

HIZLANDIRICILARA GİRİŞ

Veli YILDIZ

Türk Hızlandırıcı ve Işınım Laboratuvarı

12 Şubat 2024

- Parçacık hızlandırıcı tipleri ve sınıflandırılması
- Elektrostatik hızlandırıcılar
- İndüksiyon hızlandırıcıları
- RF hızlandırıcılar

Parçacık hızlandırıcısı nedir:

Yüklü parçacıkların enerjisini arttırdığımız makinelerdir.

Elektrik alan ile parçacıklar hızlandırılır.

Manyetik alan ile parçacıkların yönleri değiştirilir.

HIZLANDIRICI TIPLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Elektrik alanın üretilme
şekline göre
sınıflandırılması

Elektrostatik

İndüksiyon

Değişken Elektrik alan
(RF: Radyo Frekansı)

Hızlandırıcı Tiplerine
Örnek:

Cockcroft-Walton

Van de Graaff

Betatron

İndüksiyon Linac

Widerøe Linac

Cyclotron

Synchrotron

Linaclar

Şekillerine göre
Sınıflandırılması

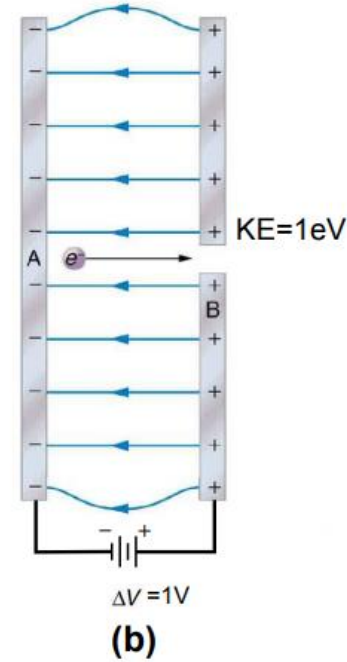
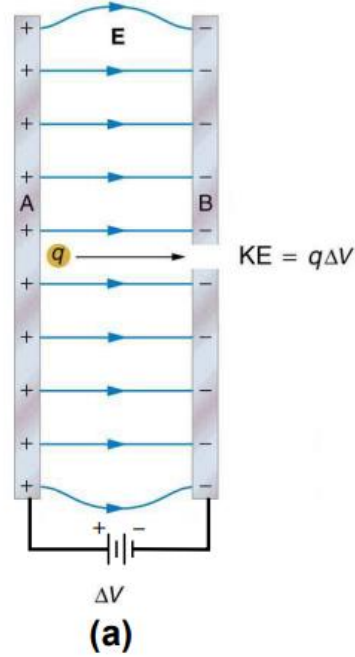
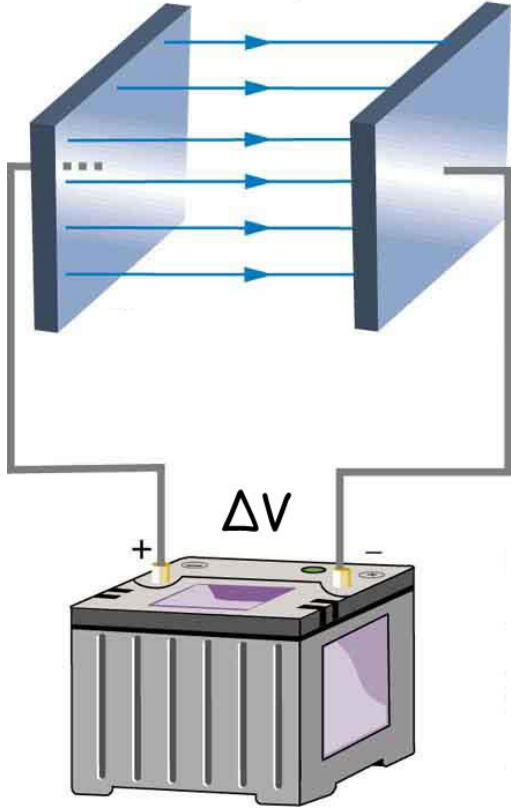
Doğrusal

Dairesel

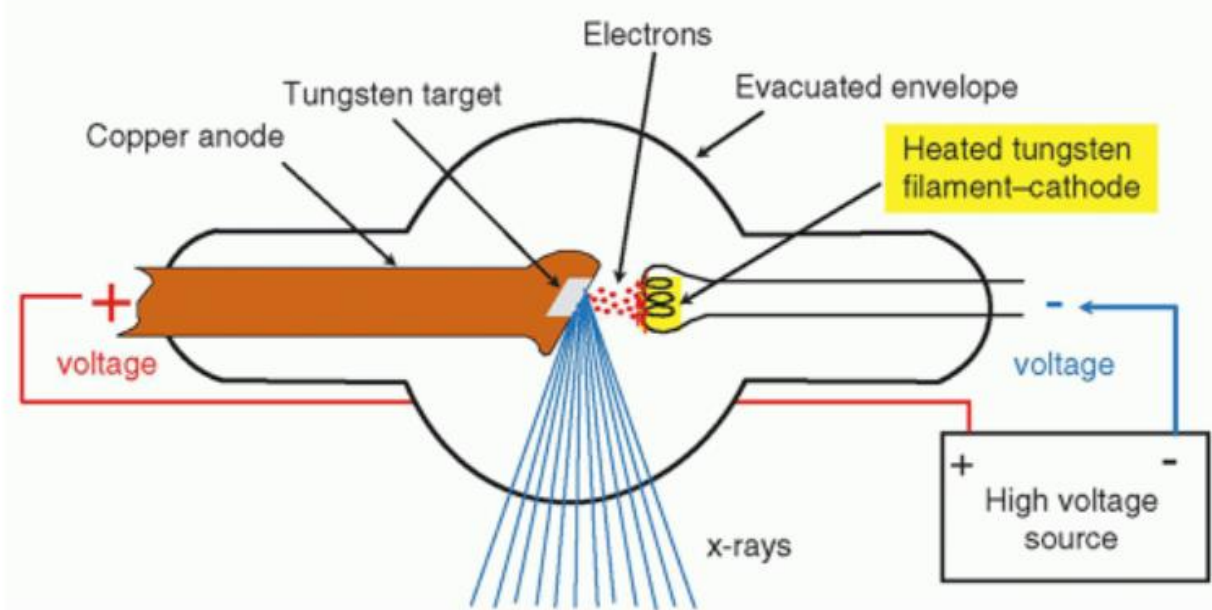
- Derste bütün hızlandırıcı tiplerinden bahsedilmeyecek.
- Hızlandırıcı tipleri tartışılırken kronolojik sıraya göre gidilmeyecek.

ELEKTROSTATİK HIZLANDIRICILARIN PRENSİBİ

- En basit hızlandırma yöntemi: Paralel Levha
- **Enerji kazanımı: $\Delta E = q \cdot \Delta V$**
- **eV (elektronvolt):** bir elektronun yüküne sahip bir parçacığın 1V luk gerilimde hızlandığında kazandığı kinetik enerji.



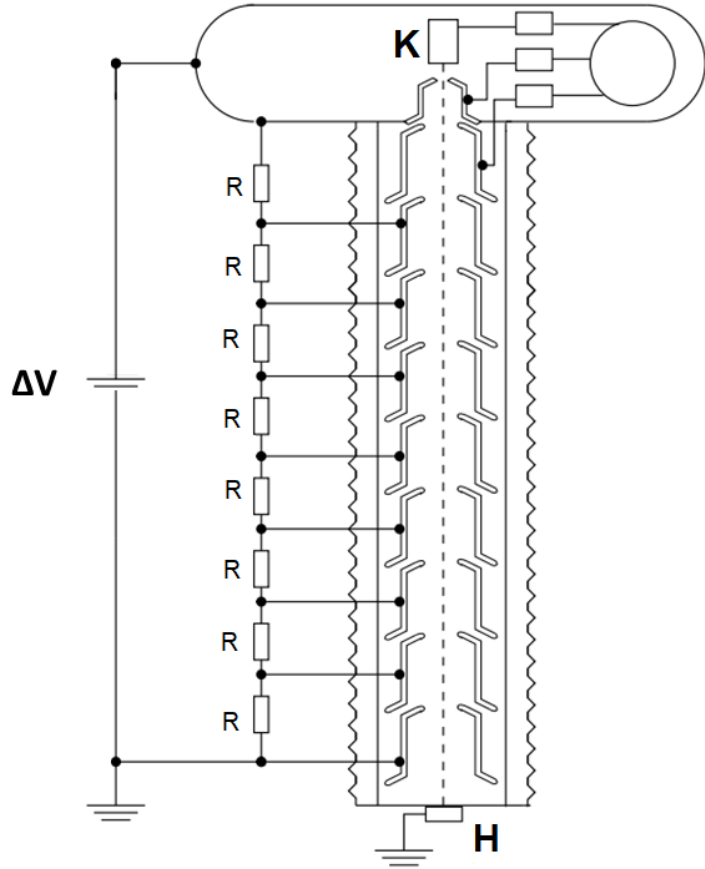
ELEKTROSTATİK HIZLANDIRICILAR: X-IŞINI TÜPÜ



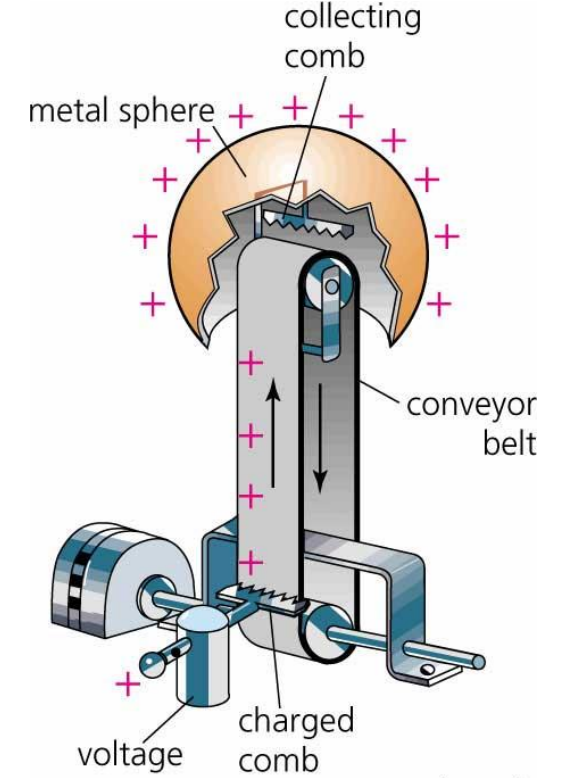
1895: Wilhelm Röntgen tarafından X-ışınlarının keşfi

YÜKSEK GERİLİMLİ ELEKTROSTATİK HIZLANDIRICILAR

Kısa mesafelerde yüksek gerilim yaratılamadığından yüksek gerilim dirençler yardımı ile ardışık elektrotlara dağıtılabilir.



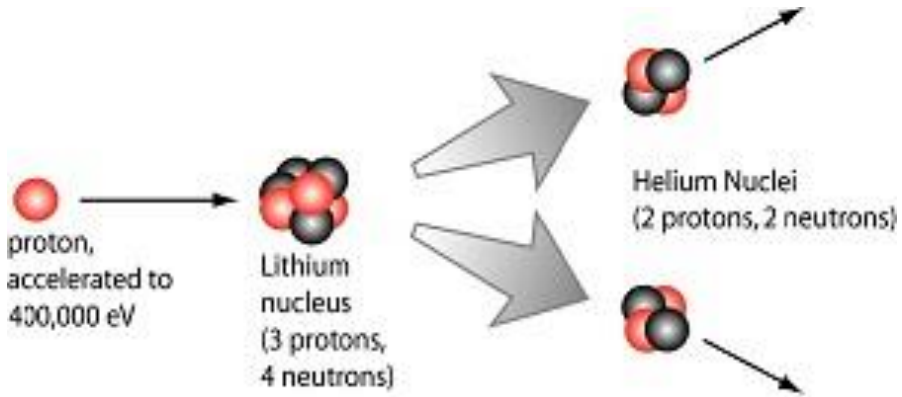
Cockroft-Walton jeneratörü
~1930



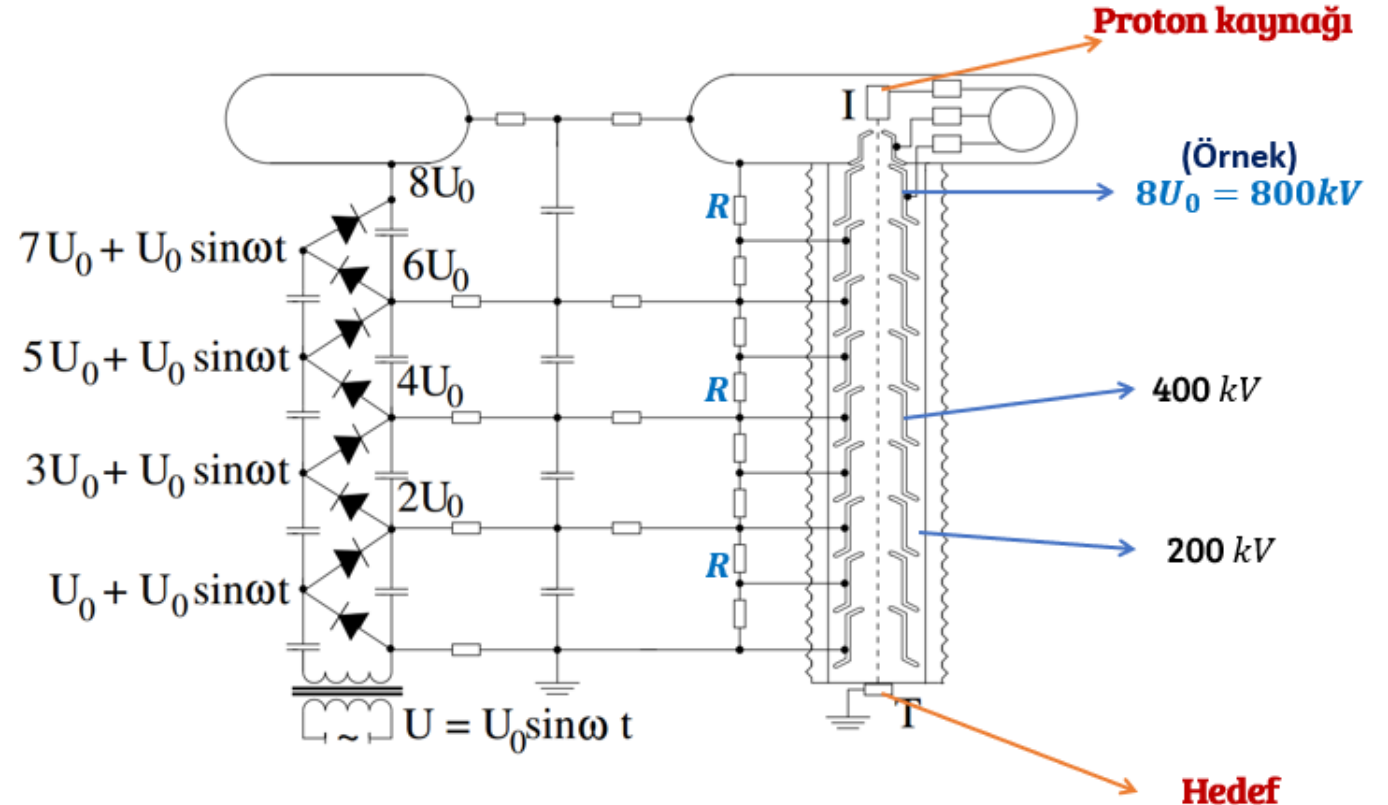
Van de Graaff Jeneratörü
~1930

JOHN COCKCROFT VE ERNEST WALTON TARAFINDAN

ILK DEFA YAPAY OLARAK ATOM ÇEKİRDEĞİNİN PARÇALANMASI (1932)



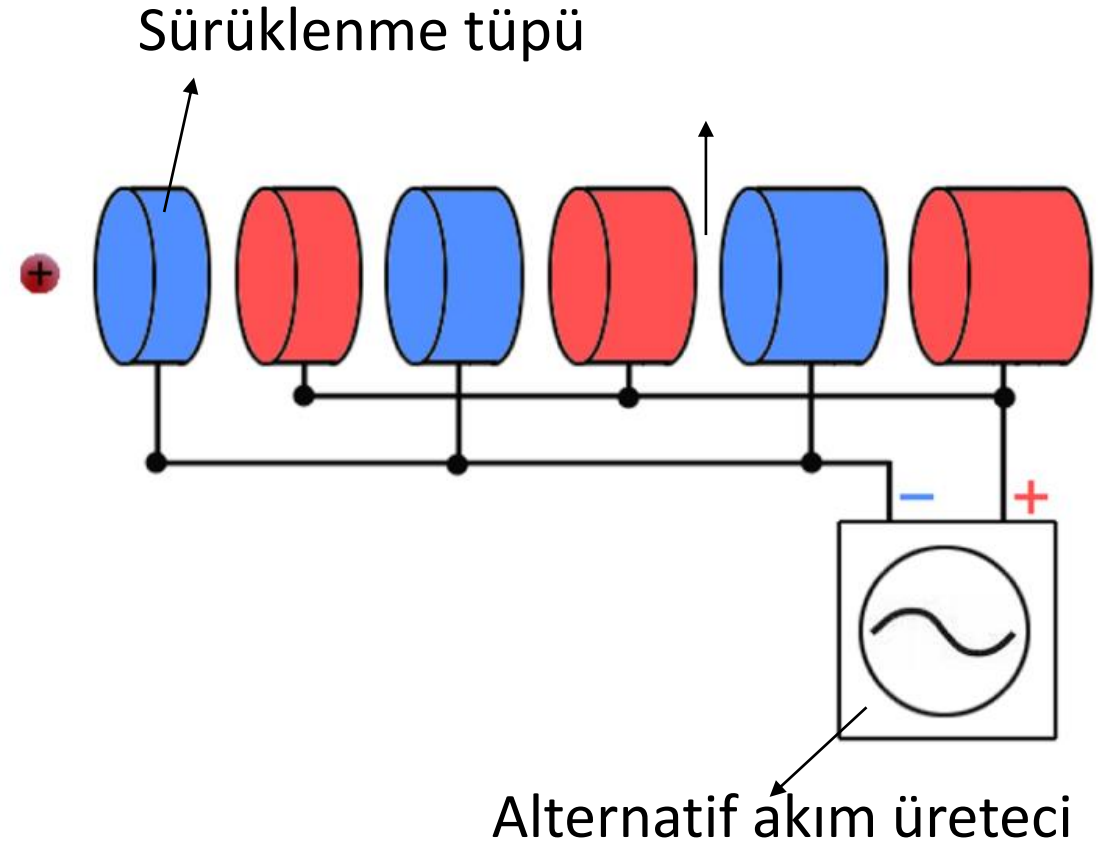
Lityum + proton = 2 Helyum çekirdeği + Enerji



HIZLANDIRMA İÇİN ALTERNATİF AKIM KULLANMA FİKRİ

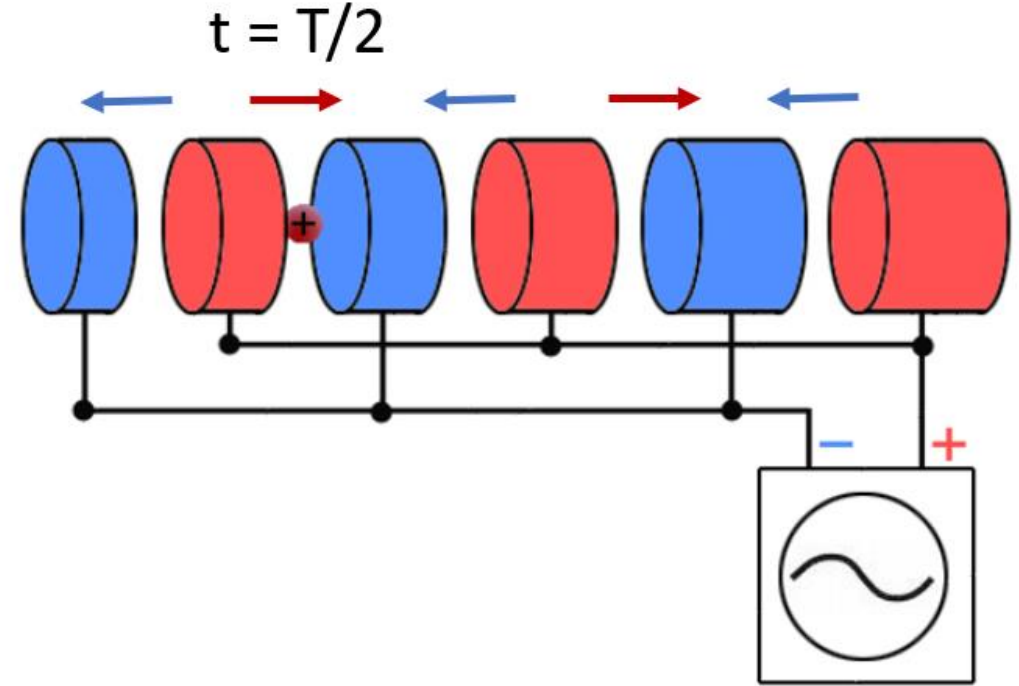
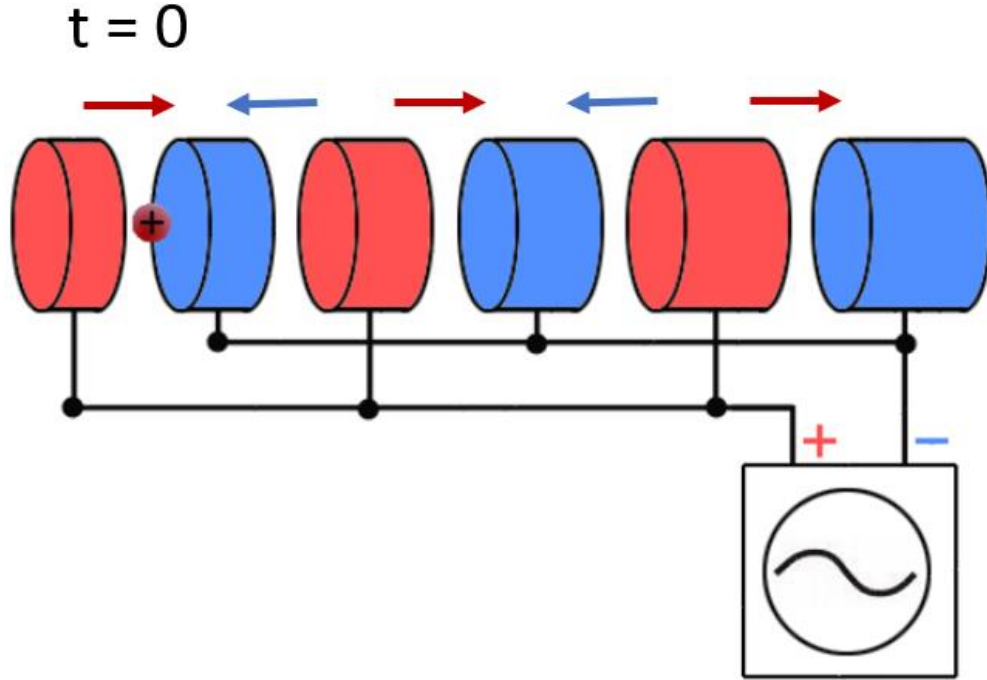
Değişken elektrik alan, doğrusal.

- 1924' te İsveçli fizikçi, Gustaf Ising, hızlandırma için alternatif akım kullanma fikrini ortaya attı.
- 1927' de Norveçli fizikçi, Rolf Widerøe, bu fikri kullanarak bir hızlandırıcı yaptı.
- Bu hızlandırıcının prensibi, ardışık iki sürüklenme tüpüne alternatif akım üreticinin zıt kutuplarını bağlayarak parçacıkları birçok kez kere üreticinin geriliminden geçirmeye dayanmaktadır.



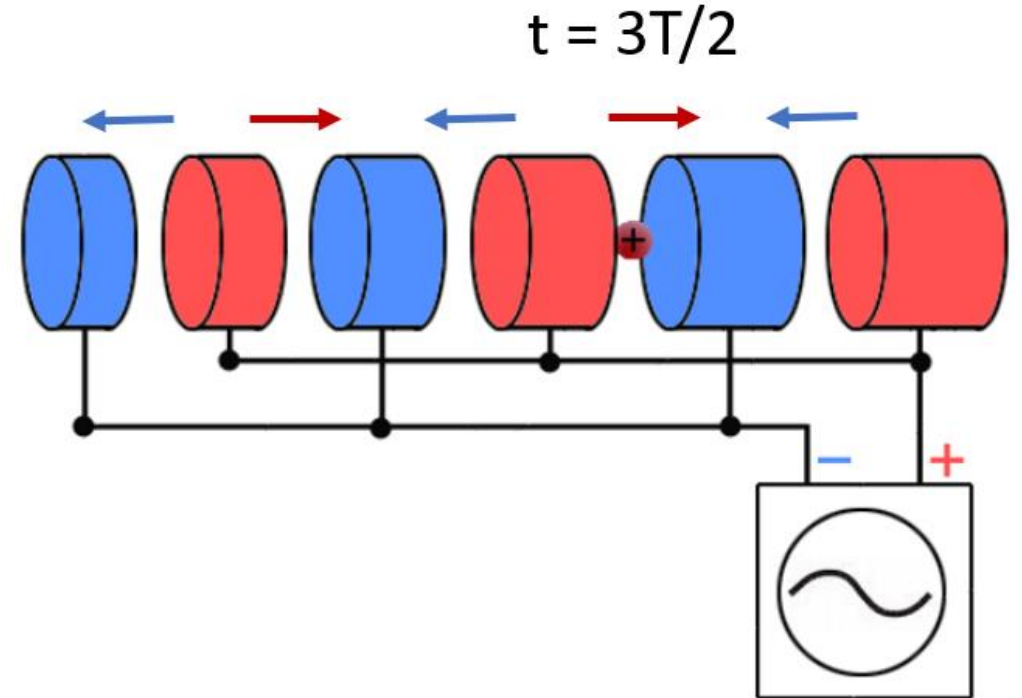
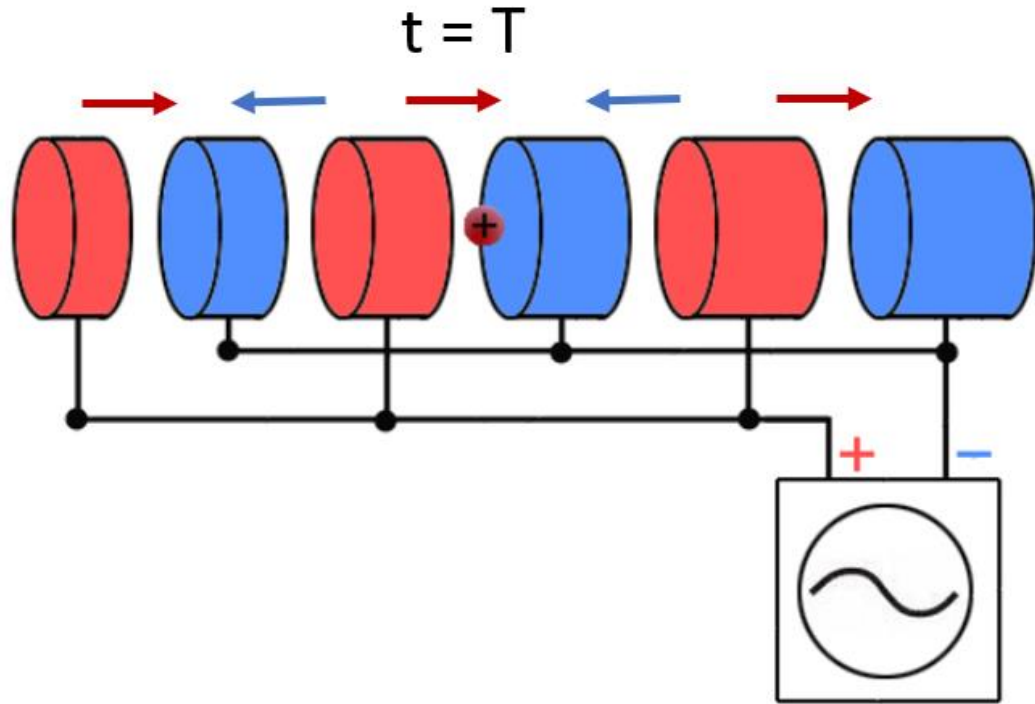
WİDERØE LINAC ÇALIŞMA PRENSİBİ

- Pozitif yüklü bir parçacığın ilk hızlandırma boşluğuna $t=0$ zamanında geldiğini kabul edersek bir sonraki hızlandırıcı boşluklarına $T/2, T, 3T/2 \dots$ zamanlarında gelerek her boşlukta pozitif elektrik alan hissederek hızlanacaktır.



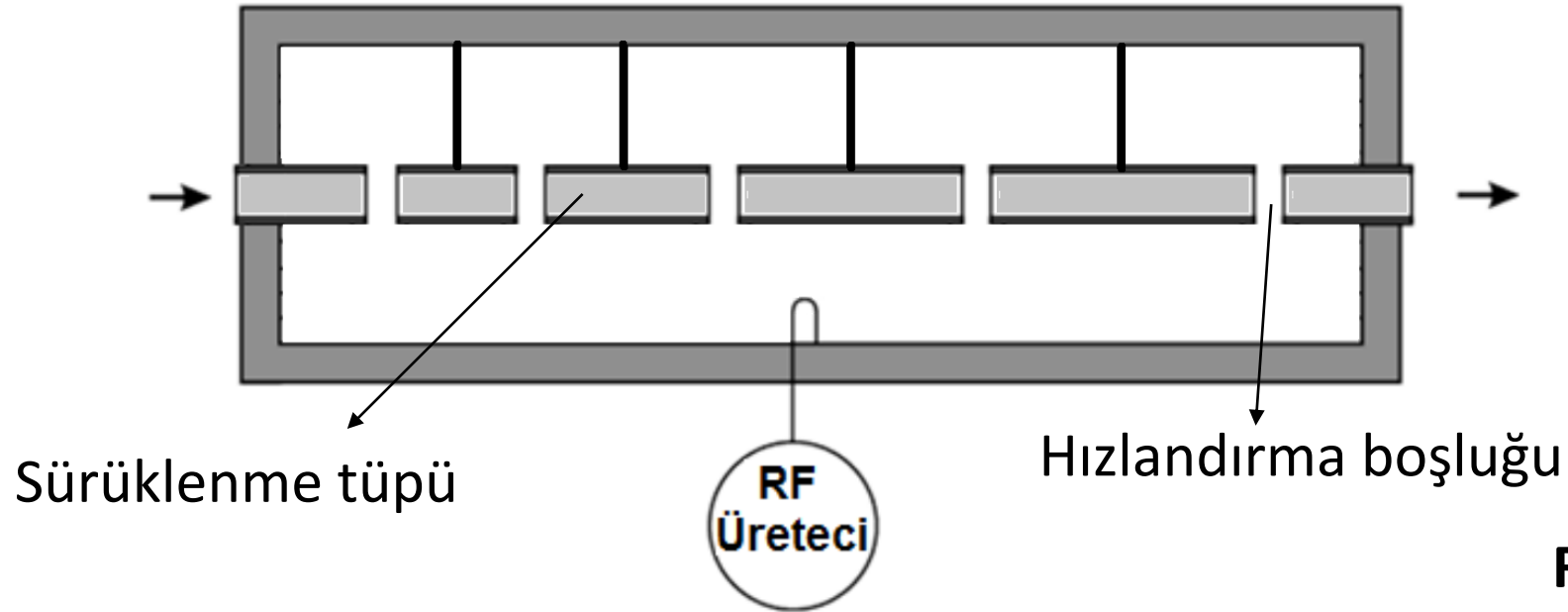
WİDERØE LINAC ÇALIŞMA PRENSİBİ

- Pozitif yüklü bir parçacığın ilk hızlandırma boşluğuna $t=0$ zamanında geldiğini kabul edersek bir sonraki hızlandırıcı boşluklarına $T/2, T, 3T/2 \dots$ zamanlarında gelerek her boşlukta pozitif elektrik alan hissederek hızlanacaktır.



ALVAREZ LINAC (RF, DOĞRUSAL)

- **1947** de Amerikalı Luis Alvarez sürüklenme tüplerini silindirik metal bir kovuğun (RF kovuğu) içerisine koyarak yüksek frekanslarda kullanılabilen daha verimli bir hızlandırıcı geliştirdi.
- Alvarez linacta elektromanyetik enerji kovuğun içerisinde tutularak hızlandırma işlemi için kullanılmaktadır.
- Alvarez 200 MHz lük RF üretici kullanarak protonları 4 MeV den 31.5 MeV e çıkardı.

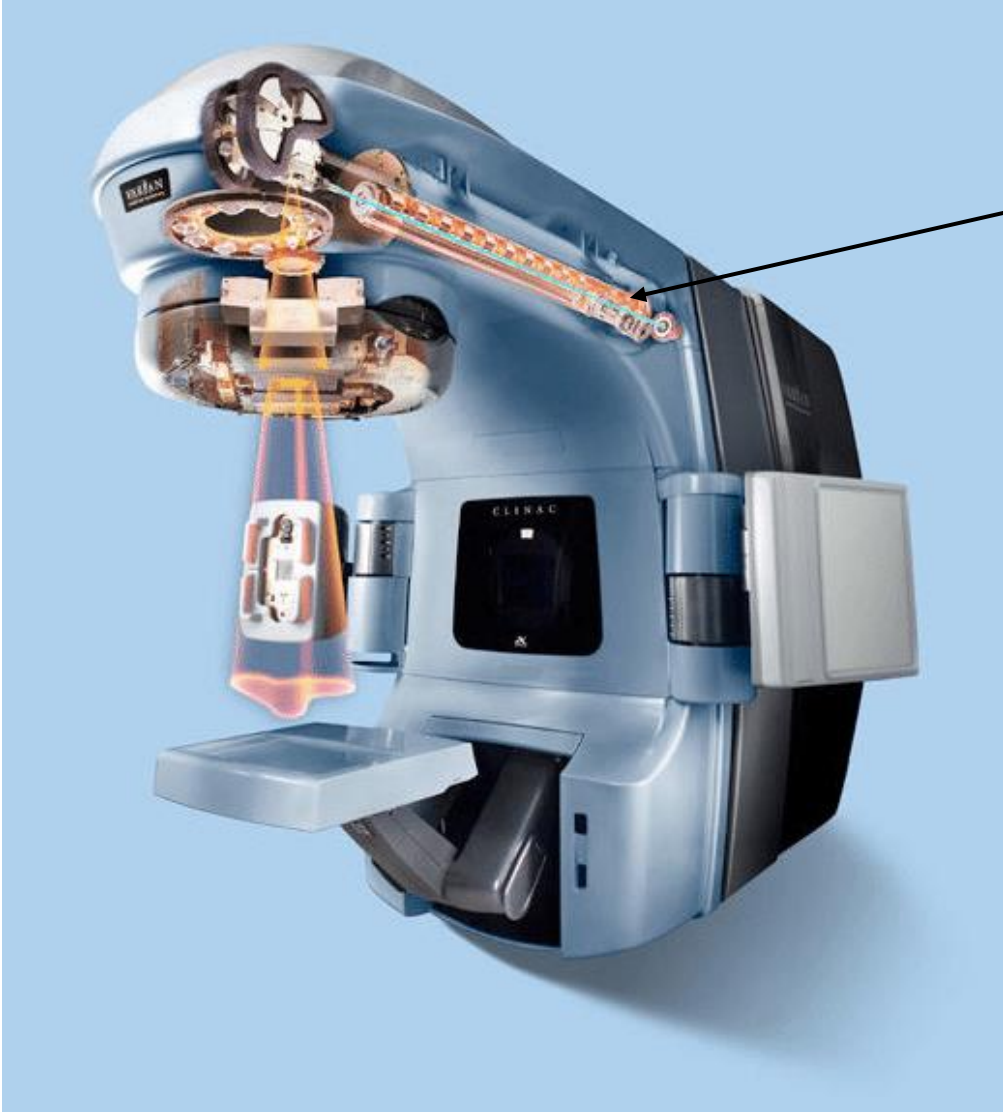


RF: Radyo Frekansı

- Alvarez linac ve Widerøe linacın en büyük farkı hızlandırma için kullanılan elektrik alanların üretim şeklidir.
 - Widerøe linac ta alternatif akım üretici doğrudan sürüklenme tüplerine bağlıdır ve sürüklenme tüplerine üreteç sayesinde yük taşınarak tüpler arasında elektrik alan üretilir.
- Alvarez linacta sürüklenme tüpleri RF üretecine bağlı değildir. RF üretici kovuk içerisinde elektromanyetik dalga üretmek için kullanılır. Alvarez linacta sürüklenme tüpleri olmasa da kovuk içerisinde elektrik alan oluşur. Sürüklenme tüplerinin ana amacı, elektrik alan salınım yaparken, parçacıkları yavaşlatıcı elektrik alandan korumaktır.

- Enerjilerine bağlı olarak tek bir RF kovuğundan veya birçok RF kovuğunun arka arkaya konulmasıyla oluşturulmuş hızlandırıcılardır.

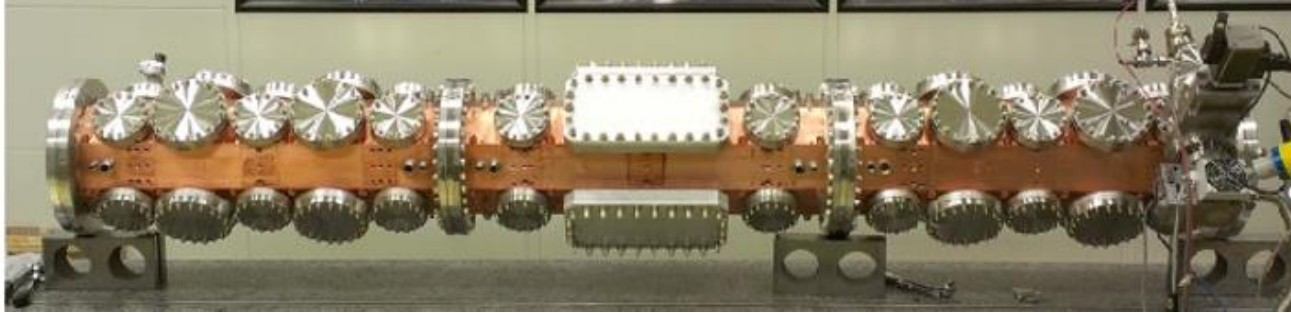
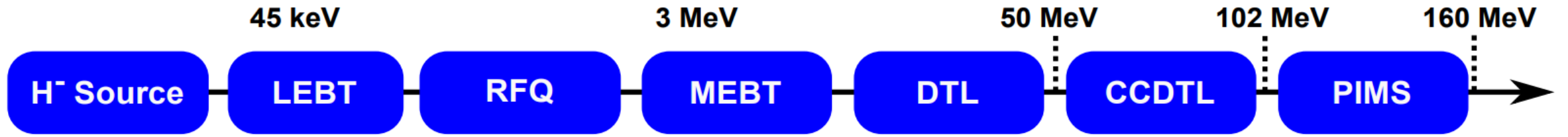
RF DOĞRUSAL HIZLANDIRICILAR (LINAC)



Tek bir kovuktan üretilmiş hızlandırıcı.
Radyoterapi için kullanılan elektron hızlandırıcısı.

RF DOĞRUSAL HIZLANDIRICILAR (LINAC)

- **CERN Linac4** (Cenevre, İsviçre)
- 4 değişik hızlandırıcı yapısı (normal iletken): 352.2 MHz salınım frekansı. ~90 metre de 160 MeV ye hızlandırıyor.



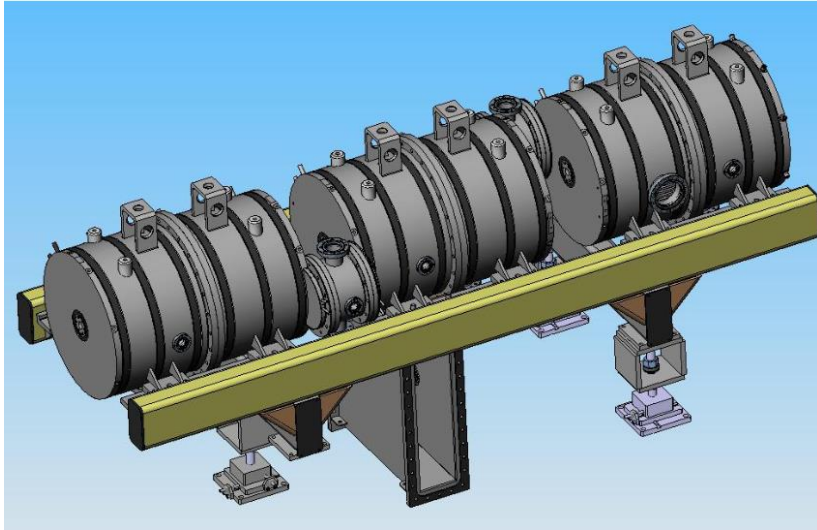
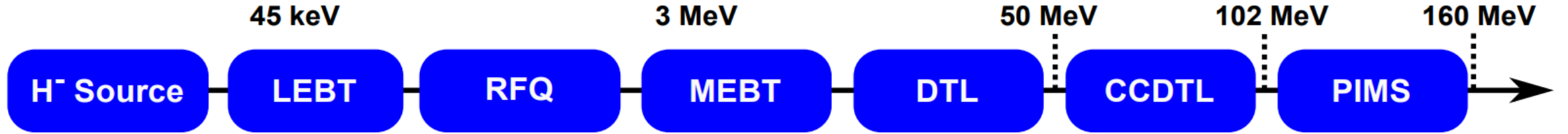
RFQ: Radio Frequency Quadrupole
(Radyo Frekansı Dörtkutuplusu)



DTL: Drift Tube Linac
(Sürüklenme Tüplü Doğrusal Hızlandırıcı)

RF DOĞRUSAL HIZLANDIRICILAR (LINAC)

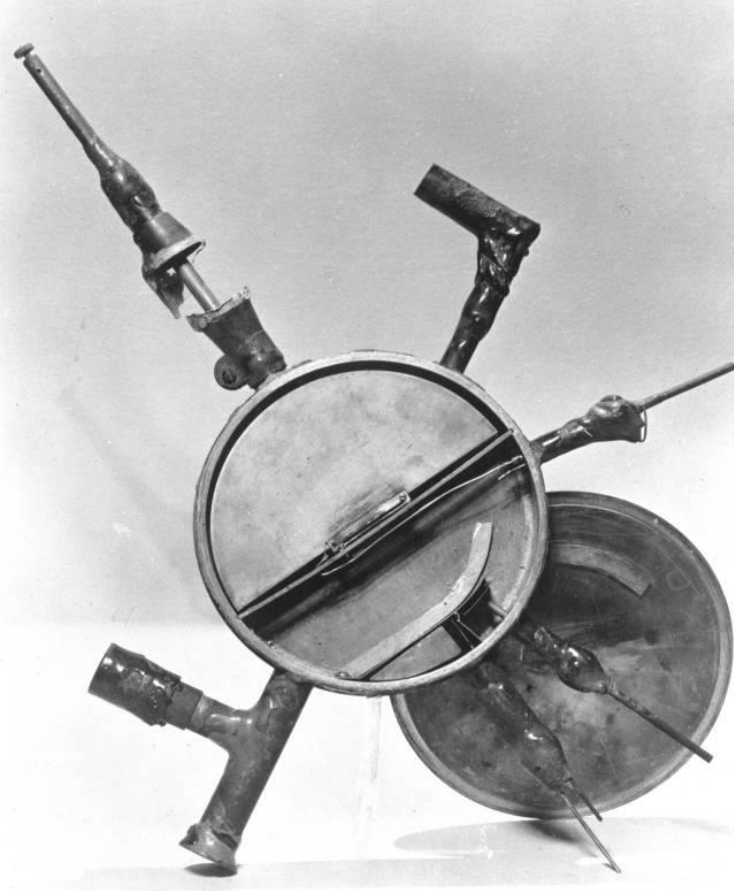
- **CERN Linac4** (Cenevre, İsviçre)
- 4 değişik hızlandırıcı yapısı (normal iletken): 352.2 MHz salınım frekansı. ~90 metre de 160 MeV ye hızlandırıyor.



CCDTL: Cell-Coupled Drift Tube Linac



PIMS: Pi-Mode Structure

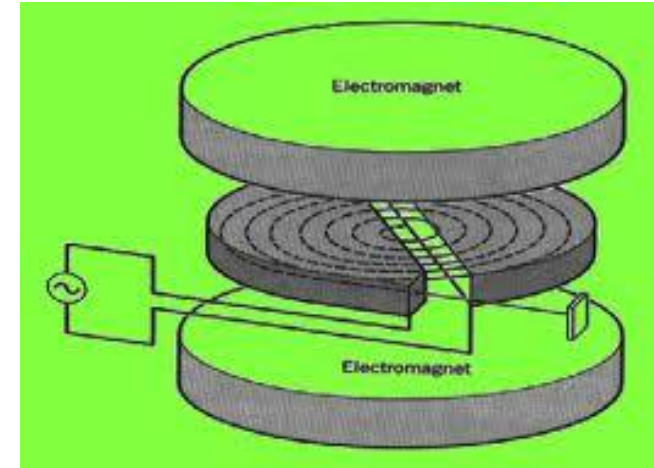
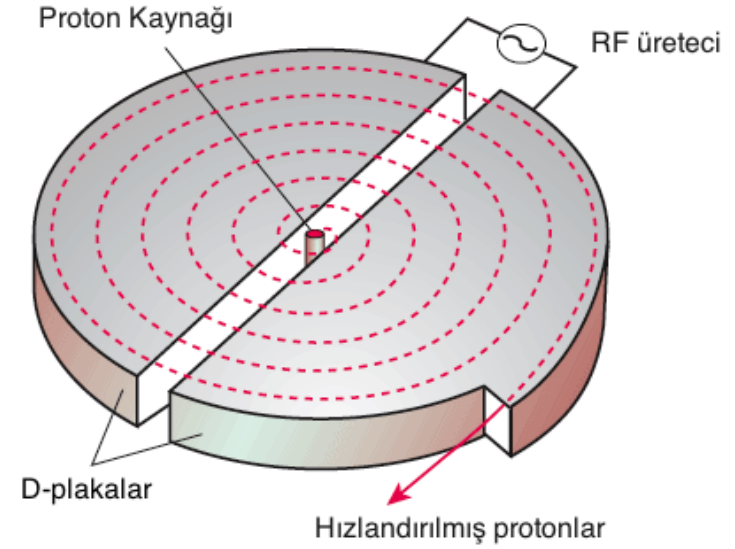


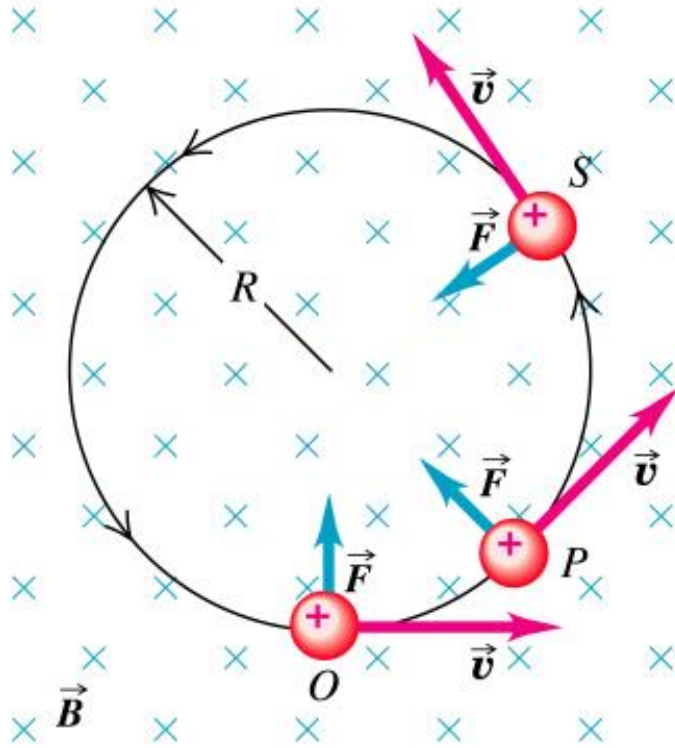
- 11,5 cm çapında

- Ernest Lawrence ve öğrencisi M. Stanley Livingston tarafından geliştirildi.
- İlk başarılı deneme 1931 yılında
- 1,8kV luk üreteç kullanarak protonları 80keV e kadar hızlandırdı.

CYCLOTRON ÇALIŞMA PRENSİBİ

- D şeklinde metal levhalar arasında elektrik alanında parçacıklar hızlandırılır.
- D levhalar elektromıknatısın içindedir.
- Sabit hızlı parçacıklar manyetik alanda dairesel yörüngede hareket ederler fakat parçacıkların hızları arttığı için cyclotronda bu yörünge spiraldir.





- Manyetik alanda parçacıklar merkezi kuvvet etkisinde dairesel yörüngede hareket ederler.
- Merkezi kuvvet = merkezkaç kuvveti

$$\frac{mv^2}{r} = qvB$$

- Parçacığın izlediği yörüngenin yarıçapı:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

- Parçacığın bir dönüş için harcadığı zaman (dönme periyodu):

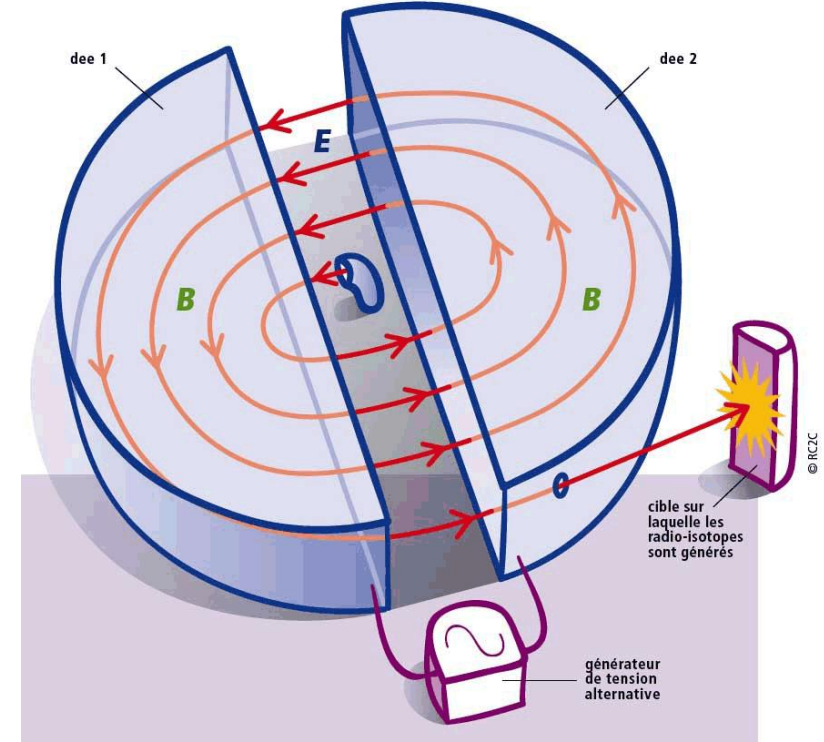
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

- Hızdan bağımsız: parçacıkların hızı artsa bile dönme frekansı değişmiyor.

**Klasik Fizik
(düşük hızlarda geçerli)**

CYCLOTRON'DA EŐZAMANLILIK

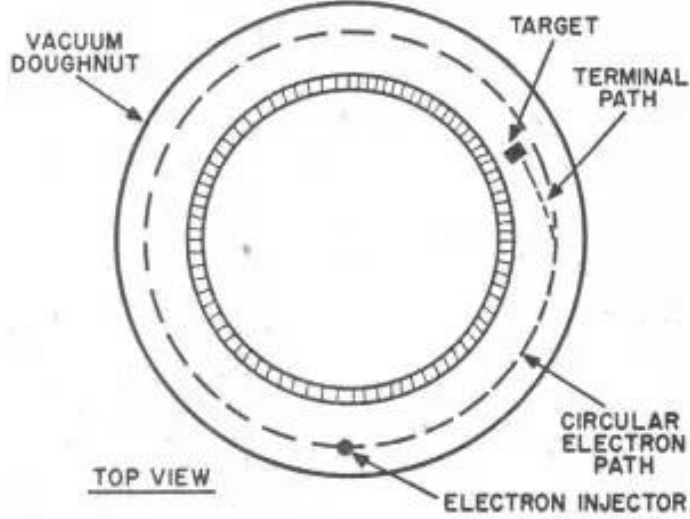
- Parçacıkların dönme frekansına eşit (veya orantılı) bir frekansa sahip alternatif akım kaynağı kullanarak eş zamanlılık sağlanabilir!
- Bir önceki sayfada klasik formüller kullanıldı.
- Yüksek hızlara çıkarsak üretcin frekansını parçacıkların hızına göre ayarlamamız gerekli.
- Parçacıkların dönme periyodu artıyor. Eşzamanlılığı korumak için üretcin frekansı azaltılmalı (periyodu arttırılmalı).



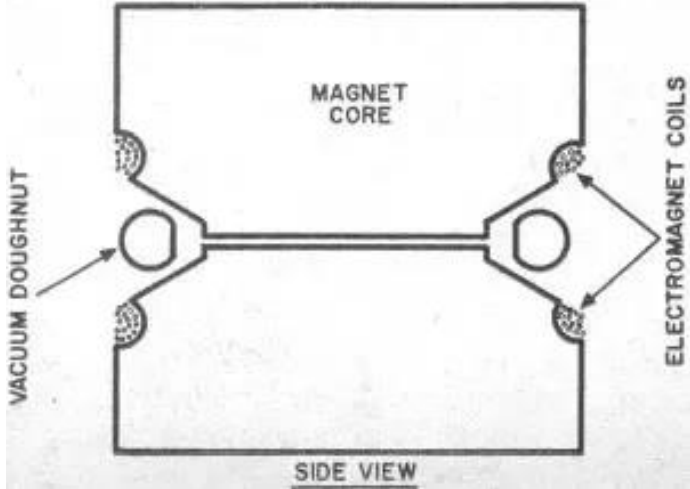
$$T = \frac{2\pi m\gamma}{qB}$$

Rölativistik

BETATRON (DAIRESEL, İNDÜKSİYON) ~1935



Üstten görünüş

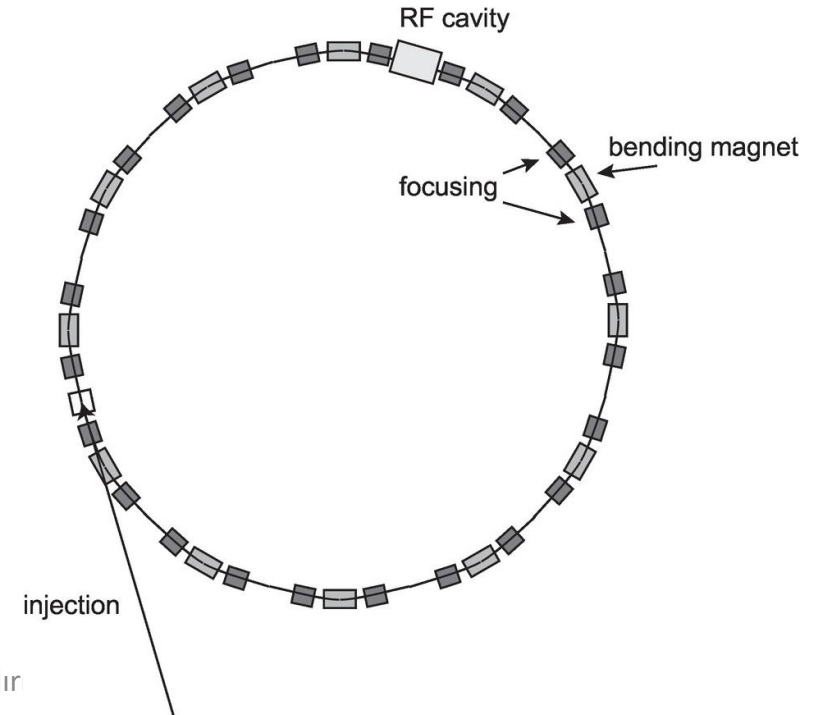
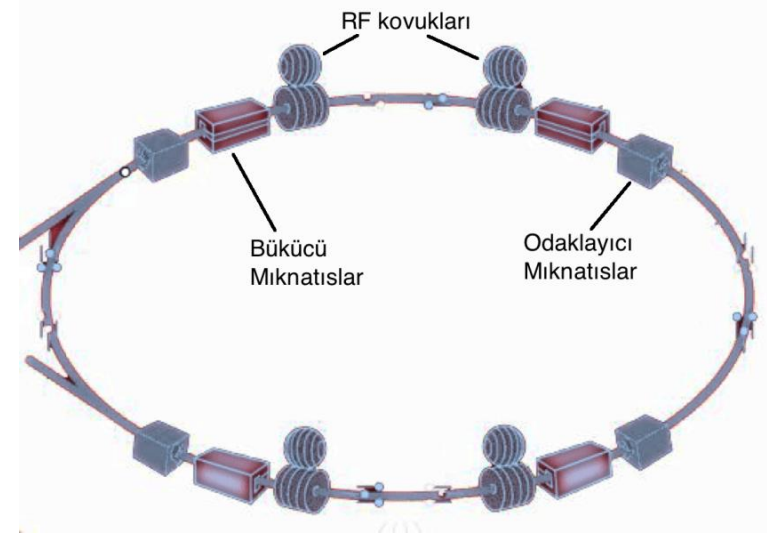


Yandan görünüş

- Donut şeklinde bir demet tüpüne elektronlar verilir.
- Elektromıknatısın akımı arttırılarak manyetik alan arttırılır.
- Değişen manyetik alan demet tüpünün içinde elektrik alan indükler.
- Elektrik elektronları hızlandırır.
- Manyetik alan arttığından elektronların dönme yarıçapı sabit kalır.

SYNCHROTRON (DAİRESEL, RF)

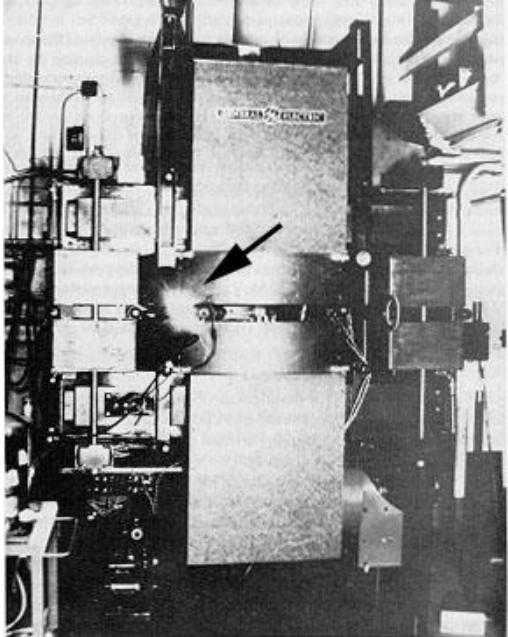
- Parçacıkları RF kovuklarında hızlandırıp bükücü mıknatıslar sayesinde sabit bir yörüngede tutan dairesel hızlandırıcı tipi.
- **İlk elektron synchrotron: 1945**
- **İlk proton synchrotron : 1952**
- LHC: Günümüzdeki en büyük en güçlü synchrotron!
- Synchrotron ile parçacıkları diğer hızlandırıcılara göre daha yüksek enerjilere çıkarabiliriz!



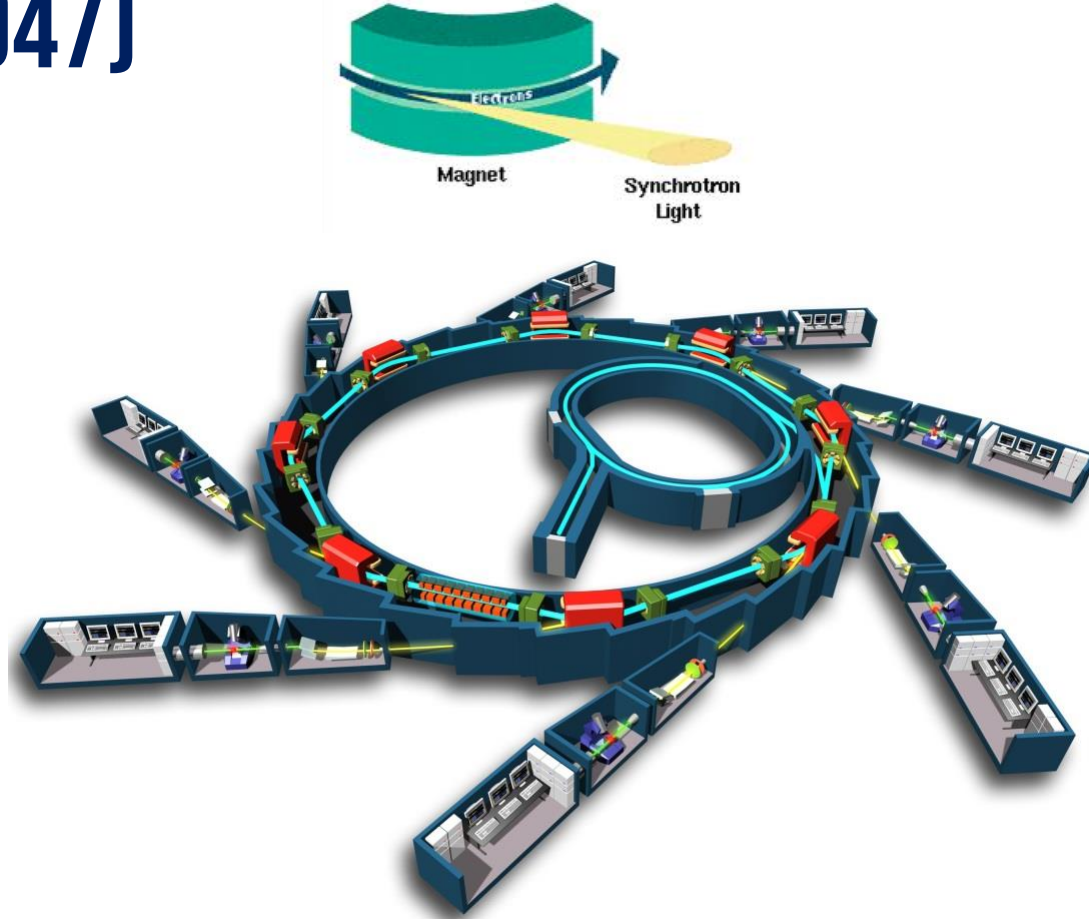
SYNCHROTRON IŞINIMI (1947)



General Electrics (1947)



70-MeV elektron synchrotron

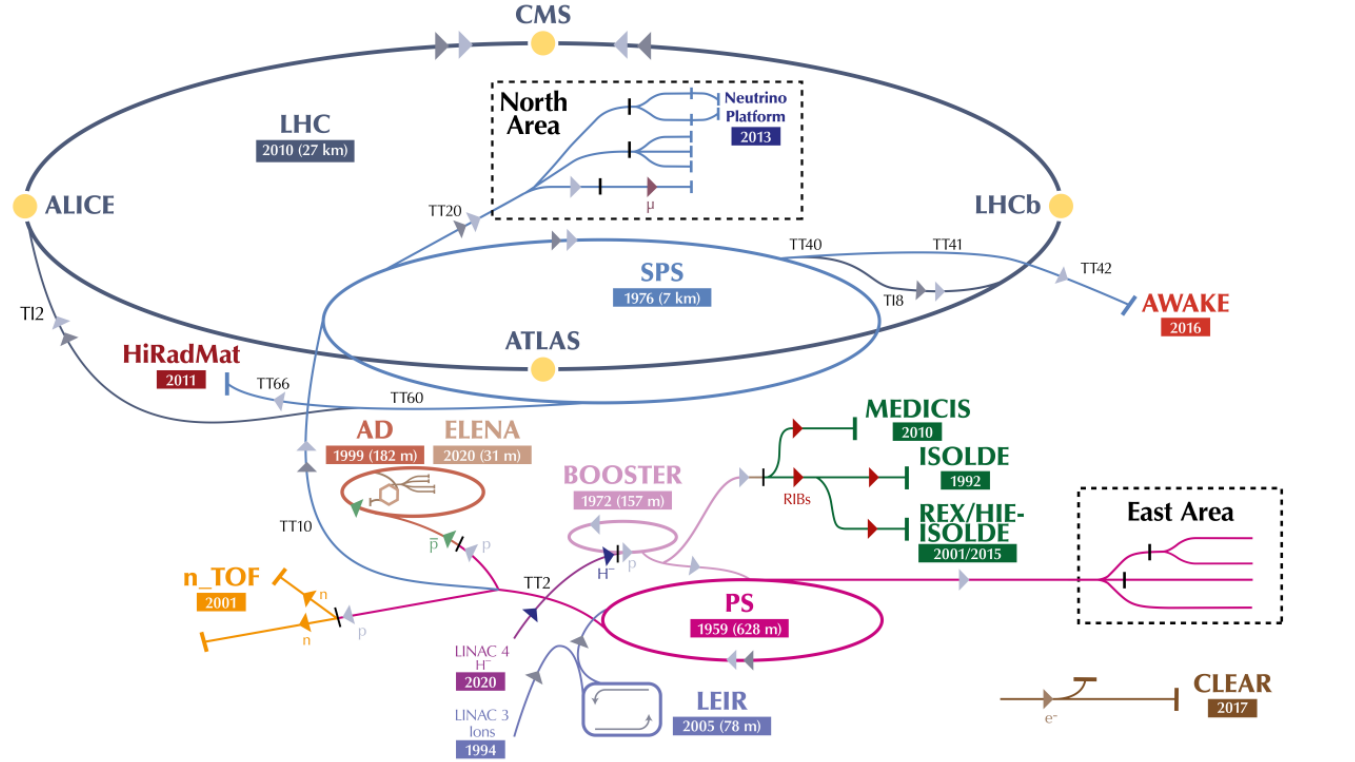


Günümüzde synchrotron ışınımı üretmek için özel olarak kurulmuş birçok merkez var. Bu merkezlerin bazıları synchrotron kullanıyor bazıları linac.

TARLA (Türk Hızlandırıcı ve Işınım Laboratuvarı) da bir ışınım kaynağı olacak.

CERN HIZLANDIRICI KOMPLKSI

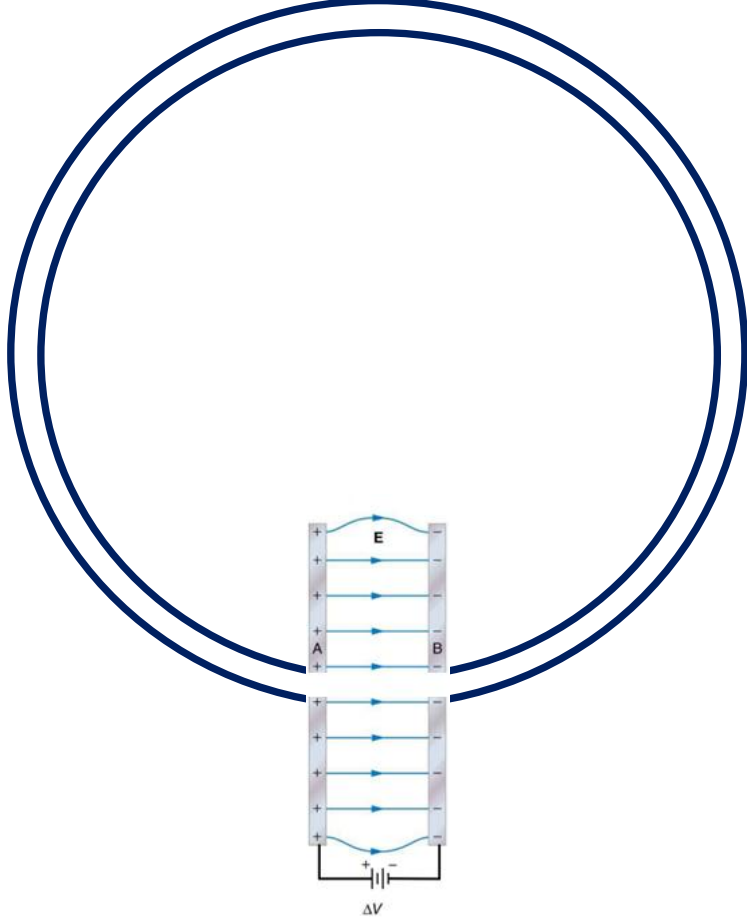
The CERN accelerator complex Complexe des accélérateurs du CERN



▶ H^- (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶ \bar{p} (antiprotons) ▶ e^- (electrons) ▶ μ (muons)

LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

ELEKTROSTATİK DAİRESEL HIZLANDIRICI YAPILABİLİR Mİ?



Ödev: dairesel bir elektrostatik hızlandırıcı yaparak, parçacıkları dairesel bir yörüngede hareket ettirip (mıknatıslarla) aynı güç kaynağının potansiyel farkından birçok kez geçirip hızlandırabilir miyim?

TEŞEKKÜRLER!