

Hızlandırıcılar ve Çarpıştırıcılar

- ▶ Parçacık Hızlandırıcıları
 - ▶ Parçacık Hızlandırıcılarına Neden İhtiyaç Duyuldu?
 - ▶ Parçacık Hızlandırıcılarının Kullanım Alanları
 - ▶ Parçacık Hızlandırıcılarının Temel Özellikleri
 - ▶ Parçacık Hızlandırıcılarının Tarihsel gelişimi
- ▶ Parçacık Çarpıştırıcıları

Parçacık Hızlandırıcıları

Parçacık Hızlandırıcısı Nedir?

- ▶ **Parçacık hızlandırıcıları**, elektrik yükü olan atomik veya atom-altı parçacıkları oldukça yüksek hızlara (ışık hızına oldukça yakın) ulaştırabilen mekanizmalardır.
- ▶ Yüksek enerji fiziğinde deneysel bilgilerimizin neredeyse tamamı hızlandırıcılar sayesinde sağlanmaktadır.

Elektrik alan → Parçacıkları hızlandırmak ve istenilen enerji/momentum düzeylerine ulaştırmak için

Manyetik alan → Parçacıkların istenilen şekilde yönlendirilmesini sağlamak için

Parçacık Hızlandırıcılarına Neden İhtiyaç Duyuldu?

- Fizik çalışmalarında temel etkileşmelerin ve kuvvetlerin daha iyi anlaşılabilmesi için parçacıklara yeterli enerjilerin kazandırılabilmesi gerekmektedir.
- Nükleer ve parçacık fiziğinde temel araştırmalar dışında parçacık hızlandırıcılarından alınan birincil ve ikincil demetlerin kullanımı iki ana hatta ayrılabilir:
 1. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik örneklerin parçacık demetlerini kullanarak incelenmesi. rnek olarak μ SR gösterilebilir. (Hadron terapi gibi sağlık alanında işe yarar yeni yöntemler)
 2. Maddenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin modifikasyonu. rnek olarak iyon implantasyonu gösterilebilir.

Parçacık Hızlandırıcılarına Neden İhtiyaç Duyuldu?

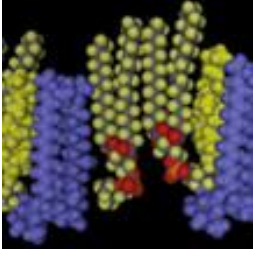
- ▶ Önceki derslerimizde temel parçacıklar ve bu parçacıklar arası bazı temel etkileşmelerden bahsetmiştik. Ancak bu temel doğa olaylarından bir çoğunu gözlemlemek kolay olmamaktadır. Bazıları için ise etkileşime girecek parçacıkların çok yüksek enerjilere/momentumlara sahip olması gerekmektedir. Her ne kadar kozmik ışınlar bu enerji düzeylerine sahip olabilseler de parçacık hızlandırıcıları sayesinde kontrol altında belirli parçacıkların etkileşimleri ve bu etkileşimin sonuçları incelenebilmektedir.
- ▶ Örneğin; Higgs bozonunun keşfi, öngörüldükten sonra hızlandırıcılar sayesinde olmuştur.

Uygun enerji ve şiddette uygun parçacık demetleri:

- Tümörün küçültülmesinde
- Daha temiz enerji üretiminde
- Şüpheli kargo tespitinde
- Otomotiv sanayiinde
- İçme suyu arıtımında
- Protein haritalandırılmasında
- Yeni ilaç tasarımıında
- Hastalık tespitinde
- Nükleer atığın azaltılmasında
- Tarihi eser sahtekarlığının tespitinde
- İyon implantasyonunda
- Arkeolojik buluntunun yaşının belirlenmesinde
- Evrenin sırlarının keşfinde

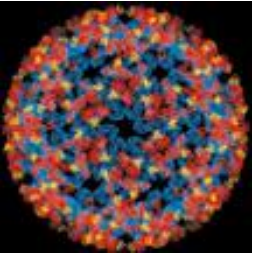
büyük rol oynayabilmektedir.

Parçacık Hızlandırıcılarının Kullanım Alanları



Malzeme Araştırmaları

Atomik seviyedeki malzeme çalışmaları için foton, nötron ve müon demetlerinin kullanımı büyük önem taşımaktadır.



Protein Modelleme

Sinkrotron radyasyonu, proteinin yapısının 3 boyutlu olarak incelenmesine izin verir.



Elektrik Santrallerinin Gaz Emisyonunun Kontrolü

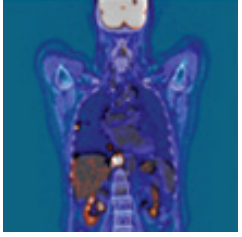
Bazı pilot santrallerde sülfür ve nitrojenoksit emisyonunun kontrolü için elektron demetleri kullanılmaktadır.



Hadron Terapi

Proton ve iyon demetleri insan vücudunda derindeki tümörlerin tedavisinde önemli bir yer tutar.

Parçacık Hızlandırıcılarının Kullanım Alanları



Pozitron Emisyon Tomografisi

PET'te kullanılan radyoizotoplar hızlandırıcılarda üretilirler.



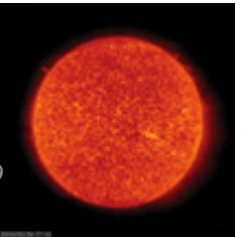
İyon İmplantasyonu

Bir çok dijital elektronik ürün iyon implantasyonlarla üretilen hızlı transistör ve iplere dayanır.



Kültürel Miras

Parçacık demetleri, tarihi eserlerin ve sanatsal çalışmaların analizleri için kullanılır.



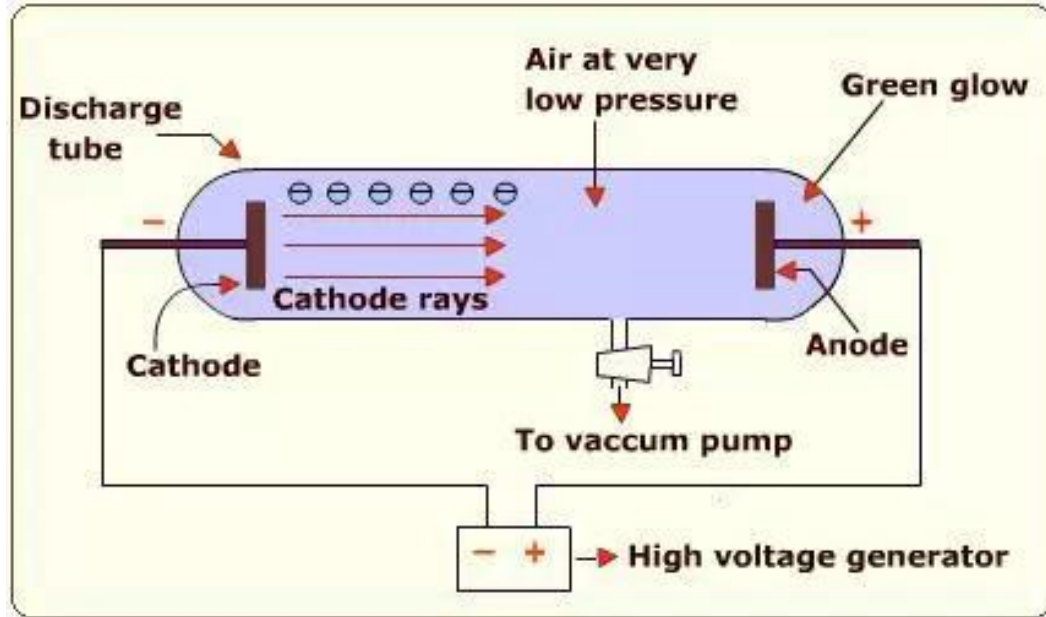
Enerji

Hızlandırıcı teknolojileri güç üretiminde ve nükleer atıkların yok edilmesinde önemli rol oynar.

Parçacık Hızlandırıcılarının Temel Özellikleri

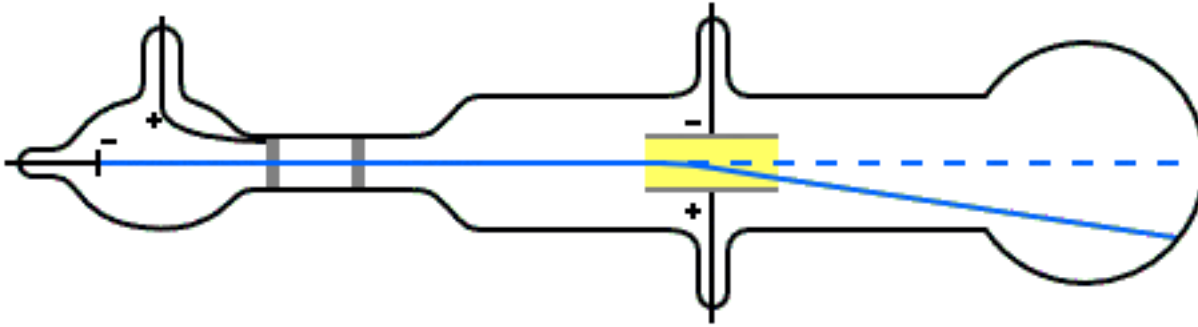
► Tüm Hızlandırıcılarda mutlaka olan 3 temel öge:

1. Parçacık Kaynağı
2. Vakum Mekanizması
3. Hızlandırıcı Mekanizması

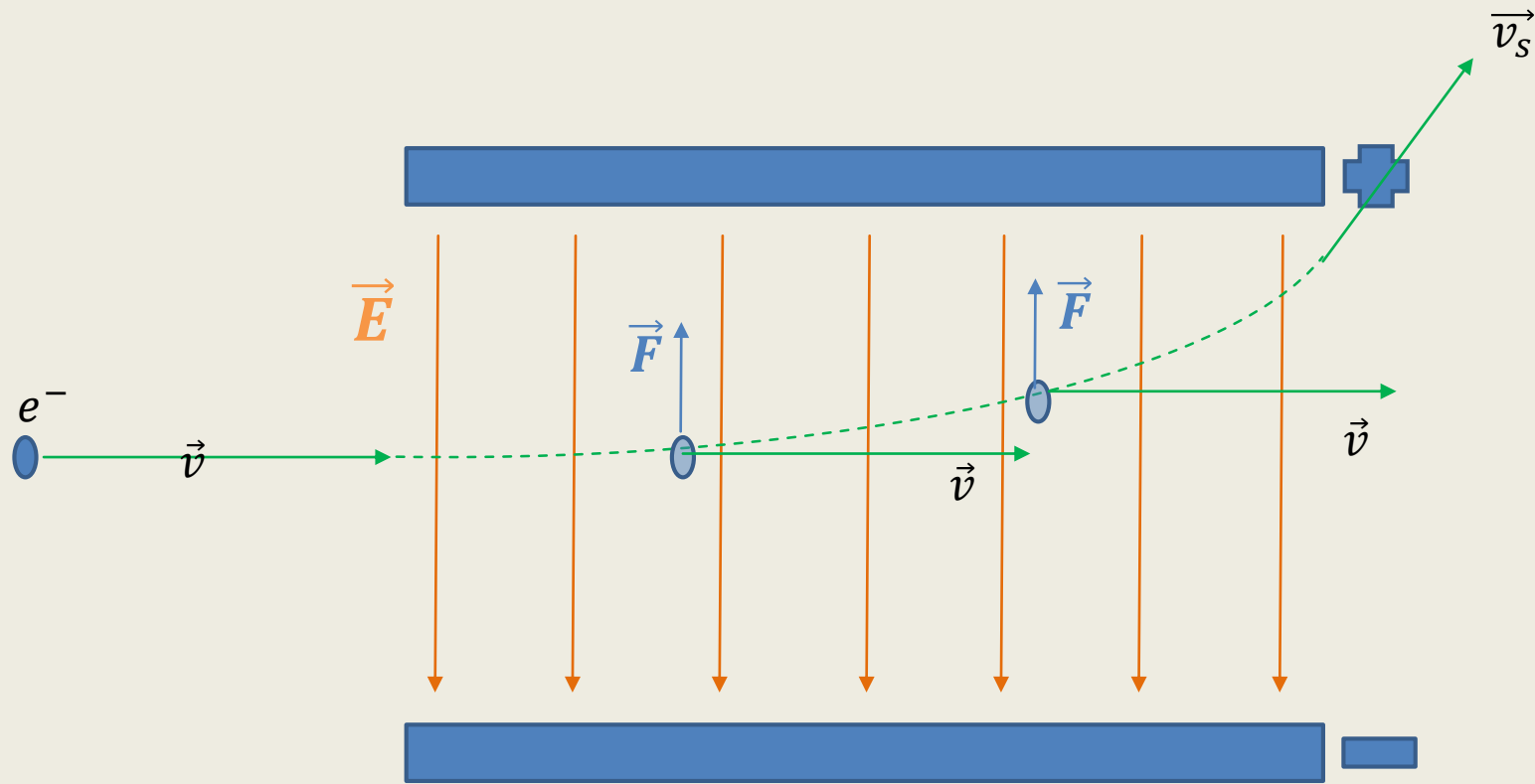


Parçacık Hızlandırıcılarının Temel Özellikleri

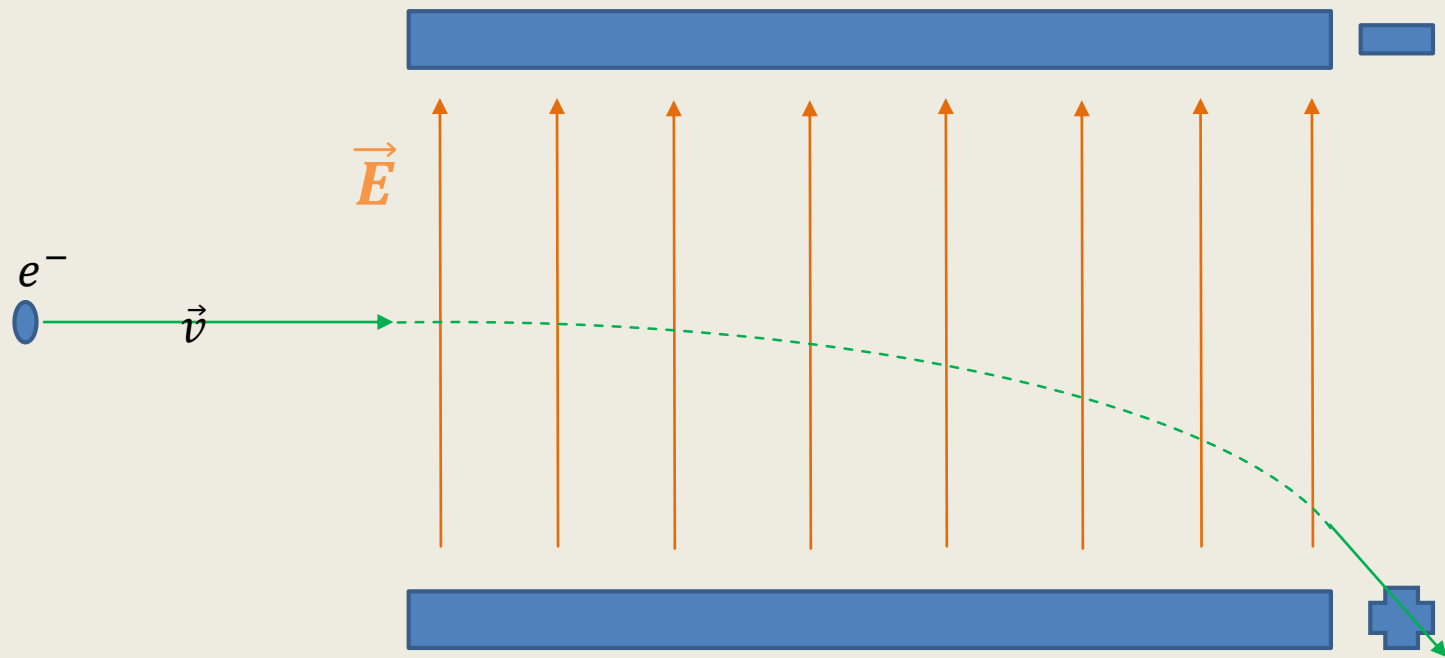
- ▶ Hızlandırıcılar mutlaka iyi vakumlanmış olmalıdırlar. Çünkü hızlandırıcılar içerisinde ilerleyen parçacıklar içerideki diğer moleküllerle çarpışarak enerjisinin büyük kısmını kaybedebilir
- ▶ J J Thomson, elektronların keşfinde vakuma özellikle dikkat etmişti. Bu sayede katot ışınlarının (aslında elektron demetlerinin) yüksek elektrik potansiyel fark altında saptığını gözlemleyebildi ve de yük-kütle oranlarını bulabildi.



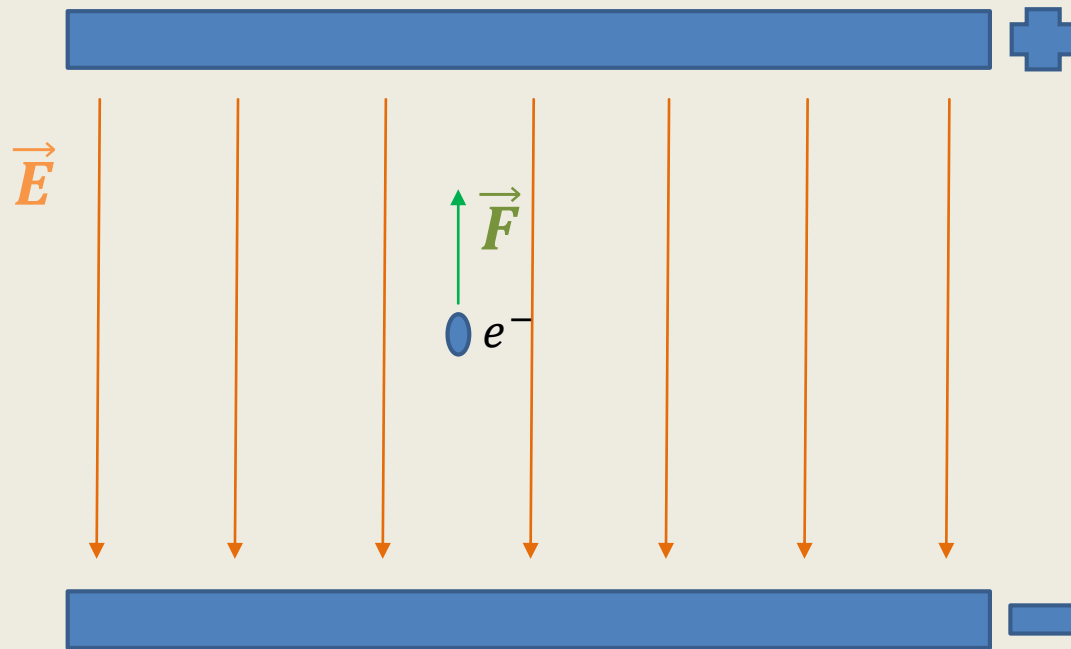
Elektrostatik



Elektrostatik

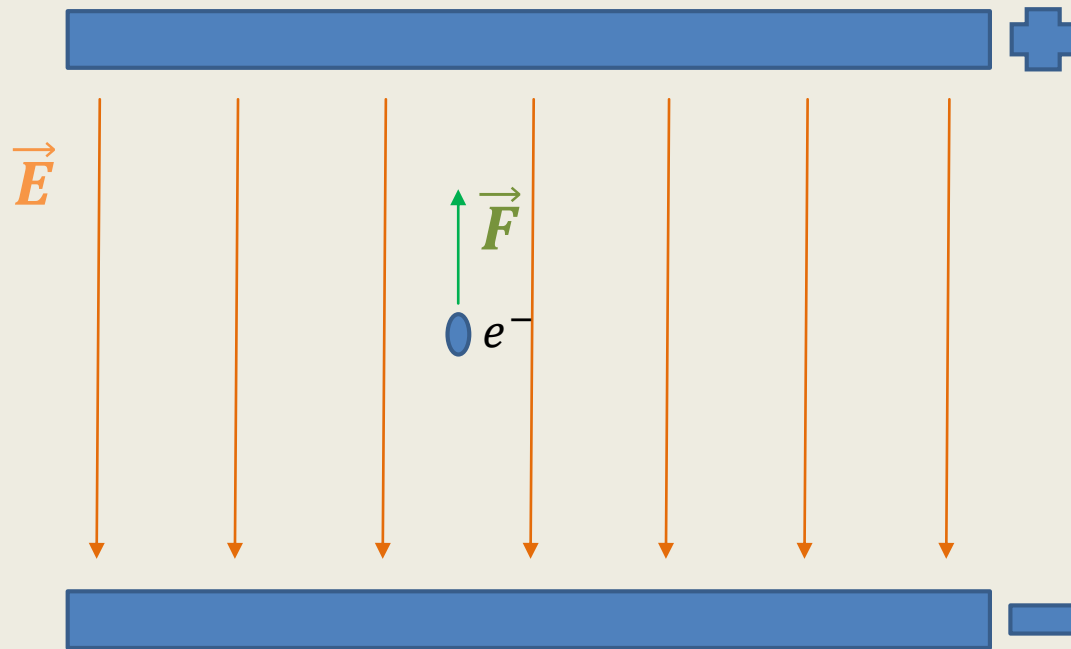


Elektrostatik



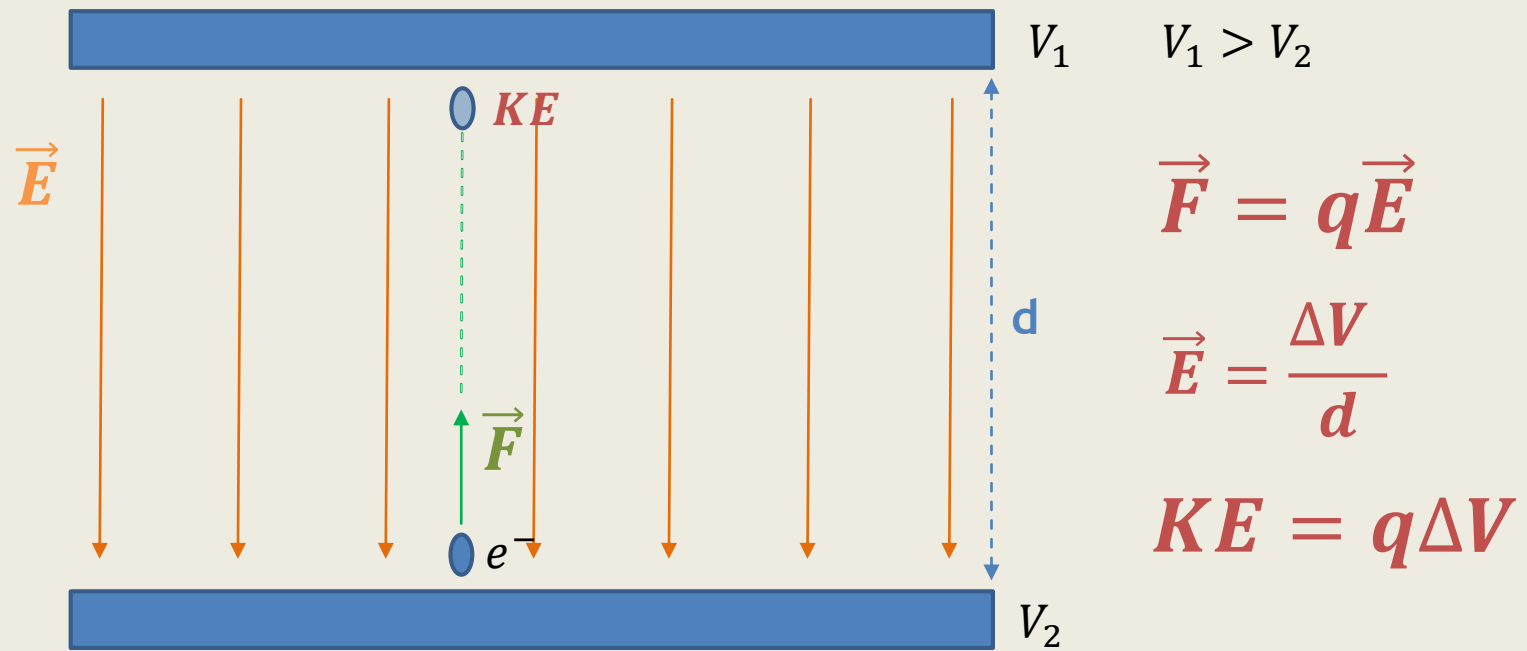
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Elektrostatik

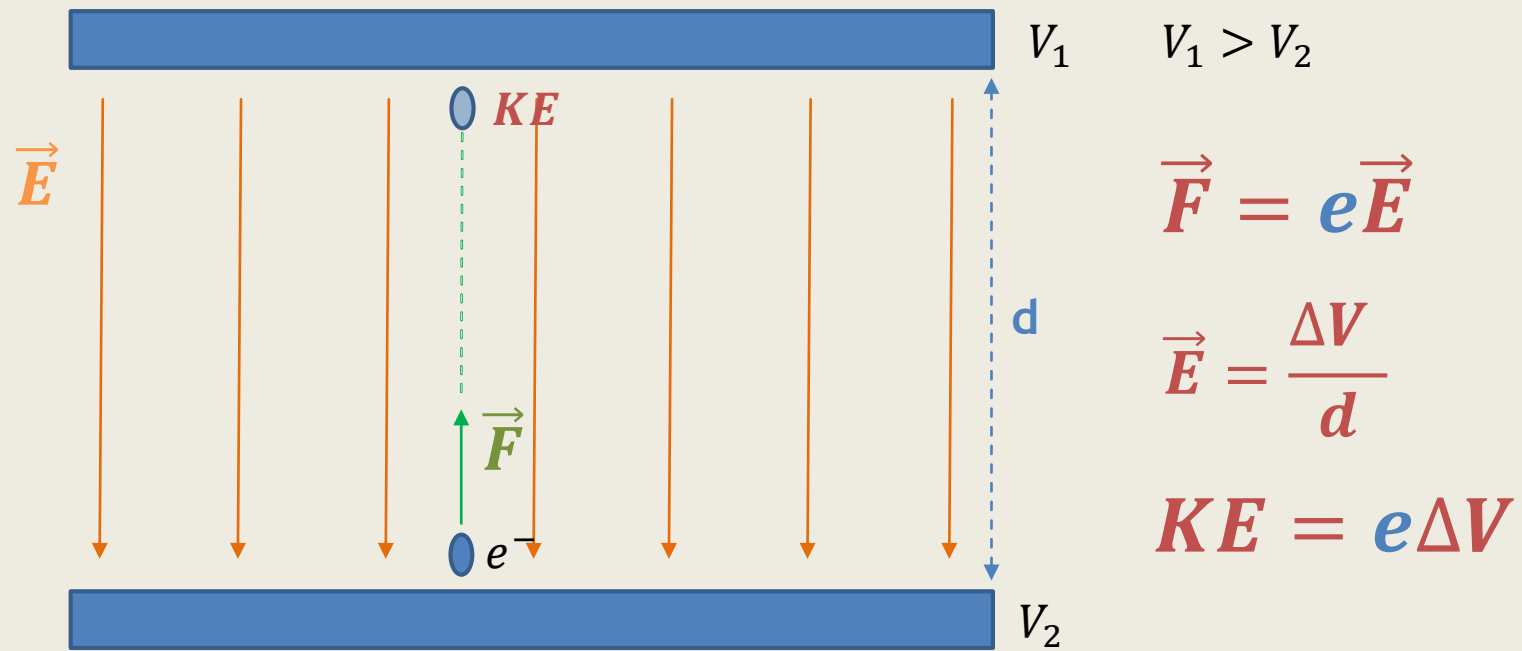


$$\vec{F} = e\vec{E}$$

Elektrostatik

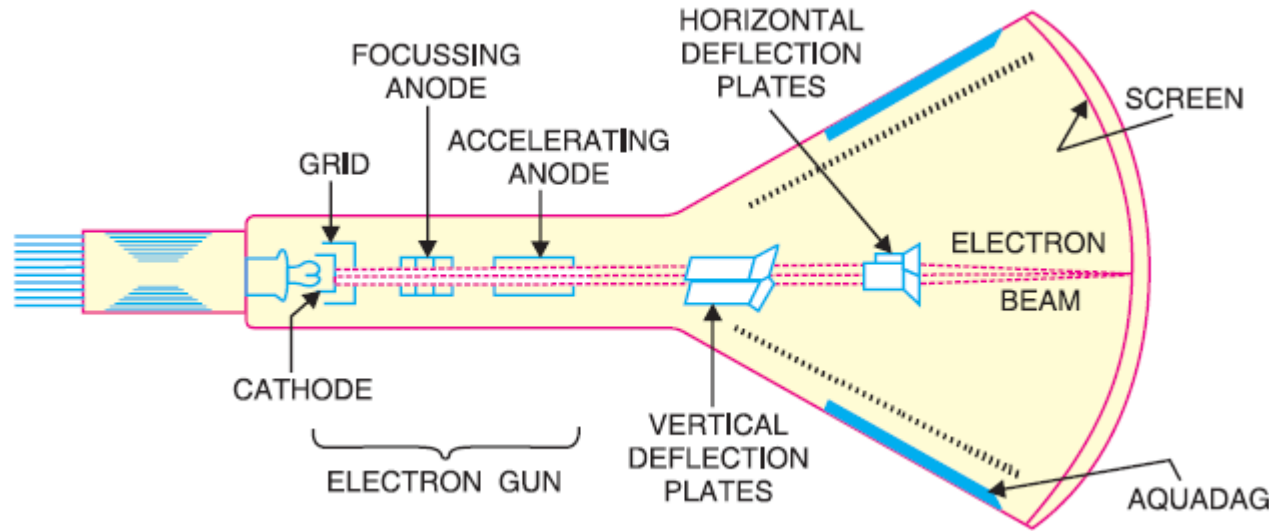


Elektrostatik



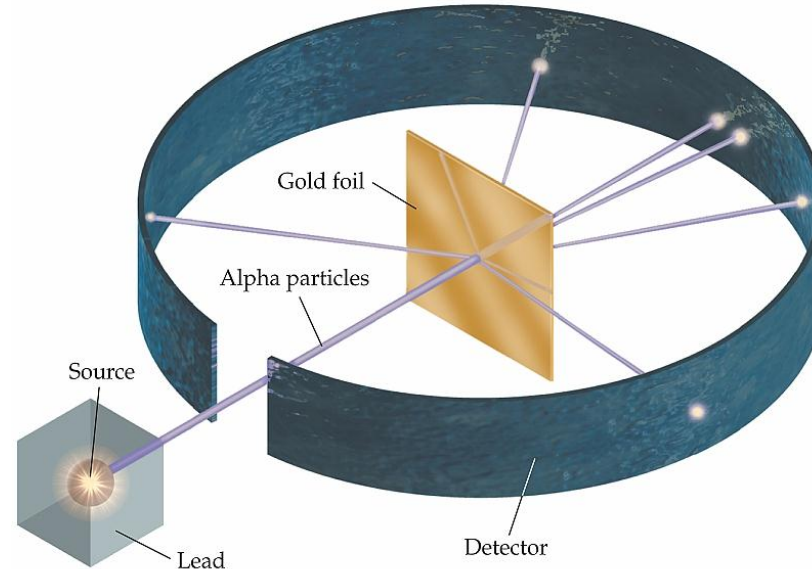
Elektrostatik Hızlandırıcılar

- Parçacık hızlandırıcılarına temel bir örnek olarak eski tüplü televizyonlarda da kullanılan ve görüntüyü sağlayan katot tüpleri verilebilir. Daha da genel bir biçimde söylemek gerekirse; statik bir elektrik alan altında yüklü parçacıkların ivmelendirilmesi bilinen en temel yöntemlerden biridir.



Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- ▶ 1911 Rutherford Deneyi ile fizikte yeni bir çağın başlaması
- ▶ Rutherford 1911 yılında altın plakaya gönderilen α parçacıklarının saçılmasını yorumlayarak; atomun çekirdekli bir yapıya sahip olması gerektiğini savundu.
- ▶ Yapılan deney bir hızlandırıcı mekanizması içermiyordu ancak Rutherford **maddenin temel yapıtaşlarının daha iyi anlaşılabilmesi için daha yüksek enerjilere çıkılması gerektiğini öngörmüştü.**



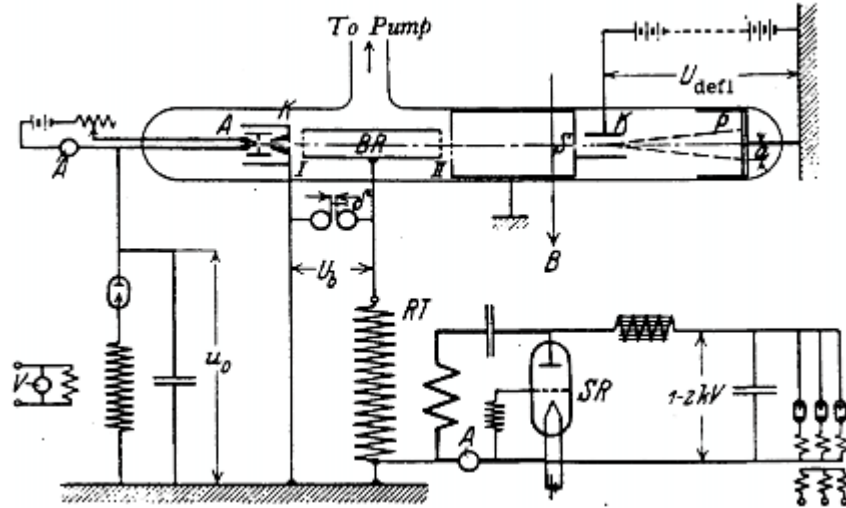
Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- **Problem:** Daha yüksek enerjili parçacıklar için daha yüksek potansiyel fark gerekli!

Ancak günümüzde bile MegaVolt üstünde sabit elektrik potansiyel fark sağlayarak MeV enerjili elektronları elde etmek neredeyse imkansız (malzemelerin bozunma gerilimi ve yük taşıyamama/boşaltma problemleri).

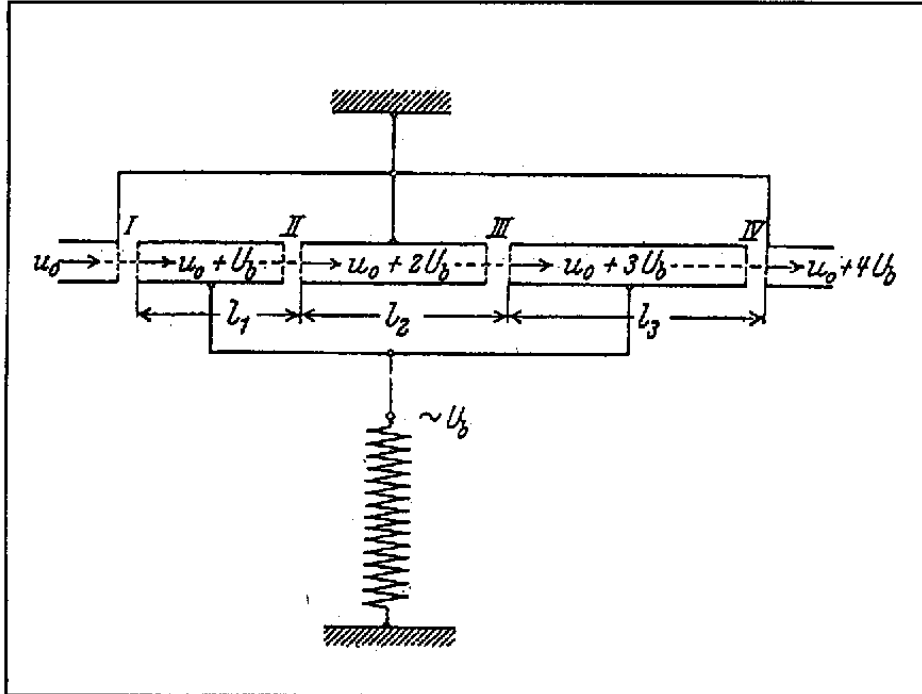
Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- **Çözüm:** Alternatif Akım
- **1924** yılına kadar sabit potansiyel fark deneyleri ile düşük enerjili hızlandırıcılar yapılabiliyordu. 1924'te ise İsveçli fizikçi Gustaf Ising parçacıkların çok daha yüksek enerjilere ulaşacak şekilde hızlandırılması için alternatif akımın kullanılmasını önerdi.



Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- 1927 Rolf Widerøe lisansüstü öğrencisiyken Ising'in çalışmasından ilhamla cam tüp içerisinde dünyanın ilk doğrusal hızlandırıcısını yapmıştır.



The principle of the drift tube as illustrated in Widerøe's thesis.

Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

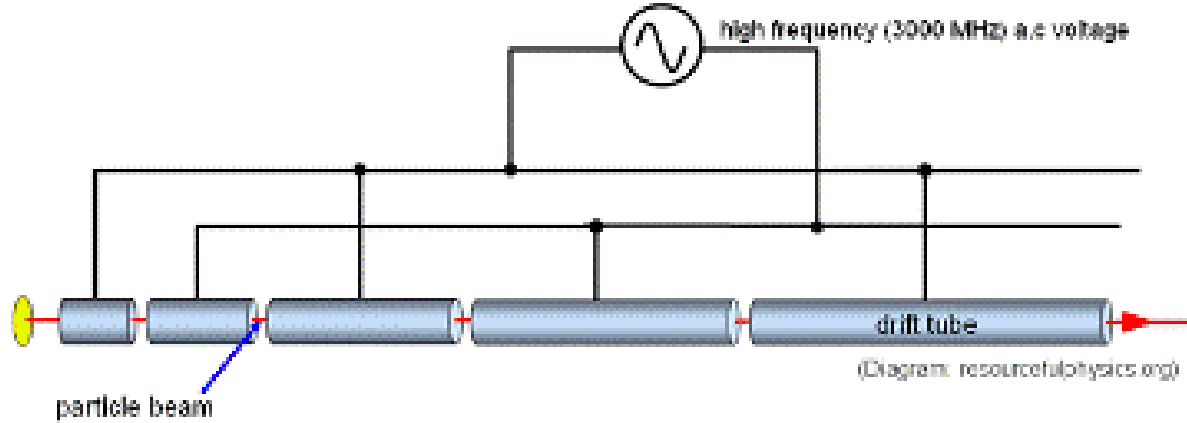
Hızlandırıcılarda Alternatif Akım ve Doğrusal Hızlandırıcıların Gelişimi

- Doğrusal hızlandırıcı (Linear Accelerator/Linac): Doğrusal olarak uç uca eklenmiş bir dizi hızlandırıcı, elektrik yükü sıfırdan farklı atomaltı parçacıkların ivmelenmesini sağlar. Her bir hızlandırıcı parçasının sağladığı küçük ivmelenmeler, art arda dizili hızlandırıcılar sayesinde hızlandırıcı uzunluğu arttıkça daha da etkili olmaya başlar. Bu sayede hızlandırıcıda yol alan parçacığın toplam momentum ve enerjisi de hızlandırıcının uzunluğuyla doğru orantılı olarak artar.

Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

Hızlandırıcılarda Alternatif Akım ve Doğrusal Hızlandırıcıların Gelişimi

► Doğrusal hızlandırıcı (Linear Accelerator/Linac)



Ising ve Widerøe 'nin öncülük ettiği çalışmalar sayesinde ilk Linak tipi hızlandırıcılar yapılmıştır. Widerøe bu yöntemle 25 kV potansiyel fark ile Sodyum ve Potasyum iyonlarını 50 keV enerjiye çıkarabilmişti.

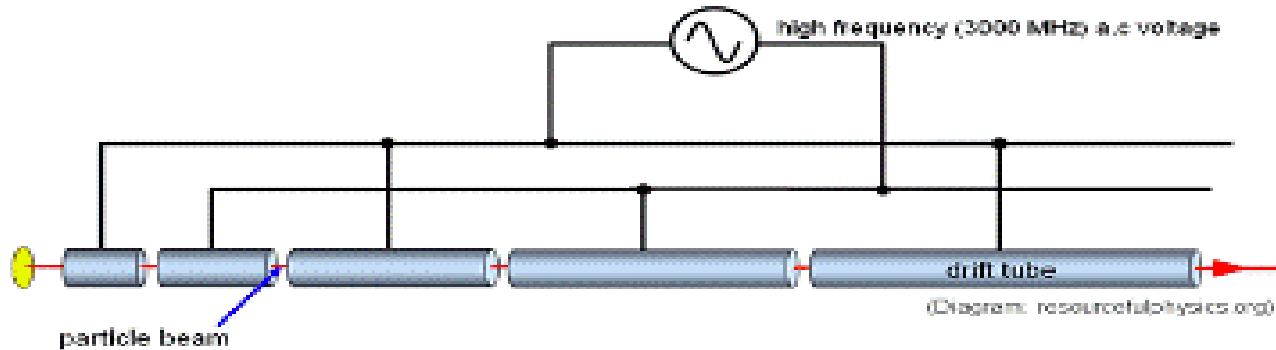
Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

Hızlandırıcılarda Alternatif Akım ve Doğrusal Hızlandırıcıların Gelişimi

► Doğrusal hızlandırıcı (Linear Accelerator/Linac)

Bu tür doğrusal hızlandırıcılarda alternatif akım, bulunduğu faza bağlı olarak, elektronun hem ilerleme hem de tersi yönde ivmelenmeye zorlayacaktır.

Bunu engellemek adına bu hızlandırıcılarda periyodik “kalkanlar (drift tubes)” bulunmaktadır. Ancak alternatif akımın frekansı ve hızlandırıcı dizisinin boyutu ve periyodu özenle seçilmelidir.



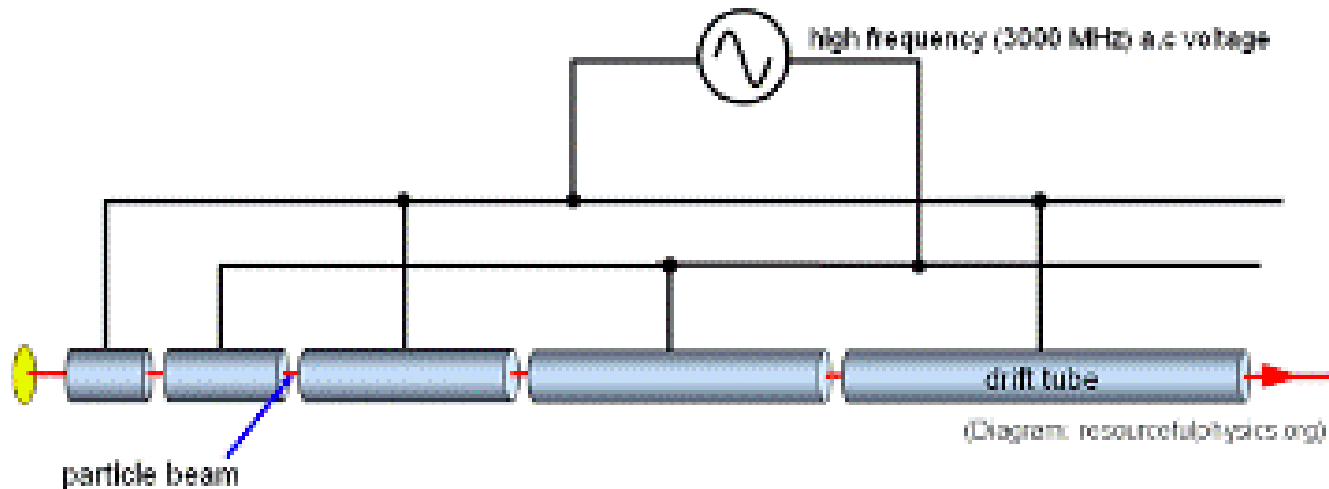


Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) ~3km



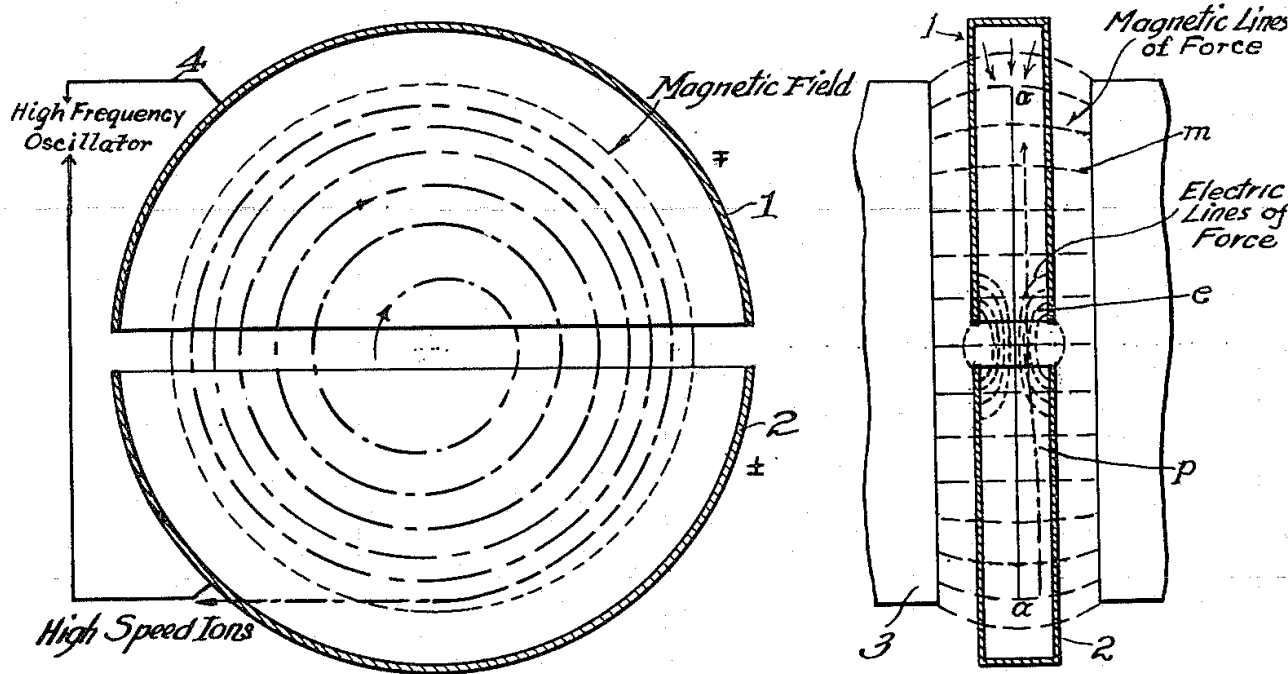
Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- **Problem:** Linak hızlandırıcılarda osilatörün frekansı alabileceği en yüksek değeri aldığı anda daha da yüksek enerjilere çıkmak için hızlandırıcının boyutlarının (periyodik kalkanların sayısının) artırılması gerekiyor.
- **Not:** Günümüzdeki linak hızlandırıcıların uzunlukları kilometrelerle ifade edilmektedir.

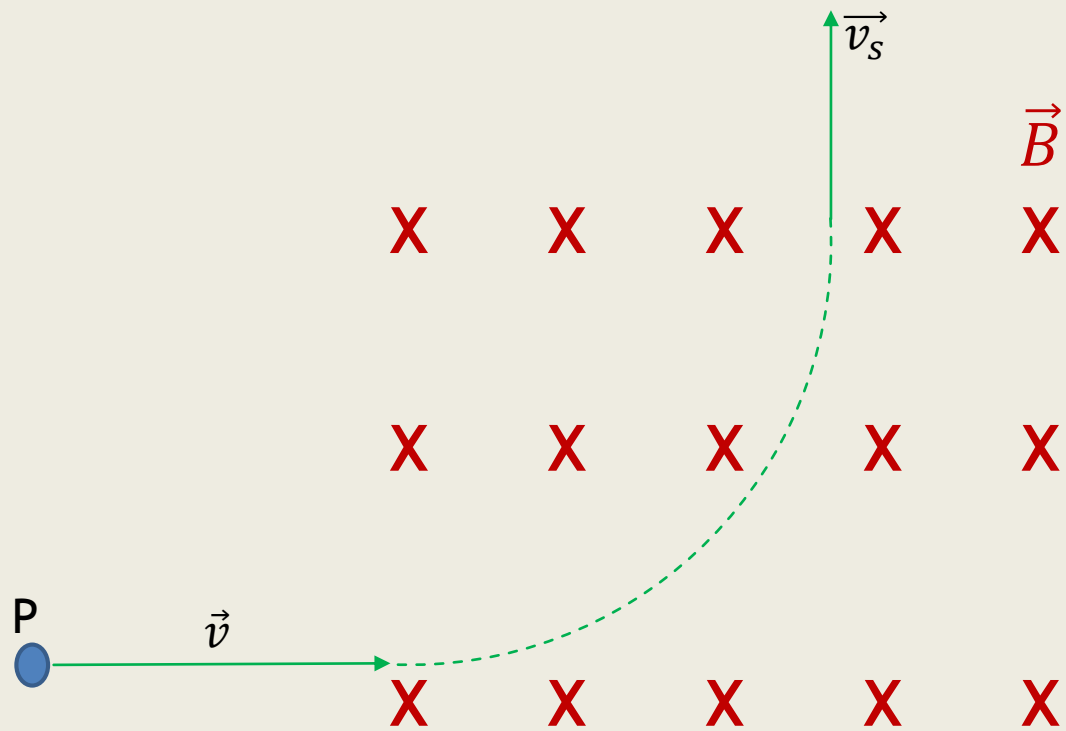


Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

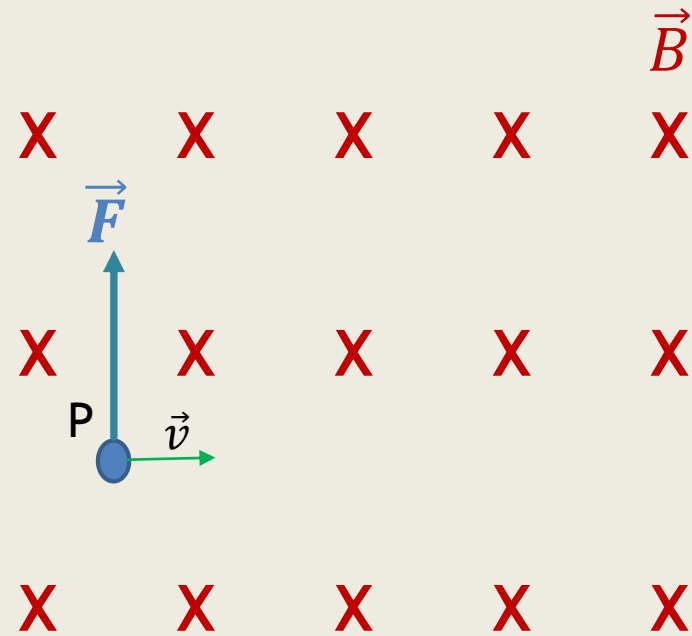
- 1930 Ernest O. Lawrence öğrencisi Livingston ile beraber 10 cm çapında bir döndürgeç (**cyclotron**) yaptılar (Döndürgeç icadından dolayı 1939 yılında nobel ödülü aldı)



Manyetostatik

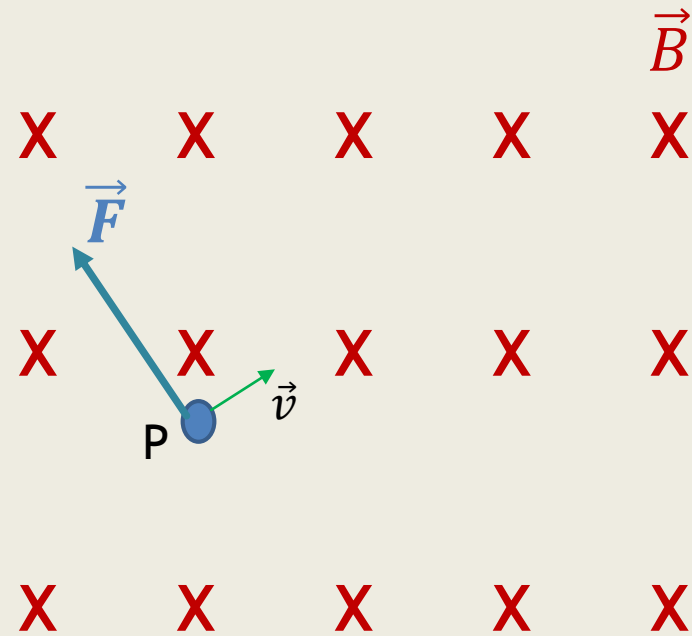


Manyetostatik



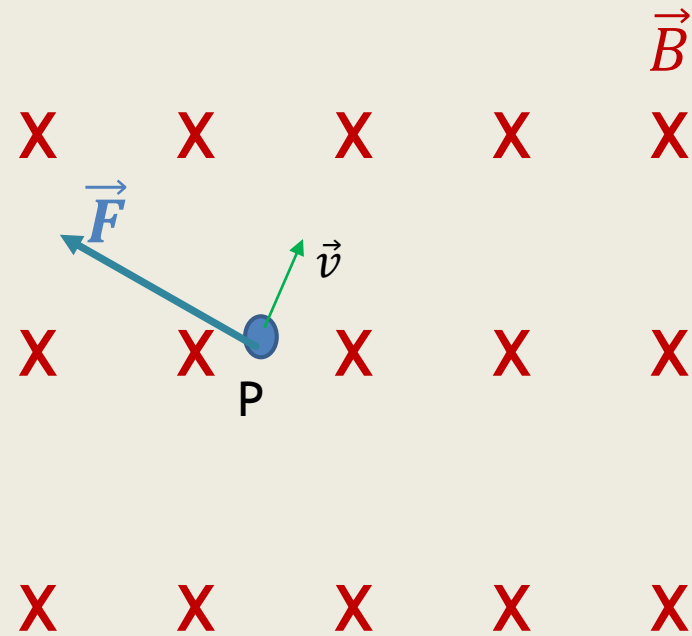
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Manyetostatik



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

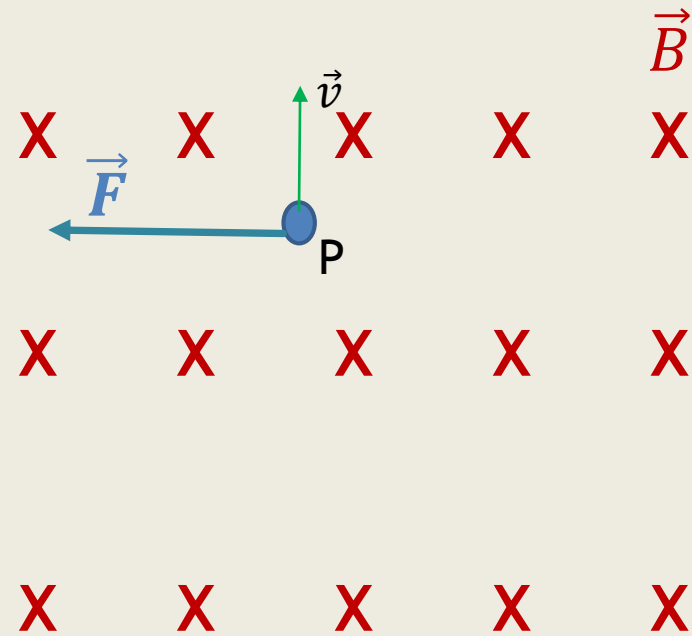
Manyetostatik



$\vec{B}$

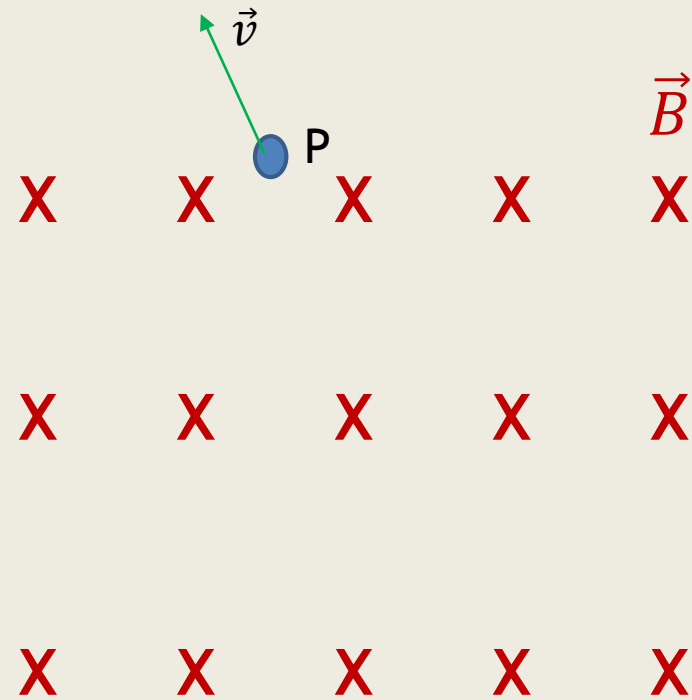
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Manyetostatik



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

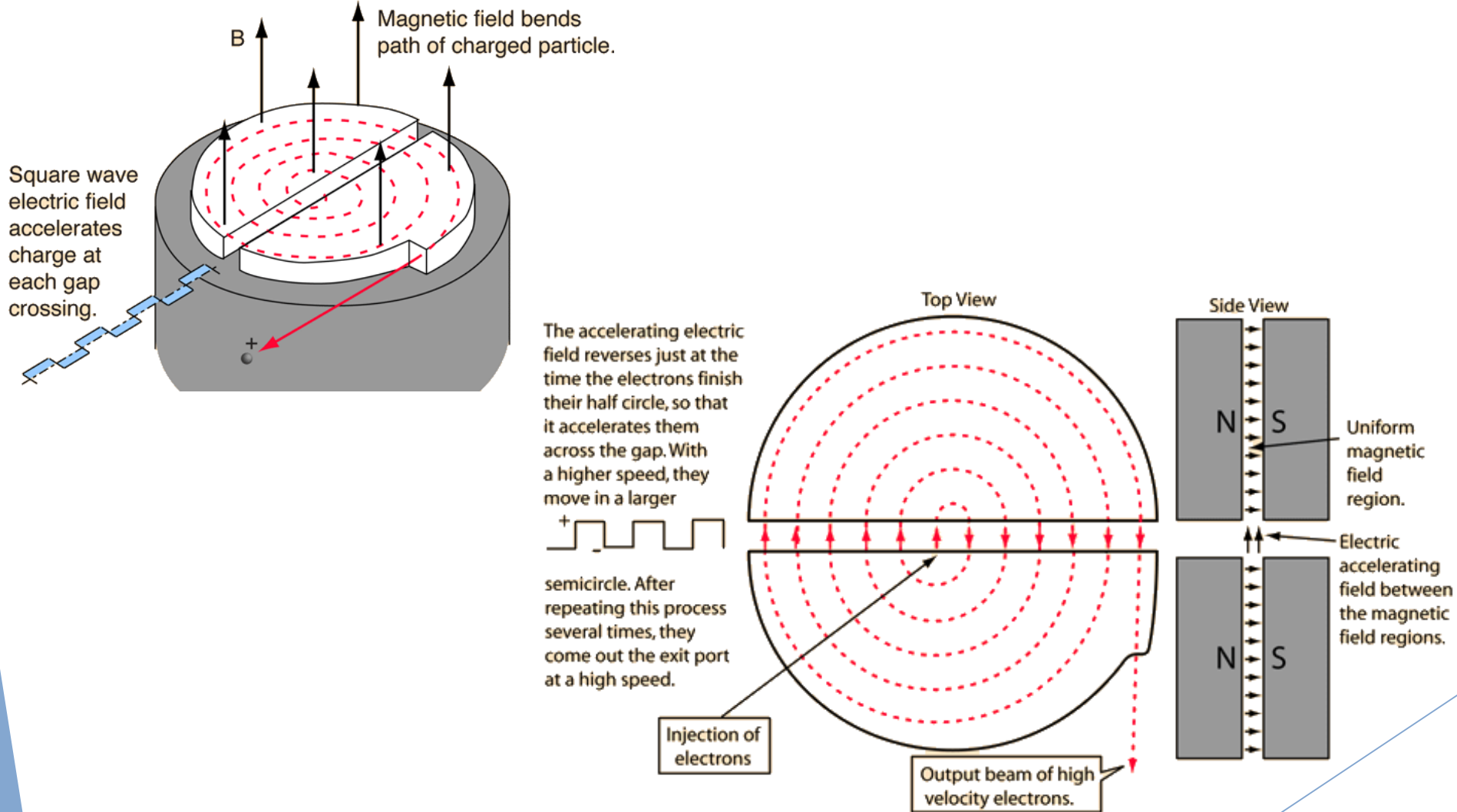
Manyetostatik



Manyetostatik



Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi



Paracak Hızlandırıcıların Tarihçesi

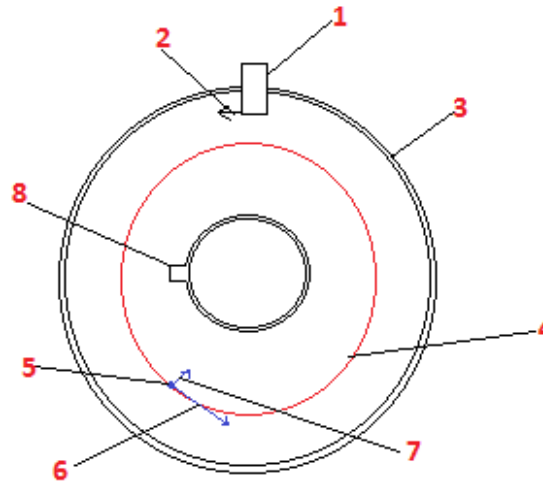
- 1942 Donald Kerst, elektronları 20 MeV'e hızlandıracak **Betatron**'u inşa etti.



Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

Betatron:

- ▶ Ana çember ve bir vakum çemberinden oluşur. Elektron tabancasından gelen elektronlar ivmelendirilir. Çember, alternatif akım ile sürülen elektromıknatısın iki kutbu arasındadır. Sabit bir şekilde değişen manyetik alan elektromotor kuvveti oluşturur ve elektronların ivmelendirilmesi de bu şekilde sağlanır. Son olarak ise X-ışını oluşturmak için metal hedefe yönlendirilirler.
- ▶ Elektronların izledikleri yörünge yarıçapları sabit olacak şekilde manyetik alan ayarlanmalıdır.
- ▶ 1950 yılında betatron elektronları 300 MeV enerjiye çıkaracak kadar geliştirilebilmişti.



Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

Betatron	Cyclotron
Zaman-bağımlı manyetik alan	Sabit manyetik alan
Dairesel yörünge	Spiral yörünge
Sabit mekanizma boyutları enerjiyi sınırlamaz	Daha yüksek enerji için daha büyük mekanizma

Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- ▶ **1954 Sinkrotronun** temel ilkesi, betatrona benzer şekilde, hızlandırılmış parçacıkları sabit bir yörünge yarıçapında tutmaktır. Bu, manyetik alan kuvvetini hızlandırılmış parçacıkların enerjisiyle senkronize ederek elde edilir. Böylece, parçacıklar hızlandırılır ve enerji kazanır, manyetik alan, parçacık yörüngesini sabit tutarak artırılır. İnşa edilmiş ilk Sinkrotron geliştirilmiş bir Betatrondur ve iki İngiliz fizikçi: Frank Goward ve D. Barnes tarafından tamamlanmıştır.
- ▶ 1954 yılından sonra ise birçok Synchrotron inşa edildi. Örneğın; Glasgow Üniversitesi'nde Phillip Dee'nin önderliğinde elektronlar 350 MeV'e kadar hızlandırılabilmiştir.
- ▶ Artık parçacıkların enerji/hız limitlerini belirleyen:
 - ışık hızı ve
 - parçacıkların dönme hareketi ile yaptıkları ışımalardır.

Paracak Hızlandırıcıların Tarihçesi

- **1959** Cern'de bilim insanları, protonları 28 GeV'e hızlandıran proton sinkrotronunu inşa ettiler.



Parçacık Hızlandırıcıların Tarihçesi

- **1987** FNAL'de protonları 900 GeV'e hızlandıran Tevatron inşa edildi. Tevatron süperiletken mıknatısları kullanan ilk hızlandırıcıdır.



Paracak Hızlandırıcıların Tarihçesi

- 2010 LHC, protonları 3.5 TeV'e kadar hızlandırdı.

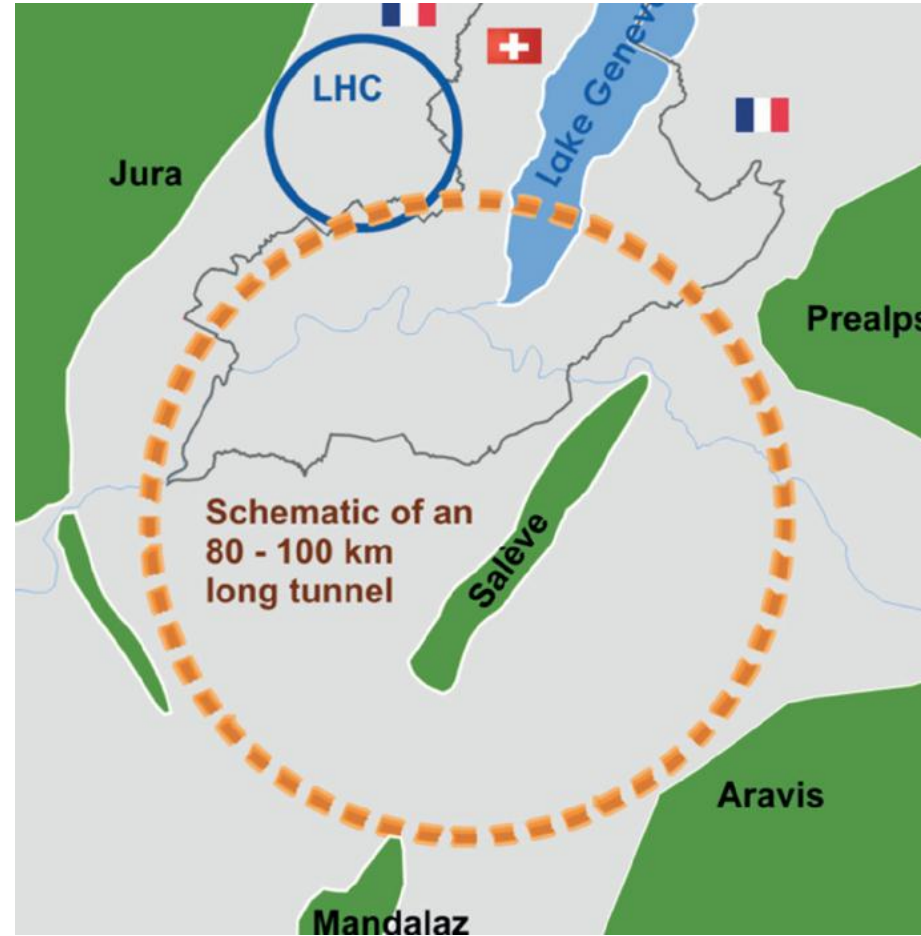


Şimdi 6.5 TeV

Paracak Hızlandırıcıların Geleceęi

>2016

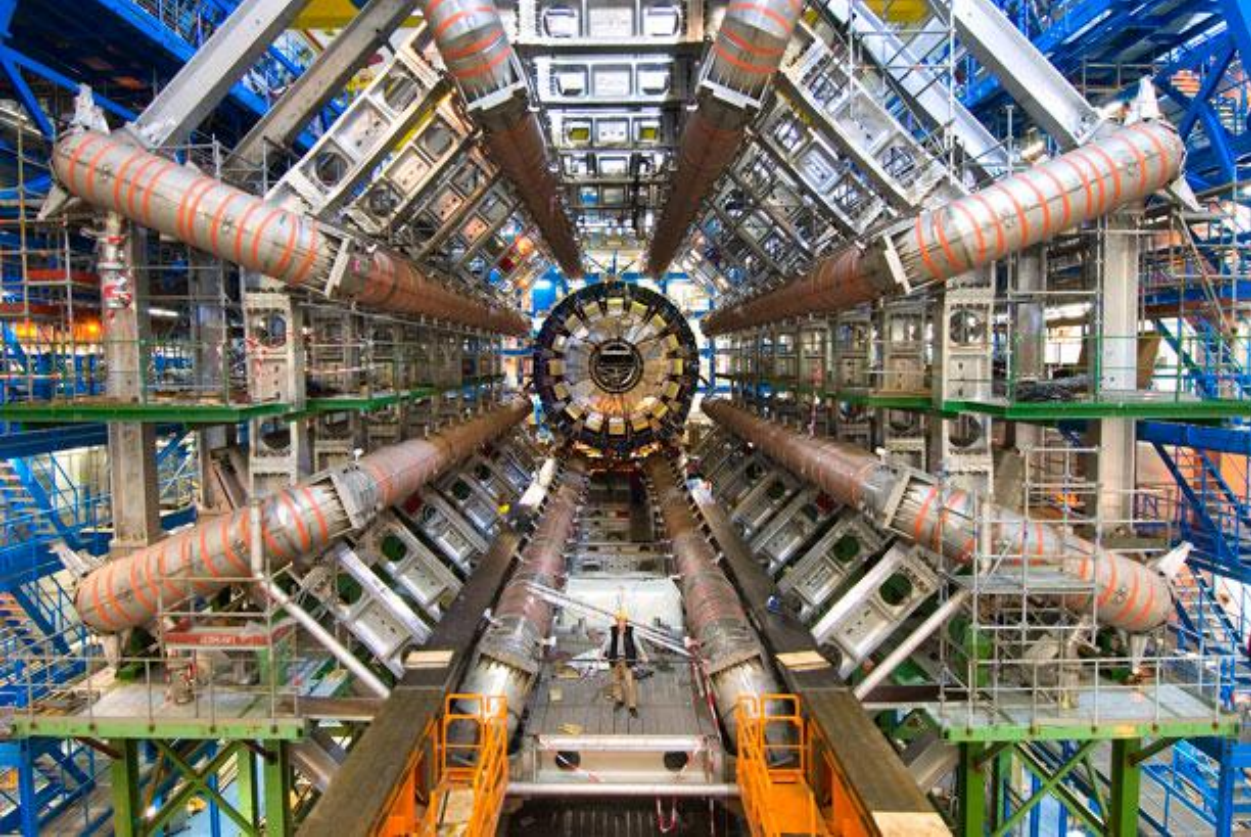
- ▶ FCC
- ▶ PWFA
- ▶ ILC
- ▶ CLIC



Parçacık arpıştırıcıları

Parçacık Çarpıştırıcısı Nedir?

Parçacık çarpıştırıcıları , parçacık hızlandırıcılarını bünyesinde bulunduran ve bu hızlandırıcılardaki parçacık demetlerinin güzergahlarını, çarpışma gerçekleşebilmesi için, birbiriyle çakıştıran yapılardır.



Colliders	Ring-Ring	Linac-Linac	Linac-Ring
Hadron			
Lepton (e^-e^+)			
Lepton ($\mu^-\mu^+$)			
Lepton-hadron (eh)			
Lepton-hadron (μh)			
Photon-hadron			

Hangi çarpıştırıcı türü hangi parçacıklar için en uygundur?

Colliders	Ring-Ring	Linac-Linac	Linac-Ring
Hadron	+		
Lepton (e^-e^+)		+	
Lepton ($\mu^-\mu^+$)	+		
Lepton-hadron (eh)			+
Lepton-hadron (μh)	+		
Photon-hadron			+

Protonlar elektronlara göre 10^{13} kat daha yavaş enerji kaybederler. Bu yüzden protonlar için dairesel hızlandırıcılar yüksek enerjilere ulaşmada daha uygundur.

Paracak çarpıştırıcıları

arpıştırıcılarda bizi neler ilgilendiriyor?

- ↗ Elde edilebilecek kütle merkez enerjileri
- ↗ Birim zaman başına etkileşim sayısı
- ↗ Toplam etkileşim sayısı

Parçacık Çarpıştırıcıları

- **Işınlık:** Birim alanda birim zamanda geçen parçacık sayısı $cm^{-2}s^{-1}$

$$L = \frac{N_1 N_2}{4\pi\sigma^2} f_c$$

N_i : i. demetteki parçacık sayısı

σ : Enine parçacık boyutu

f_c : Çarpışma frekansı (sıklığı)

Parçacık sayısı

Parçacık demeti enine boyutu

Çarpışma frekansı (sıklığı)



Işınlık ↑

Işınlık ↓

Işınlık ↑

