

# **HIZLANDIRICILAR**

**Doç. Dr. Turan OLĞAR**

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Fizik Mühendisliği Bölümü

# HIZLANDIRICILAR

Hızlandırıcıların amacı, belirli bir parçacık demetini istenen bir enerjide seçilen bir malzemedan oluşan hedefe çarptırmaktır. Bu amaç için farklı düzenlenime sahip elektrik ve manyetik alanlar kullanılır. Bir hızlandırıcı aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

1. Yüklü parçacık kaynağı
2. Yüklü parçacıkları hızlandırmak için elektrik alan
3. Demet içindeki parçacıkların dağılmalarını engellemek için odaklama elemanları
4. Demeti istenen bir doğrultuda hedefe çarptırmak için saptırıcılar
5. Parçacık demetinin hava molekülleri ile etkileşmesini engellemek için vakumlu oda

# HIZLANDIRICILAR

Hızlandırıcılar genellikle amaca göre tasarınılanır. Bazen parçacık demetinin yoğun olması istenir, bazen de parçacıkların yüksek enerjili olması istenebilir.

Hızlandırıcılar düşük, orta ve yüksek enerjili hızlandırıcılar olarak sınıflandırılabilir.

Düşük enerjili hızlandırıcılar 10-100 MeV

Orta enerjili hızlandırıcılar 100-1000 MeV

Yüksek enerjili hızlandırıcılar 1 GeV ve üzeri enerjili

Yüksek yoğunluklu demet kullanıldığı durumlarda hedef ısınabilir. Hedefler bu nedenle soğutulur

# HIZLANDIRICILAR

Demeti odaklayan ve istenilen yol üzerinde bükülmesini ve saptırılmasını sağlayan çok sayıda elektrik ve manyetik aygıt vardır (Bknz: Şekil 15.2 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)). Dört kutuplu kuadrupol magnet,  $b$  bir sabit olmak üzere,

$$B_x = by \quad B_y = bx$$

yönlerinde alan oluşturur. Demet eksenine alanın olmadığı  $z$  doğrultusundadır.

$$F_x = -qv_z B_y = -qv_z bx = -kx$$

$$F_y = qv_z B_x = qv_z by = ky$$

$b > 0$  için demet  $x$  eksenine boyunca odaklanırken,  $y$  eksenine boyunca dağılma olur.

# HIZLANDIRICILAR

İki adet kuadropol birbiri ile  $90^0$  açı yapacak şekilde seri olarak yerleştirilirse, her iki yönde ( x ve y yönünde) hem dağıtma hem odaklama etkisi olur. Net etki odaklama şeklinde olur.

## Siklotron Hızlandırıcıları

Bu hızlandırıcıda parçacık demeti her seferinde enerjisinde küçük bir artış olacak şekilde defalarca dönüş yapar (Bknz: Şekil 15.11 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)). Tasarım, şekilleri D'ye benzeyen yarım dairelerden oluşmaktadır. D'ler alternatif gerilime bağlıdır. Parçacık D içinde elektrik alandan etkilenmez sadece manyetik alan etkisindedir. D içindeki dönme süresi dönme yarıçapından bağımsızdır. Parçacık her yarım daireden sonra aradaki hızlandırıcı geriliminden aldığı enerjiyle daha hızlı hareket eder. Dolayısıyla artan yarıçap, artan hızla tamamen karşılanır ve yarım daireyi geçme süresi yarıçaptan bağımsız olur.

# HIZLANDIRICILAR

## Siklotron Hızlandırıcıları

Siklotronda parçacıklar değişen elektrik alanı, her defasında hızlanacak şekilde yakalar. Yani parçacıkların yarım daireyi geçiş süresi, ac gerilimin yarı peryoduna eşitlenirse, alan dönen parçacıklarla tam senkronize bir şekilde polarite değiştirir ve parçacıklar her dönüşlerinde hızlandırıcı gerilimi hisseder. Dairesel yörüngedeki Lorentz kuvveti,

$$F = q v B = \frac{mv^2}{r}$$

Yarı dairesel yörüngenin geçilmesi için geçen süre,

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{mv}{qB}$$

# HIZLANDIRICILAR

## Siklotron Hızlandırıcıları

AC gerilimin frekansı ise,

$$\nu = \frac{1}{2t} = \frac{qB}{2\pi m}$$

buna siklotron frekansı yada siklotron rezonans frekansı denir. Parçacık sarmalda dışarı doğru hareket ettikçe hız yavaş yavaş artar ve en yüksek hıza en büyük R yarıçapında ulaşılır,

$$v_{\max} = \frac{qBR}{m}$$

Bu hızdaki maksimum kinetik enerji,

$$T = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

# HIZLANDIRICILAR

## Siklotron Hızlandırıcıları

Siklotron hızlandırıcılarında makinanın dışına doğru gidildikçe manyetik alan çizgileri dikey doğrultudan sapmaya başlar (Bknz: Şekil 15.13 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)). Alanın böyle olmasının avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajı, alan çizgilerinin bükülmesi orta düzleme doğru net kuvvet uygulayarak odaklama sağlar, dezavantajı ise alan düzgünlüğünü kaybedince ve frekans sabit tutulunca rezonans frekansı bozulmaya başlar.

Bu problemi aşmak için çözüm değişken frekans kullanmaktır. Sinkrosiklotron adı verilen frekans modülasyonlu sinkrotronlarda böyle yapılır. Bu sinkosiklotronlarda yarı dairesel yörüngeyi tamamlamak için gereken süre artık sabit yarı peryoda eşit olmayacaktır.



# HIZLANDIRICILAR

## Siklotron Hızlandırıcıları

Değişken frekanslı bir siklotronda artık sürekli bir demet mümkün değildir. Gruptaki parçacıklar D'lerin arasındaki aralıklara farklı zamanlarda ulaşırlar. Faz kararlılığı bir şekilde zaman odaklaması etkisi yapar. Yani aralığa erken ulaşan parçacıklar bir miktar geciktirilerek bir sonraki dönüşte grup merkezine yaklaştırılır. Aralığa geç gelen parçacıklar ise hızlandırılarak grup merkezine doğru itilirler (Bknz: Şekil 15.14 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)).

Sinkrosiklotronda frekans azaldıkça, eşzamanlı yörünge'nin yarıçapı ile birlikte enerji de artar.

# HIZLANDIRICILAR

## Siklotron Hızlandırıcıları

Siklotronlarda yüksek enerjilere çıkmanın bir yolu, artan yörünge yarıçapı ile birlikte manyetik alanı da arttırmaktır. Fakat bu durumda, siklotronun kenarına doğru olan alan çizgilerindeki bükülme, demetin büyük ölçüde dağılmasına sebep olur. Manyetik alan birbirini takip eden yüksek ve düşük değerli bölgelere bölünürse odaklanma tekrar sağlanır (Bknz: Şekil 15.15 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)).

Bu tür siklotronlara bölge odaklı ya da azimuthal olarak değişen alanlı siklotron denir. Parçacıklar burada radyal salınımlar yapar ve alanın yüksek ve düşük olduğu bölgeler arasındaki sınırlarda manyetik alanın bir azimuthal bileşeni vardır. Lorentz kuvveti demetin orta düzlemde odaklanmasını sağlayan düşey kuvvet bileşeni üretir. Bu odaklama etkisi, radyal olarak artan manyetik alan dağıtma etkisini karşılayacak şekilde tasarımlanır.

# HIZLANDIRICILAR

## Sinkrotronlar

Hem manyetik alan şiddetinin hem de rezonans frekansının değiştirildiği sinkrotron hızlandırıcılarıdır. Bu tür hızlandırıcılarda manyetik alan tüm dairesel hacme değil (siklotronlarda olduğu gibi), yalnızca dairenin etrafına uygulanır (Bknz: Şekil 15.19 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)). Parçacıklar dairesel yörüngede dolanırlar ve her dönüşte bir boşluktan geçtikçe rezonans elektrik alan tarafından hızlandırılırlar.

Enerji arttıkça rezonansı korumak için, boşluk boyunca ac gerilim frekansı arttırılır. Aynı zamanda yarıçapın sabit tutulması için de manyetik alan arttırılır. Ama burada manyetik alan konumsal olarak değil zamana göre değiştirilir.

# HIZLANDIRICILAR

## Sinkrotronlar

Şiddeti  $B$  olan bir manyetik alanda,  $e$  yüklü bir parçacık,  $r$  yarıçaplı bir dairesel yay üzerinde,

$$p = erB$$

momentumuna sahiptir. Parçacığın toplam göreceli enerjisi,

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4} \\ &= \sqrt{e^2 r^2 B^2 c^2 + m^2 c^4} \end{aligned}$$

Temel siklotron koşulu,

$$v = \frac{eBc^2}{2\pi\sqrt{e^2 r^2 B^2 c^2 + m^2 c^4}}$$

# HIZLANDIRICILAR

## Sinkrotronlar

Sinkrotronlarda değişken bir frekans ve manyetik alan kullanıldığından, sürekli mod yerine demet pulsları kullanılır. Sinkrotronlarda odaklanamama problemine çözüm olarak, mıknatıslar sıra ile artan yada azalan radyal gradiyentli parçalar halinde düzenlenir (Bknz: Şekil 15.20 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)). Buna kuvvetli odaklama yada değişken gradyent odaklama denir.

İlk kurulan proton sinkrotronlarında demeti bükme için iki kutuplu (dipol) bükücü mıknatıslar ve hızlandırmayı sağlamak için radyo frekans hızlandırıcı boşluklar kullanılmıştır. Temel parçacıkların üretimi ve etkileşmelerini incelemek için yüksek enerjili proton hızlandırıcıları, birincil hızlandırıcı olmayı sürdürmektedir.

# HIZLANDIRICILAR

## Sinkrotronlar

Sinkrotron tasarımındaki yeni gelişmeler bükme ve odaklama işlevlerinin ayrılmasıdır. İki kutupla mıknatıslar demeti bükerek, dört kutuplu mıknatıslar da odaklama yapar.

# HIZLANDIRICILAR

## Lineer Hızlandırıcılar

Bir lineer hızlandırıcıda (genellikle linac diye adlandırılır) parçacıklar, bir siklotronda olduğu gibi, bir ac gerilimi yardımıyla birçok kez hızlanır. Linac'da parçacıklar bir doğru çizgide hareket ederler (Bknz: Şekil 15.25 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)). Demet, ac gerilim kaynağının zıt kutuplarına ardışık olarak bağlanmış boş boru biçimli elektrot dizisi boyunca hareket eder.

# HIZLANDIRICILAR

## Lineer Hızlandırıcılar

Parçacıklar elektrotlar arasındaki boşlukları geçtikçe hızlandırılır. Bir elektrodun içine giren parçacık, ac geriliminin periyodunun yarısına eşit bir zamanda alan olmayan bir bölgeye sürüklenir (bu nedenle elektrotlara sürüklenme tüpü adı verilir). Parçacık sürüklenme tüpünde iken gerilim polarite değiştirir ve daha sonra parçacık bir sonraki boşluğu geçerken hızlandırılmış olur.

Hızlandırıcının ana çalışma mekanizması, parçacıkların her tüpler arası boşluğa girişinin, boşluktaki elektrik alan ile rezonans halinde olması şeklindedir.



# HIZLANDIRICILAR

## Lineer Hızlandırıcılar

Eğer  $t/2$  ac geriliminin yarı periyodu ise, o zaman  $v_n$  hızlı parçacıklar için  $n$ . sürüklenme tüpünün uzunluğu,

$$L_n = \frac{v_n t}{2}$$

olmalıdır. Göreceli olmayan  $e$  yüklü parçacıklar için, potansiyel farkı  $V_0$  olan  $n$  sayıda boşluktan geçerken kinetik enerji,

$$T_n = neV_0 = \frac{1}{2} mv_n^2$$

şeklindedir. Böylece,

$$L_n = \left( \frac{neV_0}{2m} \right)^{1/2} t$$

# HIZLANDIRICILAR

## Lineer Hızlandırıcılar

Sürüklenme tüpü uzunlukları  $n^{1/2}$  oranında arttırılmalıdır.  $v \approx c$  olan göreceli parçacıklar için sürüklenme tüpü uzunlukları sabittir.

Linac'da faz kararlılığı, boşluğa önce gelen grubun biraz daha az hızlandırılarak sürüklenme tüpünü daha uzun sürede geçmesi ve grubun merkezine doğru itilmesi, geciken parçacıkların ise biraz daha fazla hızlandırılarak sürüklenme tüpünü daha hızlı geçmesi ve yine demetin merkezine doğru itilmesi şeklindedir (Bknz: Şekil 15.27 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane)).