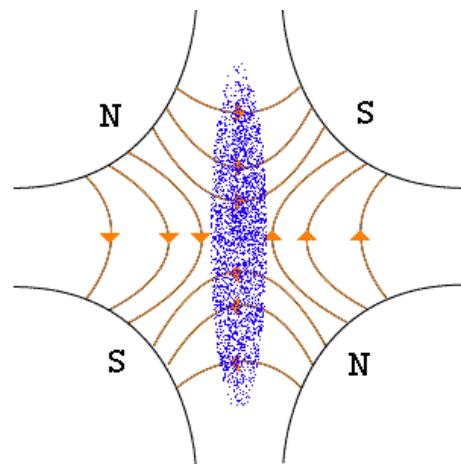


Η επιτάχυνση των ηλεκτρονίων γίνεται με την εφαρμογή RF τάσης στα κενά ανάμεσα στους σωλήνες. Όταν τα ηλεκτρόνια βρίσκονται μέσα στους σωλήνες η τάση αντιστρέφεται αλλά αυτό δεν επηρεάζει την κίνηση τους γιατί εκεί δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

Ισχυρή εστίαση / Strong focusing

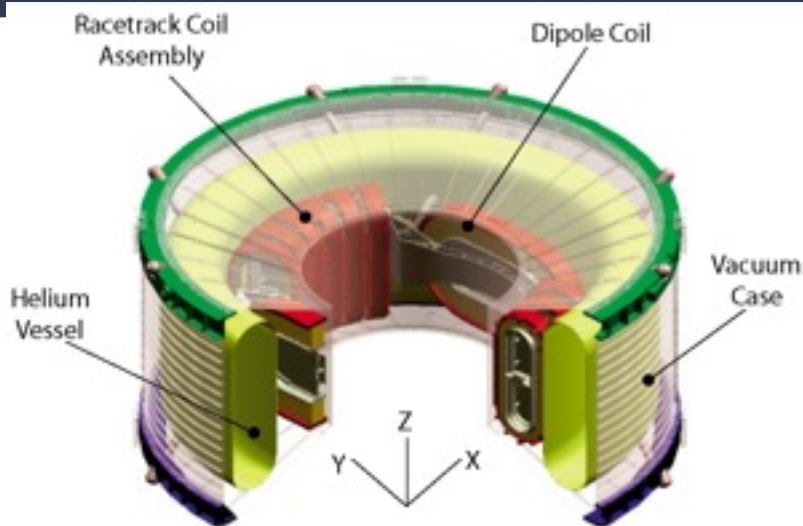


Νικόλαος Χριστόφιλος



Ο Χριστόφιλος γεννήθηκε στη Βοστώνη αλλά γρήγορα μετακόμισε στην Ελλάδα. Στη διάρκεια της κατοχής έμεινε στην Αθήνα και δούλεψε ως τεχνικός σε επιχείρηση με ανελκυστήρες. Το 1950 έστειλε τη μελέτη του σχετικά με τη εστίαση των φορτισμένων σωματιδίων σε έναν επιταχυντή, στο εργαστήριο στο Berkley. Η εργασία αυτή αγνοήθηκε και καθώς ο Χριστόφιλος δεν την είχε δημοσιεύσει σε έγκυρο επιστημονικό περιοδικό η μέθοδος του ξανα-ανακαλύφθηκε το 1952. Τελικά όμως αναγνωρίστηκε η συνεισφορά του και διορίστηκε στην Αμερική ως επιστημονικός συνεργάτης σε Brookhaven Laboratory. Η μέθοδός του έκανε την κατασκευή επιταχυντών πολύ πιο οικονομική.

Υπεραγωγιμοι μαγνήτες



Μαγνητικό πεδίο της Γης :

30 μ T

Μαγνητικό πεδίο κοινού μαγνήτη :

10 mT

Μαγνητικό πεδίο σύγχρονων επιταχυντών με υπεραγωγιμο υλικό :

10 -20 T

Μαγνητικό πεδίο αστέρα νετρονίων:

100 MT

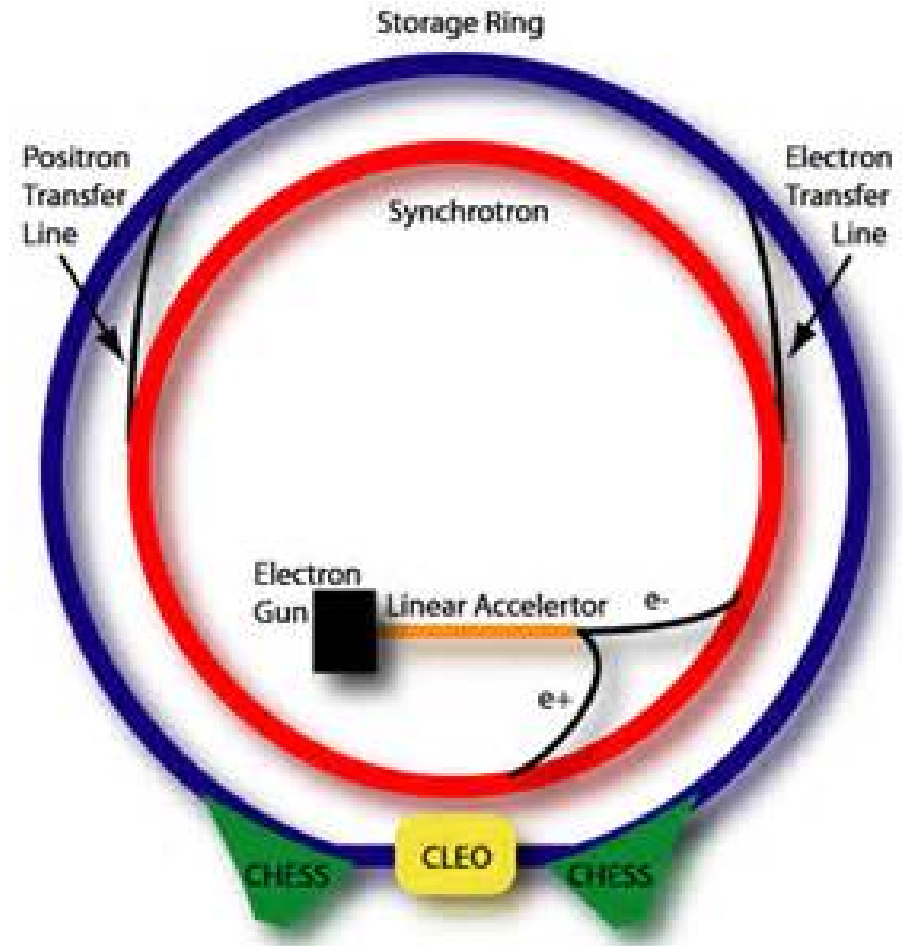
Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα πηνία των υπεραγωγιμων μαγνητών είναι κυρίως κράμα Νιοβίου – Τιτανίου (Nb -Ti)

Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός τέτοιου μαγνήτη είναι κάτω από 4K , τη θερμοκρασία δηλαδή υγροποίησης του He και το ηλεκτρικό ρεύμα είναι της τάξης των 10 KA

Storage ring (δακτύλιος αποθήκευσης)

1960

Στον δακτύλιο αποθήκευσης οι δέσμες σωματιδίων μπορούν να παραμένουν για ώρες. Έχουν ήδη αποκτήσει τη απαραίτητη ταχύτητα. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι είναι δυνατή η σύγκρουση δεσμών μεταξύ τους (έναντι των επιταχυντών σταθερού στόχου) και έτσι όλη η ενέργεια της δέσμης να μπορεί να μετατρέπεται σε νέα σωματίδια και όχι σε κινητική ενέργεια.



| | | Διαθέσιμη ενέργεια |
|----------------------|--|--------------------|
| σταθερός στόχος | | 29 GeV |
| συγκρουόμενες δέσμες | | 900 GeV |

Χρήσεις των επιταχυντών

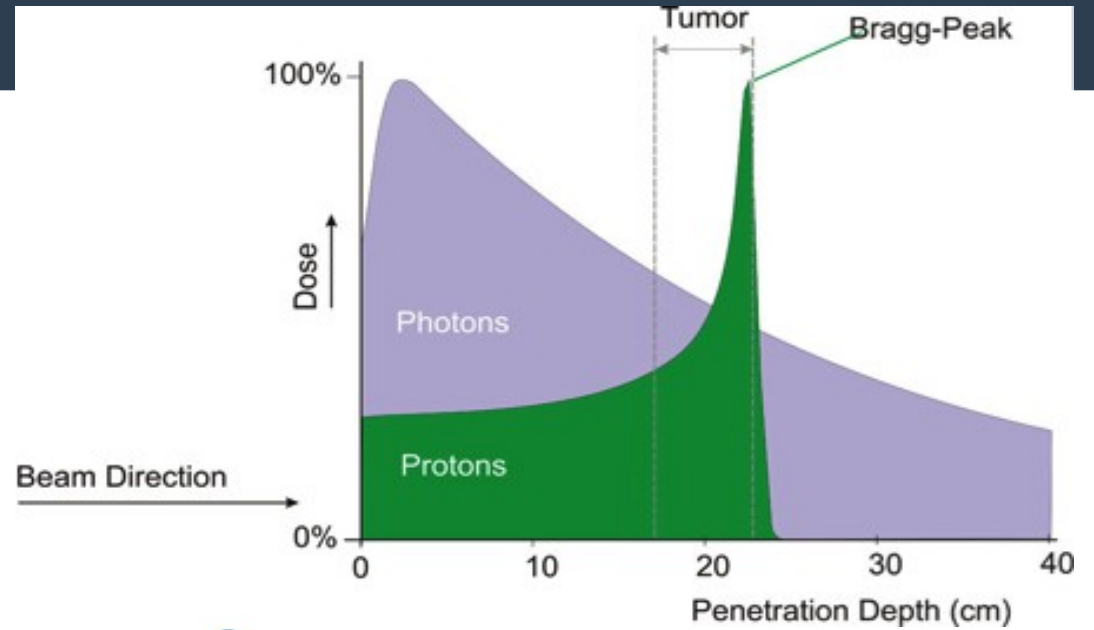
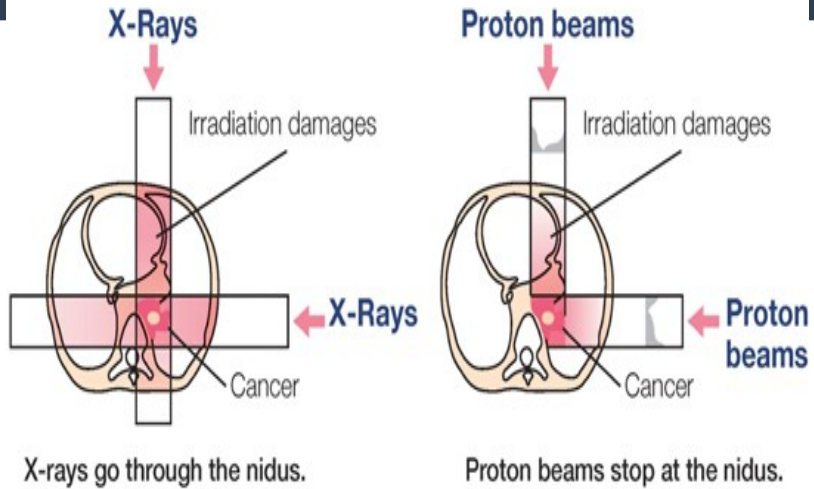
- Έρευνα δομής πρωτεϊνών
- Περιορισμός εκπομπής καυσαερίων σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας
- Ακτινοβόληση όγκων με πρωτόνια
- Τομογραφία PET
- Εμφύτευση ιόντων σε ηλεκτρονικά κυκλώματα
- Σκλήρυνση υλικών
- Ερεύνηση έργων τέχνης
- Ενέργεια

<http://www.accelerators-for-society.org>

Ραδιοφάρμακα

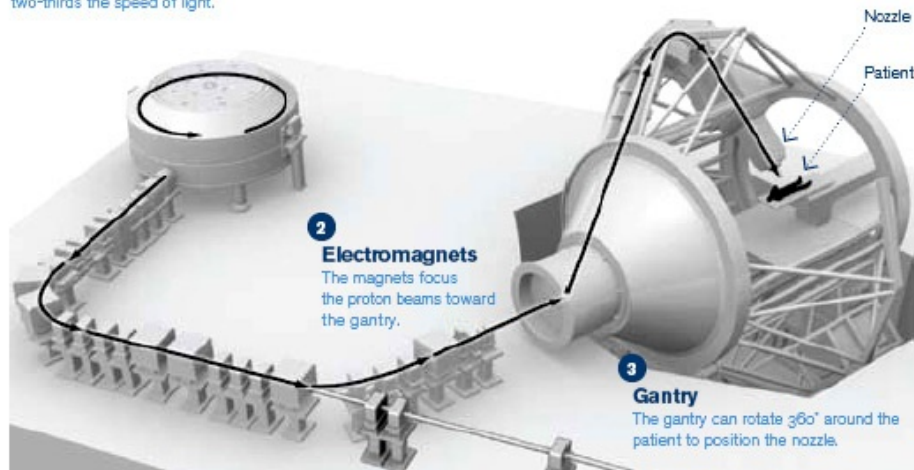
- Περίπου 100 ραδιοϊσότοπα χρησιμοποιούνται στην ακτινοδιαγνωστική και στην ακτινοθεραπεία. Το πιο διαδεδομένο είναι το Τεχνητίο - 99 το οποίο παράγεται κυρίως σε πυρηνικούς αντιδραστήρες αλλά και επιταχυντές.
- Η τομογραφία PET (Positron Emission Tomography) χρησιμοποιεί ραδιοφάρμακο που περιέχει F - 18 και παράγεται με κύκλοτρο ή με γραμμικό επιταχυντή.
- Το F-18 έχει την ιδιότητα να εκπέμπει κυρίως ποζιτρόνια όταν διασπάται. Έχει χρόνο ημιζωής 110 min.
- Το F-18 δε χρησιμοποιείται αυτούσιο αλλά χρησιμεύει στη σύνθεση της Φθοροδεοξυγλυκόζης (FDG) που εισάγεται στον οργανισμό και μεταβολίζεται από τα κύτταρα.

Θεραπεία με πρωτόνια



1 Cyclotron
Using magnetic fields, the cyclotron can accelerate the hydrogen protons to two-thirds the speed of light.

4 Nozzle
A 21,000-pound magnet guides the beam to the patient through a nozzle.



2 Electromagnets
The magnets focus the proton beams toward the gantry.

3 Gantry
The gantry can rotate 360° around the patient to position the nozzle.



Η κατασκευή του άρχισε το 1962 κοντά στο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ στην Καλιφόρνια.

Είναι ο μεγαλύτερος γραμμικός επιταχυντής στον κόσμο (~ 3km)
Πρωτοποριακές ανακαλύψεις που έδωσαν βραβεία Nobel:

-1967: Ανακάλυψη της δομής των πρωτονίων (“**up**”, “**down**” quark)

-1974: Ανακάλυψη του “**charm**” quark

-1975: Ανακάλυψη του **λεπτονίου “τ”** (ταυ)

Οι εγκαταστάσεις έχουν επεκταθεί και συμπεριλαμβάνουν και κυκλικούς επιταχυντές και οι τομείς έρευνας έχουν διαφοροποιηθεί

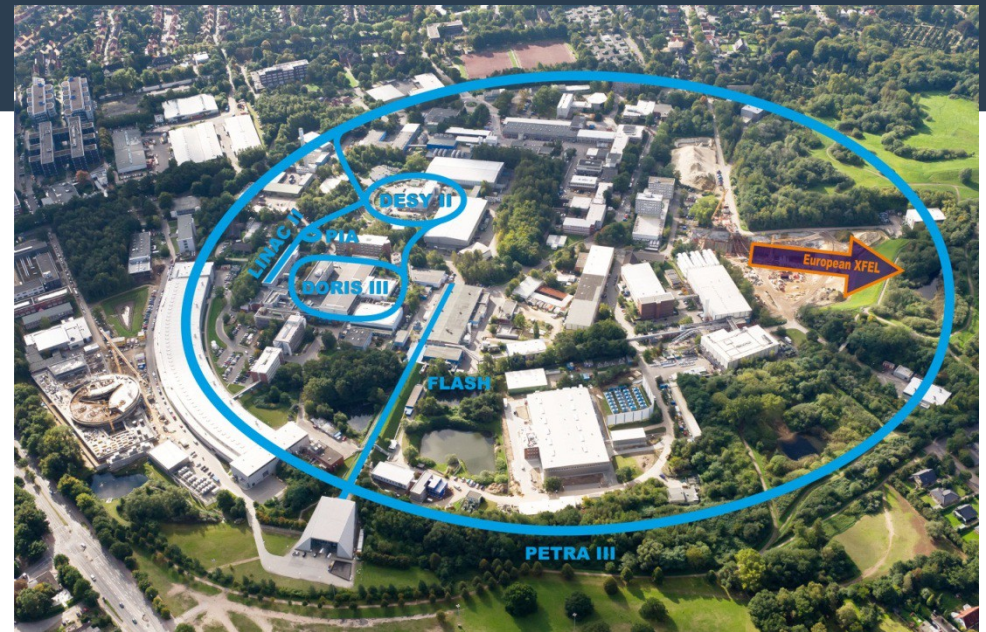
Fermilab



Η κατασκευή του άρχισε το 1967 κοντά στο Σικάγο.
Ανακαλύψεις στο Fermilab:

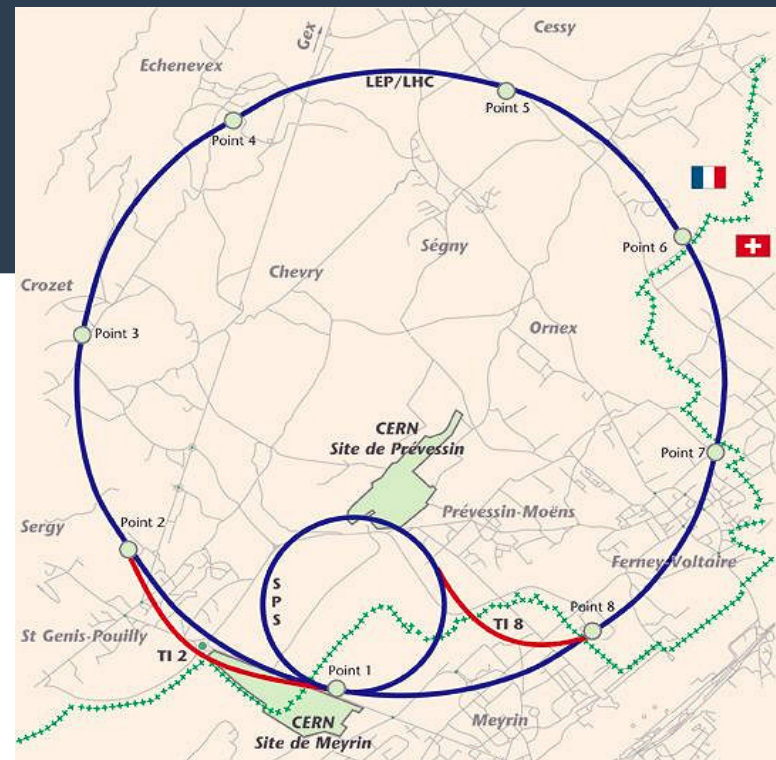
- 1977: Ανακάλυψη του “**bottom**” quark
- 1995: Ανακάλυψη του “**top**” quark
- 2000: Ανακάλυψη του **νετρίνο** του λεπτονίου τ

Από το 1983 μέχρι το 2011 ήταν σε λειτουργία ο κυκλικός επιταχυντής Tevatron (ισχύς 1,8 Tev), μήκους 6 km που ήταν ο ισχυρότερος στον κόσμο.



Πρόκειται για ένα σύμπλεγμα επιταχυντών κοντά στο Αμβούργο. Άρχισε να λειτουργεί το 1964.

Η σημαντικότερη ανακάλυψη έγινε το 1979 και ήταν η πρώτη απευθείας παρατήρηση των **γλουονίων**, φορέων της ισχυρής πυρηνικής δύναμης



1983

Ανακάλυψη των W, Z
μποζονίων το 1983 στον
επιταχυντή **SPS**

4 Ιουλίου 2012

Ανακοίνωση ανακάλυψης του
μποζονίου Higgs με μάζα 125 GeV
μεγάλο επιταχυντή αδρονίων (LHC)

<http://www.scienceinschool.org/el/2008/issue10/lhchow>

Ενδιαφέροντα στοιχεία για τους επιταχυντές -1

- Περισσότεροι από 24000 επιταχυντές έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία 60 χρόνια για βιομηχανικούς σκοπούς και ακόμη 11000 για ιατρικούς σκοπούς
- Περίπου 200 επιταχυντές στον κόσμο λειτουργούν για ερευνητικούς σκοπούς
- Προϊόντα αξίας 400 δισ. Ευρώ παράγονται παγκοσμίως με τη χρήση ή τη βοήθεια επιταχυντών
- 87 km θα ήταν η περιφέρεια του Superconducting Super Collider που είχε αρχίσει να κατασκευάζεται στο Τέξας τη δεκαετία του '90

Ενδιαφέροντα στοιχεία για τους επιταχυντές -2

- Στους επιταχυντές έχει επιτευχθεί η υψηλότερη τεχνητή θερμοκρασία (4.000.000.000.000 C), σε μια κατάσταση ύλης που λέγεται πλάσμα κουάρκ – γλουονίων (Brookhaven National Laboratory)
- Στον LHC επικρατεί η χαμηλότερη θερμοκρασία στο Σύμπαν μόλις 1,9 K (- 271,1 C)
- Οι επιταχυντές είναι στη ουσία γιγάντια μικροσκόπια. Η αύξηση της ενέργειας ισοδυναμεί με ελάττωση του μήκους κύματος και τη βελτίωση της διακριτικής ικανότητας. Στον LHC είναι της τάξης του 10^{-19} m.
- Η Κίνα ετοιμάζεται να φτιάξει το μεγαλύτερο επιταχυντή σωματιδίων του κόσμου το 2020.

www.symmetrymagazine.com

Ερωτήματα σχετικά με τους επιταχυντές

- Μπορεί ένας επιταχυντής να δημιουργήσει μια μαύρη τρύπα;
- Τι μπορεί να πάθει κάποιος αν τον χτυπήσει η δέσμη ενός επιταχυντή;
- Χρειαζόμαστε μεγαλύτερους επιταχυντές;
- Μπορεί ένας επιταχυντής να χρησιμοποιηθεί σαν όπλο;
- Μπορεί να δημιουργηθεί “σκοτεινή ύλη” σε έναν επιταχυντή;
- Μπορεί ο LHC να γίνει η πύλη για ένα άλλο σύμπαν;

Το μέλλον των επιταχυντών

- Τα αδρόνια αποτελούνται από quark και η ανάλυση δεδομένων είναι εξαιρετικά δύσκολη.
- Η σύγκρουση ηλεκτρονίων – ποζιτρονίων προϋποθέτει ευθύγραμμους επιταχυντές
- Η ενέργεια των γραμμικών επιταχυντών είναι πολύ μικρότερη από των κυκλικών (SLAC ~ 50 GeV, LHC ~ 7000 GeV)
- ILC Ιαπωνία (30 km, 500 GeV)
- CLIC CERN (50 km, 3000 GeV)
- **Επιταχυντές πλάσματος (1 GeV/3,3 cm){(SLAC 1GeV/64m)}**