

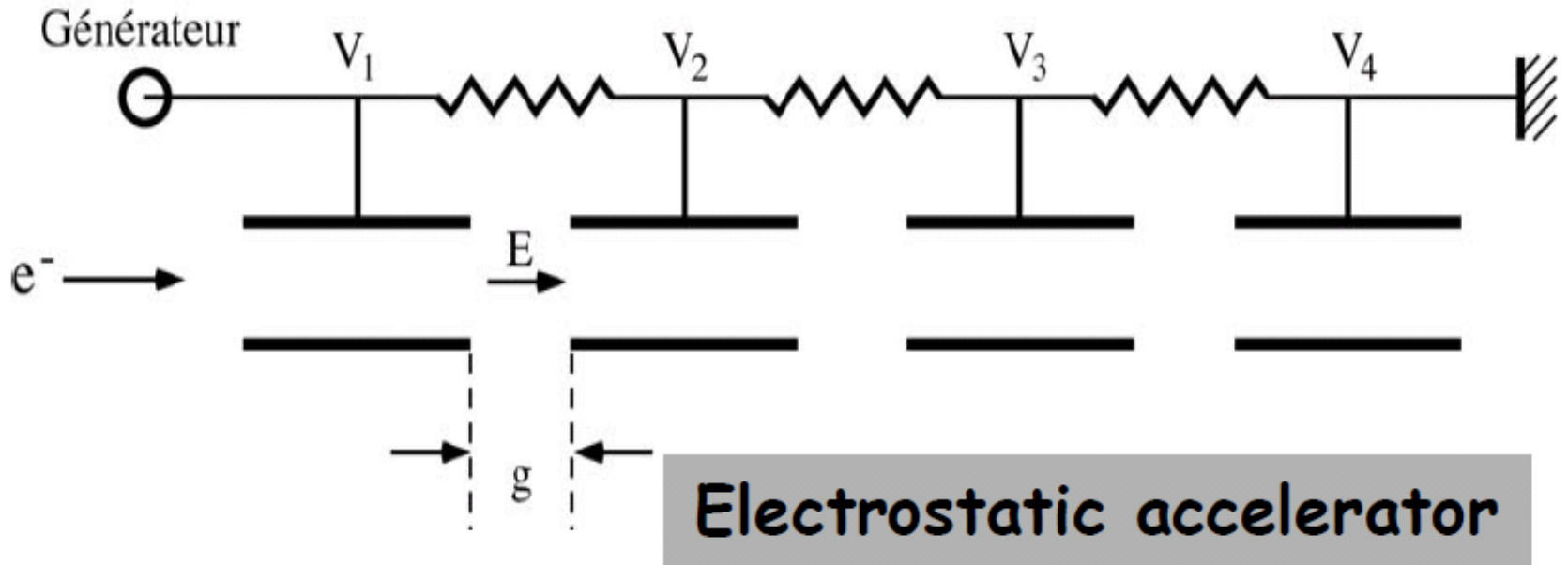
Hızlandırıcı Fiziđi-2

Veli YILDIZ
(Veliko Dimov)
30.06.2016

İçerik

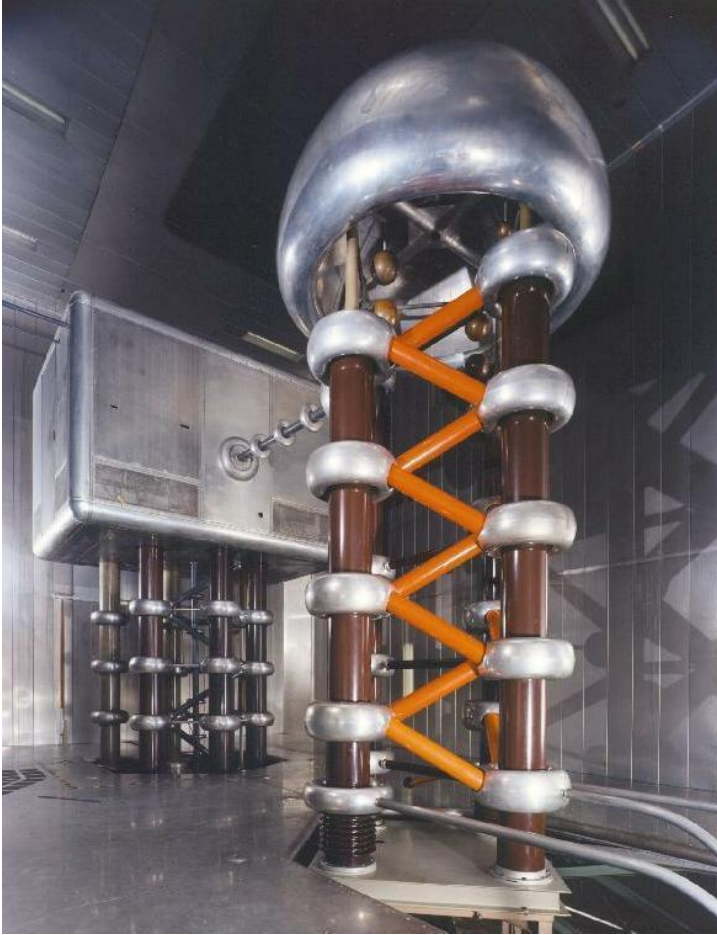
- Hızlı bir tekrar.
- Doğrusal hızlandırıcılar
- Doğrusal hızlandırıcılarda kullanılan bazı yapılar.
- Yürüyen dalga kovukları ve elektron hızlandırma
- Bazı dairesel hızlandırıcı çeşitleri
 - Döndürgeç (cyclotron)
 - Zayıf odaklama
 - Eşzamanlayıcı (synchrotron)
 - 4-kutuplulu mıknatıslar ile güçlü odaklama
 - Eşzamanlayıcı ışınması

Elektrostatik Hızlandırıcılar

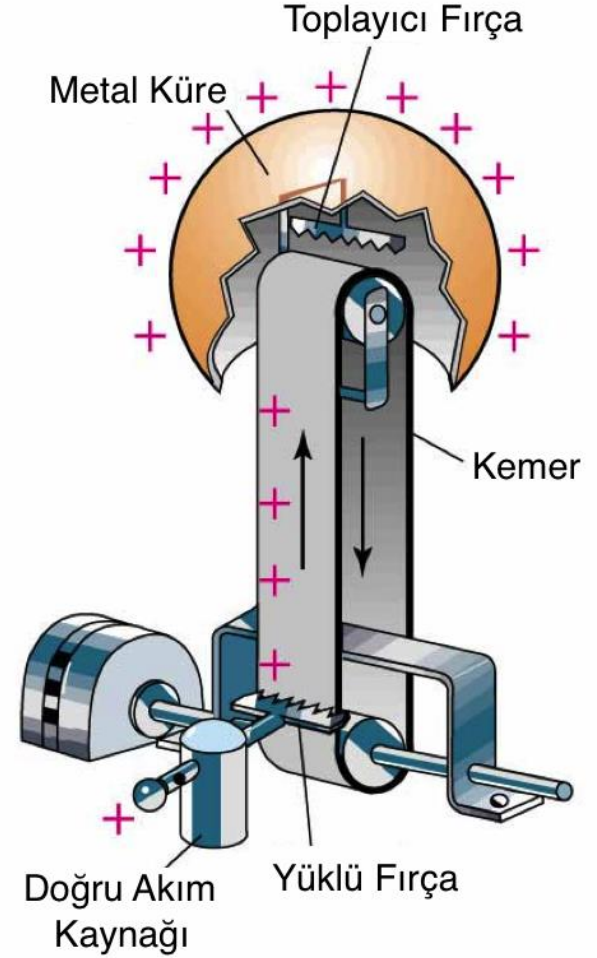


Doğru akım kaynağına bağlanmış elektrotlar arasında parçacıklar hızlandırılır. Elektrotların Potansiyelleri hep aynıdır. Üretcin potansiyeli ΔV ise parçacıkların kazanabileceği en fazla enerji: $\Delta E = q \cdot \Delta V$

Yüksek potansiyelli DC üreticileri



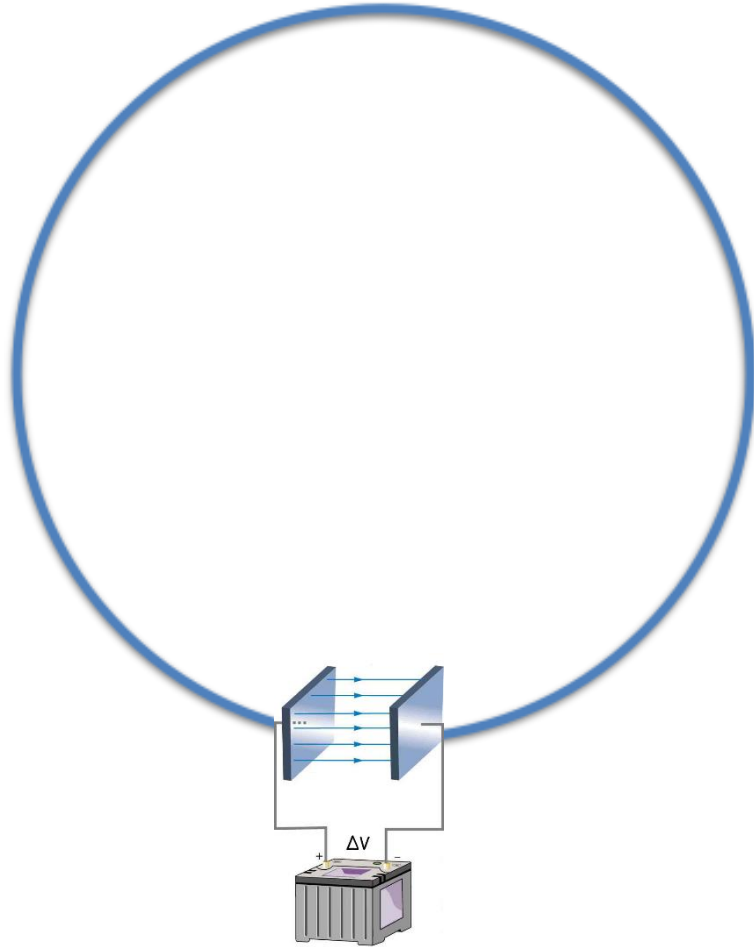
Cockcroft- Walton Jeneratörü



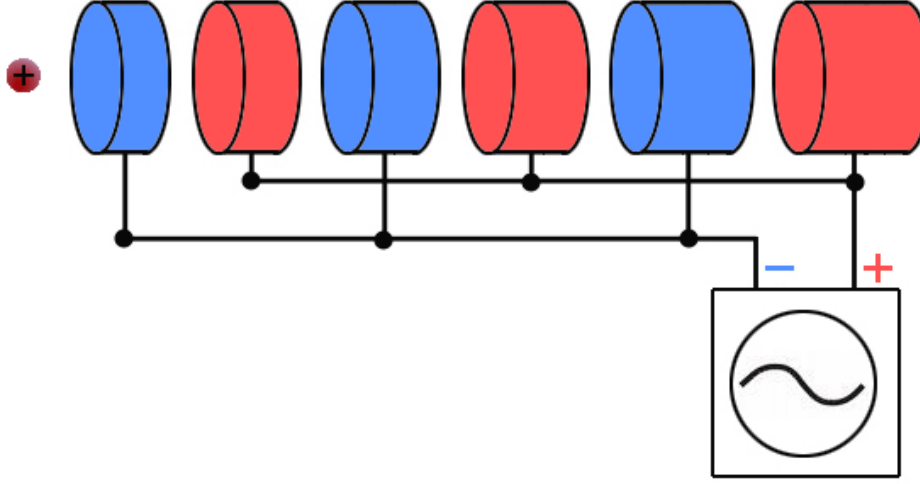
Van de Graaff Jeneratörü



Hızlanma mümkün mü?



Alternatif akım kullanan Wideroe hızlandırıcısı



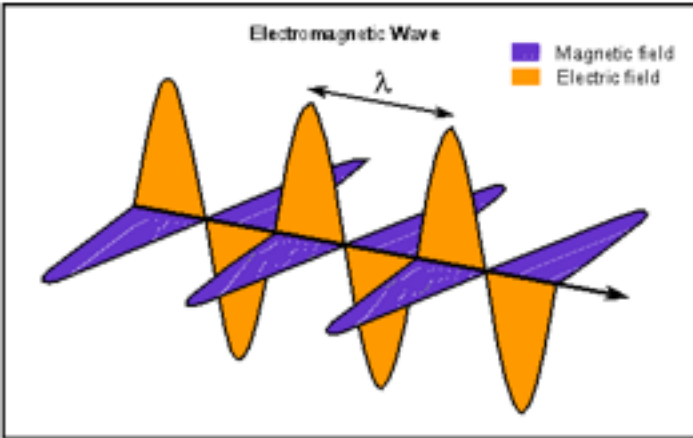
Elektrotlar(sürüklenme tüpleri) kablo ile AC üretene bağlı.

Elektrotların potansiyelleri değişken.

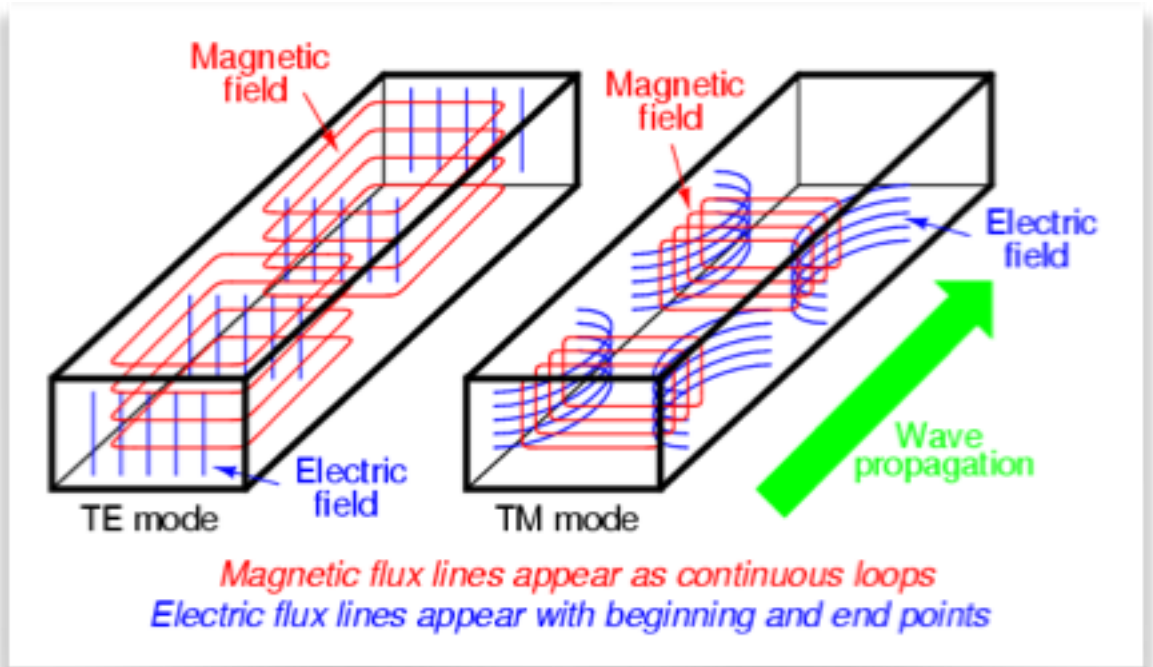
Aynı potansiyelden parçacıkları birçok kez geçirdiğim için hızlanma üretene potansiyeliyle kısıtlanmıyor.

Yüksek frekanslara çıkınca anten görevi görüyor. Bu sebeple yüksek frekanslarda verimli değil.

EM dalga



Boşlukta EM dalga



İletken bir yapının içerisinde EM dalga

İletken bir yapı içerisinde ilerleyen elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan yönleri geometri ve frekans tarafından belirlenir.

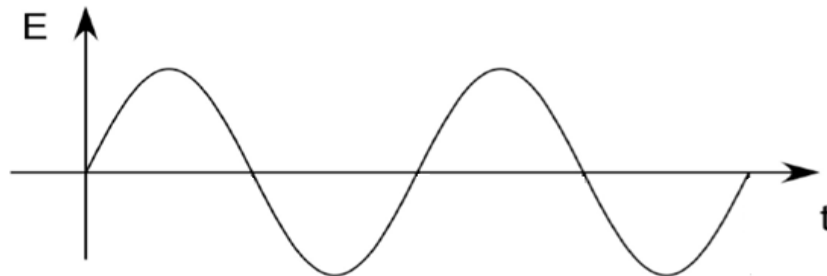
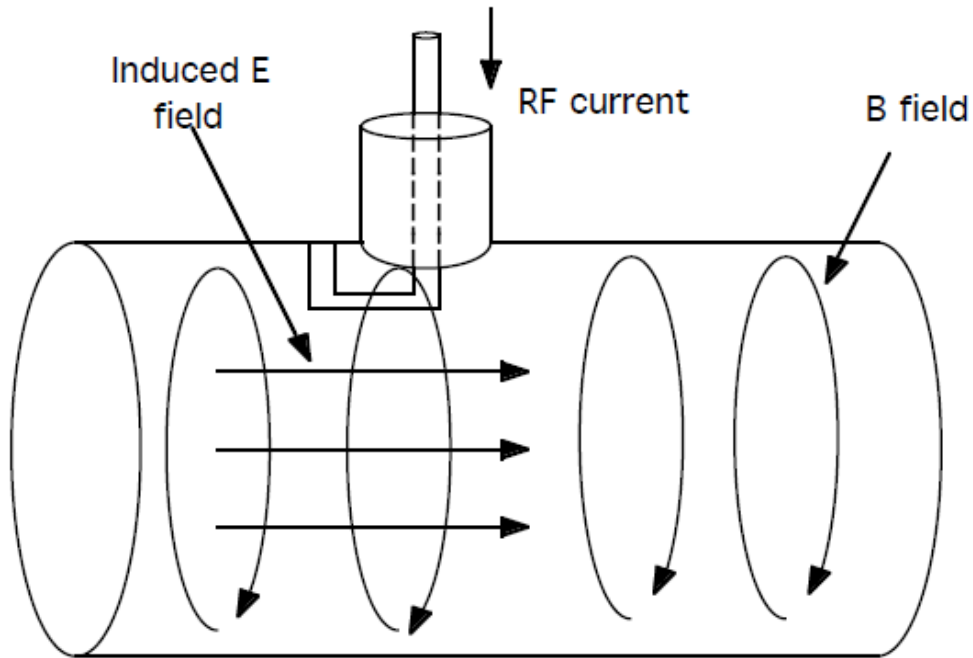
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

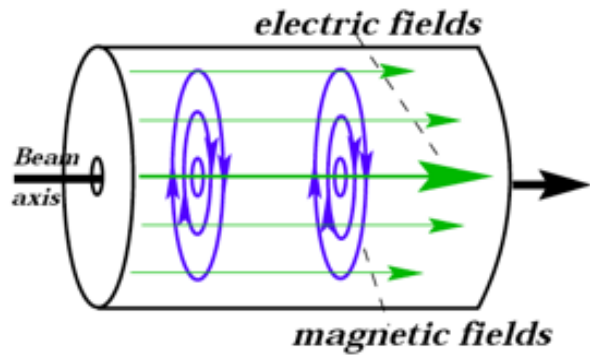
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{j}_c$$

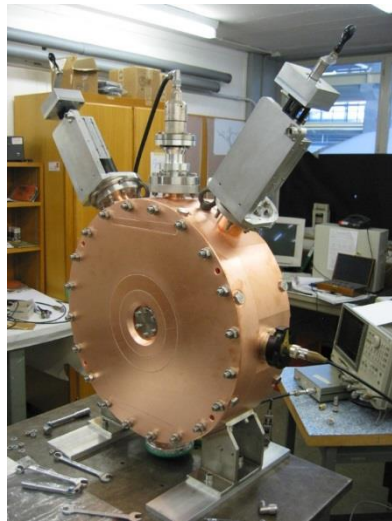
İki tarafı kapalı bir silindirin içinde elektromanyetik dalga



RF kovužu (Davul kovuk-Pill hox cavity)

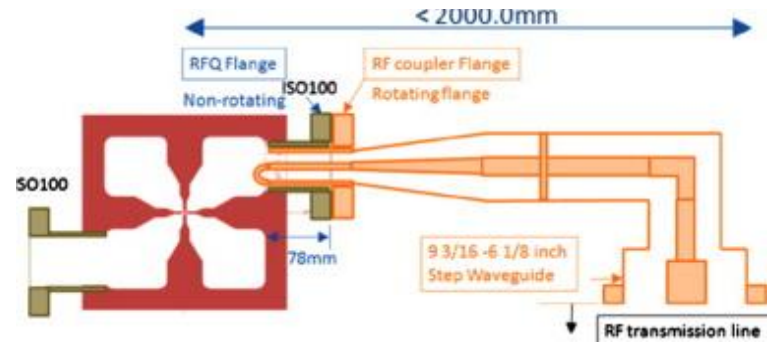
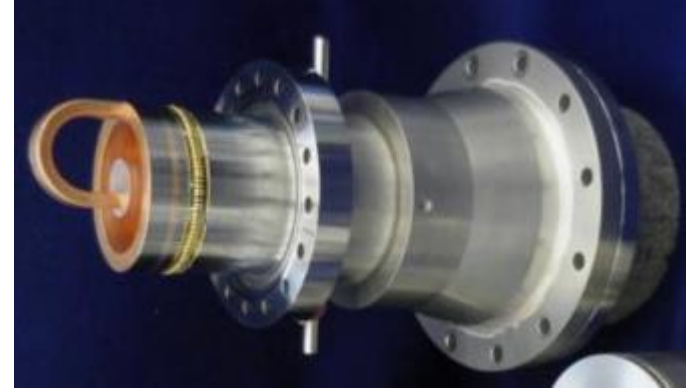
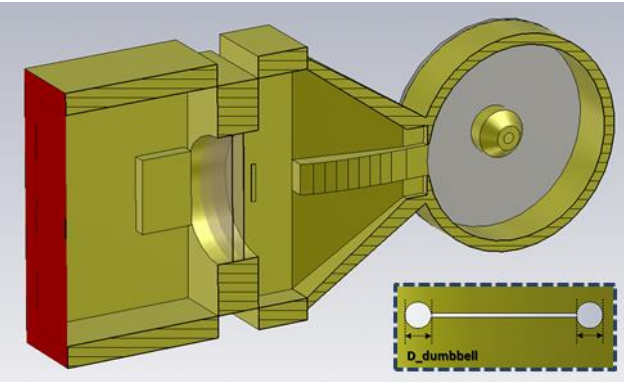


$$f_{RF} = \frac{1}{r}$$



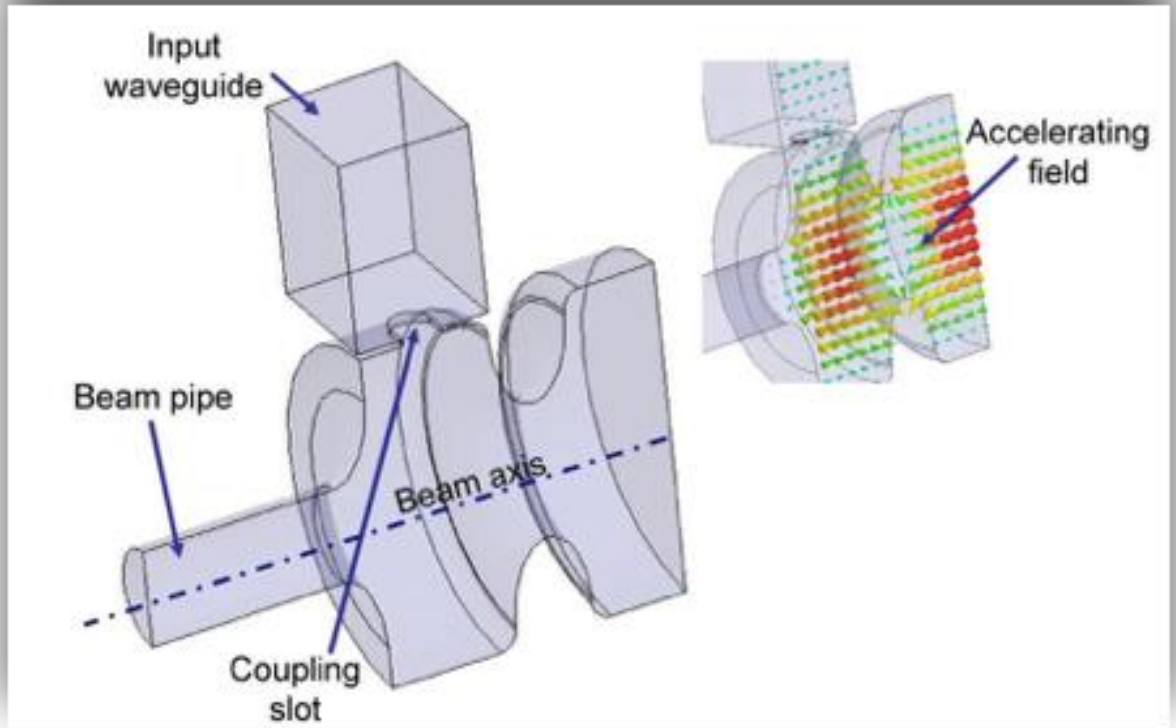
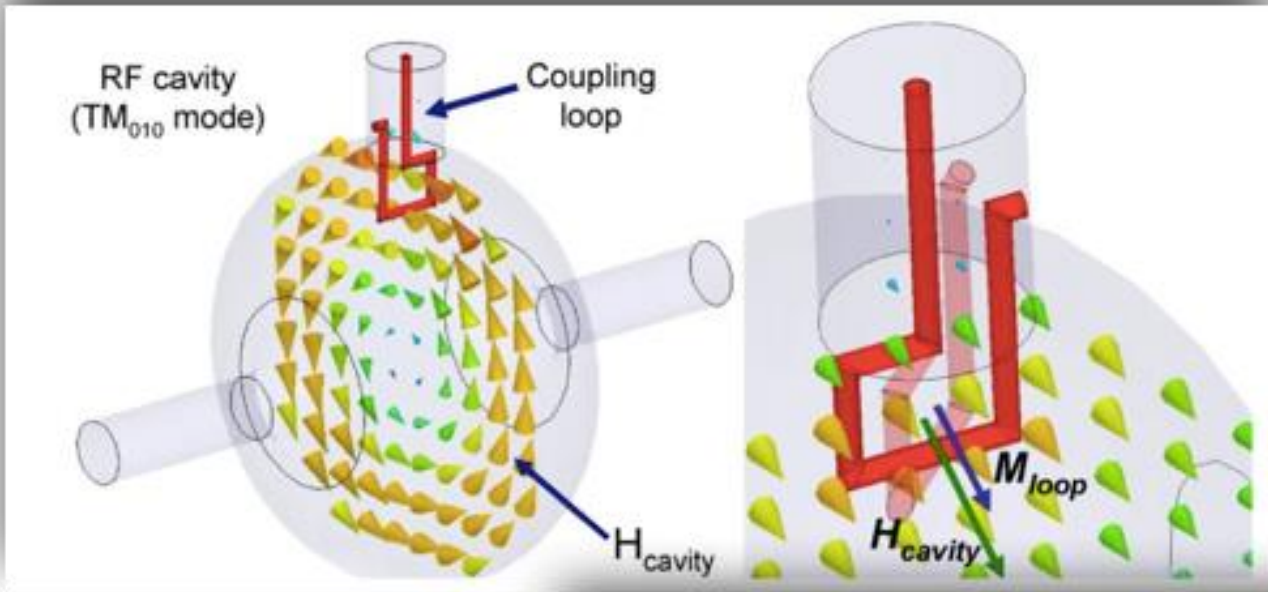
Kovuđu rf İle doldurmak

- Antenlerle manyetik indükleme
- Veya RF penceresi ile (iris)

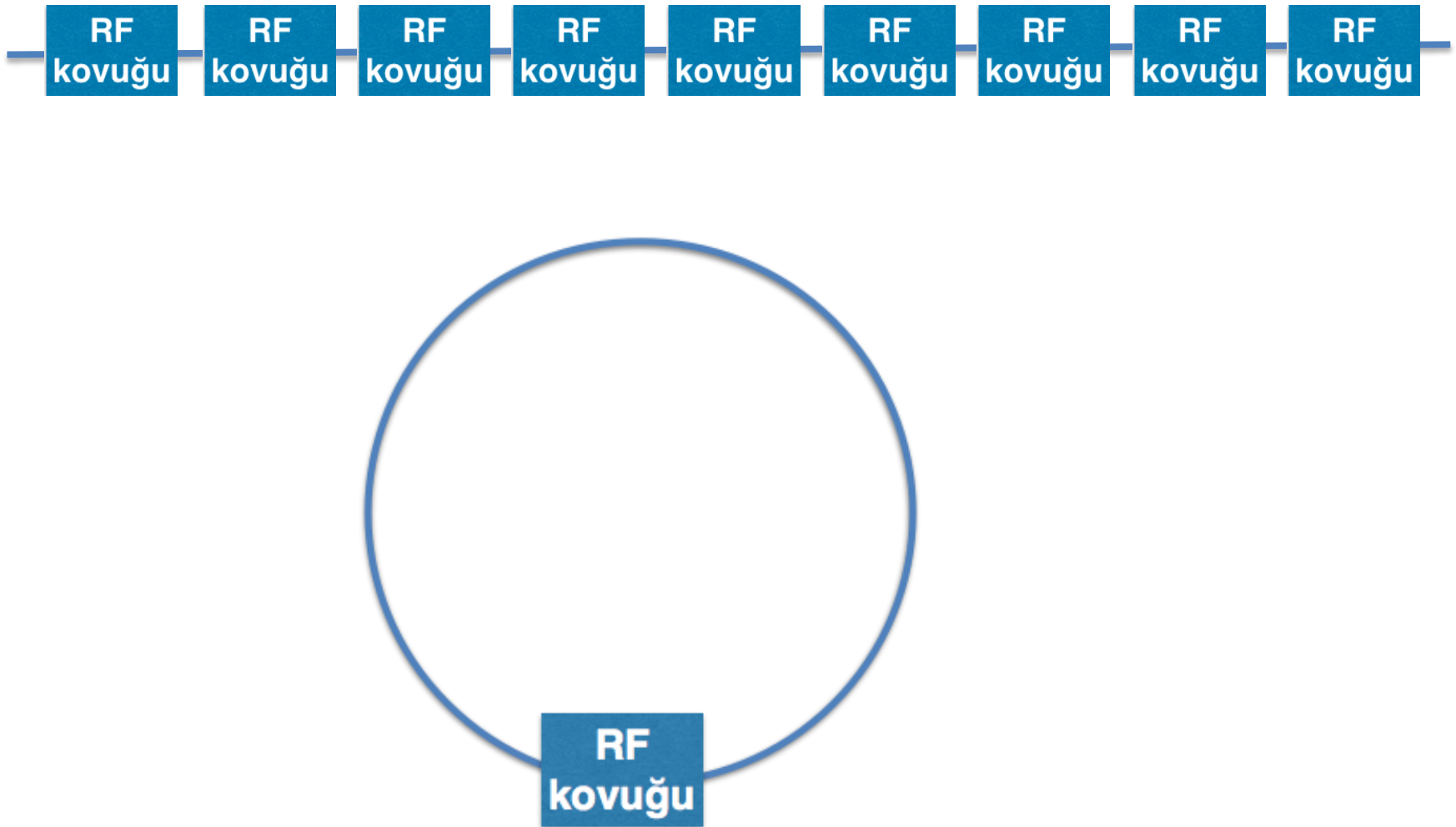


dalga klavuzu

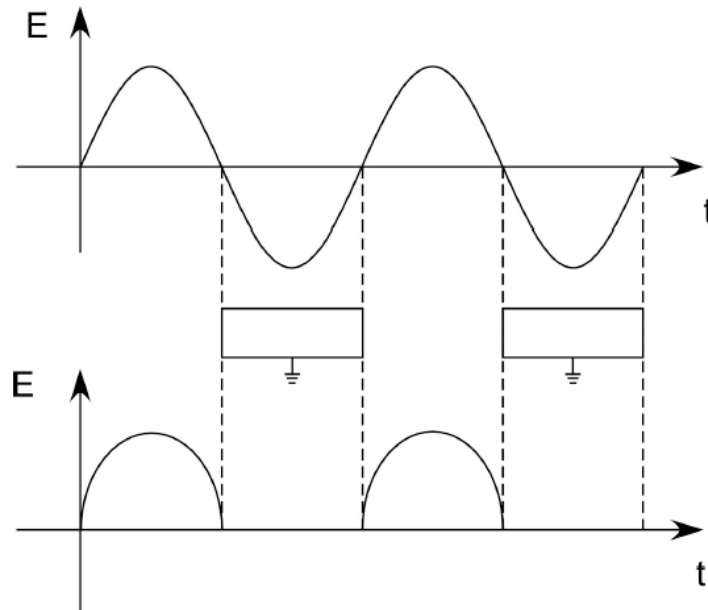
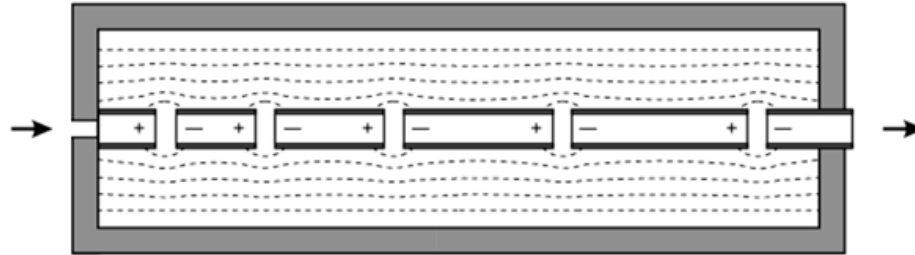
eşeksenli kablo



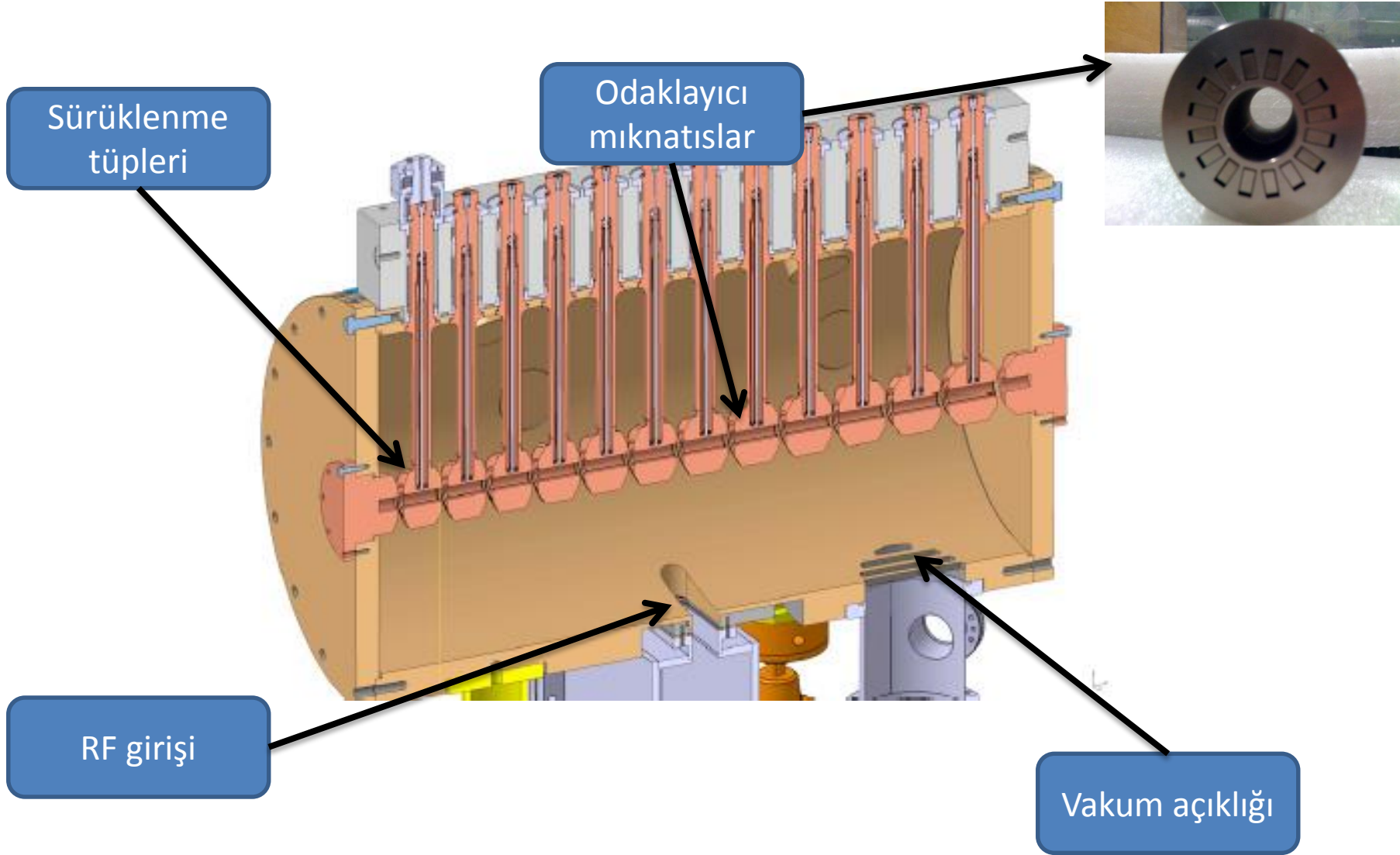
RF hızlandırıcılar



Sürüklenme tüplü doğrusal hızlandırıcı



DTL tankının bileşenleri

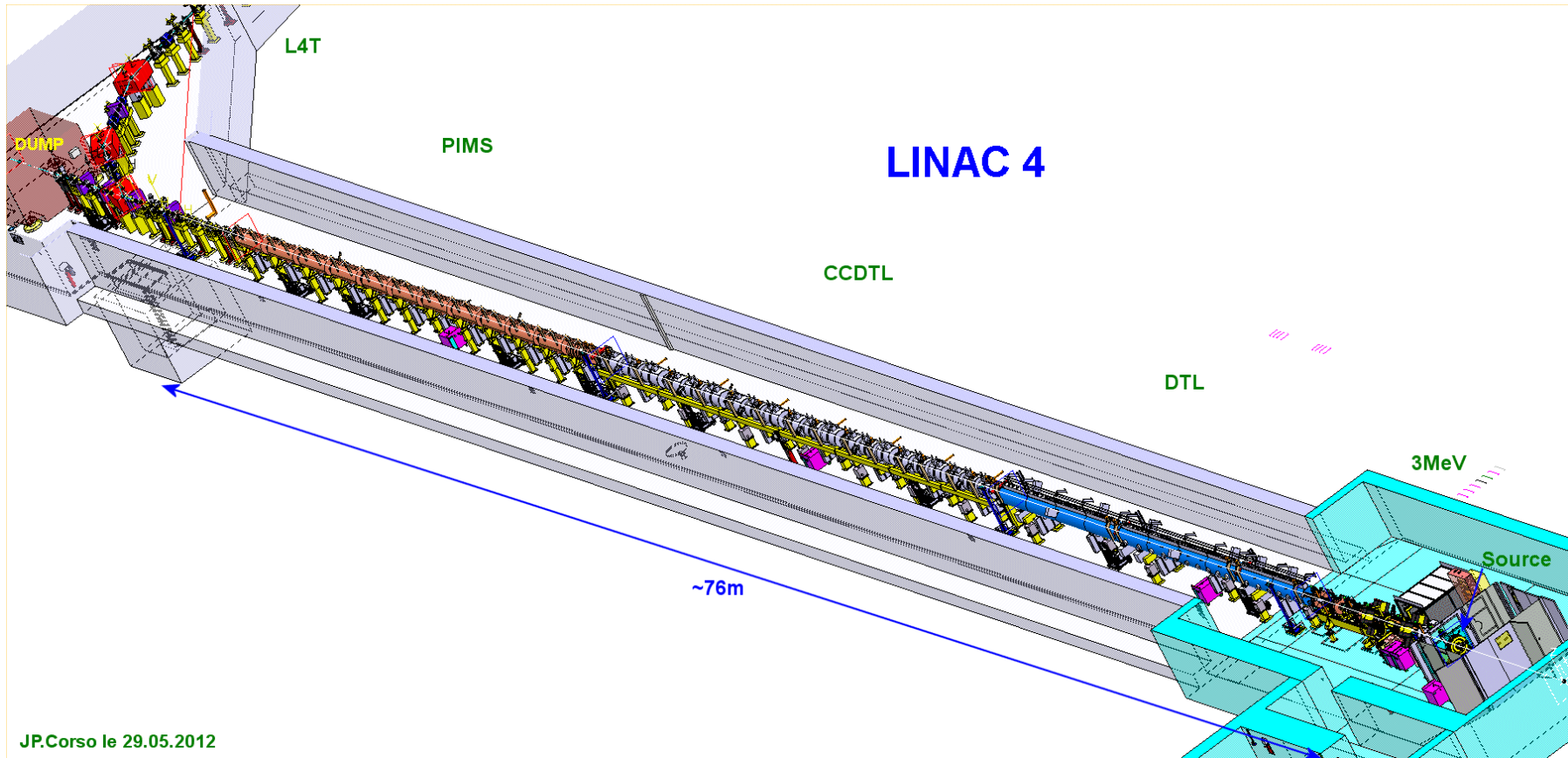


Lorentz kuvveti

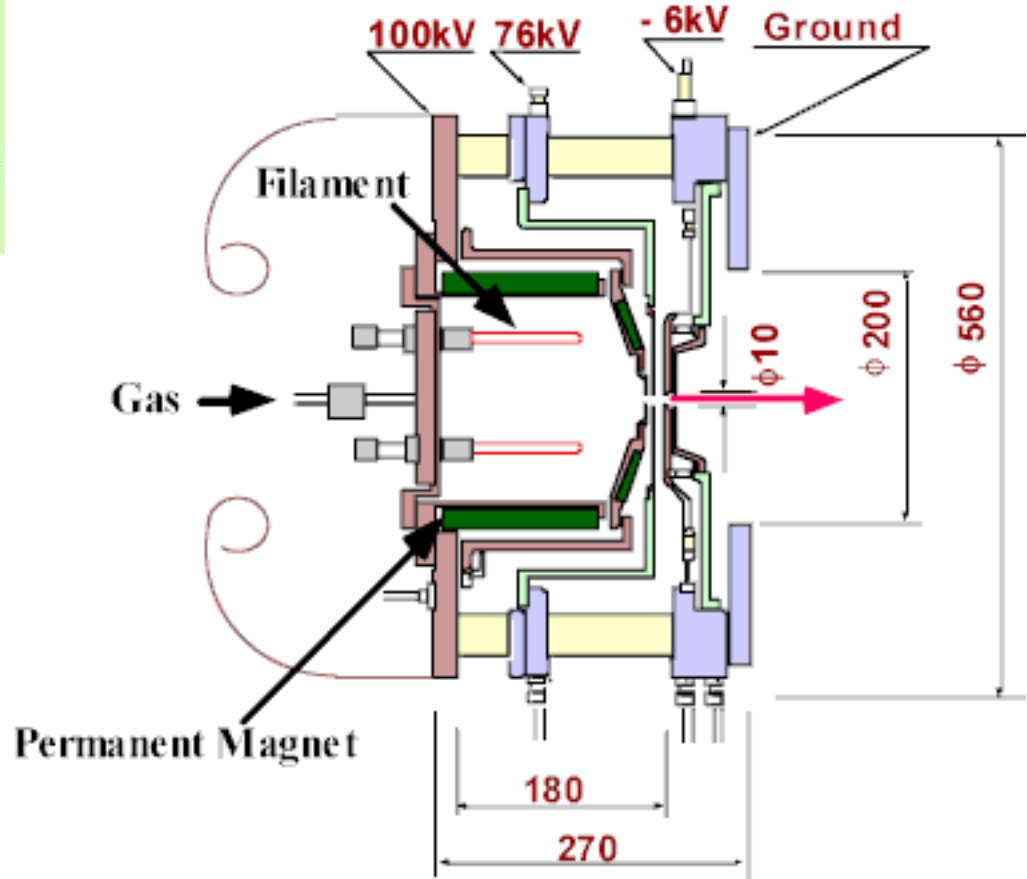
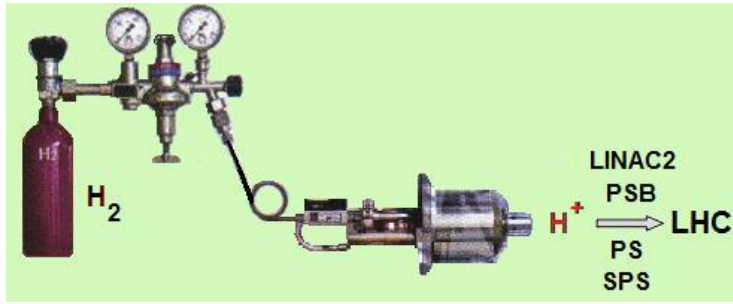
$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- $\vec{F} = q\vec{E} \rightarrow$ Sadece elektrik alan varsa (RF kovuklarında)
- $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \rightarrow$ Sadece manyetik alan varsa (miknatislarda)

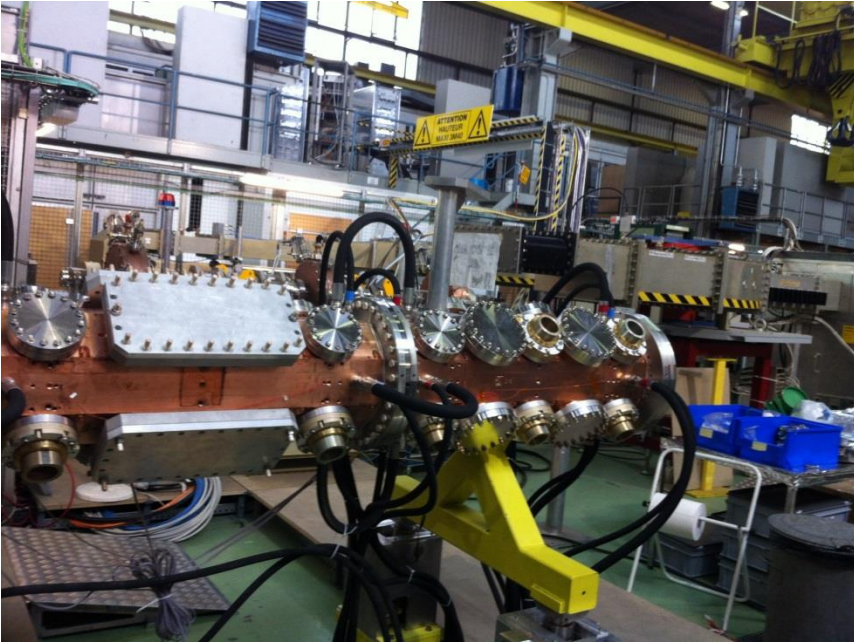
Farklı hızlarda farklı yapılar



İyon kaynakları-proton



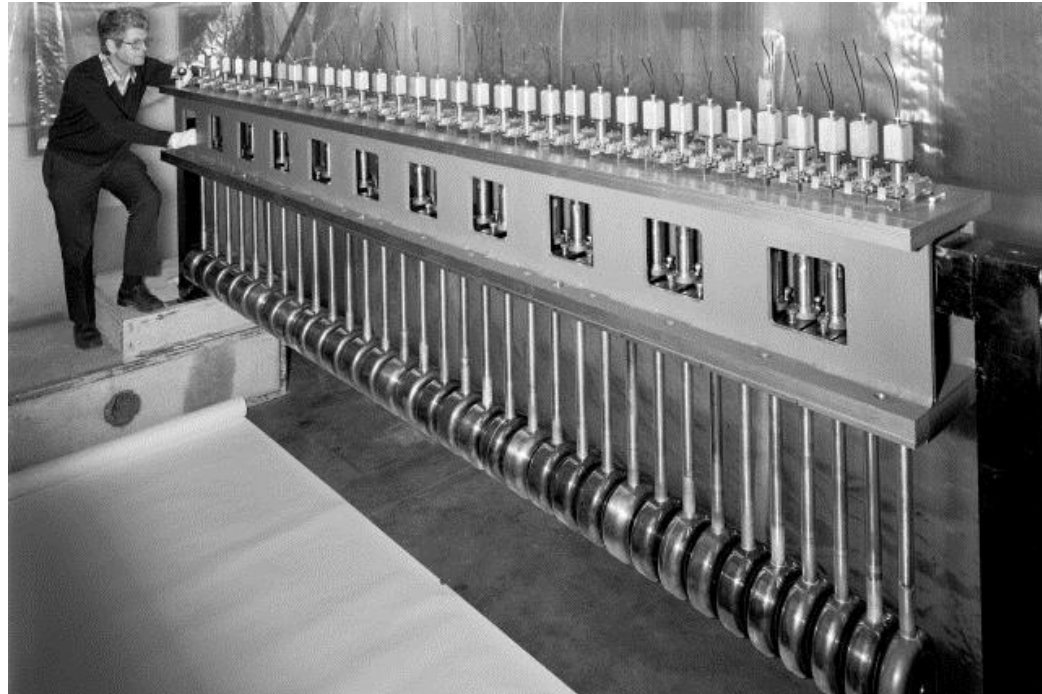
Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



RFQ 45keV \rightarrow 3MeV

DTL

- Linac: İngilizcede linac terimi sadece RF ile çalışan doğrusal hızlandırıcılar için kullanılır.
- **Alvarez DTL** (1948) ilk tiplerden. Genelde 3MeV-100MeV arasında proton ve H- iyonları için kullanılır.
 - Hala düşük enerjilerde (3MeV üstü 50MeV altı) en etkili hızlandırıcı yapısı.



DTL

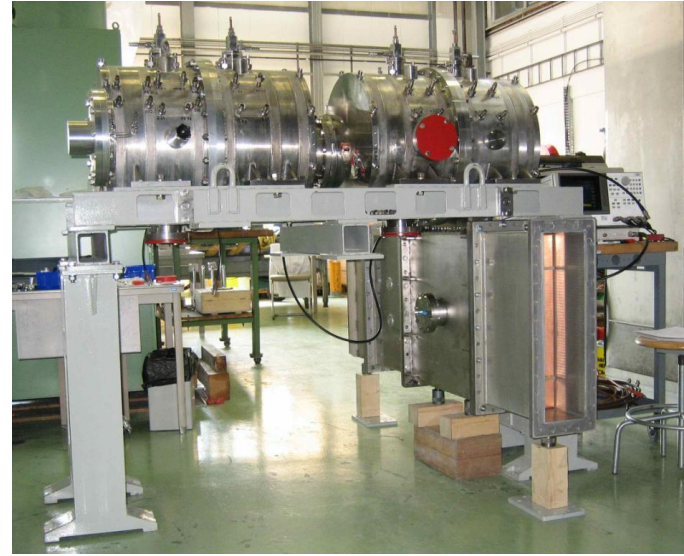
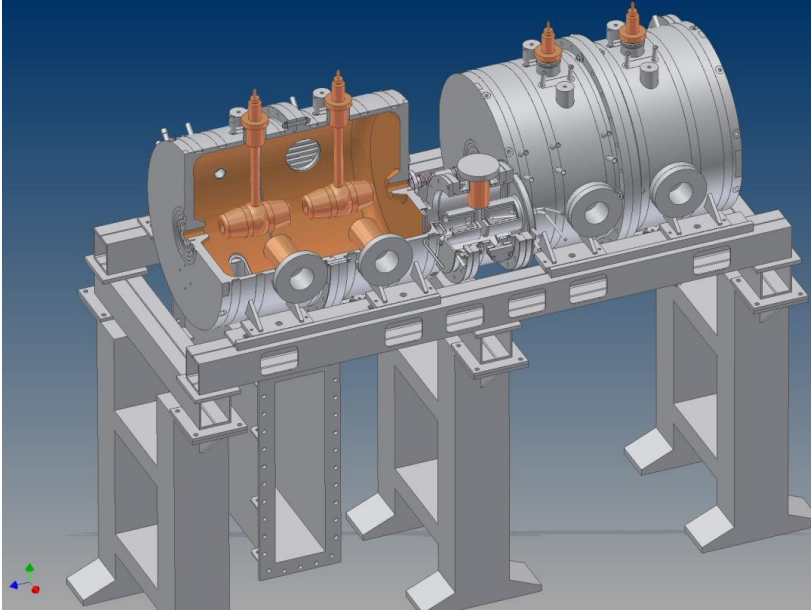


Linac4 DTL birinci tank



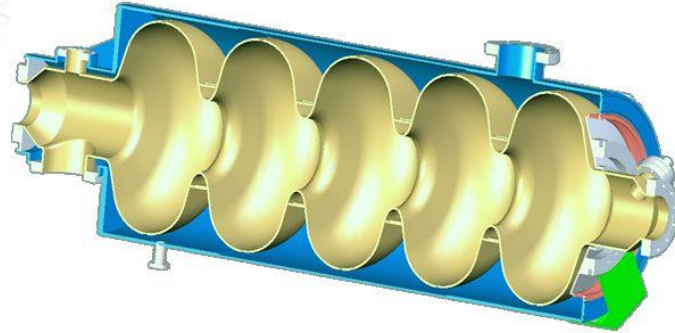
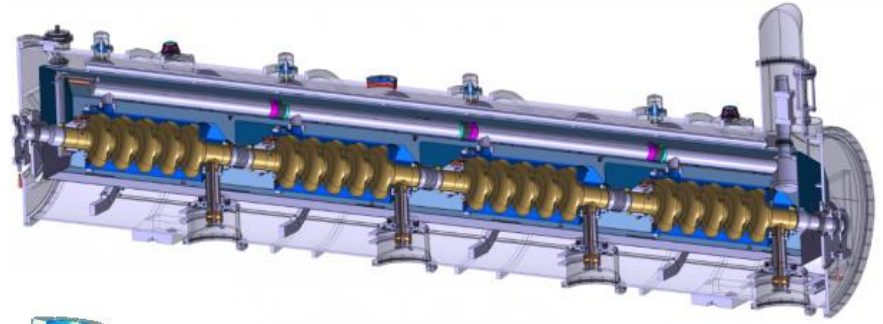
Linac2 DTL

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



CCDTL 50MeV →
100MeV

Süperiletken yapılar

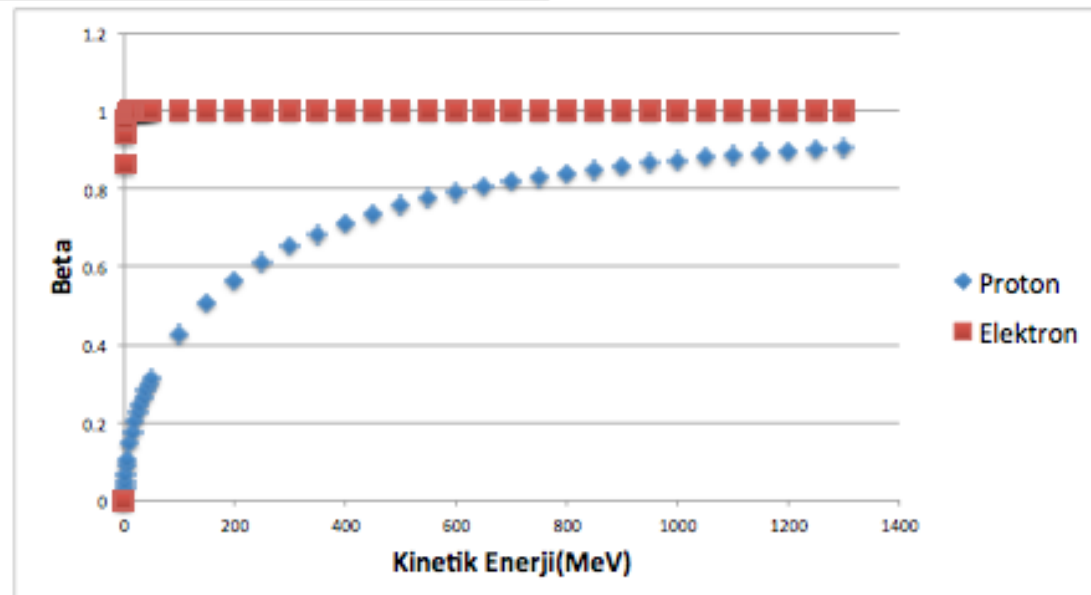
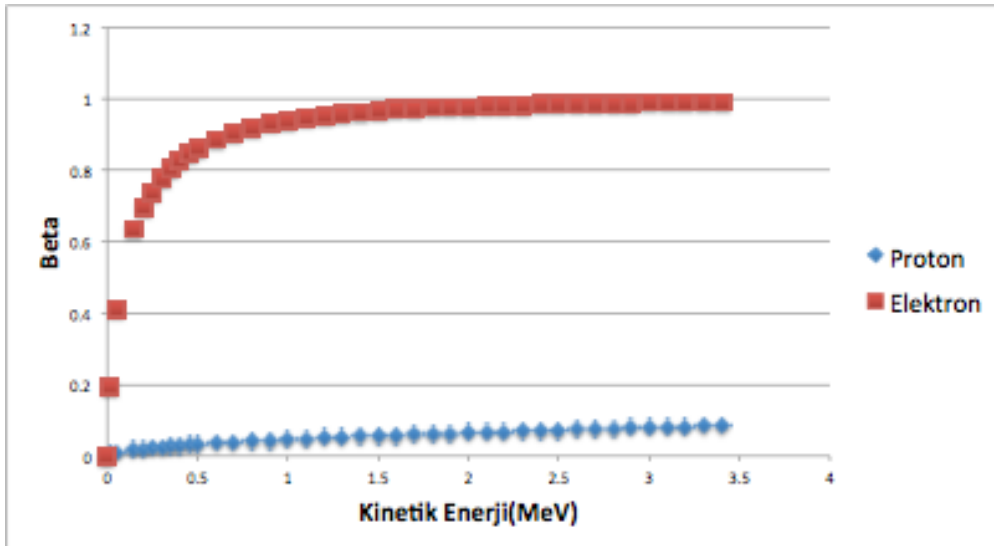


Süperiletken eliptik kovuklar → genelde yüksek enerjiler için

Elektron doğrusal hızlandırıcıları proton hızlandırıcılarından farklıdır

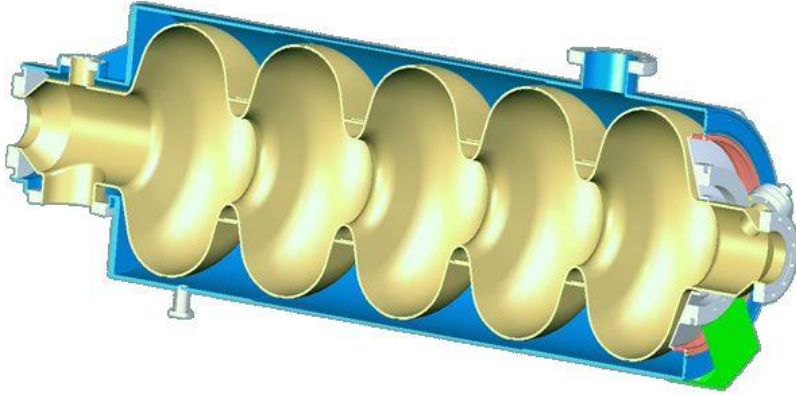
- Protonlarda genelde durağan dalga kovukları kullanılır
- Elektronlar hafif oldukları için çok çabuk relativistik hızlara çıkarlar. (kovuk tipinin seçiminde hız en önemli faktörlerden biridir).
- Elektron doğrusal hızlandırıcılarında yüksek frekanslar kullanılır (GHz mertebesinde)!
- Elektron hızlandırıcılarında genelde yürüyen dalga kovukları kullanılır.

Elektron vs. proton

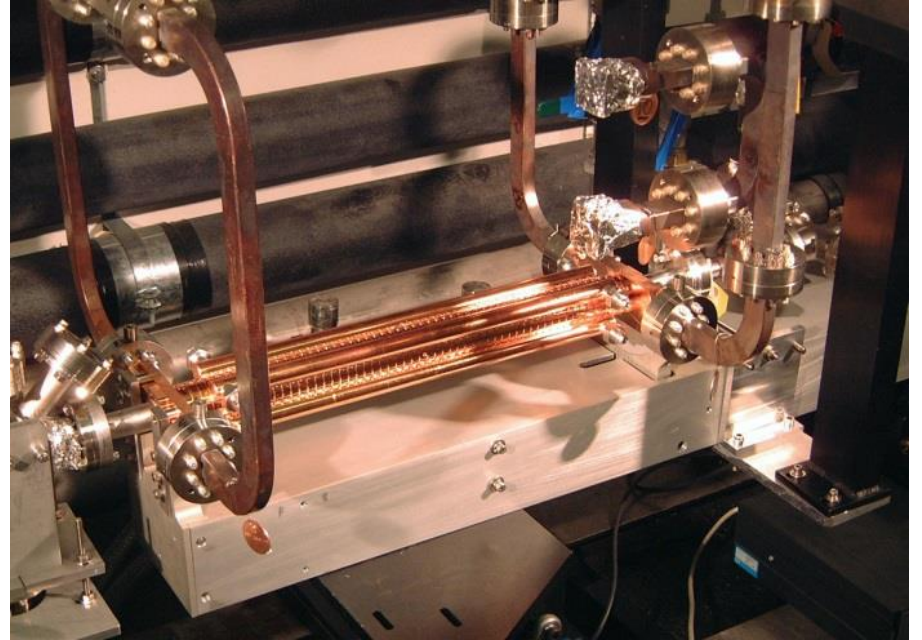


Durağan dalga ve yürüyen dalga kovukları

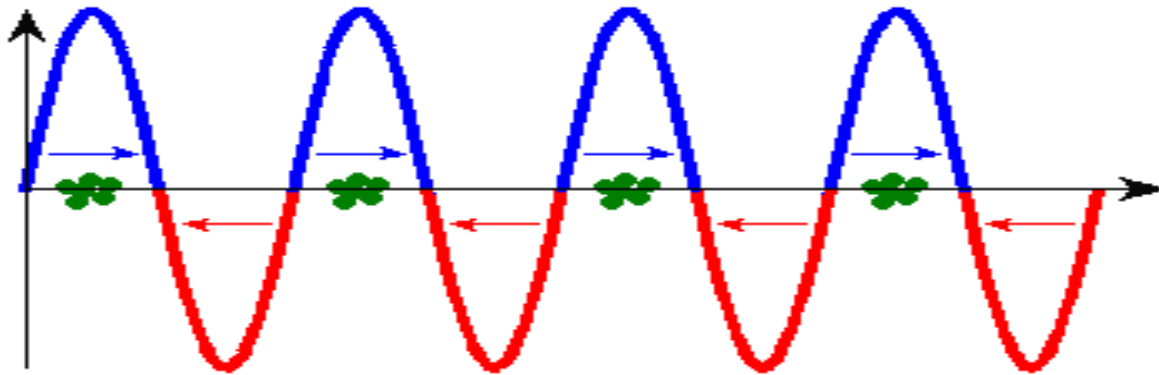
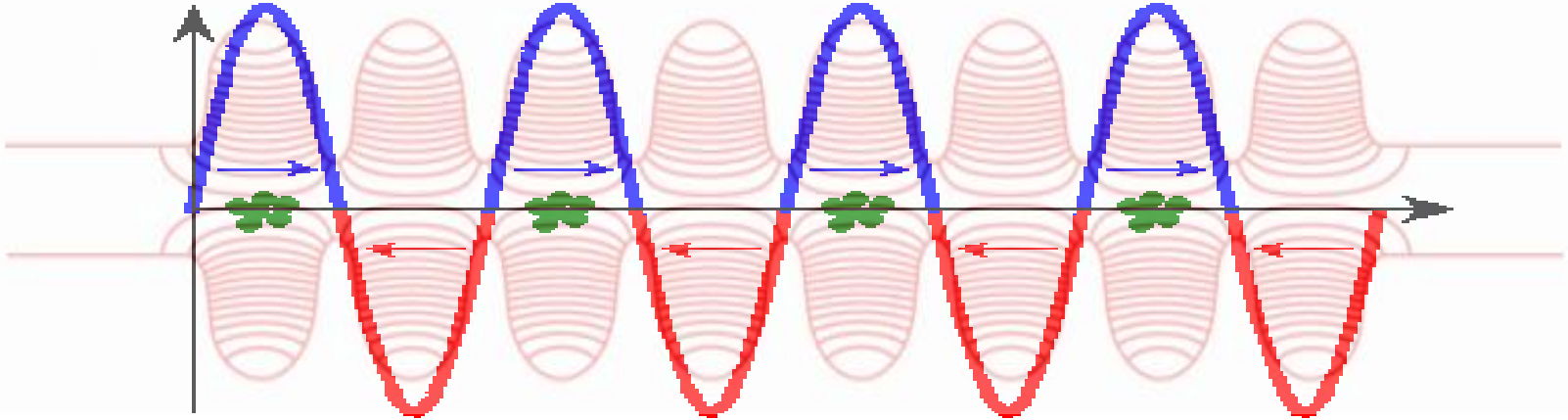
- Durağan dalga



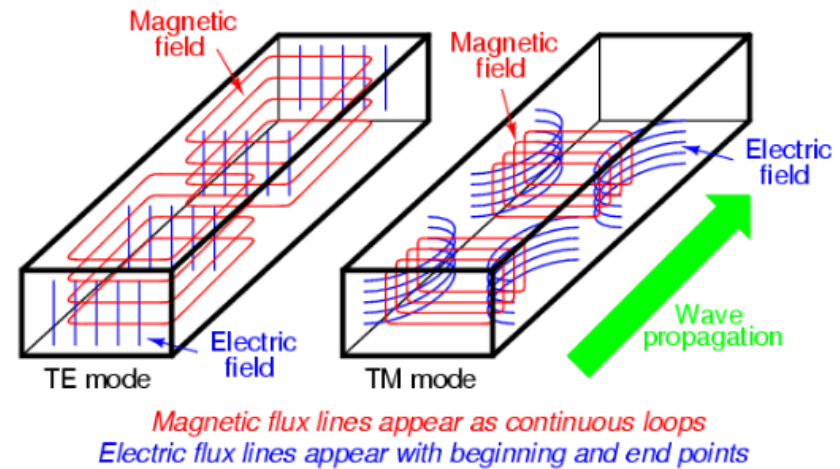
- Yürüyen dalga



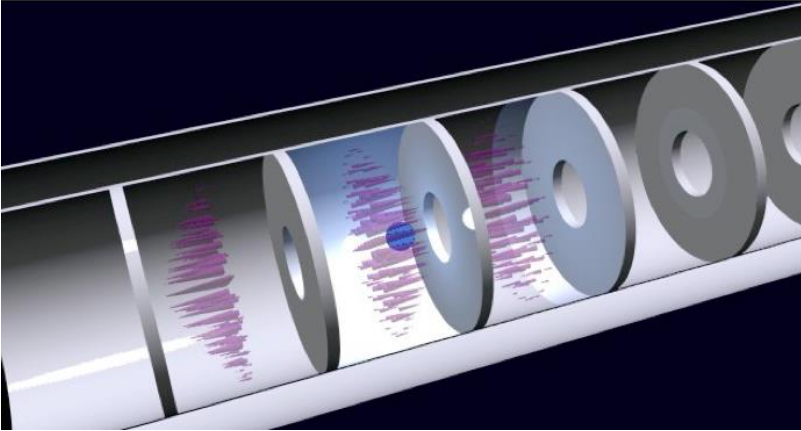
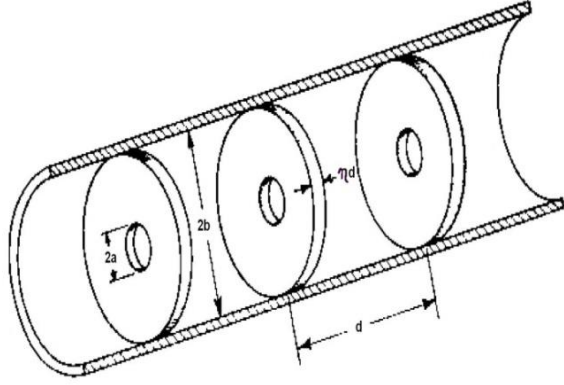
Duragan ve ilerleyen dalga ile hızlanma



Dalga klavuzu: RF üreticinden elektromanyetik dalgayı RF kovuğuna taşır



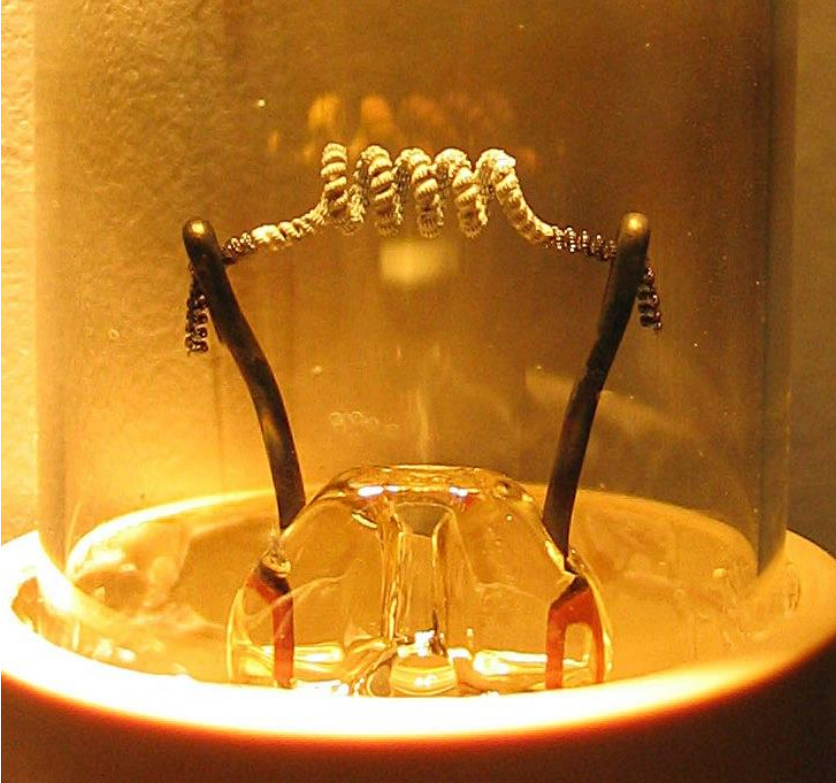
Yürüyen dalga kovukları



SPS

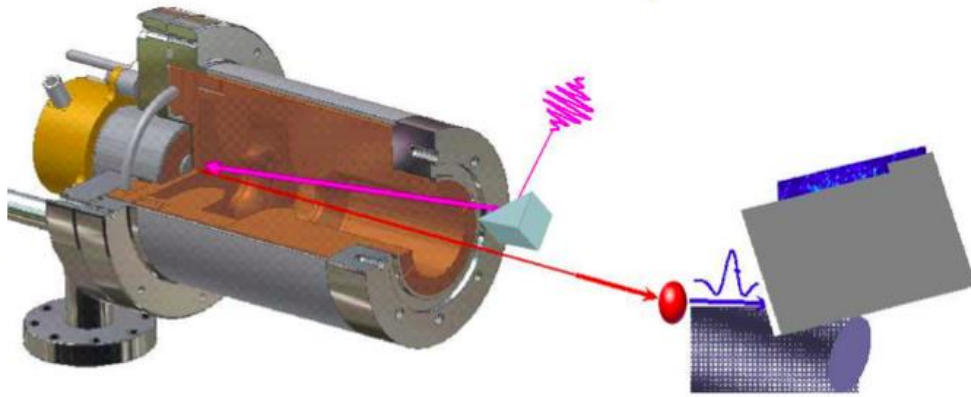
EM dalganın faz hızını azaltmak için silindirin içine diskler yerleştirilmiştir!!!

Elektron kaynakları



- Metalleri yüksek sıcaklıklara çıkarttığımızda elektron saçmaya başlarlar (thermionic emission)

Elektron kaynakları

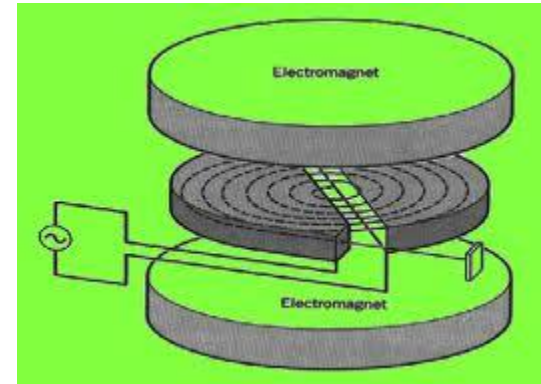
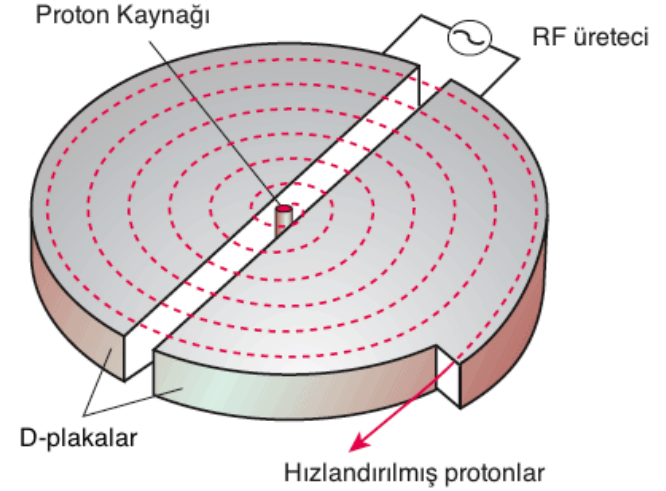


- Metallerin üzerine güçlü bir lazer gönderdiğimizde metaller elektron yayar.

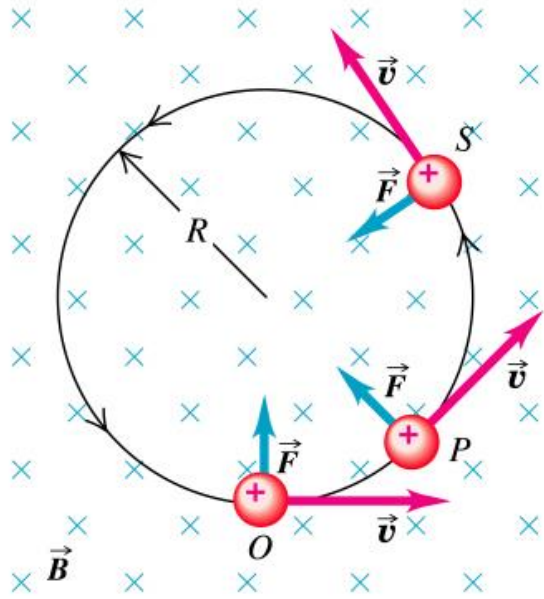
Dairesel hızlandırıcılar

Döndürgeç (cyclotron)

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



Döndürgeçte eşzamanlılık nasıl sağlanır?



- 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):

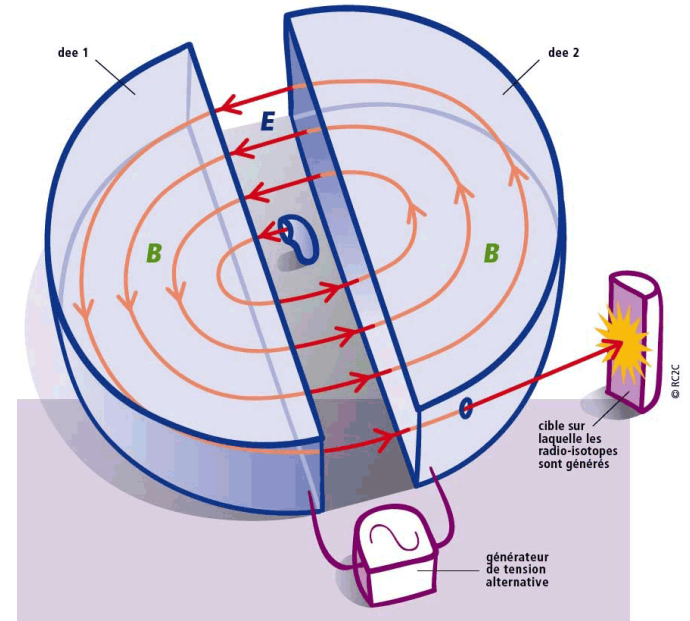
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Hızdan bağımsız: parçacıkların hızı artsa bile dönme frekansı değişmiyor.



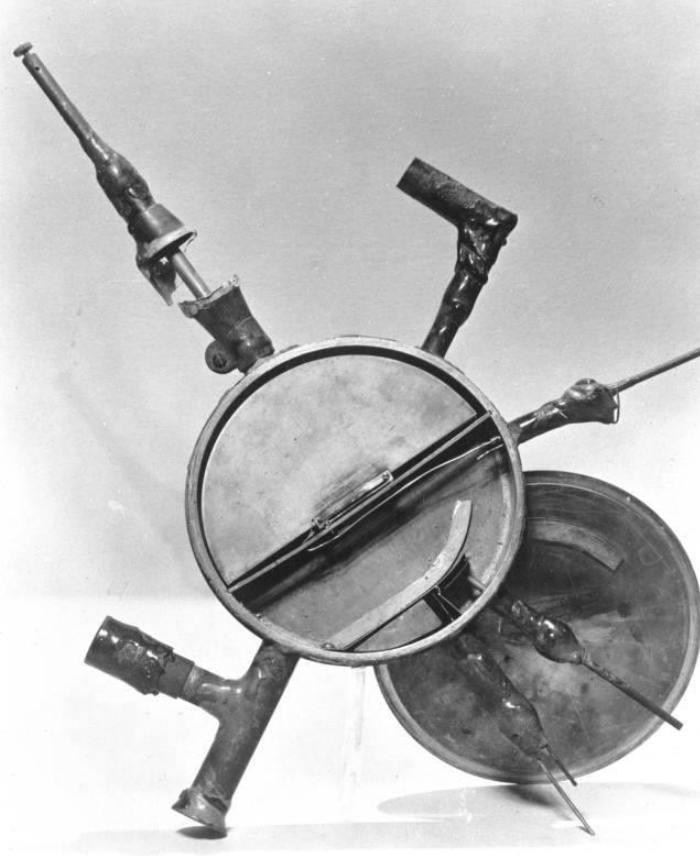
Döndürgeçte eşzamanlılık nasıl sağlanır?

- Parçacıkların dönme frekansına eşit bir frekansa sahip alternatif akım kaynağı kullanarak bu işi kıvırırız!
- Klasik formulleri kullandık!!!
- Yüksek hızlara çıkarsak üretcin frekansını parçacıkların hızına göre ayarlamamız gerekli.
- Parçacıkların dönme peridu artıyor. Eşzamanlılığı korumak için üretcin frekansı azaltılmalı.



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

İlk döndürgeç



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.

Parçacıklar aşağı yukarı hareket edip D lere çapmıyor mu?

Yandan görünüş!

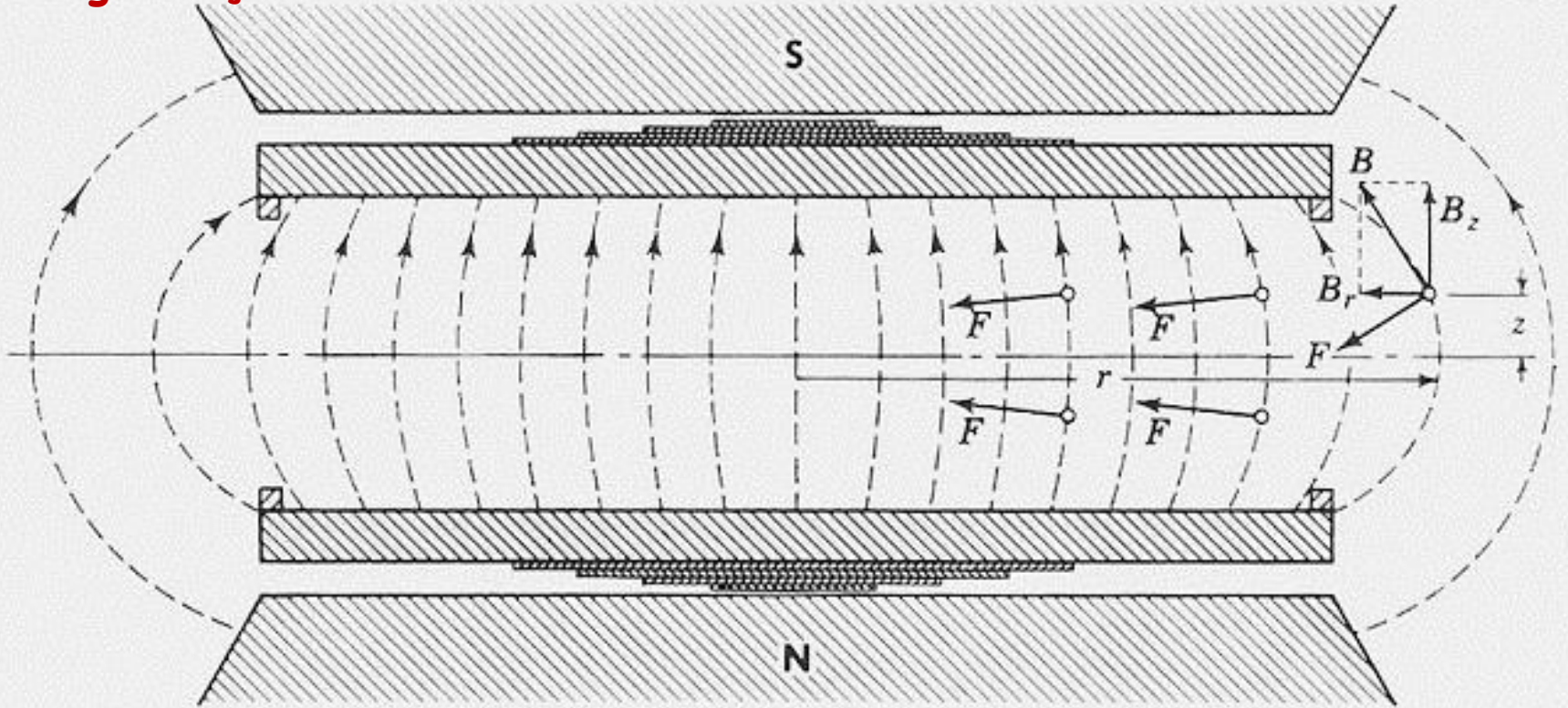


Fig. 6-7. Radially decreasing magnetic field between poles of a cyclotron magnet, showing shims for field correction.

Parçacıklar manyetik alan çizgilerinin şişkinliği sayesinde dikey eksende odaklanıyor!!!

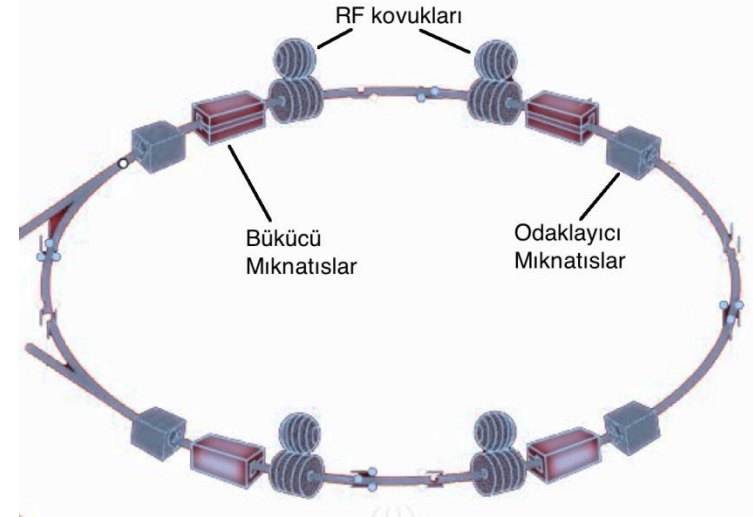
Döndürgeç örnekleri



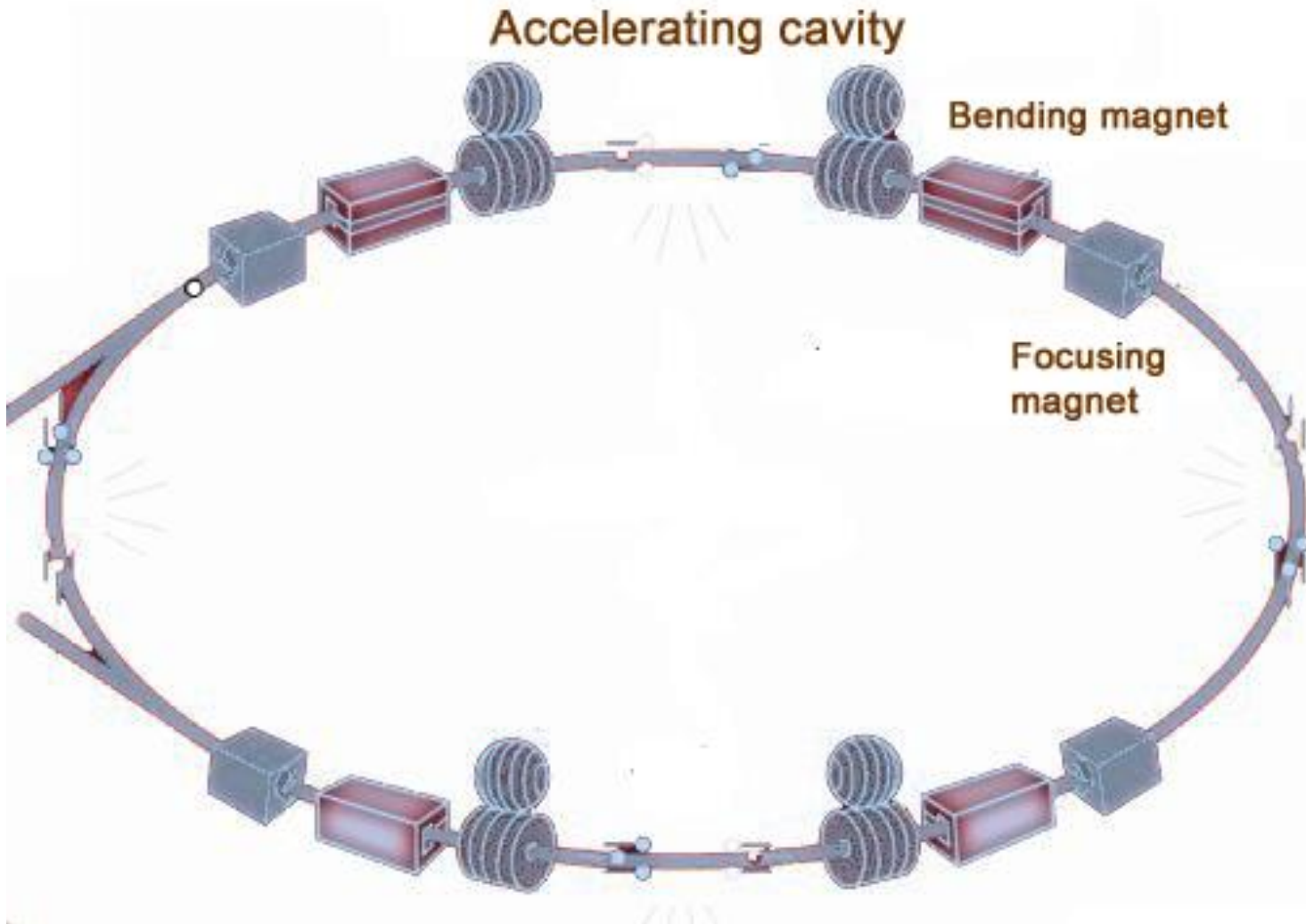
Medikal alanda (kanser terapisinde) kullanılan bir döndürgeç.

Eşzamanlayıcı(synchrotron)

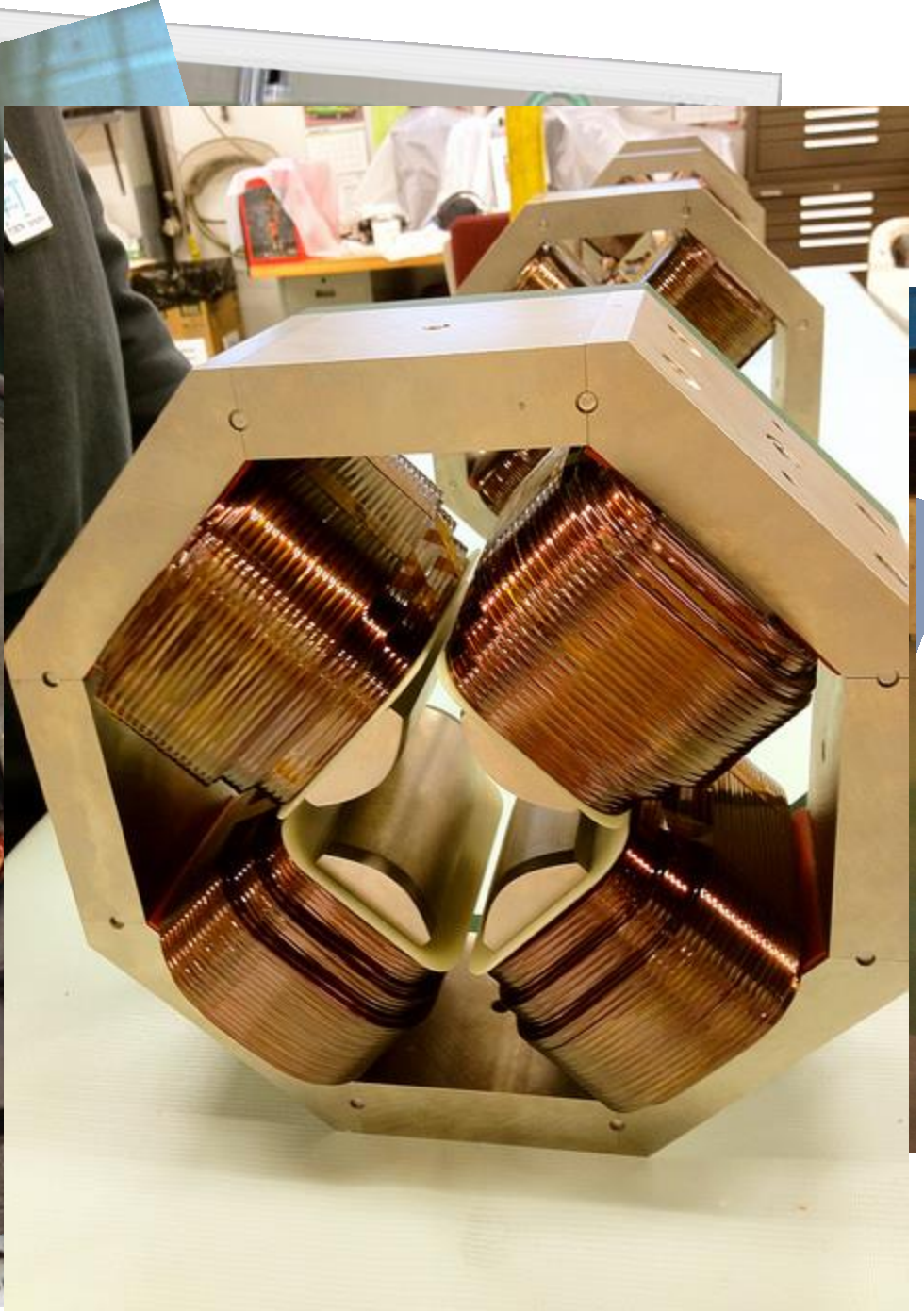
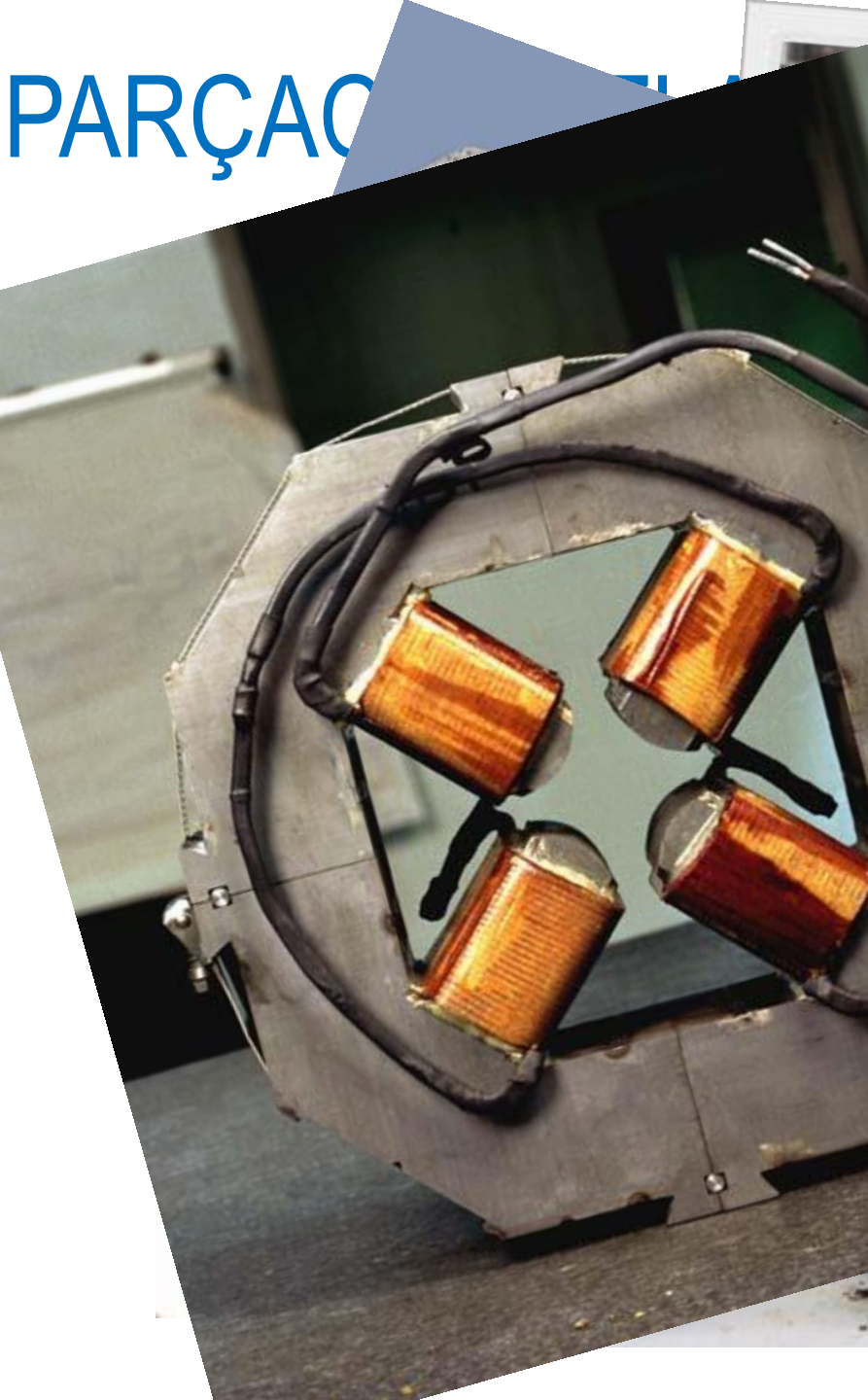
- Parçacıkları RF kovuklarında hızlandırıp bükücü mıknatıslar sayesinde sabit bir yörüngede tutan dairesel hızlandırıcı tipi.
- İlk elektron eşzamanlayıcısı: 1945
- İlk proton eşzamanlayıcısı: 1952
- LHC: En büyük en güçlü eşzamanlayıcı!!!
- Eşzamanlayıcı ile parçacıkları diğer hızlandırıcılara göre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



PARÇACIK HIZLANDIRICILARI

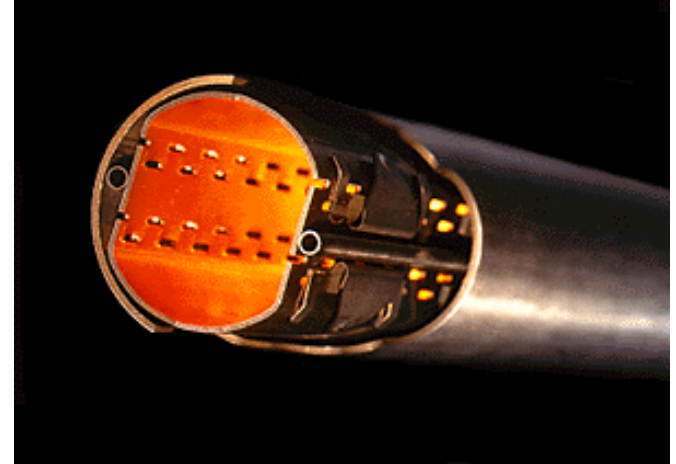


PARÇAO



4-kutuplular ile odaklama

- Hızlandırılan parçadık demetindeki parçacıklar aynı yüklü olduğu için birbirine itme kuvveti uygular.
- Bu itme kuvveti sebebiyle demet dikine eksende yayılmaya başlar.
- Parçacıkların demet borusuna çarpmaması için odaklanması gerekir!!!

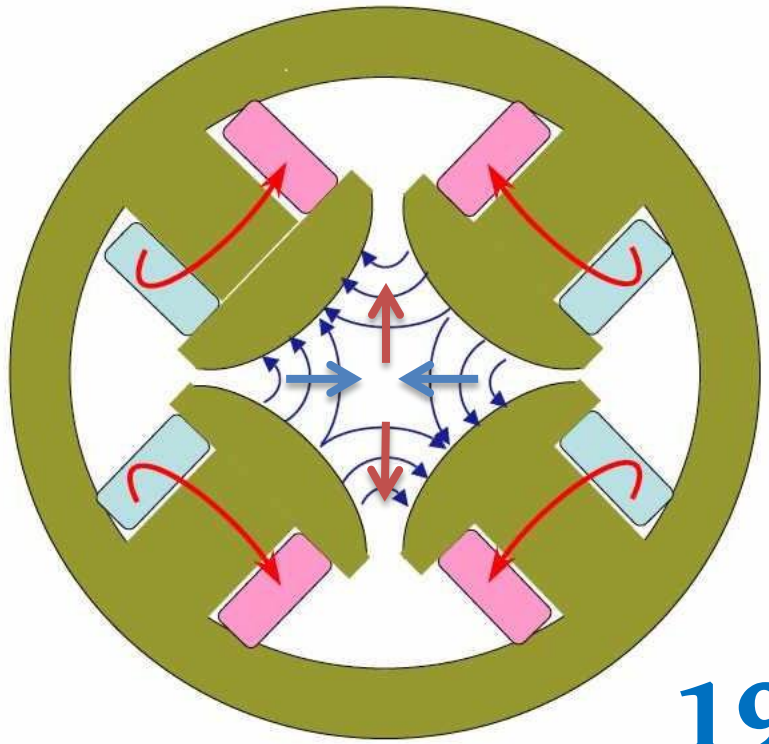
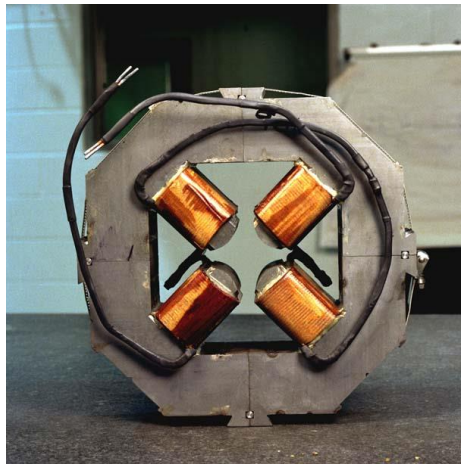


4-kutuplular ile odaklama

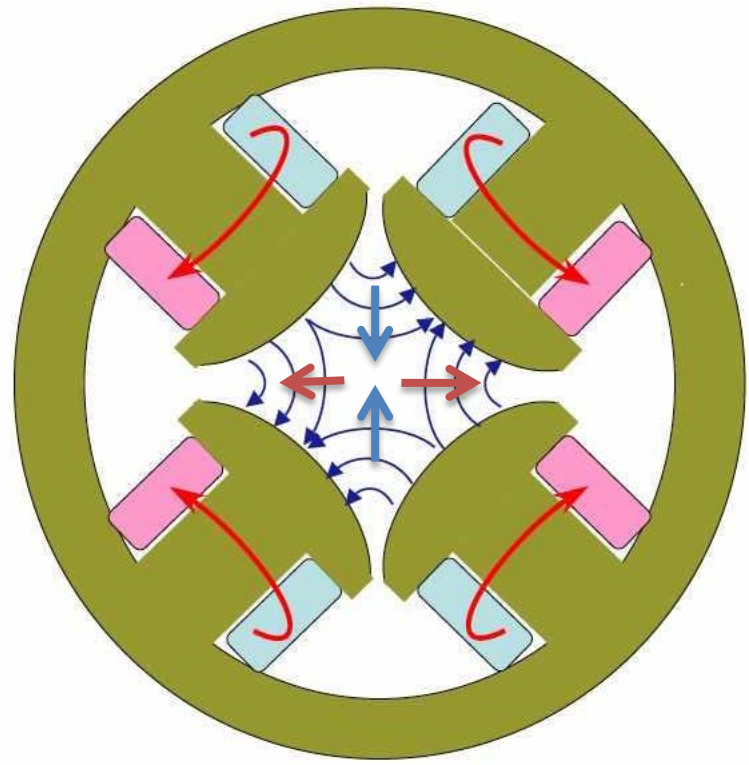
Sadece manyetik alan varsa

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \mathbf{E})$$

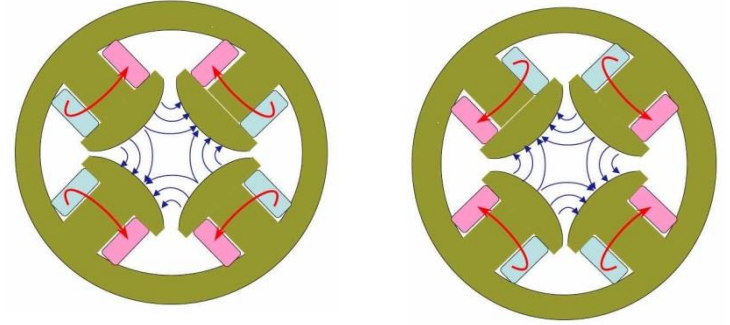
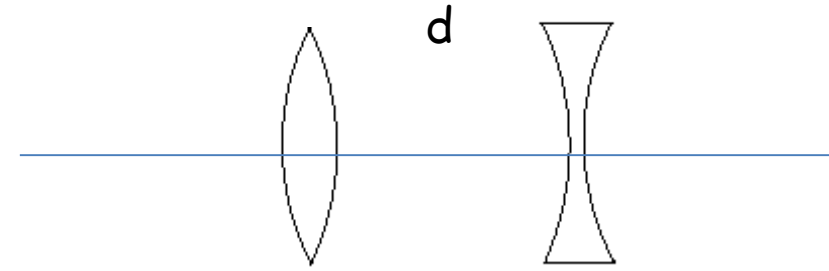
$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



1952



4-kutuplular ile odaklama



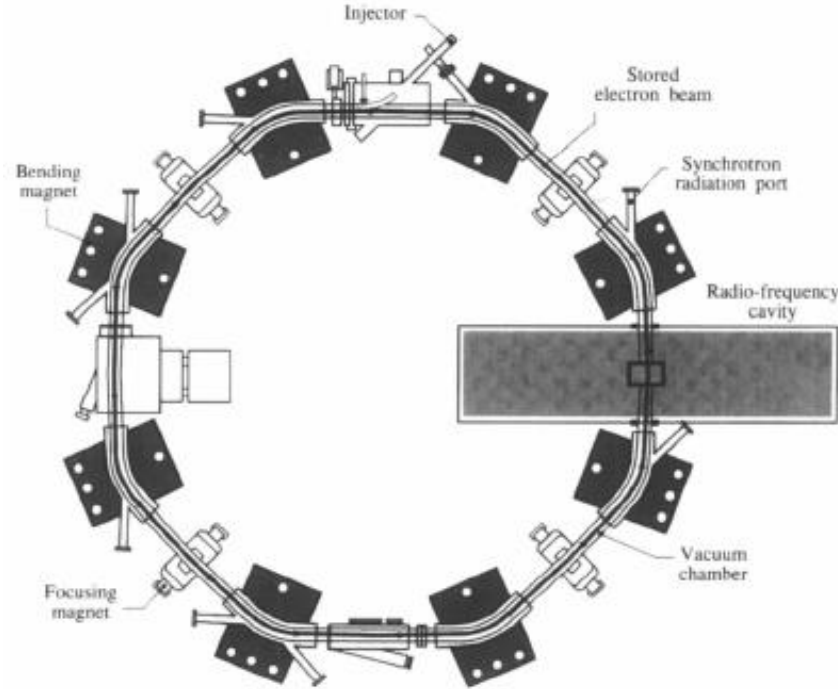
- Odak uzaklıkları aynı (f) olan bir ince kenarlı ve bir kalın kenarlı merceği arka arkaya koyarsak aradaki uzaklık $d < f$ şartını sağladığı sürece bu iki merceğin yaptığı toplam etki odaklayıcıdır!!!
- Hızlandırıcılarda birbiri ardına gelen 4-kutuplu mıknatıslar birbirine göre 90 derece döndürülmüştür.

Parçacıklar ile RF elektrik alanının eşzamanlılığı

- Parçacıkların değişen elektrik alanlar ile eşzamanlılığını sağlamak için parçacıkların (hızlandırıcı etrafında) dönme frekansı ve RF frekansı arasında bir ilişki olmalı.

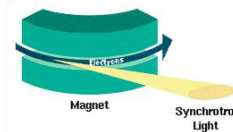
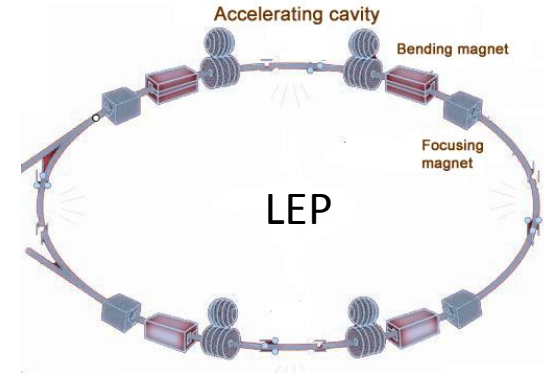
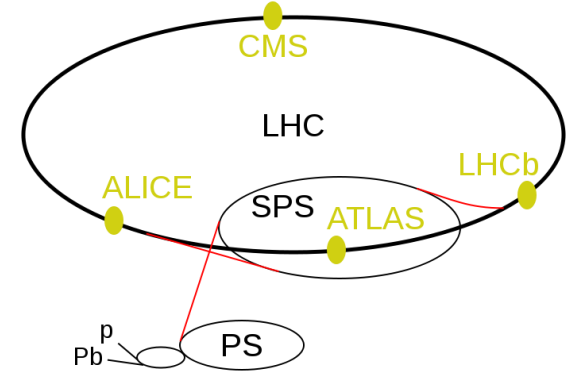
$$f_{RF} = h * f_{dönme}$$

- Parçacıklar hızlandırıldıkça:
 - Bükücü mıknatısların manyetik alanları arttırılır.
 - RF kovuklarındaki RF alanların frekansı arttırılır.
- RF kovuklarının frekansını belirli aralıkta değiştirebiliriz. Bu sebeple eşzamanlılardan önce parçacıkları belirli bir enerjiye çıkartmak için doğrusal hızlandırıcı bulunur.



Eşzamanlayıcıların limiti

- Proton eşzamanlayıcıların parçacıkları çıkarabileceği maksimum enerji bükücü mıknatıslara bağlıdır.
- RF kovuklarından parçacıkları birçok kez geçirip hızlandırabilirim fakat parçacıkları bükecek güçte mıknatısa sahip değilsem parçacıklar demet borusuna çarparlar.
- Elektron eşzamanlayıcılarının limiti eşzamanlayıcı ışınımı sebebi ile daha düşüktür.
 - Yüklü bir parçacık ivmelendiği anda ışınım yaparak enerjisinin bir kısmını elektromanyetik dalga olarak etrafa yayar.
 - Düşük kütleli parçacıklar daha fazla ışınım yapar



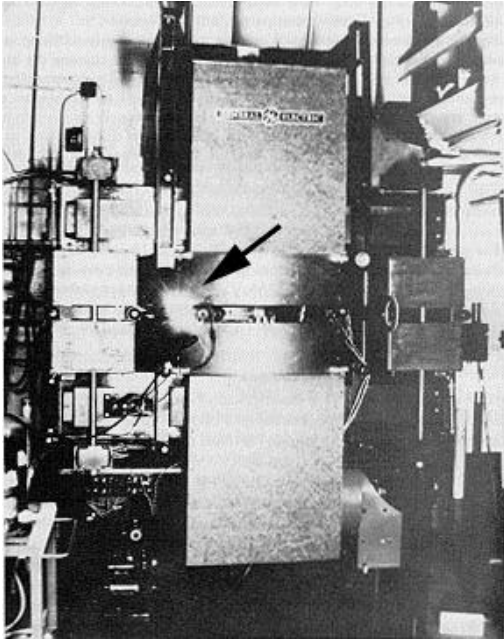
Eşzamanlayıcı ışınımı



General Electrics (1947)



Günümüzde elektron eşzamanlayıcıları ile eşzamanlayıcı ışınması elde eden birçok merkez var!!!



70-MeV elektron eşzamanlayıcısı

Teşekkürler!

Sorular ?

