

Hızlandırıcı Fiziği-2

Veli YILDIZ
(Veliko Dimov)
30.07.2014

İçerik

- 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

RF doğrusal hızlandırıcılar

- Parçacıklar hızlandırıcı içerisinde sadece bir kez geçer. Bu sebeple kısa mesafede olabildiğince çok hızlandırmaya çalışıyoruz.
- Arka arkaya dizilmiş RF kovuklarından oluşur.
- RF kovukları arasında veya içerisinde demeti odaklamak için mıknatıslar bulunur.
- Parçacıkların hızlarına göre kullanılan RF kovuğu yapısı ve frekansı değişir.

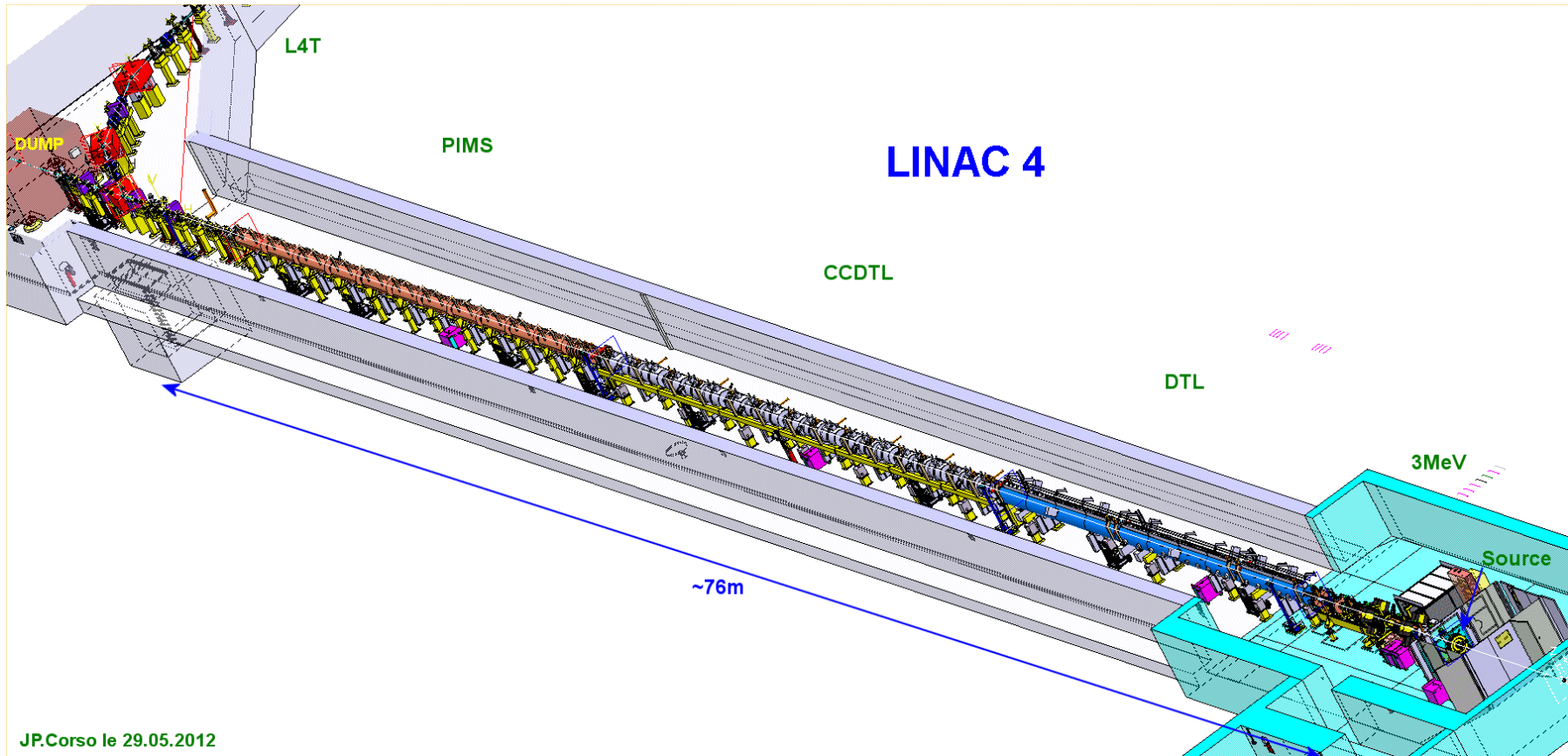
Soğutma

Vakum

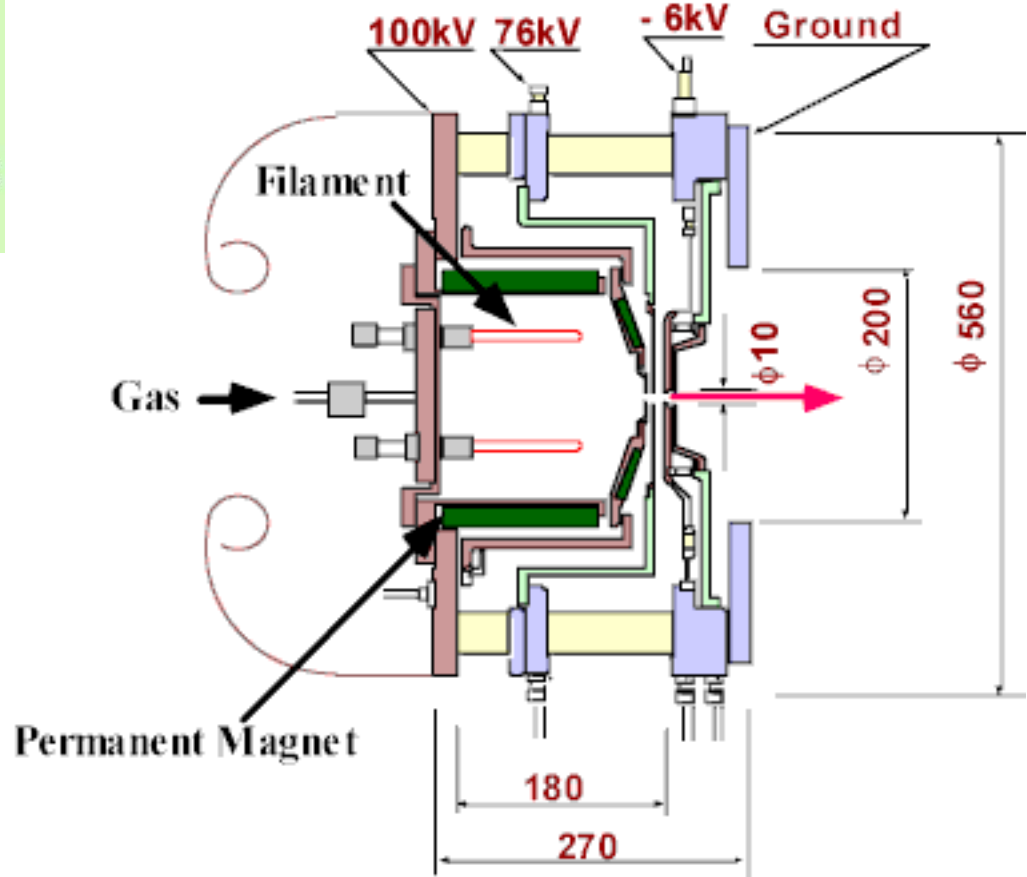
RF



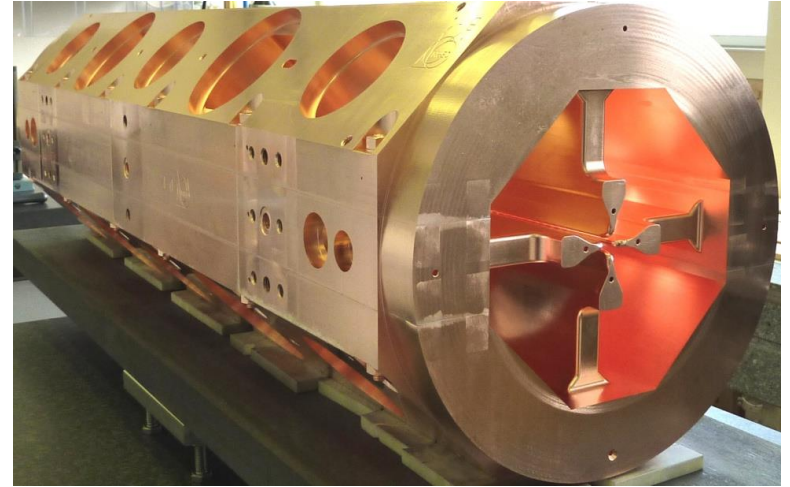
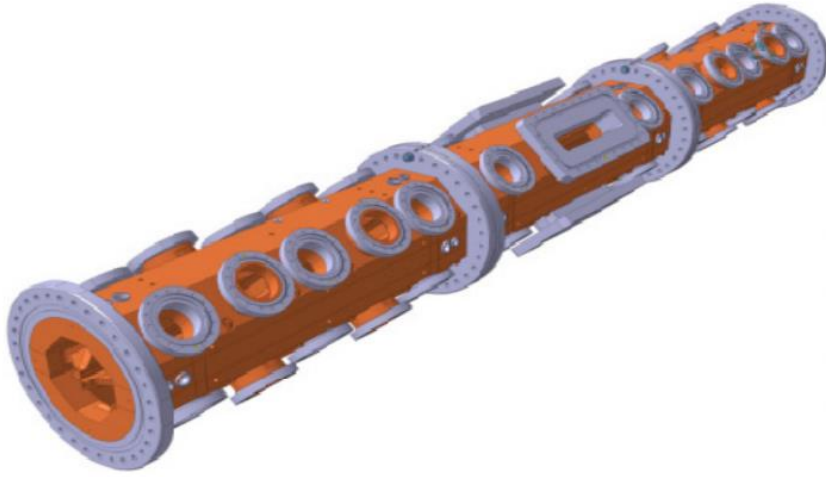
Farklı hızlarda farklı yapılar



İyon kaynakları-proton

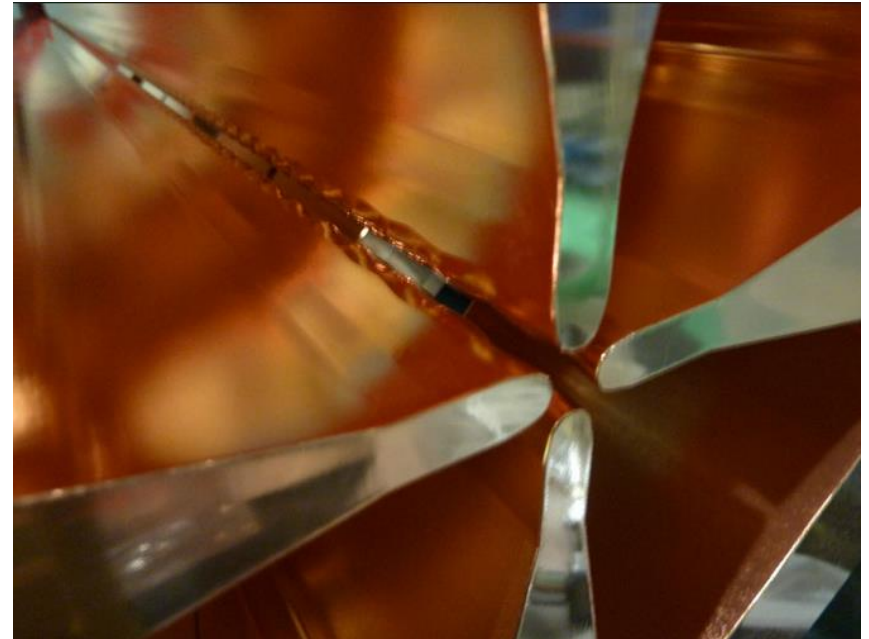
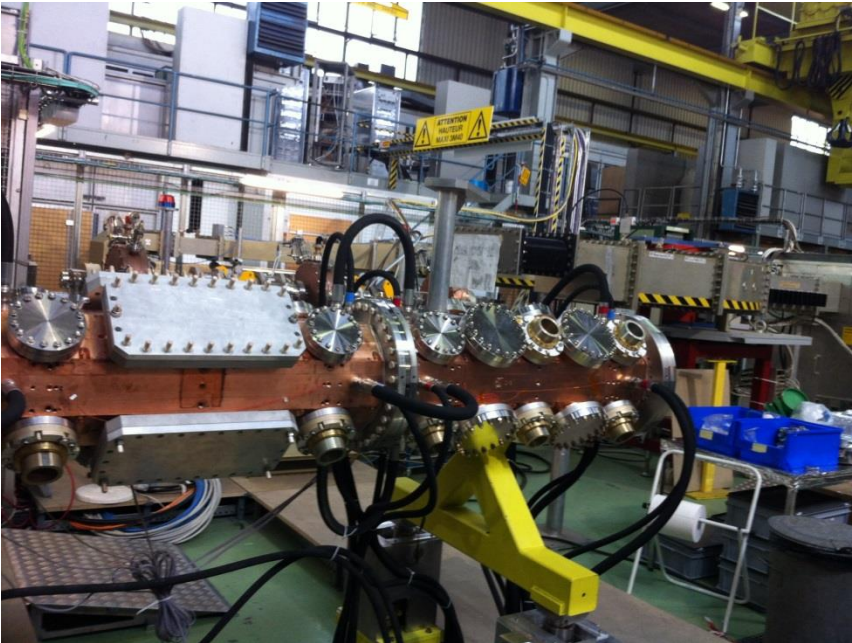


Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



RFQ 45keV \rightarrow 3MeV

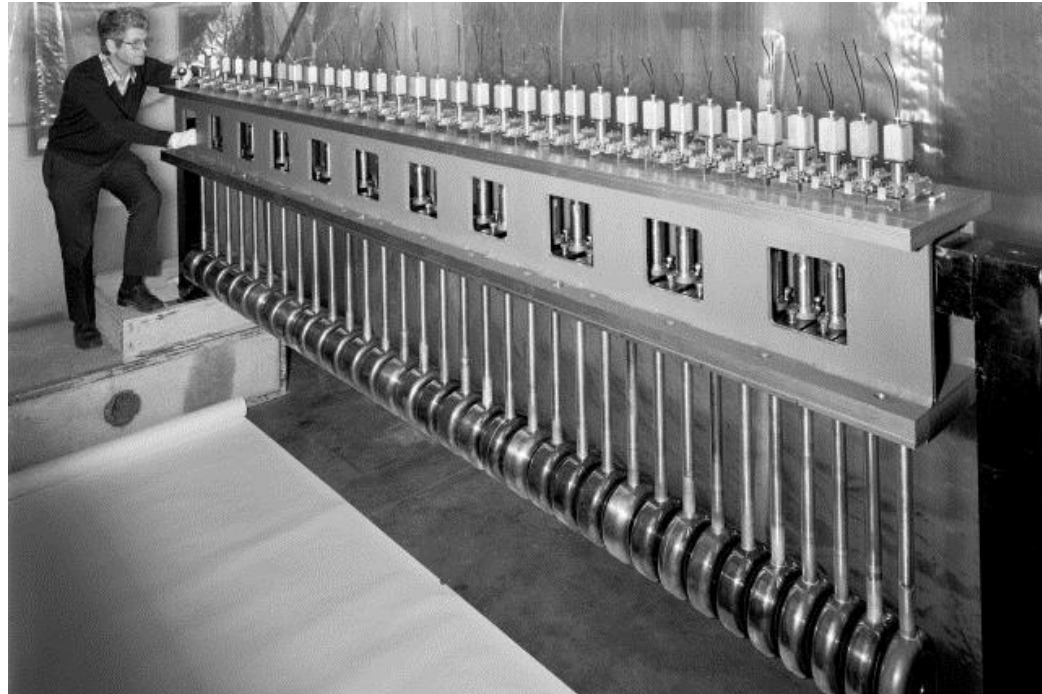
Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



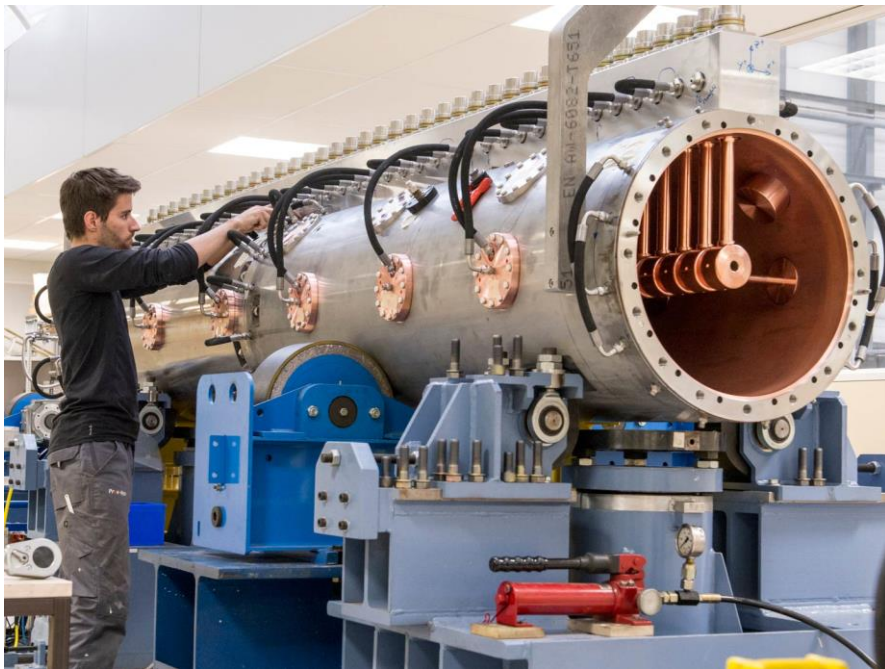
RFQ 45keV \rightarrow 3MeV

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

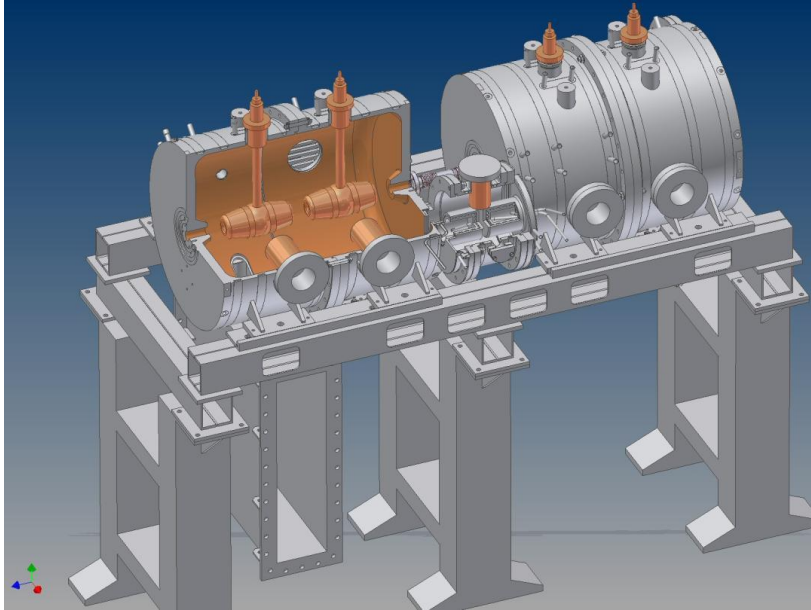


Linac4 DTL birinci tank



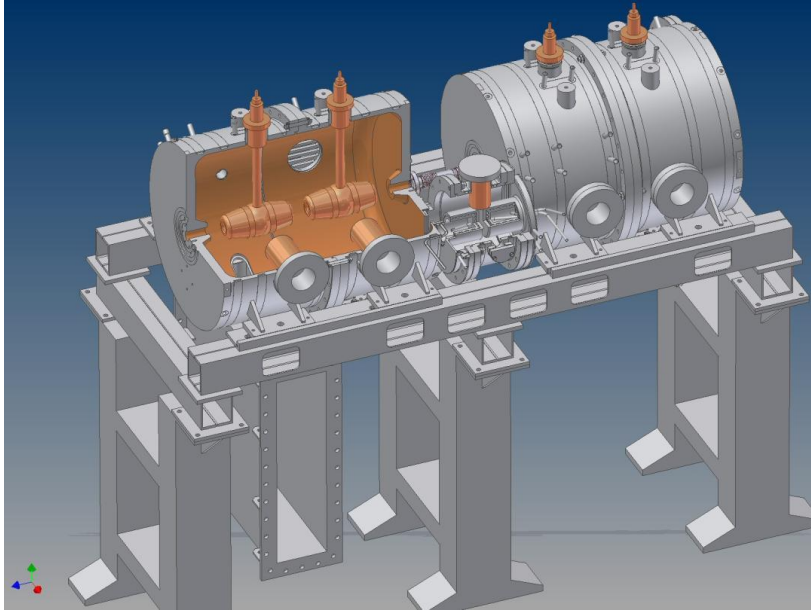
Linac2 DTL

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



CCDTL 50MeV \rightarrow 100MeV

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



CCDTL 50MeV \rightarrow 100MeV

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



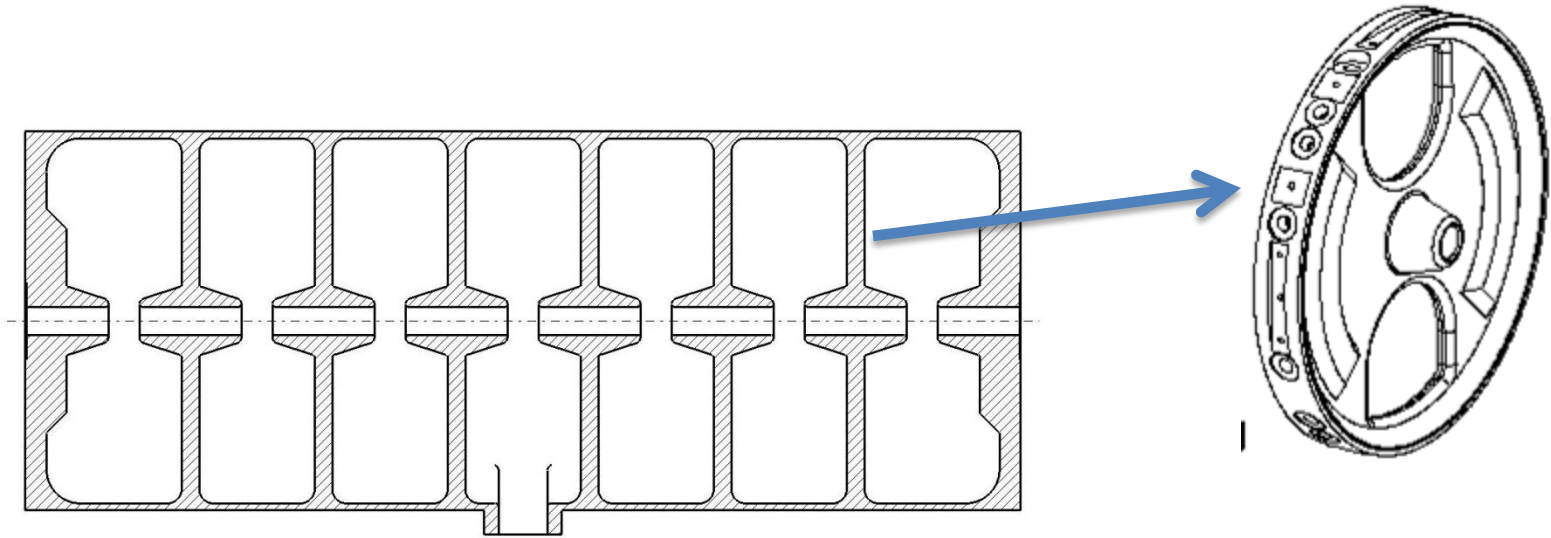
CCDTL 50MeV \rightarrow 100MeV

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



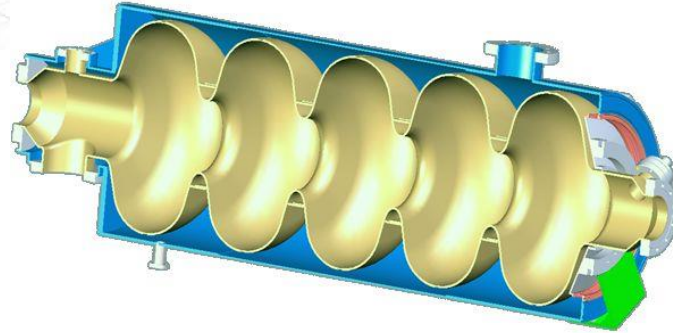
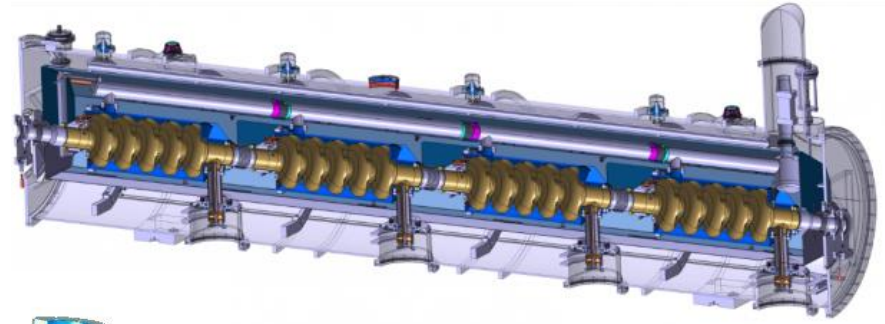
PIMS 100MeV \rightarrow 160MeV

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



PIMS 100MeV \rightarrow 160MeV

Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



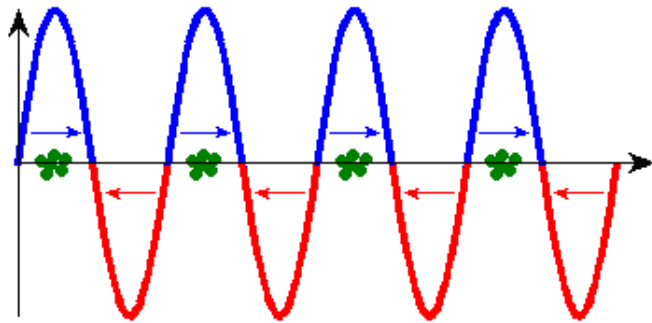
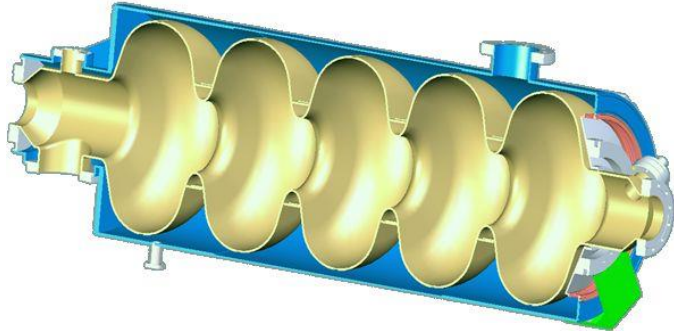
Süperiletken eliptik kovuklar → yüksek enerjiler için

Elektron doğrusal hızlandırıcıları proton hızlandırıcılarından farklıdır

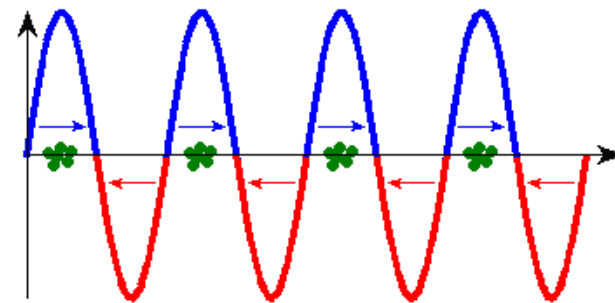
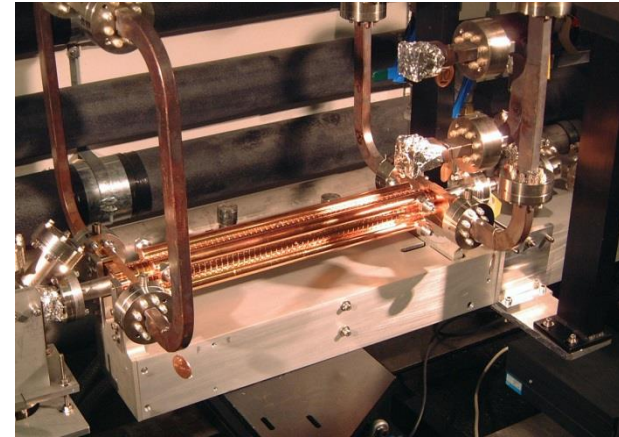
- Protonlarda genelde durağan dalga kovukları kullanılır
- Elektronlar hafif oldukları için çok çabuk relativistik hızlara çıkarlar. (Hatırlayalım: kovuk tipinin seçiminde hız en önemli faktörlerden biridir).
- Elektron linaclarda yüksek frekanslar kullanılır (GHz mertebesinde)!
- Elektronlar için şunlar kullanılabilir:
 - Davul kovuklar (bir hızlanma boşluğuna sahip)
 - Süper iletken eliptik kovuklar
 - Yürüyen dalga kovukları

Durağan dalga ve yürüyen dalga kovukları

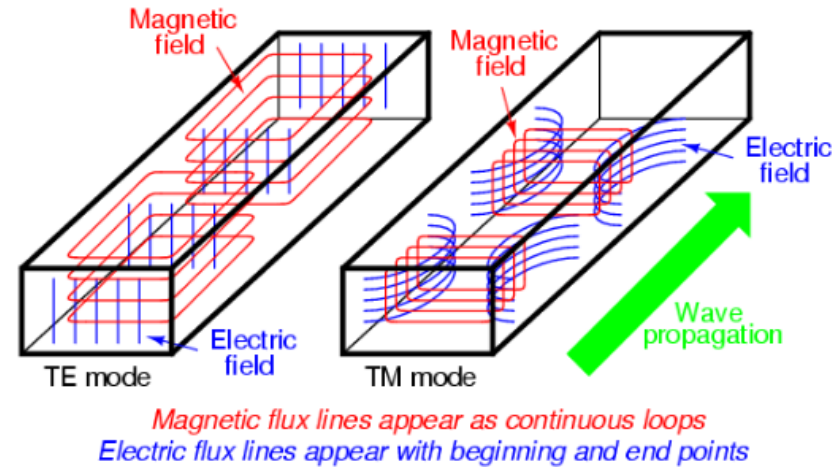
- Durağan dalga



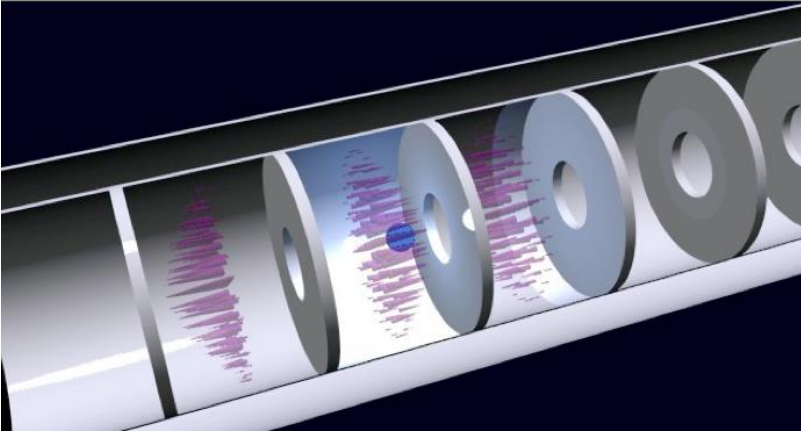
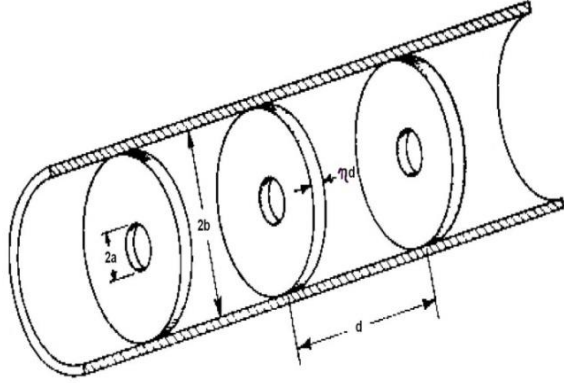
- Yürüyen dalga



Dalga klavuzu: RF üreticinden elektromanyetik dalgayı RF kovuğuna taşır



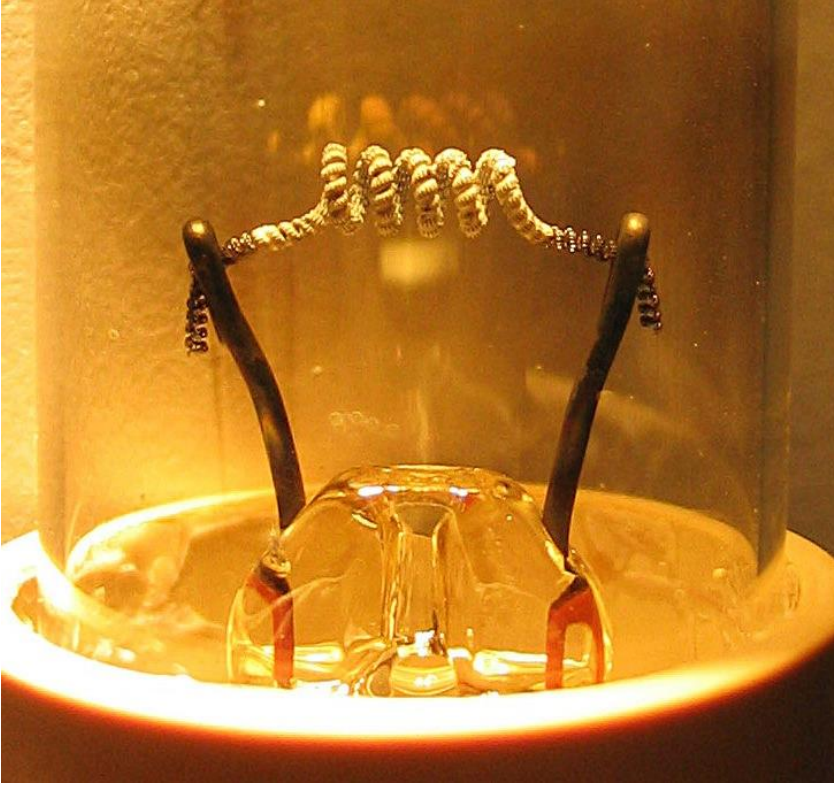
Yürüyen dalga kovukları



SPS

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

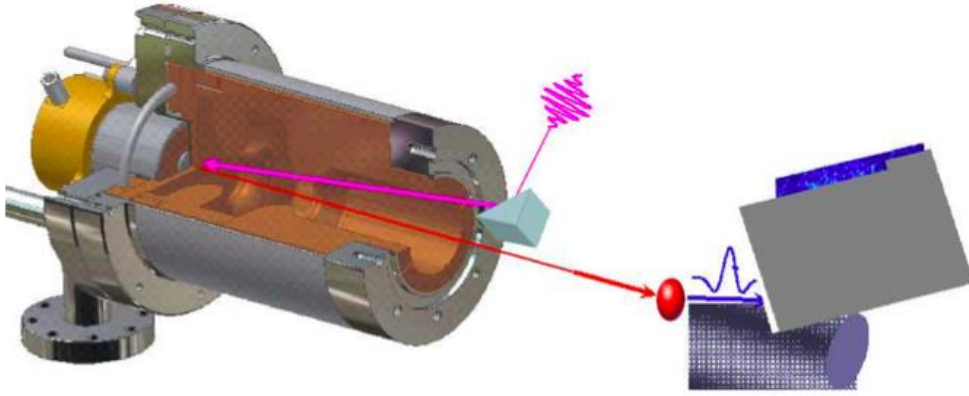
İyon kaynakları-elektron



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

İyon kaynakları-elektron

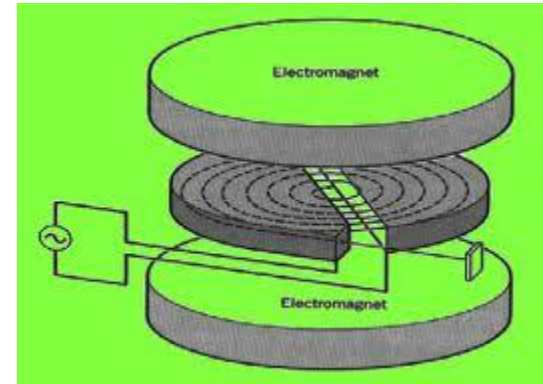
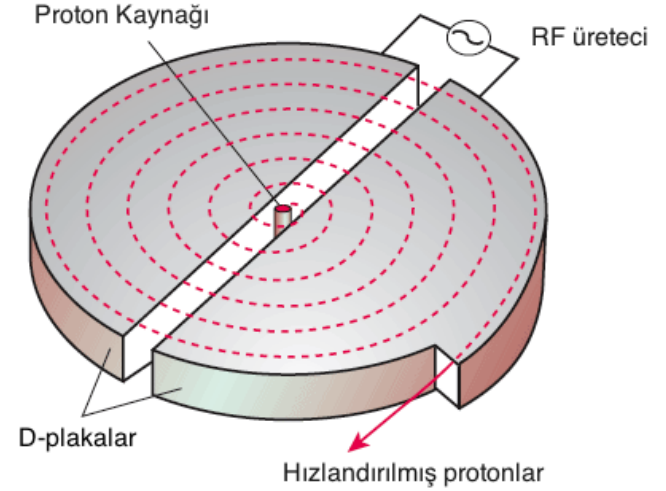
- Metellerin üzerine güçlü bir lazer gönderdiğimizde metaller elektron yayar.



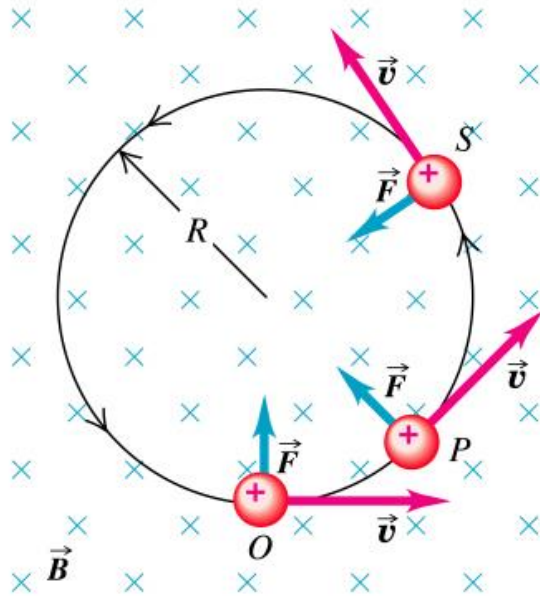
Dairesel hızlandırıcılar

Döndürgeç

- D şeklinde metal levhalar arasında elektrik alanda 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):

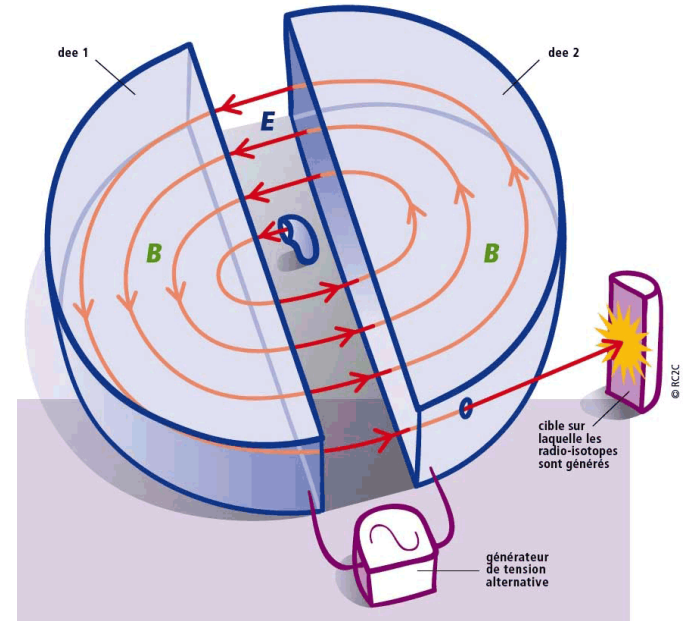
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Hızdan bağımsız: parçacıkların hızı artsa bile dönme frekansı değişmiyor.



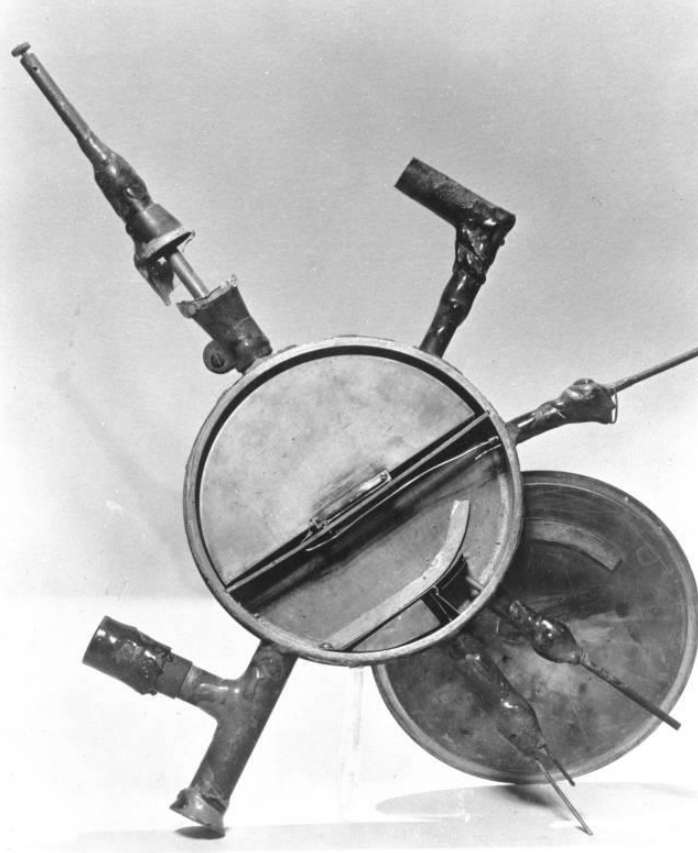
Döndürgeçte eşzamanlılık nasıl sağlanır?

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

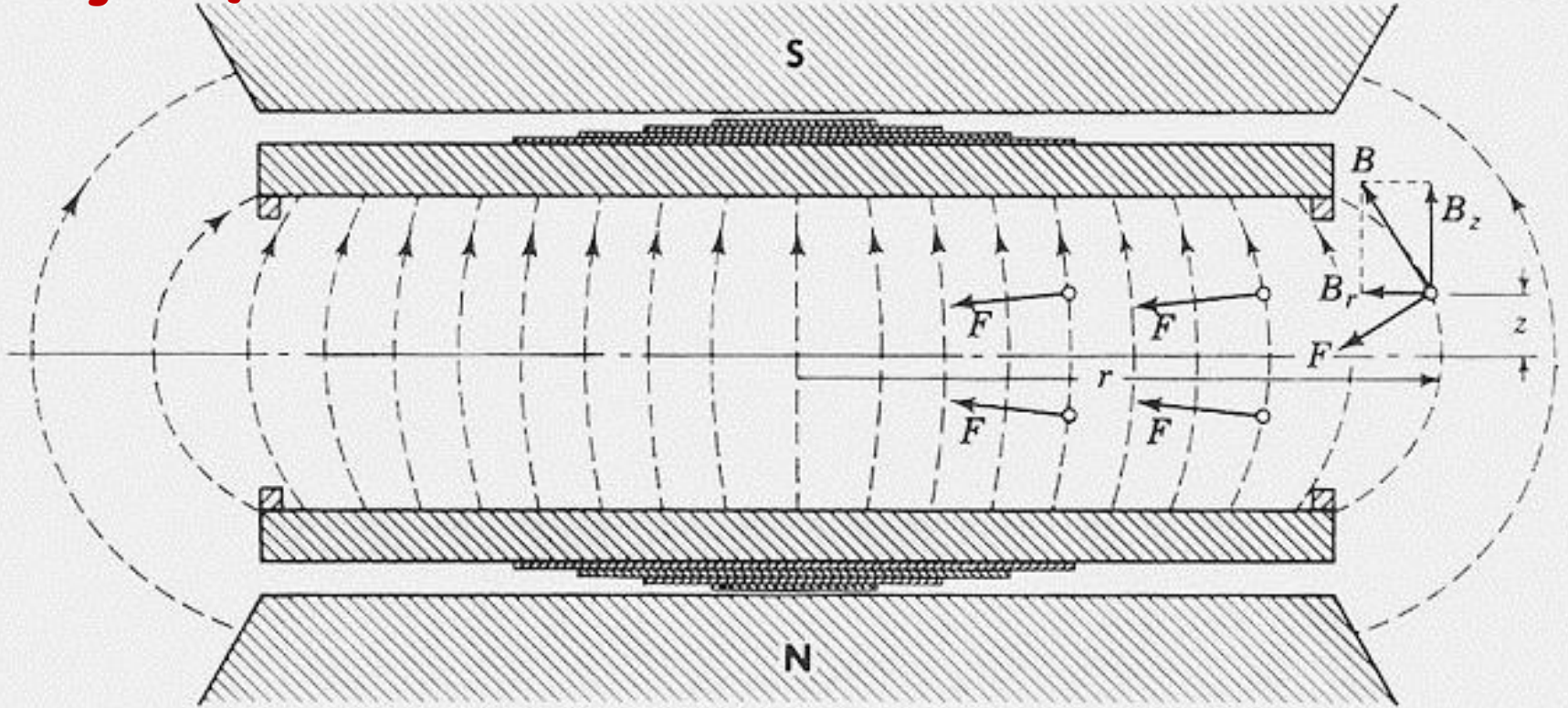


Fig. 6-7. Radially decreasing magnetic field between poles of a cyclotron magnet, showing shims for field correction.

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

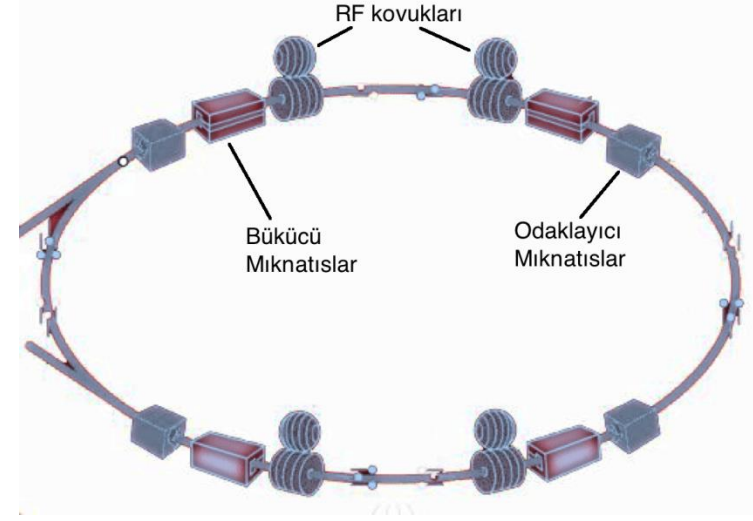
Döndürgeç örnekleri



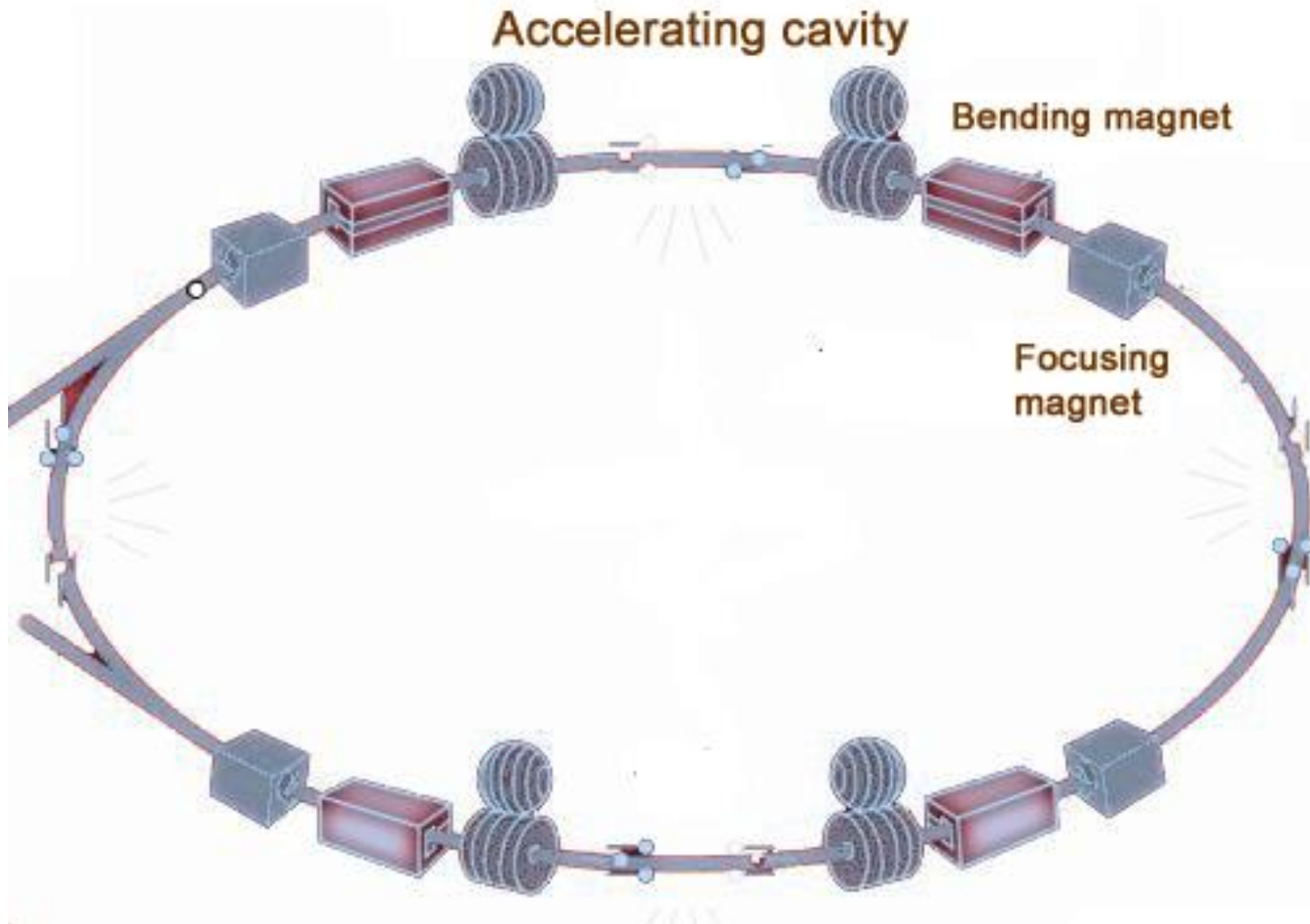
Medikal alanda (kanser terapisinde) kullanılan bir döndürgeç.

Eşzamanlayıcı

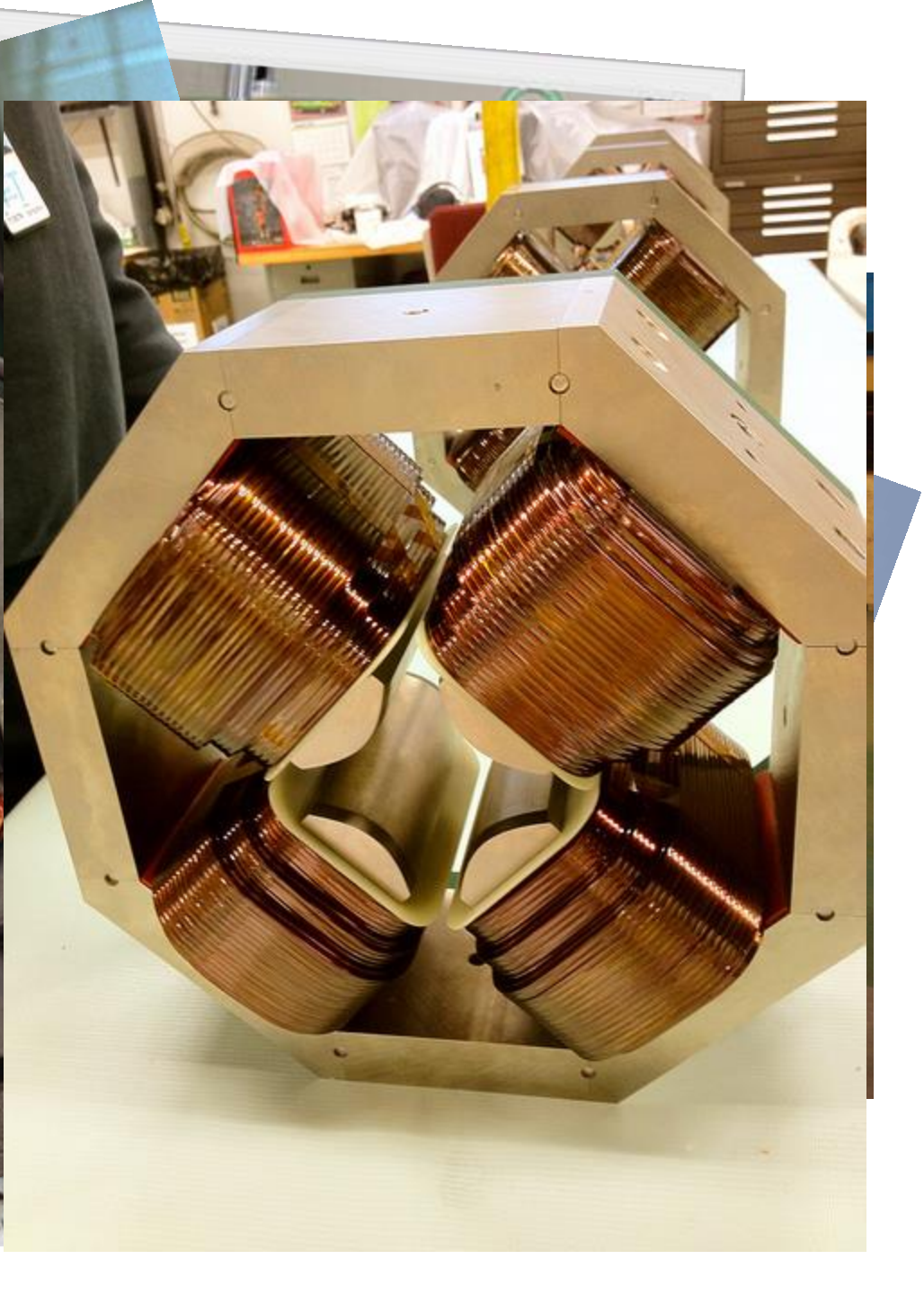
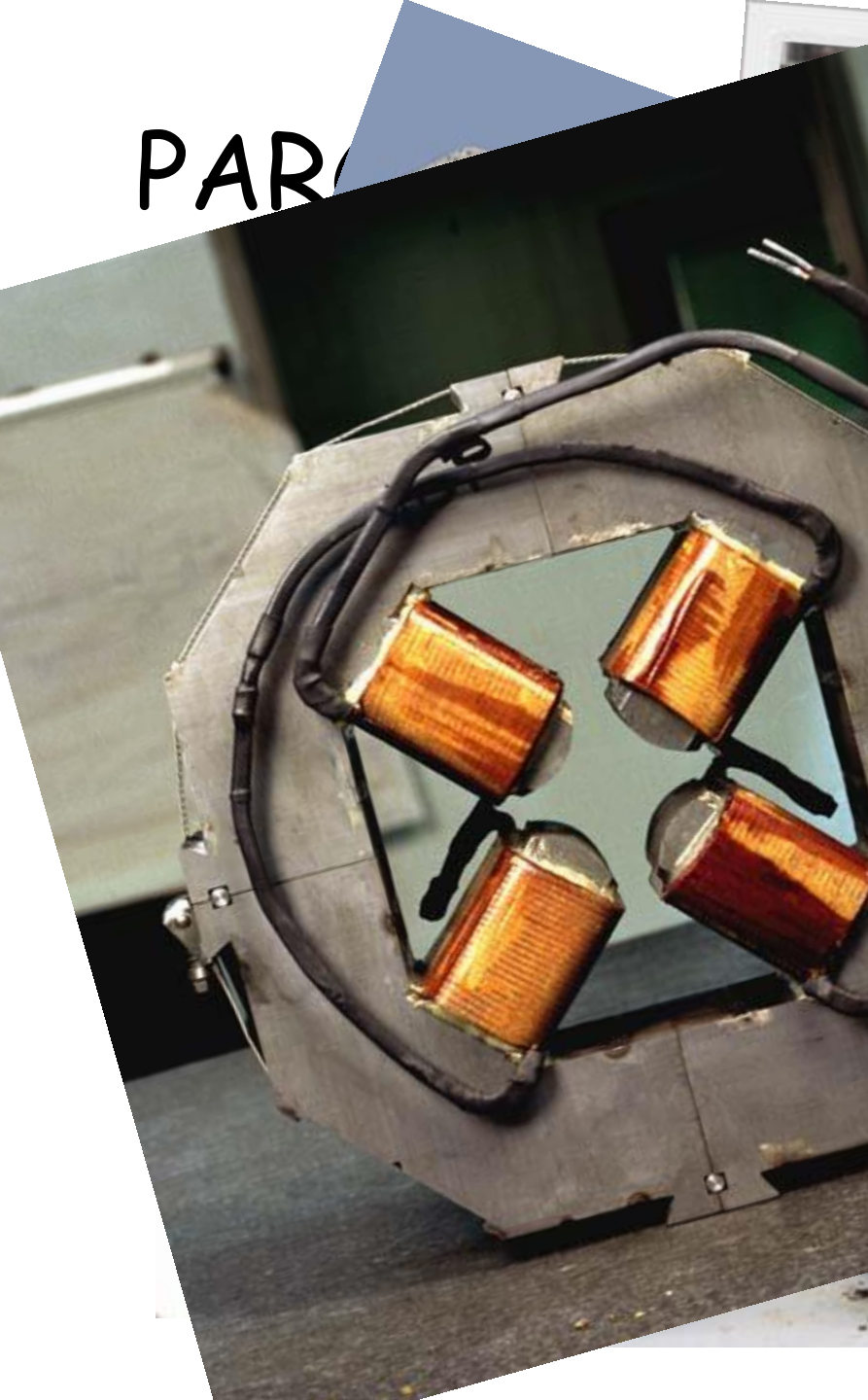
- Parçacıkları RF kovuklarında hızlandırıp bükücü mıknatıslar sayesinde sabit bir yörüngede tutan dairesel hızlandırıcı tipi.
- İlk elektron eşzamanlayıcısı: 1945
- İlk proton eşzamanlayıcısı: 1952
- LHC: En büyük en güçlü eşzamanlayıcı!!!
- Eşzamanlayıcı ile parçacıkları diğer hızlandırıcılara göre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



PARÇACIK HIZLANDIRICILARI

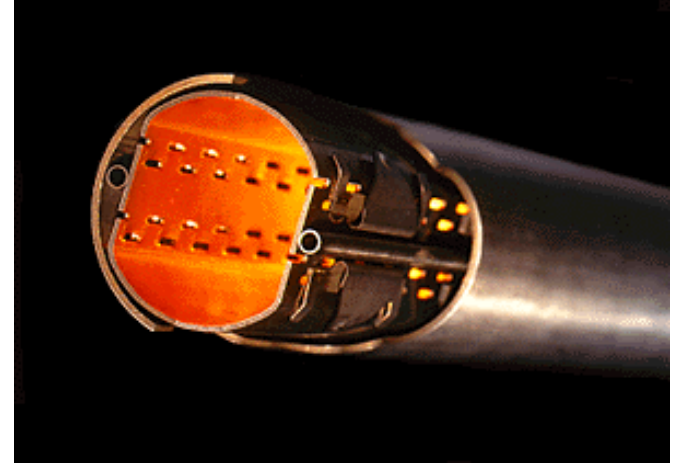


PARC



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!!!

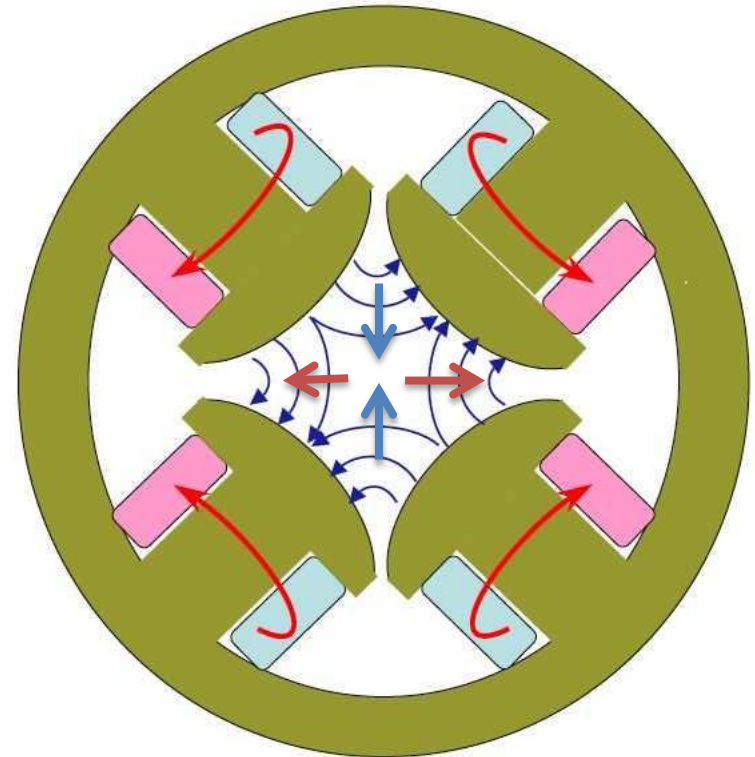
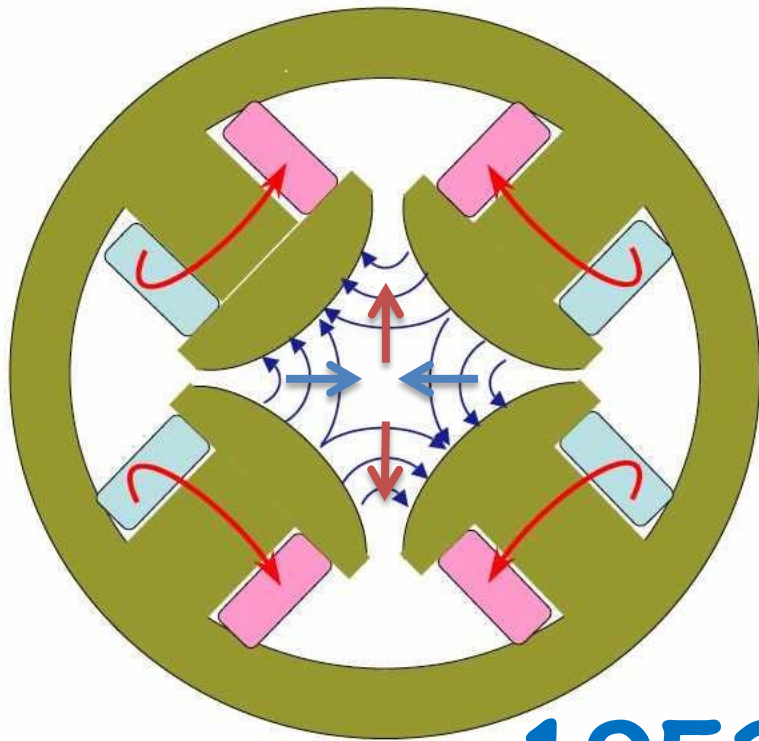
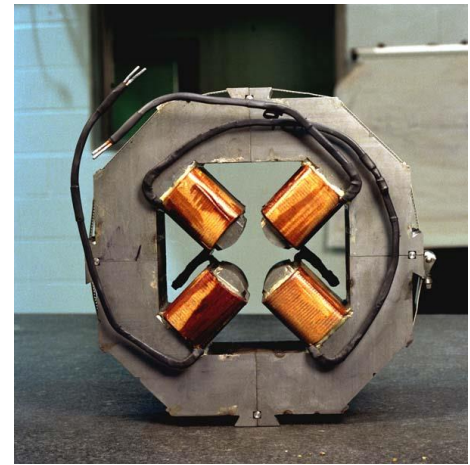


4-kutuplular ile odaklama

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

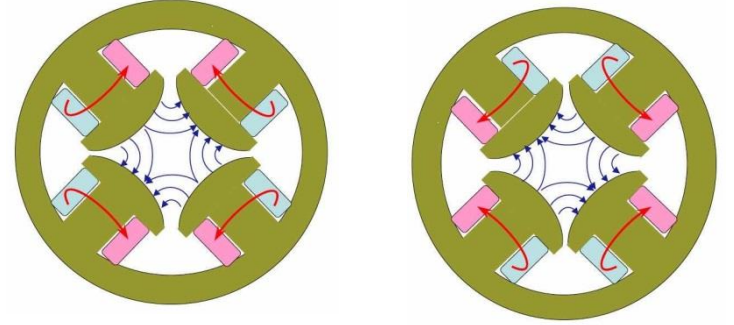
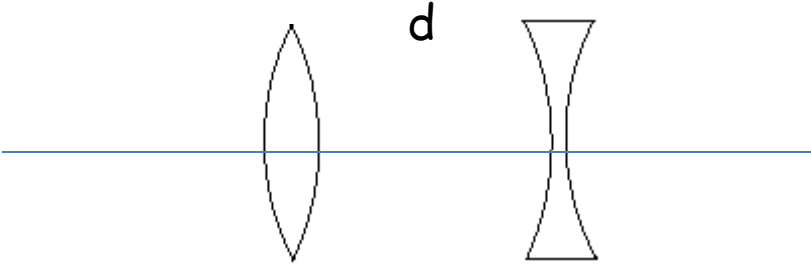
Sadece manyetik alan varsa

$$F = qv \times B$$



1952

4-kutuplular ile odaklama



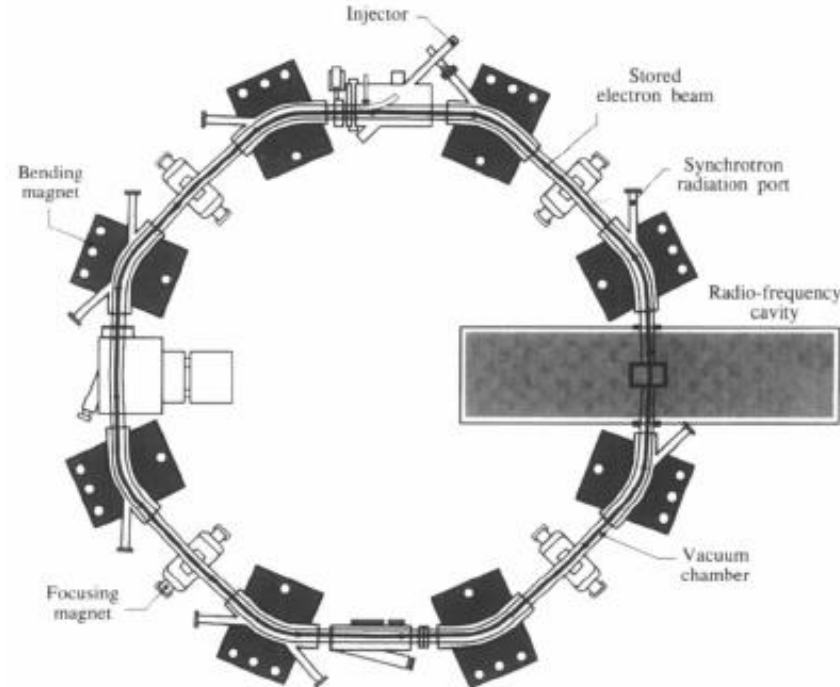
- Odak uzaklıkları aynı (f) olan bir ince kenarlı ve bir kalın kenarlı merceği arka arkaya koyarsak aradaki uzaklık $d < f$ şartını sağladığı sürece bu iki merceğin yaptığı toplam etki odaklayıcıdır!!!
- Hızlandırıcılarda birbiri ardına gelen 4-kutuplu mıknatıslar birbirine göre 90 derece döndürülmüştür.

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.

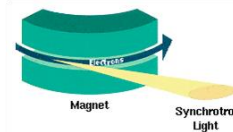
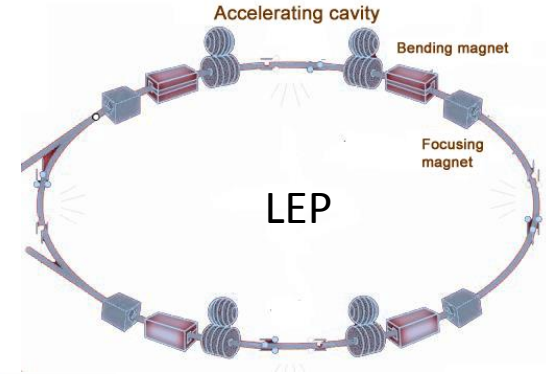
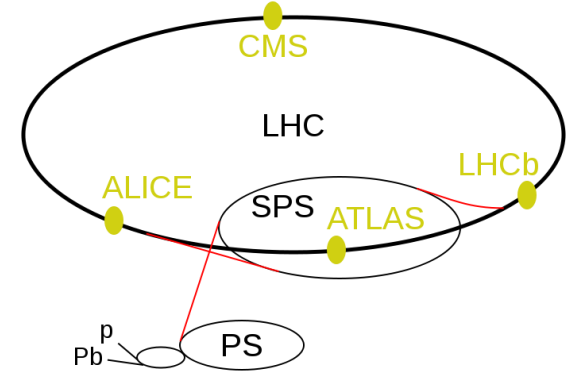
$$f_{RF} = h * f_{dönme}$$

- 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

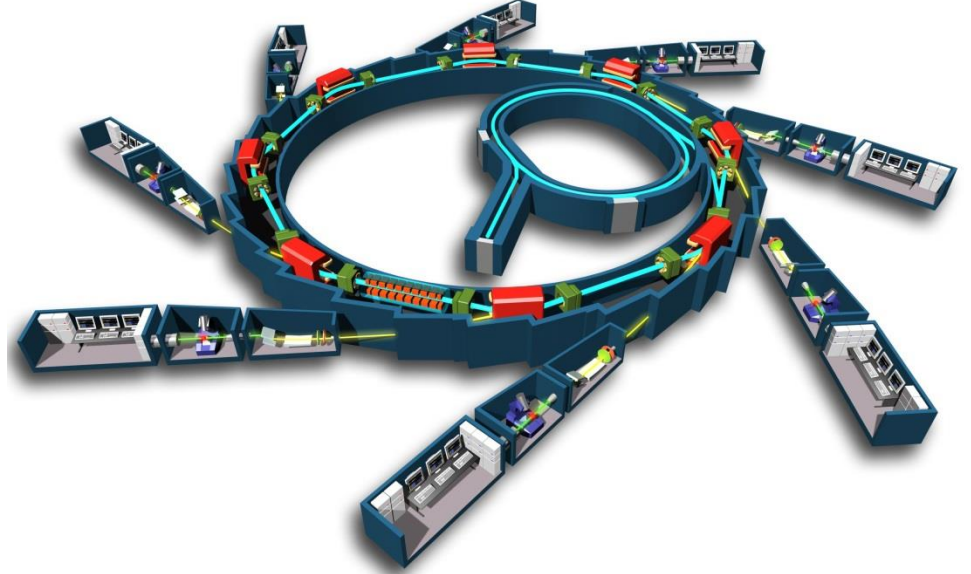
- Proton eşzamanlayıcıların parçacıkları çıkarabileceği maksimum enerji bükücü mıknatıslara bağlıdır.
- RF kovuklarından parçacıkları birçok kez geçirip hızlandırabilirim fakat parçacıkları bükecek güçte mıknatısa sahip değilsem parçacıklar demet borusuna çarparlar.
- Elektron eşzamanlayıcılarının limiti 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



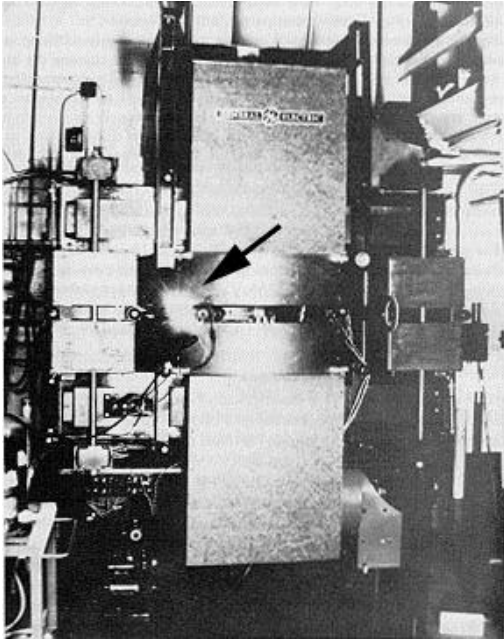
Eşzamanlayıcı ışınımı



General Electrics (1947)



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



70-MeV elektron eşzamanlayıcısı

Teşekkürler!

