



# FİZ0424 PARÇACIK FİZİĞİ

*Ankara Üniversitesi  
Fen Fakültesi Fizik Bölümü  
11. Hafta*

---

AYSUHAN OZANSOY

---

## İçerik:

1. Hızlandırıcılar
2. Doğrusal ve Dairesel Hızlandırıcılar
3. Doğrusal ve Dairesel Hızlandırıcıların Karşılaştırılması

# 1. HIZLANDIRICILAR

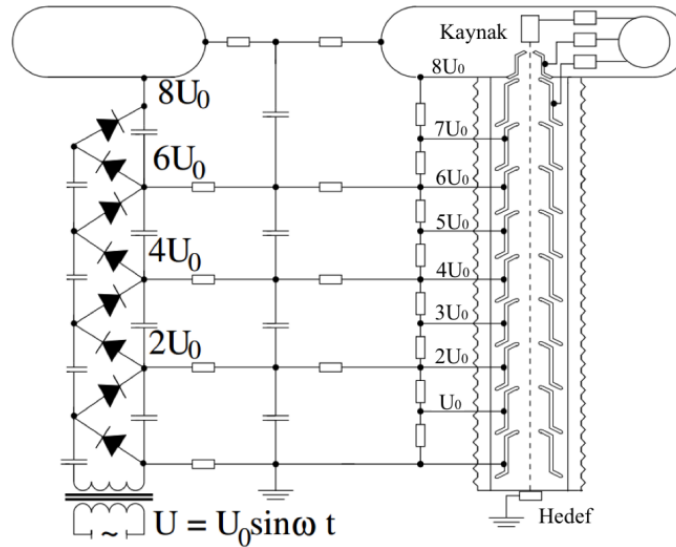
- Rutherford ve öğrencilerinin çekirdeği keşfetmelerinden sonra, çekirdekle ilgili daha ayrıntılı ölçümler yapmak için **daha yüksek enerjili parçacıklara** ihtiyaç olduğu anlaşılmıştı.
- Aslında bu sonuç, belirsizlik ilkesine dayanan bir gerçektir: **küçük uzaklıklar büyük momentumlara karşılık gelir.**
- Dolayısıyla ne kadar yüksek enerjilere ulaşırsak o kadar küçük parçacıkları görebiliriz.
- Temel yapı taşlarının neler olduğunu anlama çalışmalarının temelini günümüzde modern parçacık hızlandırıcıları ve detektörleri (algıçları) oluşturuyor.
- Yüksek enerjiler kozmik ışıklardan elde edilse de, kozmik ışıklarla çalışmak zordur. Kozmik ışıkların enerjileri kontrol edilebilir değildir.
- Parçacık hızlandırıcılarında, parçacıkları yüksek enerjilere çıkarıp, bu parçacıkları çarpıştırarak maddenin temel yapıtaşları ile ilgili bilgiler elde edebiliriz.
- İlk parçacık hızlandırıcılarının kurulduğu 1930' lu yıllardan günümüze kadar, parçacık enerjileri keV mertebesinde TeV mertebesine kadar yükselmiştir.

→ Tüm hızlandırıcıların temel fikri; potansiyel fark uygulayarak parçacıkları hızlandırmaktır.

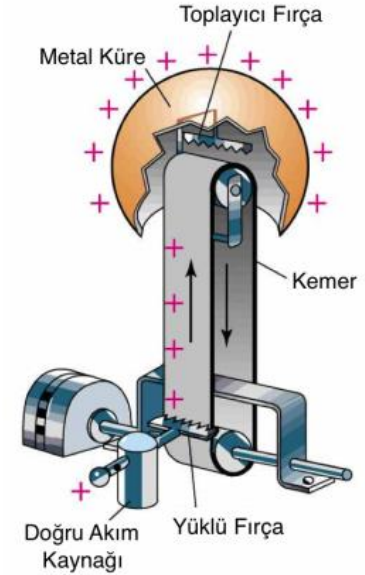
➤ Elektrostatik Hızlandırıcılar: Potansiyel fark uygulamak için bir güç kaynağı (üreteç) kullanılır. Yüksek elektrik alanlarda elektrik boşalmaları olabileceğinden bunu engellemek için üreticinin potansiyel farkını paylaşan bir dizi elektrot kullanılabilir. Elektrostatik hızlandırıcılara Cockroft-Walton Hızlandırıcısı ve Van de Graff Hızlandırıcısı örnek olarak verilebilir.



Şekil Kaynak [1]'den alınmıştır.



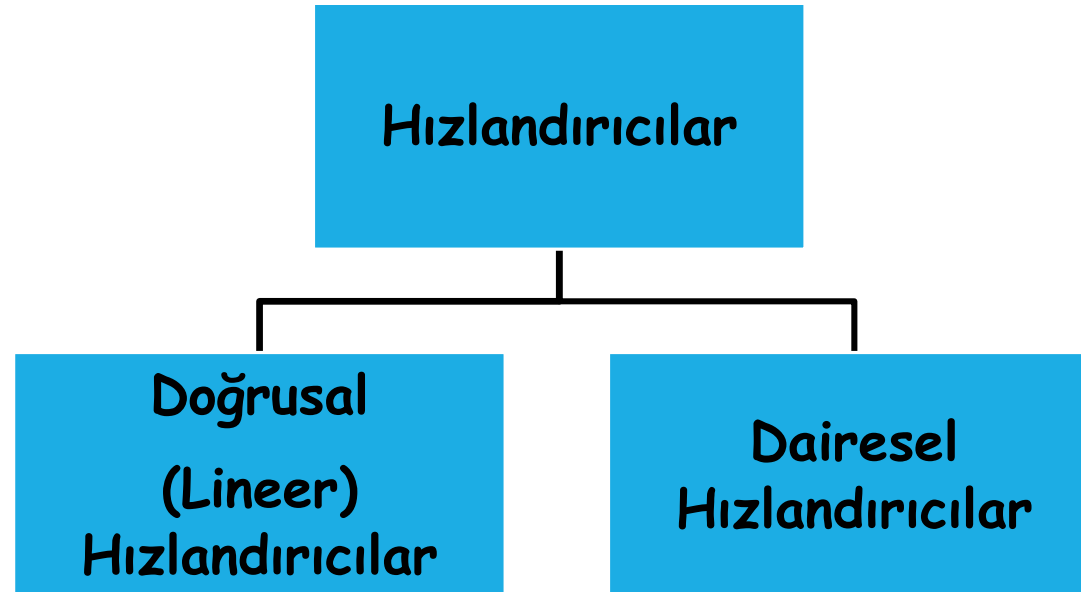
Cockroft–Walton hızlandırıcısının şeması



Van de Graff üreticisi

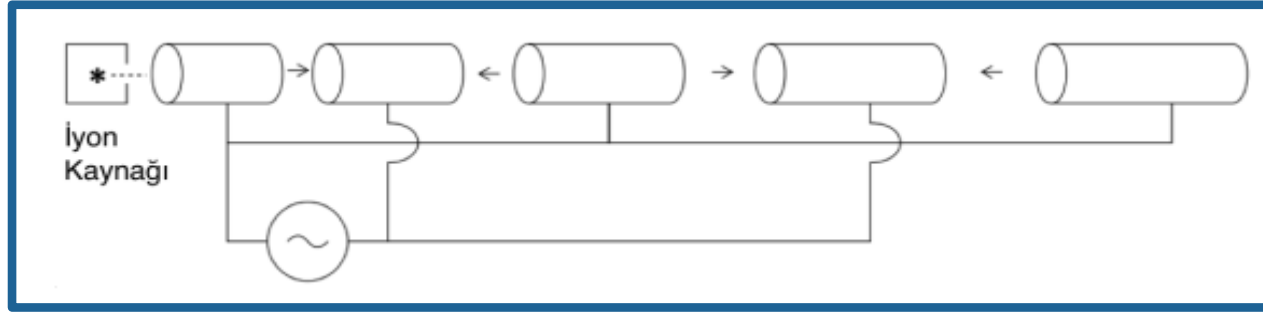
➤ **Radyo frekans (RF) Hızlandırıcılar:** 3 kHz ile 300 GHz arasında (bu aralık rf frekansı olarak adlandırılır) salınım yapan bir alternatif akım üretici kullanan hızlandırıcılardır. Günümüzde pek çok RF hızlandırıcısı kullanılmaktadır.

- ➔ Hızlandırıcılarda, parçacıkların hava molekülleri ile çarpışmamları için parçacıklar vakum tüplerinde tutulurlar.
- ➔ Demetteki parçacıkların birbirlerini itmelerini engellemek ve odaklamak için mıknatıslar kullanılır.
- ➔ Temelde şekillerine göre iki tip hızlandırıcı vardır:



## Doğrusal Hızlandırıcılar: (Kısaca linac = linear accelerator)

- Parçacıklar düz bir hat boyunca hızlandırılır.
- Yüksek enerjilere ulaşmak için değişik hızlandırma yapıları kullanılır (sürüklenme tüpleri, rf kovuklar...)



Wideroe doğrusal hızlandırıcısının şematik gösterimi. Silindirler sürüklenme tüplerini göstermektedir.

## Dairesel Hızlandırıcılar:

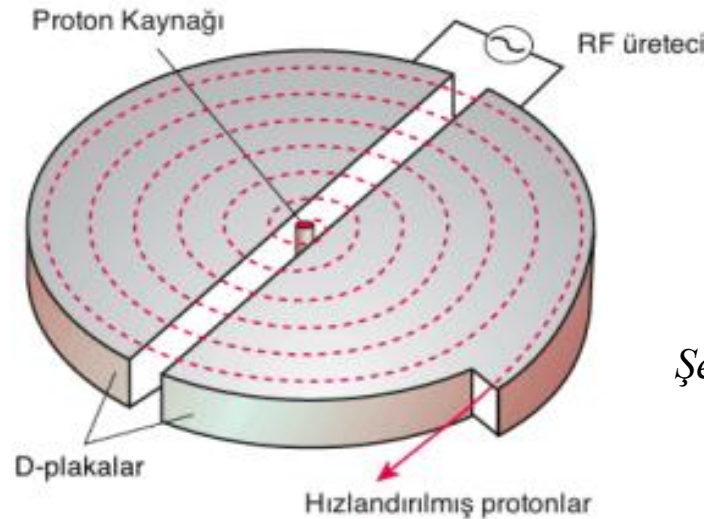
- Bu tip hızlandırıcılar daire şeklindedir, parçacıklar yeterli enerjiye ulaşan kadar çembersel hareket yaparlar.
- Günümüzde en çok kullanılan dairesel hızlandırıcı tipleri şunlardır: **cyclotron (döndürgeç)** ve **sinkrotron (eş zamanlayıcı)**

**Cyclotron:** 1931 yılında E. Lawrence ve öğrencisi M.S. Livingston tarafından geliştirildi. Yaklaşık 4 inç çapında olan bu cyclotron ile 1,8 kV'luk bir RF üretici kullanarak protonlar 80 keV' e kadar hızlandırıldı.

Cyclotron' un çalışma prensibi şöyledir: RF üretici «D» ler adı verilen metal elektrotlara bağlanmıştır. Merkezdeki kaynaktan üretilen parçacıklar manyetik alanda çembersel hareket yaparlar. İki D plakası arasında elektrik alan oluşur ve bu alanda parçacıklar hızlanır. Hızı artan parçacığın yörünge yarıçapı artar.



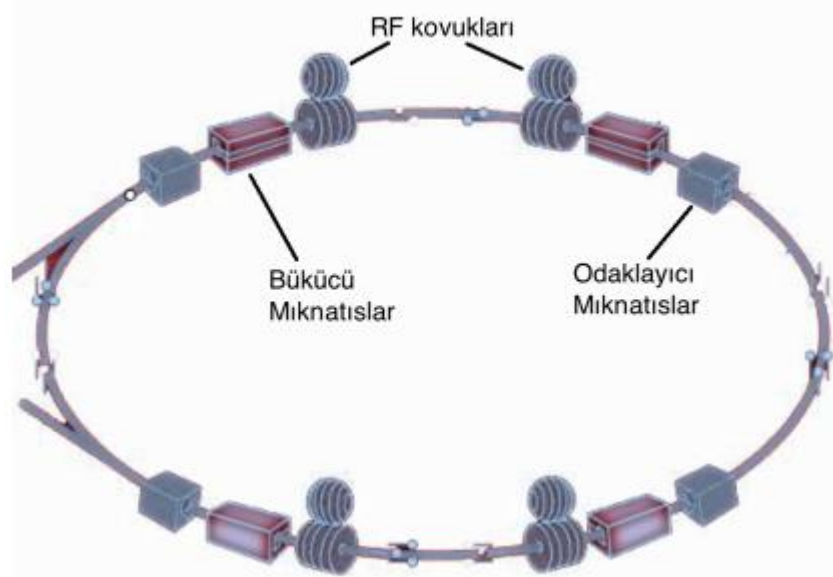
*İlk cyclotron*



*Şekil Kaynak [2]'den alınmıştır.*

**Sinkrotron**: 3 temel bileşeni vardır:

- **RF kovuklar**: buradaki elektrik alan ile parçacıklar hızlandırılır.
- **Bükücü mıknatıslar** (iki kutuplu=dipol mıknatıslar): parçacıkların sinkrotron çevresinde 360 derece dönüş yapmasını sağlar.
- **Odaklayıcı mıknatıslar** (dört kutuplu=kuadrapol mıknatıslar): Parçacıkları demet borusu içinde tutmak için kullanılır.



*Şekil Kaynak [2] 'den alınmıştır.*

→ Günümüzde inşa edilen en büyük ve en güçlü sinkrotron CERN ( Fransızca **Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire** = **Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi**) ' de bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısıdır (LHC = Large Hadron Collider).



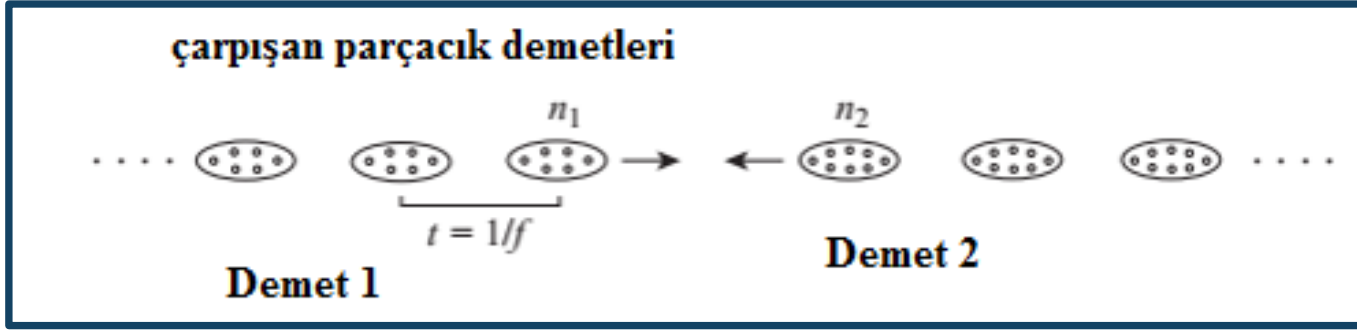
### 3. Doğrusal ve dairesel çarpıştırıcıların karşılaştırılması



- Aynı parçacık enerjisine doğrusal veya dairesel hızlandırıcı kullanarak ulaşmak istiyorsak; dairesel hızlandırıcı daha küçük boyutta olur. Doğrusal (lineer) hızlandırıcı daha büyük uzunlukta (boyu daha uzun) olur.
- Dairesel hızlandırıcılarda parçacığı yörüngede tutmak için bükücü mıknatıslar gerekir. Bu mıknatısların sayısı, maliyeti, süperiletken teknoloji kullanılıyorsa soğutması gibi sınırlayıcı etkileri var. (Örneğin LHC de 1.9 K' de tutulan, 1232 tane bükücü mıknatıs var ve bunların tanesi ~0.5 milyon CHF !)
- **Yüklü bir parçacık ivmelendiğinde ışımaya yapar.** Dairesel hareket durumunda bu ışımaya sinkrotron ışınımı denir. Bu ışımaya çarpıştırıcı için sınırlayıcı bir faktördür, hızlandırma sürecinde enerji kaybına neden olur. Elektron gibi daha hafif parçacıklar daha çok ivmeleneceğinden ışımaya daha fazla olur. Bu nedenle **protonlar (ve daha ağır parçacıklar) için dairesel hızlandırıcılar, elektronlar için doğrusal hızlandırıcılar tercih edilir.**

## Hızlandırıcılarla ilgili 2 önemli parametre: Işınlık ( $\mathcal{L}$ ) ve Kütle merkezi enerjisi( $\sqrt{s}$ )

- Parçacık demetinin içinde çok fazla sayıda parçacık vardır. Parçacık demetleri aşağıdaki şekilde resmedildiği gibi paketçikli bir yapıdadırlar. (Örneğin LHC' deki proton demetlerinde 2808 paketçik ve her paketçikte  $1.15 \times 10^{11}$  tane proton var.)



Şekil Kaynak [3]'ten alınmıştır.

$n_1$  ve  $n_2$  sırasıyla, demet 1 demet 2 için bir paketçikteki parçacık sayısı,  $f$  frekans ve  $a$  demetlerin kesit alanı olmak üzere ışınlık;

$$\mathcal{L} \sim f n_1 n_2 / a$$

şeklindedir. Birimi  $\mathcal{L} : \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

→ Işınlık birim zamanda birim yüzey alanı başına çarpışma sayısı olarak tanımlanabilir. Bu **anlık ışınlıktır**.

**Toplam (integrated) ışınlık ( $\mathcal{L}_{int}$ )** → 1 yıl boyunca toplanan ışınlık. Çarpıştırıcının 1 yıllık çalışma süresi dikkate alınıyor (1 yıl  $\sim 10^7$  saniye olarak alınır )

$$\mathcal{L}_{int} = \int L dt$$

$$\mathcal{L}_{int} : \text{cm}^{-2}$$

$$1 \text{ cm}^2 = 10^{24} \text{ barn} :$$

→ Işınlık neden önemli? Tesir kesiti ve toplam ışınlığın çarpımı bir süreçle ilgili olay sayısını verir.

$$\mathcal{N} = \sigma \mathcal{L}_{int}$$

$\mathcal{N}$ : Olay sayısı

Kütle Merkezi Enerjisi

$$E_{CM} \equiv \sqrt{s}$$

$$s \equiv (p_1 + p_2)^2 = \begin{cases} (E_1 + E_2)^2 & \text{in the c.m. frame } \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0, \\ m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2). \end{cases}$$

Mandelstam  
değişkeni

Dörtlü  
momentumlar



**Hatırlatma:** Uygulama sorularında  $\sqrt{s}$ 'nin nasıl hesaplanacağı gösterilmişti. Notlarınızı tekrar gözden geçiriniz.

# Kaynaklar

---

1. <https://indico.cern.ch/event/669040/contributions/2735856/attachments/1586367/2508404/TTP-SCetin-22012018.pdf> (S.A. Çetin, CERN-Türk Öğretmen Çalıştayı Sunumu, 2018)
2. «Meraklısına Parçacık ve Hızlandırıcı Fiziği», B. Akgün, G. Ünel, S. Erhan, S. Sekmen, U. Köse ve V. Yıldız. (2014)
3. «Collider Phenomenology», T. Han, arxiv: hep-ph/0508097 (2005).
4. "Introduction to Elementary Particles" , D. Griffiths, Wiley, 2nd revised edition, 2013.