

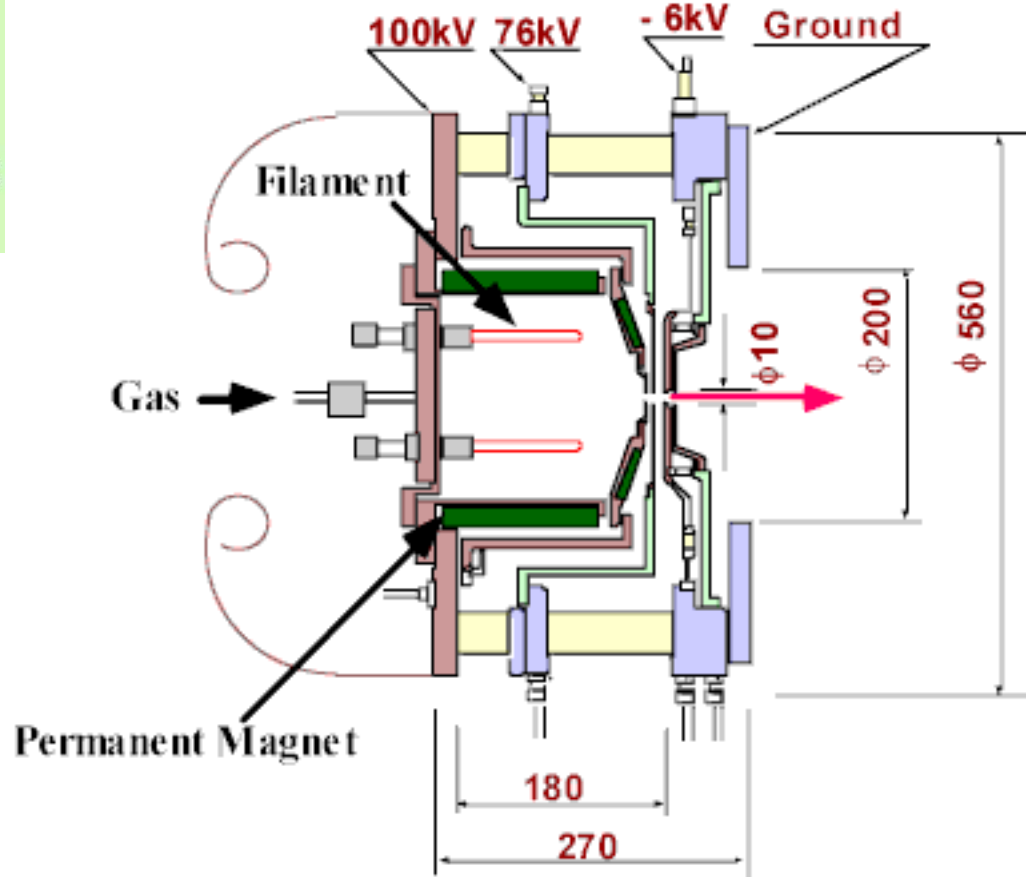
# Hızlandırıcı Fiziği-1

Veli YILDIZ  
(Veliko Dimov)  
27.02.2014

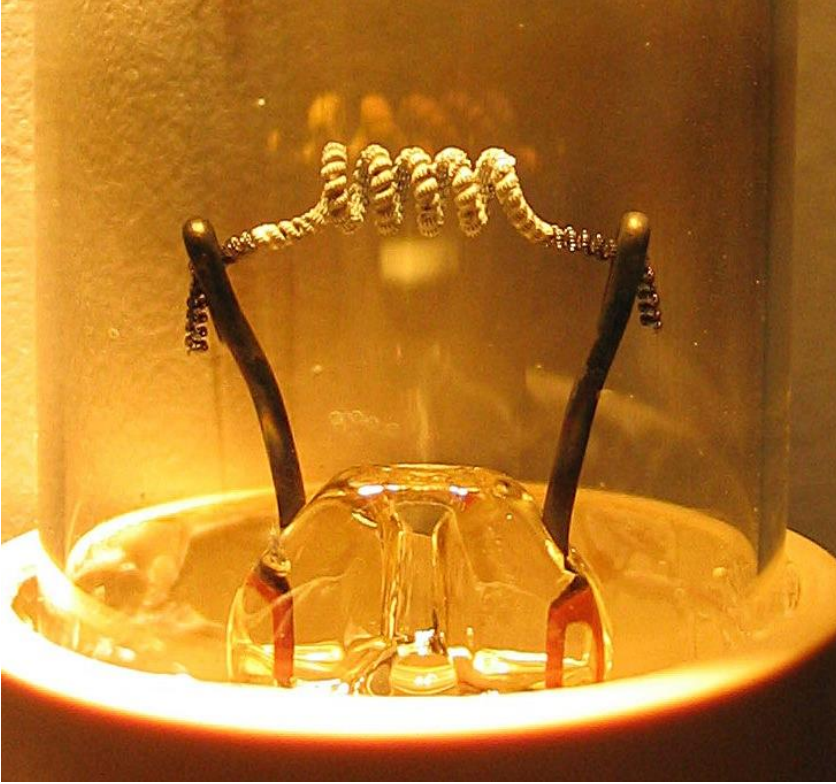
# İçerik

- Parçacıkları nasıl elde ediyoruz?
- Bazı dairesel hızlandırıcı çeşitleri
  - Siklotron (cyclotron)
    - Zayıf odaklama
  - Sinkrotron (synchrotron)
    - 4-kutuplulu mıknatıslar ile güçlü odaklama
    - Sinkrotron ışınması
- Doğrusal hızlandırıcılarda kullanılan bazı yapılar.
- Yürüyen dalga kovukları ve elektron hızlandırma

# İyon kaynakları-proton

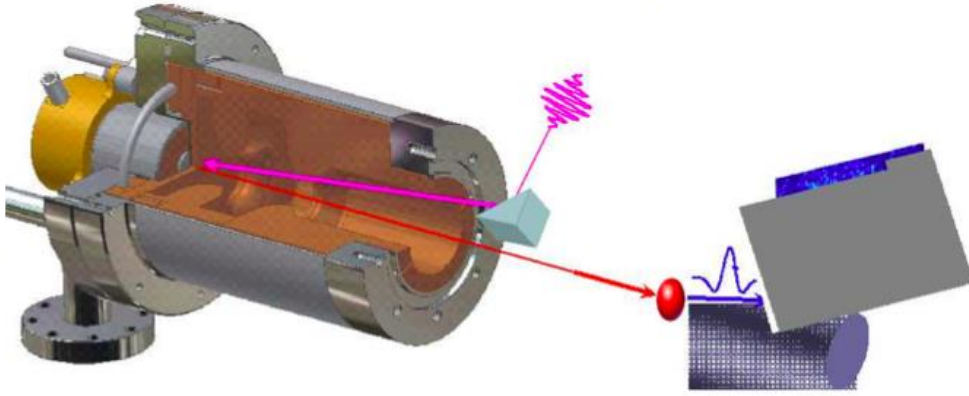


# İyon kaynakları-elektron



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

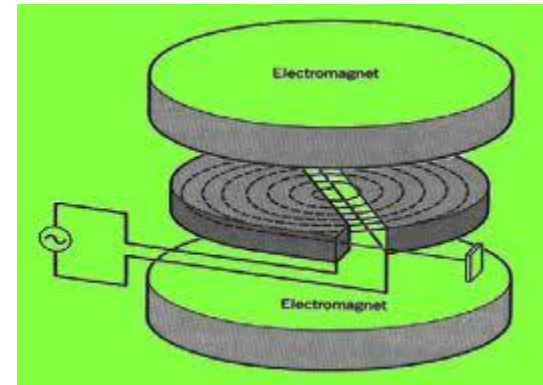
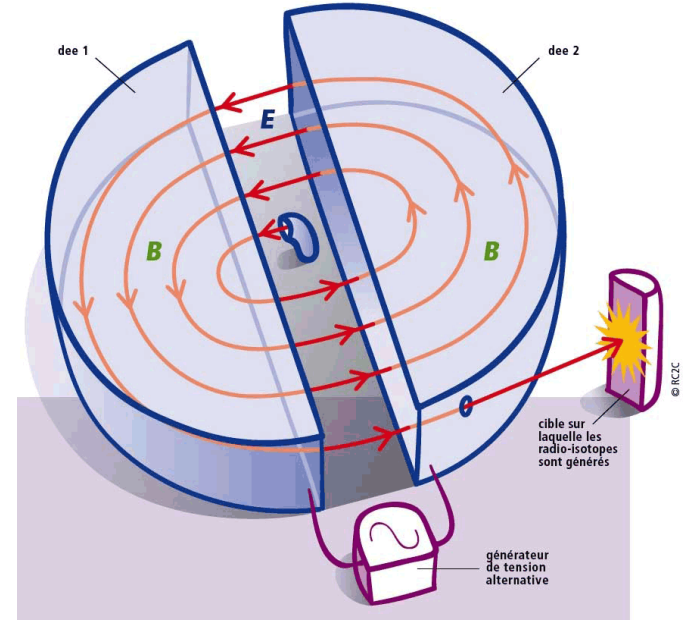
# İyon kaynakları-elektron



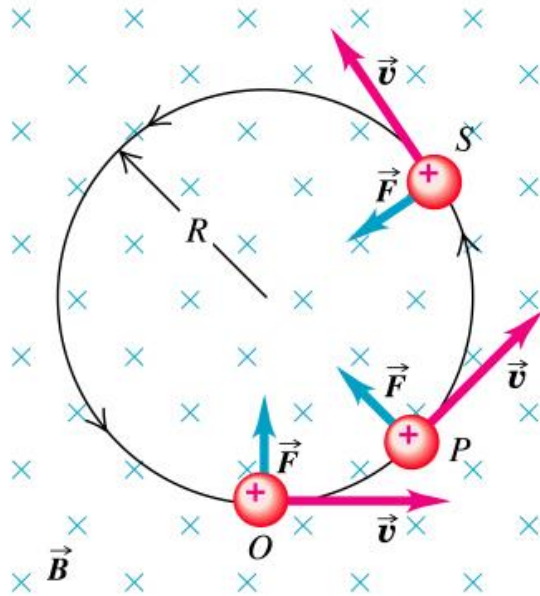
- Metallerin üzerine güçlü bir lazer gönderdiğimizde metaller elektron yayar (fotoelektrik olay)

# Siklotron

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



# Siklotronda 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 periyot):

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

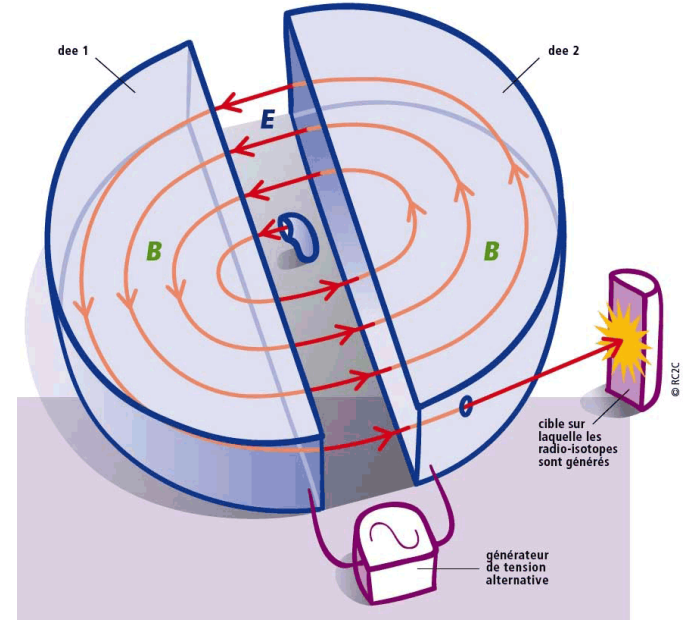
Hızdan bağımsız: parçacıkların hızı artsa bile dönme frekansı değişmiyor.





# Siklotronda eşzamanlılık nasıl sağlanır?

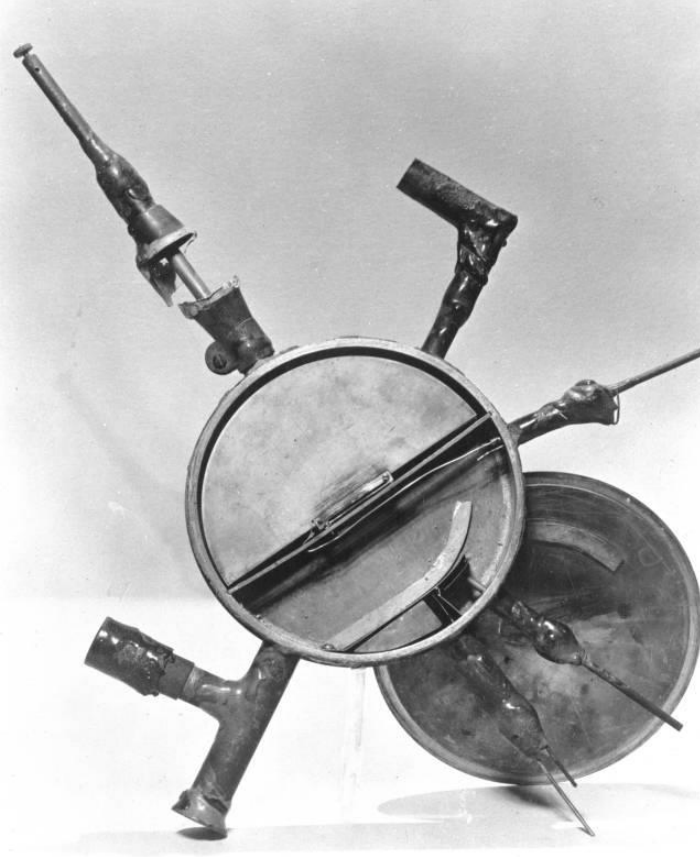
- Parçacıkların dönme frekansına eşit bir frekansa sahip alternatif akım kaynağı kullanarak bu işi kıvırırız!
- Klasik formulleri kullandık!!!
- Yüksek hızlara çıkarsak üreticinin frekansını parçacıkların hızına göre ayarlamamız gerekli.
- Parçacıkların dönme periyodu artıyor. Eşzamanlılığı korumak için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



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



# İlk Siklotron



11,5 cm çapında

- Ernest Lawrence ve ğrencisi M. Stanley Livingston tarafından getirildi.
- 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!

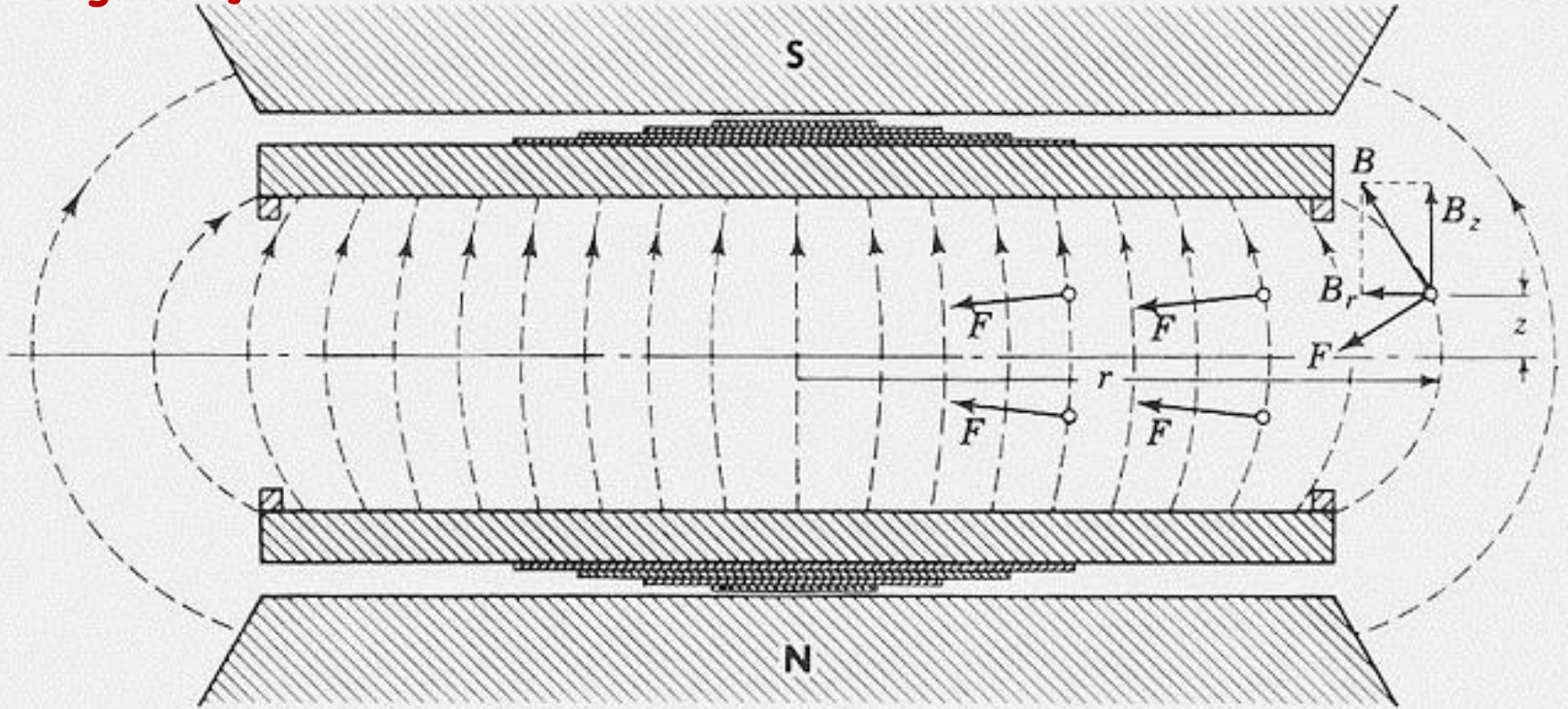


Fig. 6-7. Radially decreasing magnetic field between poles of a cyclotron magnet, showing shims for field correction.

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

# Siklotron örnekleri



Medikal alanda (kanser terapisinde) kullanılan bir siklotron.



# En büyük!!!



Gatchina sinkro-siklotron. Rusya da Petersburg nükleer fizik araştırma merkezinde **1GeV protonlar. 10,000 ton ağırlık.**

# Sinkrotron

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

# LEIR



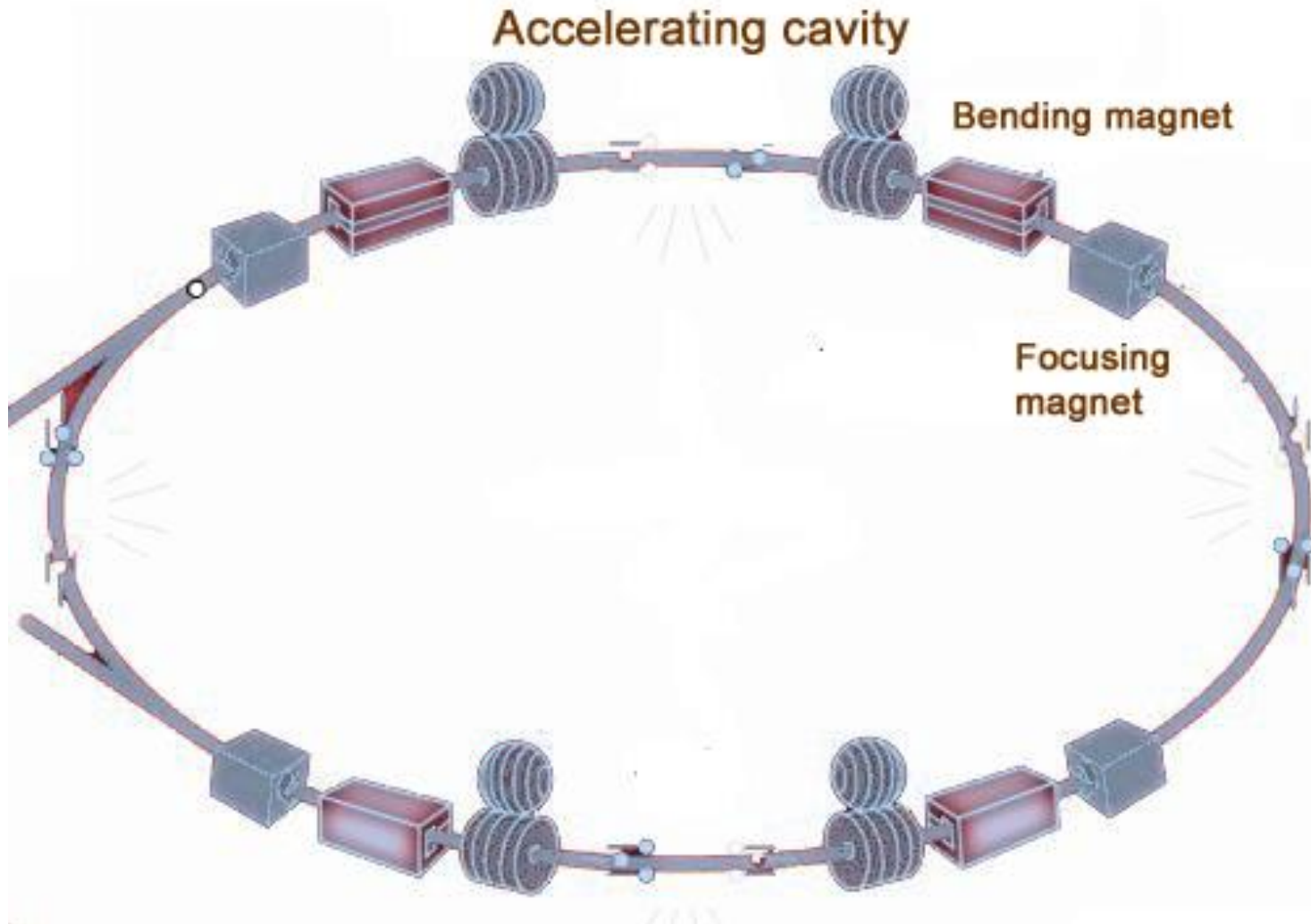
1952 de 4-kutuplu mıknatıslar kullanarak güçlü odaklamanın bulunması ardından saptırma ve odaklama için ayrı mıknatıslar kullanılabildi.



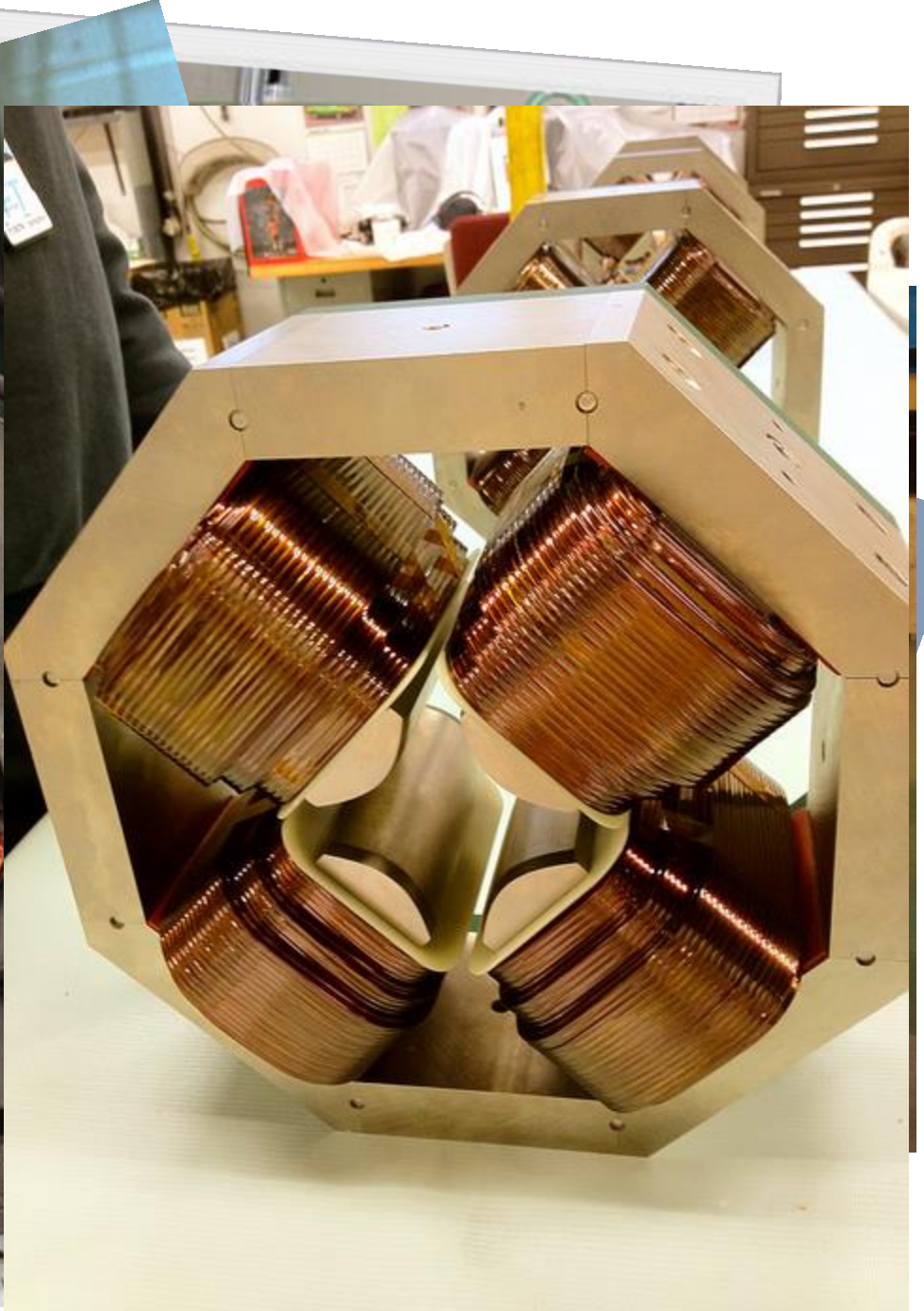
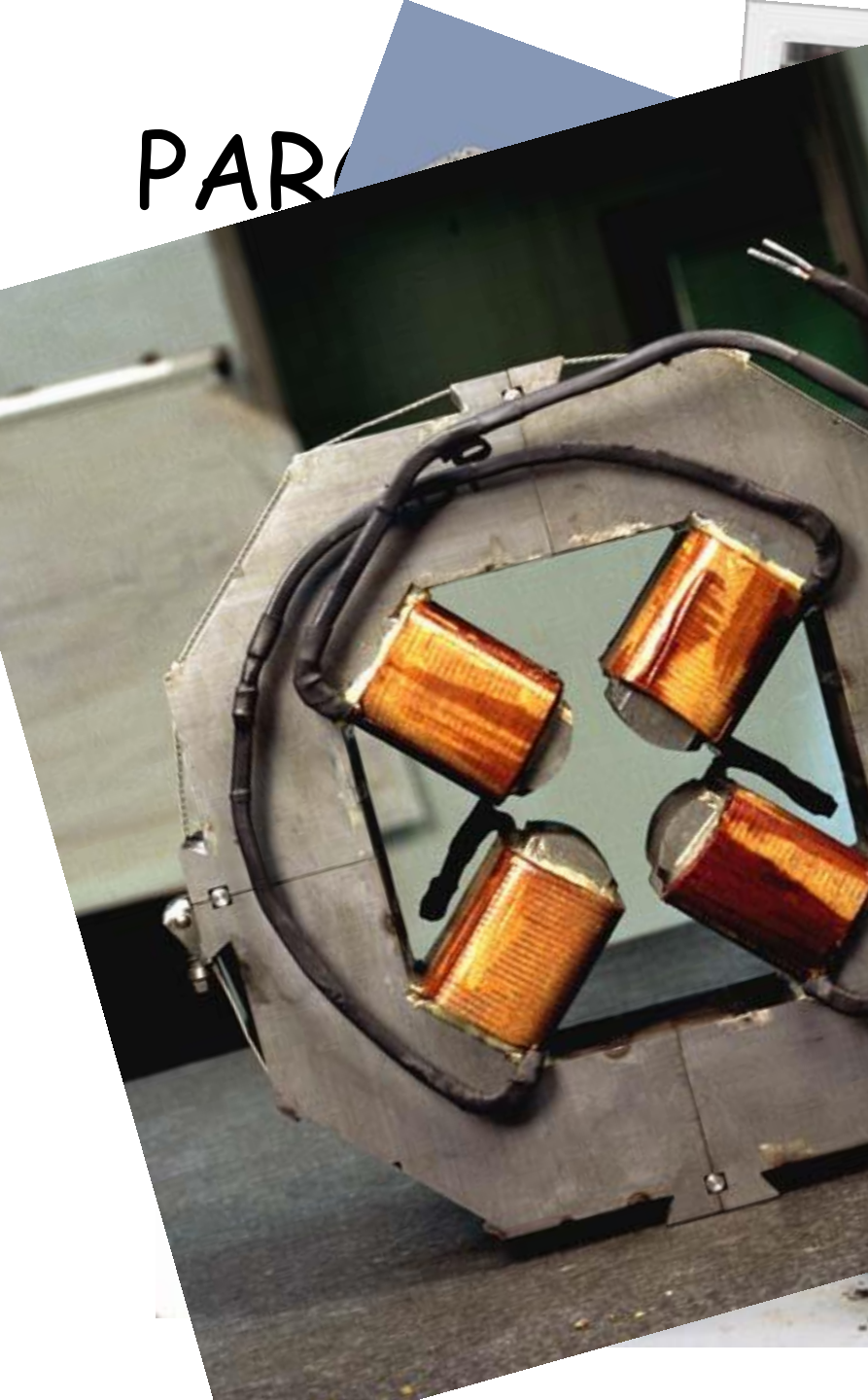




# PARÇACIK HIZLANDIRICILARI

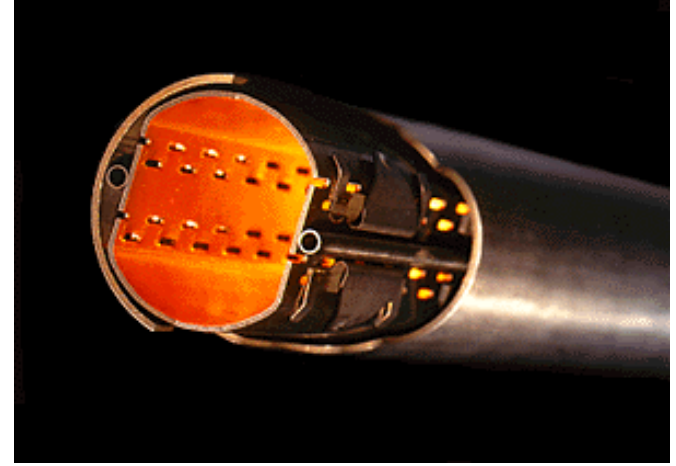


PARC



# 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 çarpmasını için odaklanması gerekir!!!



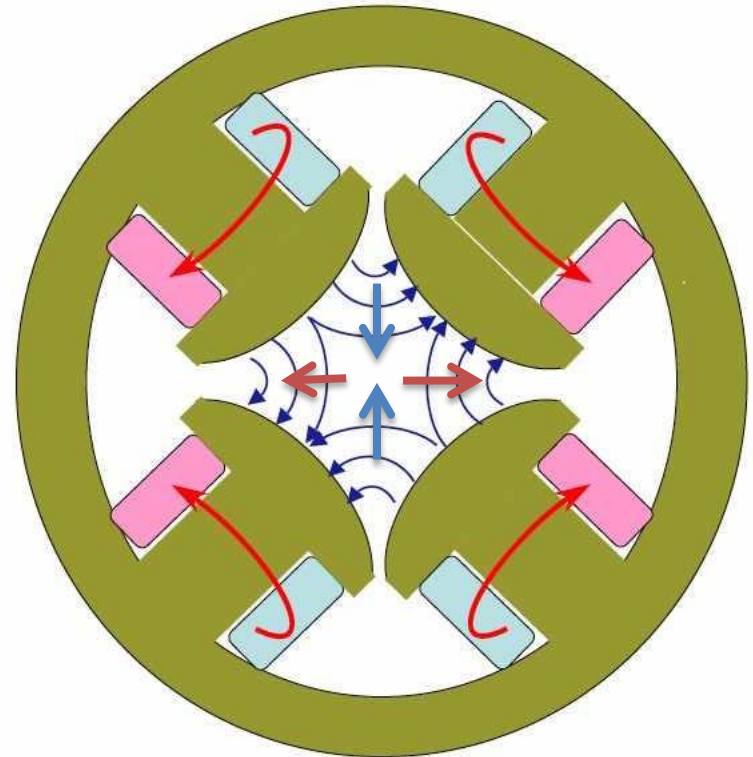
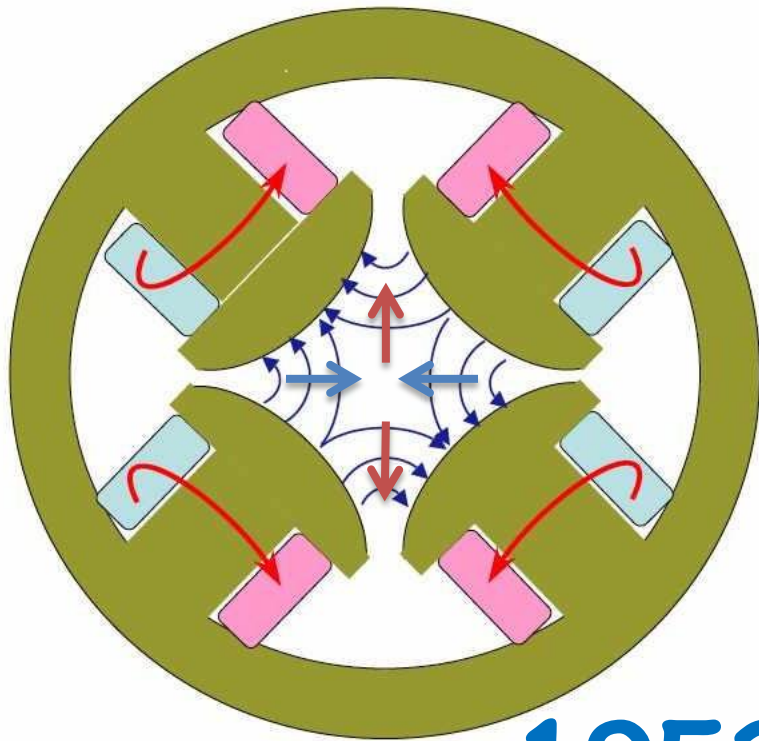
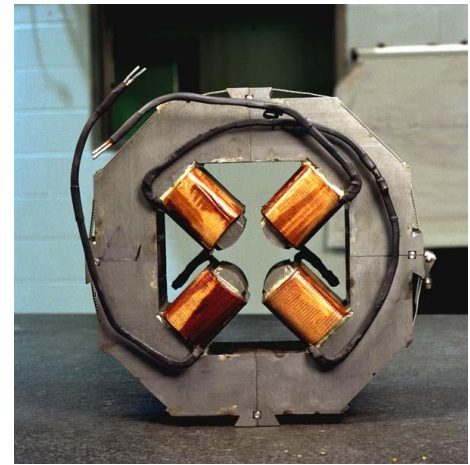


# 4-kutuplular ile odaklama

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

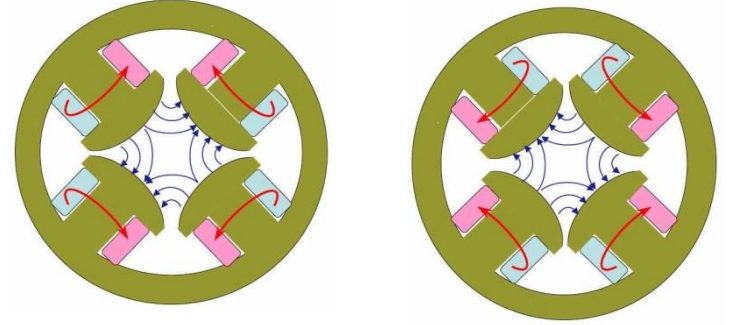
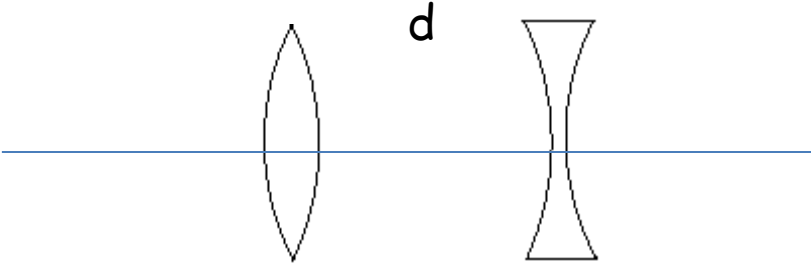
Sadece manyetik alan varsa

$$F = qv \times B$$



1952

# 4-kutuplular ile odaklama



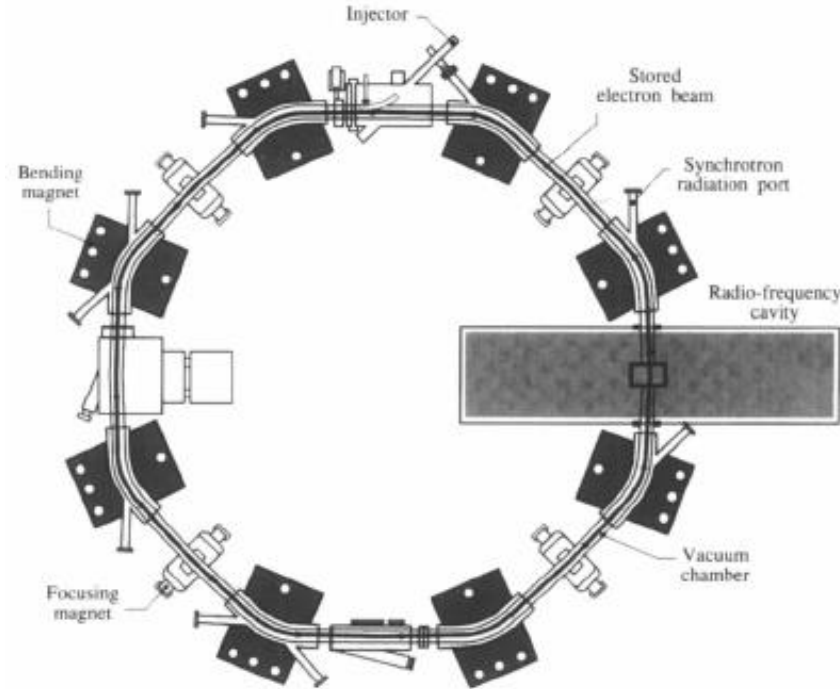
- Odak uzaklıkları aynı ( $f$ ) olan bir ince kenarlı ve bir kalın kenarlı merceği arka arkaya koyarsak aradaki uzaklık  $d < f$  şartını sağladığı sürece bu iki merceğin yaptığı toplam etki odaklayıcıdır!!!
- Hızlandırıcılarda birbiri ardına gelen 4-kutuplu mıknatıslar birbirine göre 90 derece döndürülmüştür.

# 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.

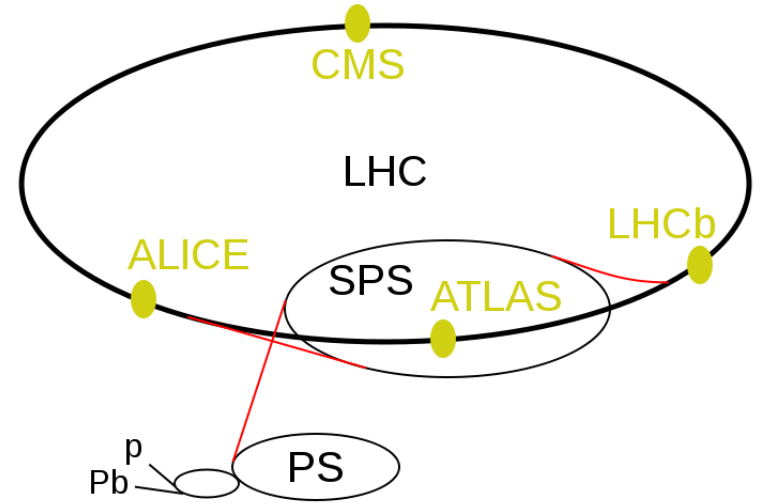
$$f_{RF} = h * f_{dönme}$$

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



# Sinkrotronların limiti

- Proton sinkrotronlarının 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 siklotronlarının limiti sinkrotron ışıması sebebi ile daha düşüktür.





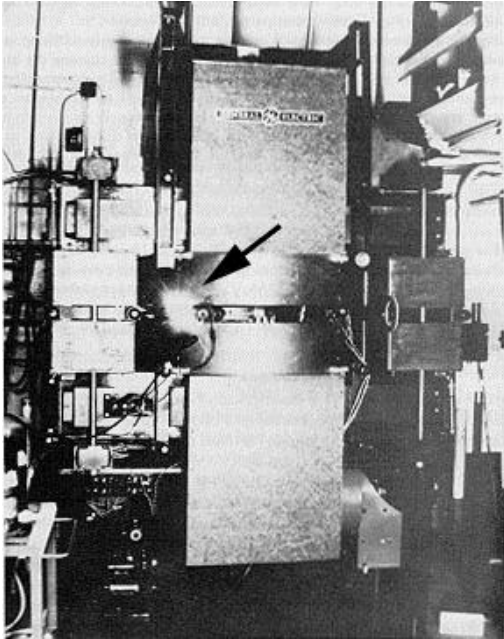
# Sinkrotron ışması



General Electrics (1947)



Günümüzde elektron sinkrotronlar ile sinkrotron ışması elde eden birçok merkez var!!!



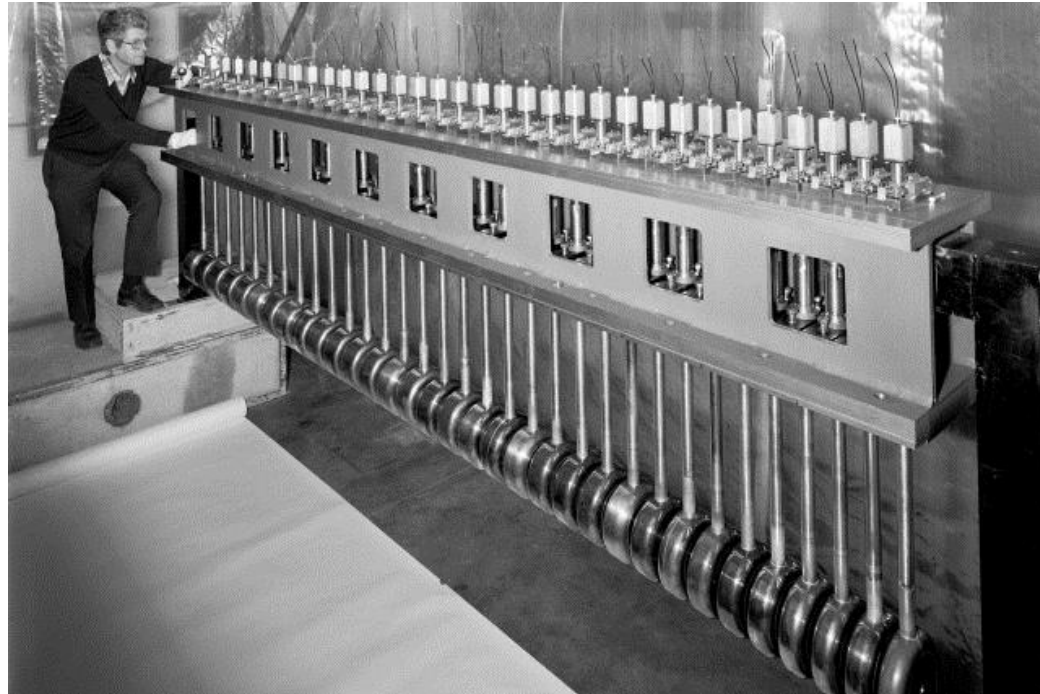
70-MeV elektron sinkrotron

# RF doğrusal hızlandırıcılar

- Linac: İngilizcede linac terimi sadece RF ile çalışan doğrusal hızlandırıcılar için kullanılır.
- Alvarez DTL (1948) ilk tiplerden. Genelde 3MeV-100MeV arasında kullanılır.
- Masrafları azaltmak için (Enerji tasarrufu yapmak ve ya hızlandırıcının daha kısa olması vb.) değişik demet enerjileri ve parçacıklar için değişik hızlandırıcı yapıları kullanmak gerekli.
- Yapıların geometrileri ve kullanılan frekans parçacıkların hızlarına göre değişir.

# RF doğrusal hızlandırıcılar

- 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 prototipi



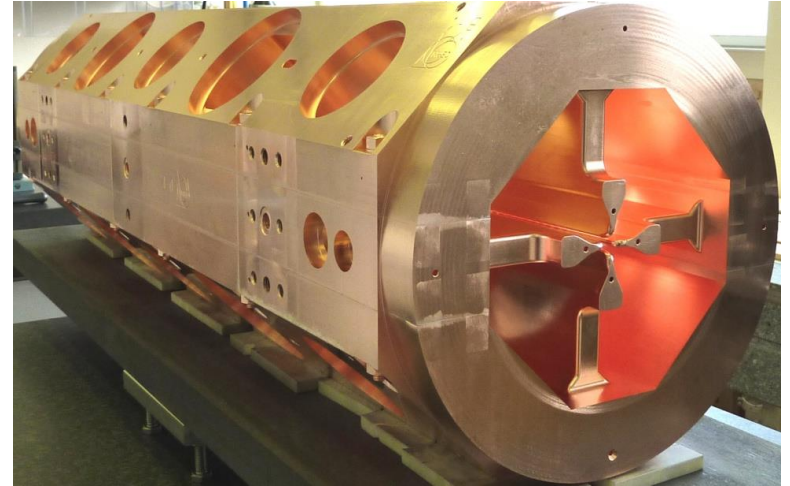
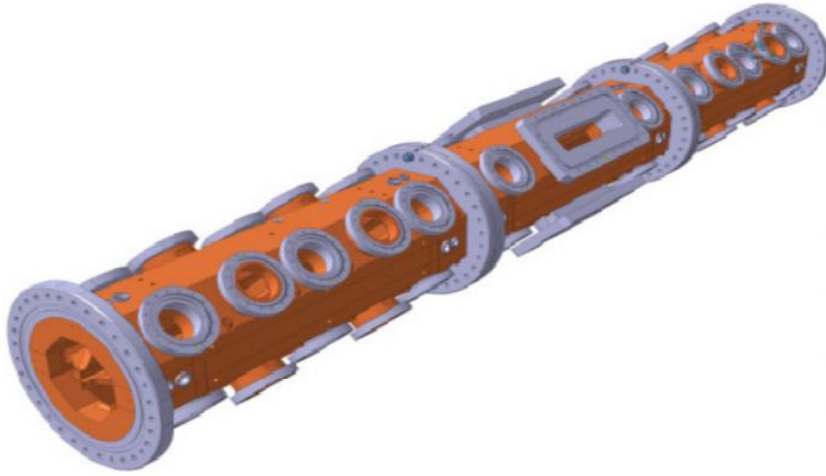
Linac2 DTL



# Proton RF Doğrusal Hızlandırıcısı (Proton Linac)

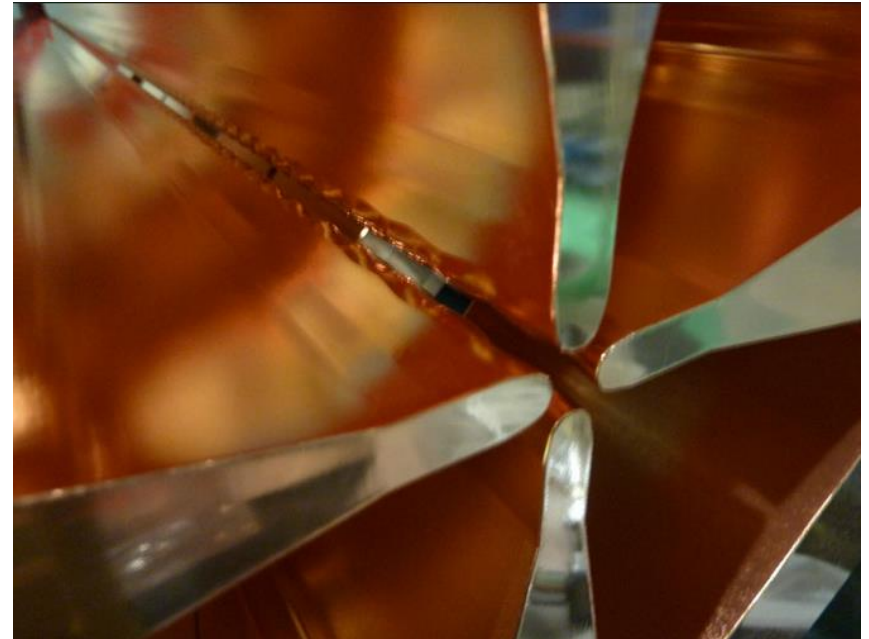
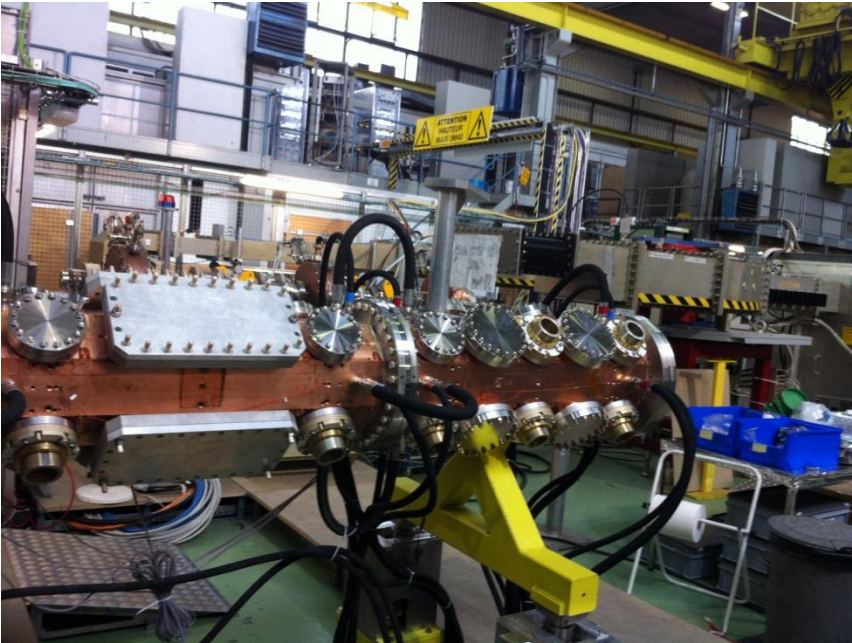
- Sadece DTL den oluşan RF doğrusal hızlandırıcıları kullanıldı (Linac2)
- Günümüzde inşa edilmekte olan yeni doğrusal hızlandırıcılar daha yüksek enerjilere çıktığı için DTL sonrasında başka hızlandırıcı yapıları da kullanılıyor.
  - Yüksek enerjilere çıktıkça sürüklenme tüplerinin boyları uzuyor. Verimi azalıyor: çok güç harcıyor (kovuk duvarlarında indüklenen akımdan dolayı kovuk duvarlarında enerji ısıya dönüşüyor).

# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



RFQ 45keV  $\rightarrow$  3MeV

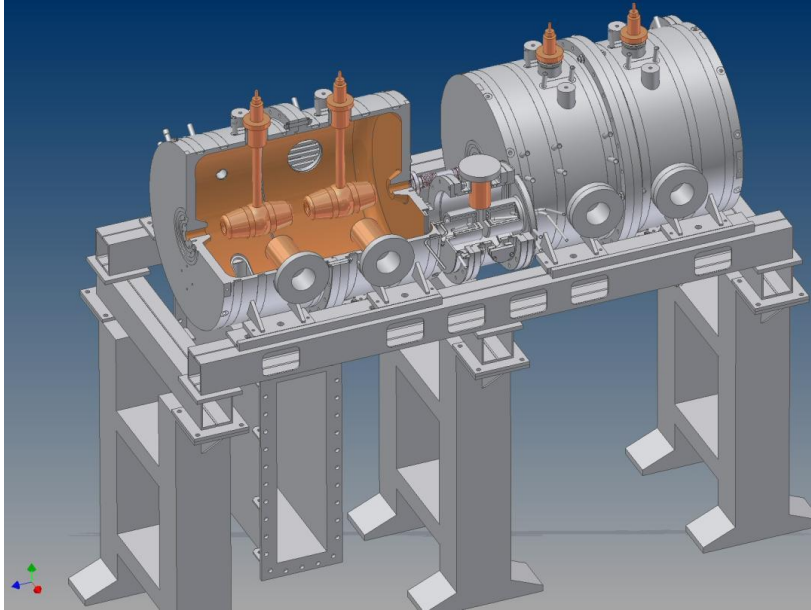
# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



RFQ 45keV  $\rightarrow$  3MeV

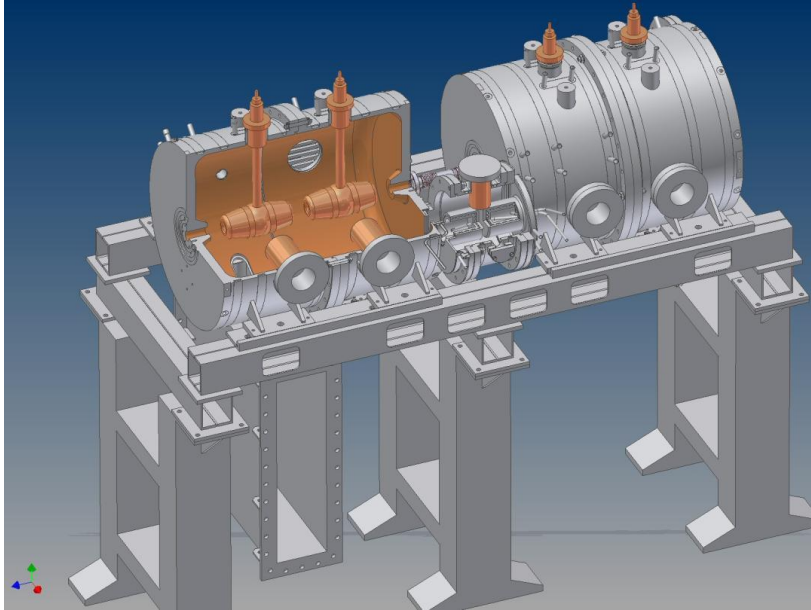


# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



CCDTL 50MeV  $\rightarrow$  100MeV

# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



CCDTL 50MeV  $\rightarrow$  100MeV

# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



CCDTL 50MeV  $\rightarrow$  100MeV

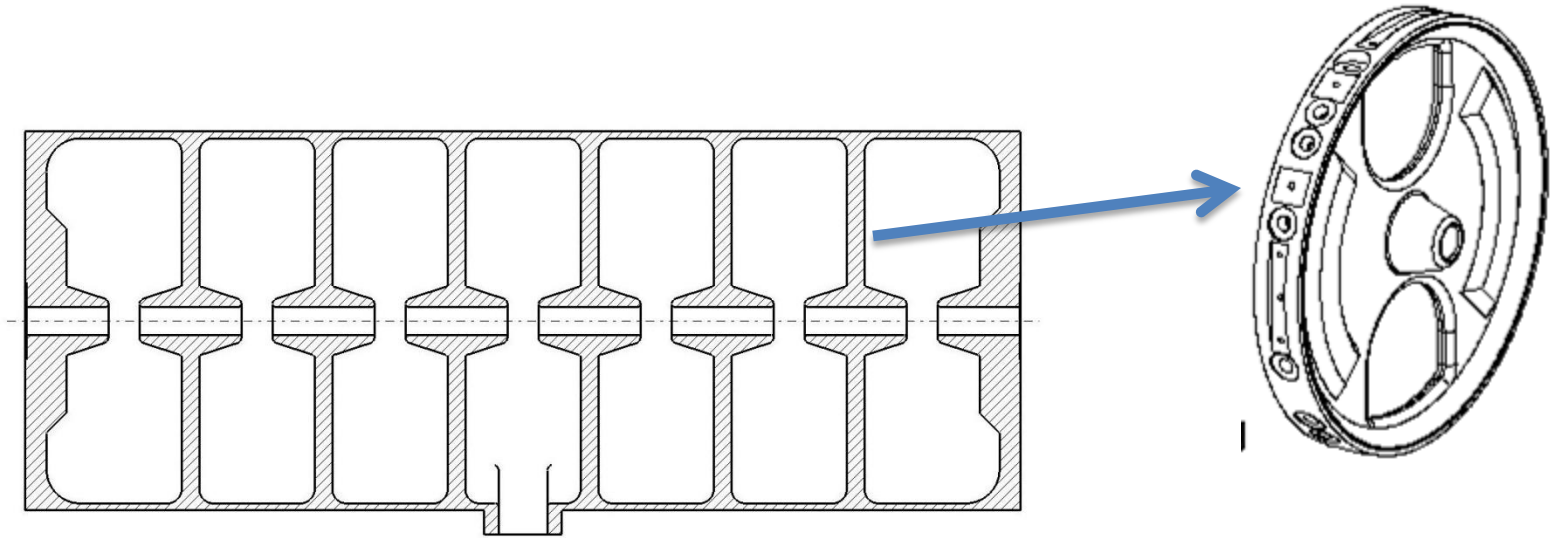


# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



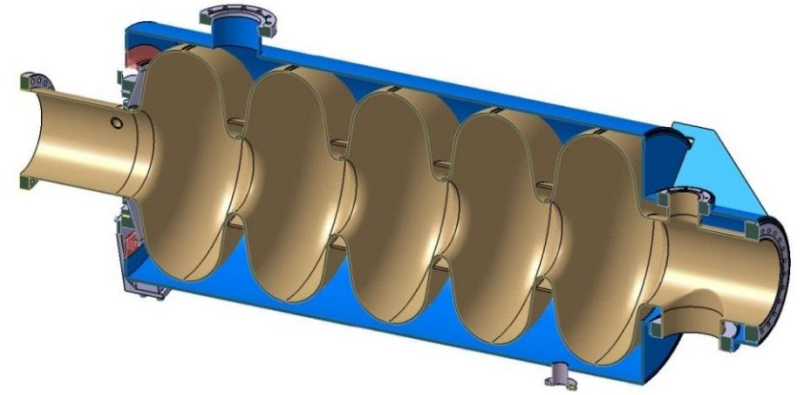
PIMS 100MeV  $\rightarrow$  160MeV

# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



PIMS 100MeV  $\rightarrow$  160MeV

# Proton doğrusal hızlandırıcılarında kullanılan bazı yapılar



Süperiletken eliptik kaviteler  
→ yüksek enerjiler için

# Elektronlar için DTL kullanılır mı?

- Linac4 DTL e parçacıkların girme enerjisi = 3MeV. Relativistic ( ışık hızının % 8 i)
- Frekans=352MHz
- İlk sürüklenme tüpünün uzunluğu yaklaşık =
- 3MeV de bir elektron için (ışık hızının % 98,9. DTL yapısını elektron için kullanmak isteseydik ilk sürüklenme tüpünün uzunluğu yaklaşık = olurdu (pratik değil).
- Elektronlar için DTL kullanılamaz!!!



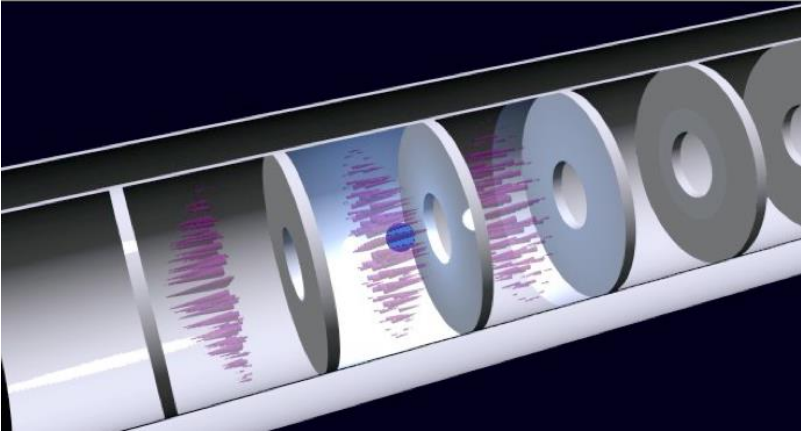
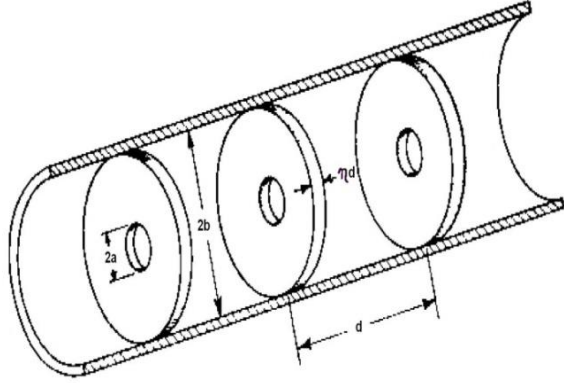
# Elektronlar için ne kullanalım

- Yüksek hızlarda durağan dalga kovukları yerine yürüyen dalga (traveling wave) kovukları kullanılır (süperiletken eliptik kovuklar da kullanılır).



**Elektromanyetik dalga bir dalganın sörfçüyü ittiği gibi parçacıkları iter ve hızlandırır. Zamanlama yine çok önemli!!!**

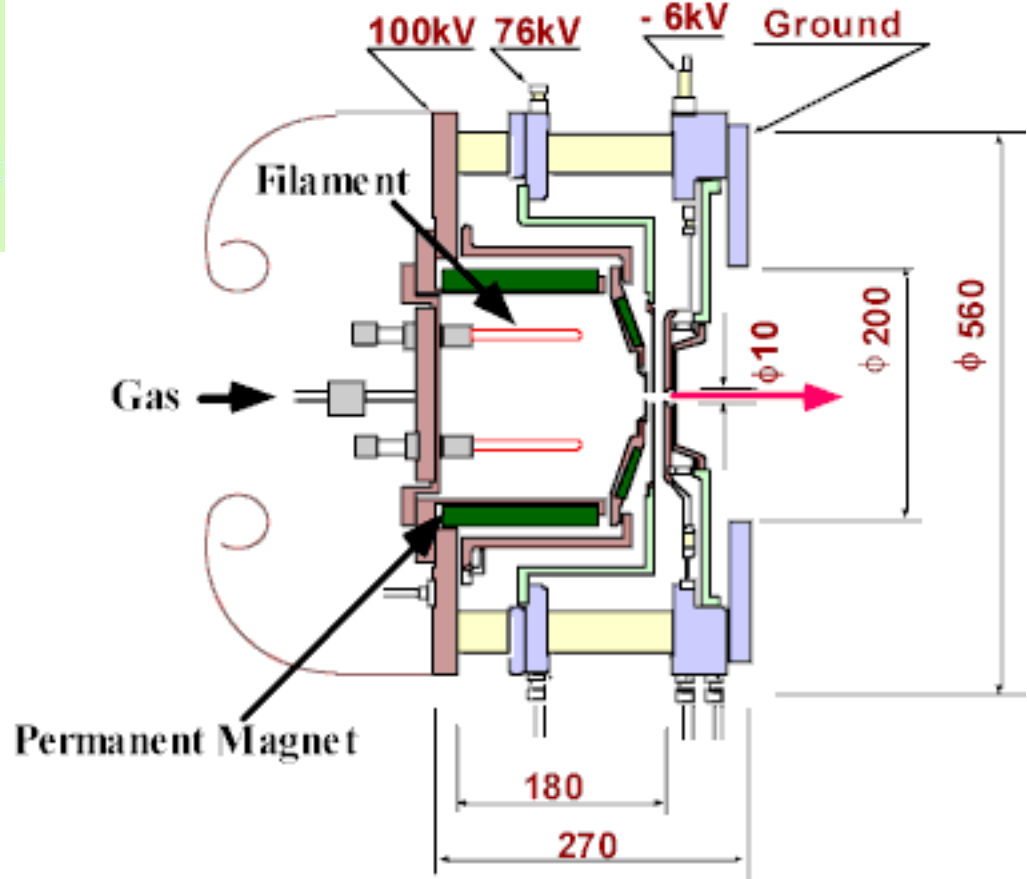
# Yürüyen dalga kovukları



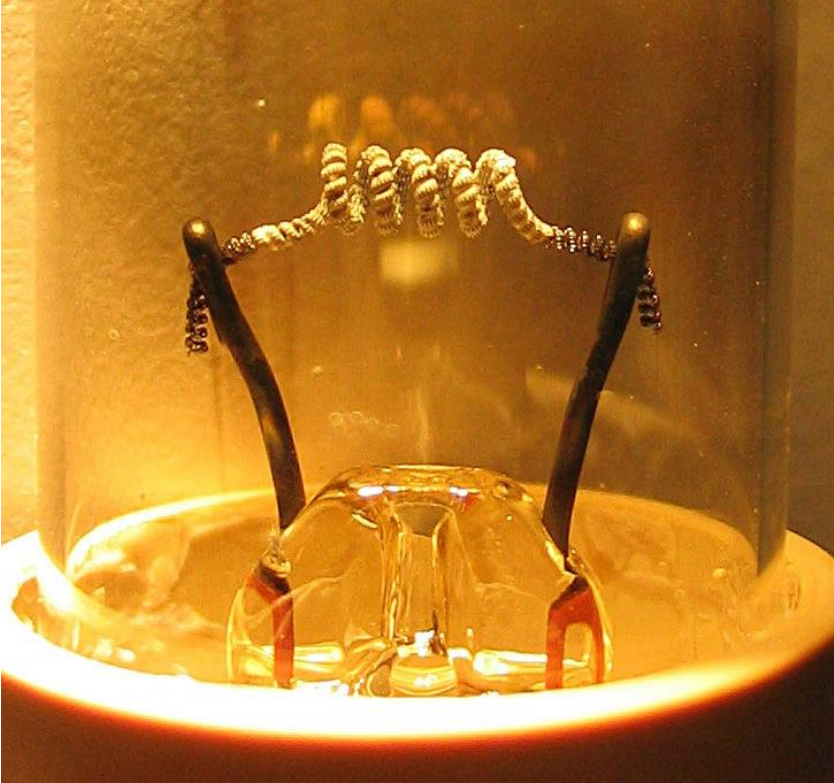
SPS

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

# İyon kaynakları-proton



# İyon kaynakları-elektron

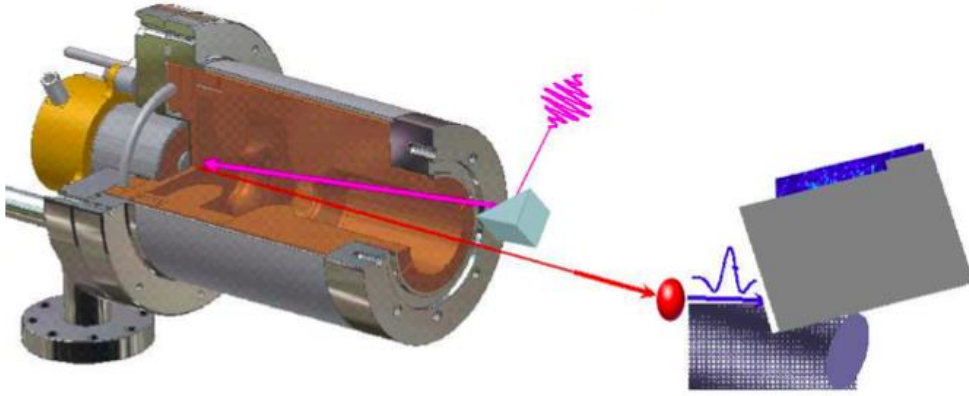


- Metalleri yüksek sıcaklıklara çıkarttığımızda elektron saçmaya başlarlar (thermionic emission)



# İyon kaynakları-elektron

- Metellerin üzerine güçlü bir lazer gönderdiğimizde metaller elektron yayar.





# Teşekkürler!

