

PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE KULLANIM ALANLARI

Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü

<https://omeryavas.info> yavas@ankara.edu.tr

Parçacık hızlandırıcı çağı, saçılma deneyi ile 1911’de atomun çekirdek yapısını ortaya koyan Ernest Rutherford’un çekirdek reaksiyon deneylerinde alfa parçacıklarının kullanımının yanı sıra daha enerjik ve çok sayıda parçacık kullanım ihtiyacına 1919 yılında dikkat çekmesi sonucu yaklaşık 100 yıl önce 1924’te ilk hızlandırıcının inşa edilmesi ile başlamıştır. Parçacık hızlandırıcıları ile temel yüklü parçacık demetleri hedeflenen yüksek enerjilere ulaştırılarak sabit hedef deneylerinde, parçacık çarpıştırıcılarında veya ışıyım üretiminde kullanılırlar. Parçacık hızlandırıcıları ve çarpıştırıcıları malzeme, mekanik, elektrik, manyetizma, katıhal, kuantum fiziği, elektronik, yazılım vb. temel bilim ve mühendislik alanlarına dayalı olarak üretilen ve amaçları doğrultusunda kullanılan yüksek teknolojik donanımlardır.

Hızlandırıcı fiziği genel anlamda yüklü temel parçacık (elektron, pozitron, proton vb.) demetlerinin oluşturulmasını ve demetlerin elektrik ve manyetik alanlar etkisindeki hareketinin yörünge, momentum, enerji kazanımı, dağılma ve odaklanma süreçlerini konu alır. Temel yüklü parçacık demetlerinin hızlandırılmasını elektrik alan kuvveti sağlarken demetlerin saptırılması, dairesel yörüngede dolanması veya odaklanması magnetik alan kuvveti ile sağlanır.

Parçacık hızlandırıcılarının, yüklü parçacık demetinin yörünge şekline bağlı olarak doğrusal veya dairesel olmak üzere iki ana tipi mevcuttur ancak hızlandırıcı tipleri özellikle hızlandırmada kullanılan elektrik alanın ve bu alanı barındıran hızlandırıcı ünitenin (RF kavite) yapısına ve nasıl kullanıldığına dayalı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

Yüksek Gerilim Hızlandırıcıları (High Voltage Accelerators):

Yüklü parçacıkların yüksek bir gerilim farkı (ΔV) altında hızlanmaları ilkesine göre çalışmaktadırlar. Örneğin bir elektron bu gerilim farkı altında $K = e\Delta V$ kinetik enerjisini kazanmaktadır.

İndüksiyon Hızlandırıcıları (Induction Accelerators):

Hızlandırmada kullanılan elektrik alanın Faraday indüksiyon yasasına dayalı olarak magnetik alanın zamanla değişiminden indüksiyon yoluyla elde edildiği hızlandırıcılarıdır.

Doğrusal Hızlandırıcılar (Linear Accelerators (Linac)):

Enerji kazanım bölgeleri olan RF kavitelerin bir doğru boyunca sıralandığı hızlandırıcı düzeneklerdir.

Dairesel Hızlandırıcılar (Circular Accelerators):

Parçacıkların eğici magnetler aracılığı ile dairesel bir yörüngelerde tutulduğu ve RF alanlar aracılığı ile hızlandırmanın yapıldığı hızlandırıcılarıdır.

Dairesel hızlandırıcıların 4 ayrı tipi vardır:

Betatron (Betatron):

Hafif parçacıklar için geliştirilmiş, hızlandırmada indüksiyon elektrik alanı kullanan ve sabit yörünge yarıçapına sahip dairesel hızlandırıcıdır.

Mikrotron (Microtron):

Parçacık demetinin her defasında aynı salınımlı RF alan bölgesinden geçirildiği, artan enerji karşısında sabit magnetik alan kullanıldığı için yörünge yarıçapının sürekli arttığı bir dairesel hızlandırıcıdır.

Siklotron (Cyclotron):

Parçacık demetinin sabit magnetik alana sahip “D” şekilli iki magnet arasındaki RF boşluğa uygulanan sinüsel gerilim sayesinde hızlandırıldığı, yörünge yarıçapının her turda giderek arttığı ve magnet sınırında demetin dışarı alındığı bir hızlandırıcı tipidir.

Sinkrotron (Synchrotron):

Parçacık demetinin sabit R yarıçaplı yörünge üzerinde RF kaviterler aracılığı ile yüksek enerjilere çıkarılabildiği, büyük ölçekli olarak inşa edilebilen ve kuvvetli odaklama uygulanan dairesel hızlandırıcıdır.

Parçacık hızlandırıcıları 100 yılı aşan bir süredir başta parçacık fiziği ve nükleer fizik araştırmaları başta olmak üzere malzeme biliminden gıda güvenliğine, nükleer uygulamalardan madencilik sektörüne, izotop üretiminden radyoterapiye, savunma ve güvenlik sektöründen bilişim teknolojilerine, nanoteknolojiden biyoteknolojiye, ışıyım kaynaklarından nötron kaynaklarına, fotonik biliminden arkeolojiye, uzay araştırmalarından çevre araştırmalarına, nükleer atıkların bertaraf edilmesinden atık suların ve gazların zararsız hale getirilmesine, hızlandırıcı sürümlü sistemler aracılığı ile enerji üretiminden yaşam bilimi uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazede onlarca kullanım alanına sahiptir. Hızlandırıcı teknolojileri birçok teknolojinin ve uygulamanın gelişimini sağlayan günümüzün öncü (jenerik, lokomotif) teknolojilerindendir. Hızlandırıcıların başlıca kullanım alanları aşağıdaki tabloda verilmiştir:

• Parçacık Fiziği ve Nükleer Fizik Araştırmaları: Çarpışan demet ve sabit hedef deneyleri sayesinde yeni parçacık ve etkileşmeler ile çekirdek yapısının araştırılması, nükleer spektroskopisi. • Malzeme Bilimi ve Uygulamaları: Atomik ve moleküler düzeyde yapı geliştirme, yüzey modifikasyonu, iyon implantasyonu, polimer ve radikal analizi,	• Hızlandırıcıya Dayalı Işıyım Kaynakları: Sinkrotron ışıyımı, serbest elektron lazeri ve frenleme (Bremsstrahlung) ışıyımı üretimi. • Gıda Sanayi: Işınlama ile sterilizasyon, uzun raf ömrü sağlama. • Madencilik Sanayi: Maden aranması, yatak tespiti, maden işlenmesi ve analizi, mineroloji.
---	---

endüstriyel malzemelerin analizi ve kalite kontrolü. • Hızlandırıcı Sürümlü Sistemler (HSS) ve Nükleer Atık Dönüşümü: Toryuma dayalı nükleer güç santrali, yakıt geliştirme, HSS ile uzun yarı ömürlü izotopların daha kısa yarı ömürlülere dönüştürülmesi, HSS'ye dayalı nükleer Ar-Ge çalışmaları. • Nükleer Teknoloji: İzotop üretimi, proton hızlandırıcıları ve nötron demetleriyle Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları, tahribatsız muayene uygulamaları. • Savunma ve Güvenlik Sanayi: X-ışınları ve nötronlar ile tarama, sınır güvenliği, radar ve algıç geliştirme, lazer silahları vb. • Uzay Sanayi: Radyasyon dayanım testleri, kompozit malzeme ve yakıt geliştirme. • Yaşam Bilimleri ve Medikal Uygulamalar: İlaç geliştirme, genetik araştırmaları, teşhis ve tedavi (kanser vb.) teknikleri, hadron terapi, ışınlama, radyo-izotop üretimi, sterilizasyon, lazer mikrocerrahisi. • Mücevher Sektörü: Mücevher işlenmesi, yüzey kalitesi, sertlik ve renk ayarı.	• Bilişim ve İletişim Teknolojileri: Mikroçip üretimi, yakıt ve malzeme geliştirme, veri toplanması ve veri işlenmesi. • Fotonik Araştırma ve Uygulamaları: Lazer geliştirme, ultra-hızlı fotonik uygulamaları, mikroskobik ve spektroskopik analiz, görüntüleme, THz spektroskopisi. • Biyoteknoloji: Virus ve bakteri analizi, aşı geliştirme, hücre ve kök hücre araştırmaları, biyo-malzemelerin geliştirilmesi ve analizi. • Nanoteknoloji: Nanoparçacık analizi, nano-malzeme bilimi, nano kaplama teknikleri, nano robot teknolojisi. • Arkeoloji: Harç, kaplama, boya, hammadde analizi, tarihlendirme, spektroskopik ve mikroskobik analiz. • Çevre Uygulamaları: Çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesi, baca gazlarının ve atık suların temizlenmesi, mineral ve toprak analizi.
---	--

Dünyada demet enerjileri birkaç keV'den (kilo elektron volt) birkaç TeV'e (Tera elektron volt) uzanan küçüklü büyüklü yaklaşık 50.000 parçacık hızlandırıcısı mevcuttur ve demet enerjisi 1 GeV'in (Giga elektron volt) üzerinde olanlar yüksek enerjili olarak anılmaktadır. Günümüzde parçacık hızlandırıcılarının yaklaşık %90'ı medikal ve endüstriyel amaçla kullanılmaktadır ve bu amaçlarla kullanılan hızlandırıcıların enerjileri MeV (Milyon elektron volt) mertebesindedir.

Hızlandırıcıların kalan %10'luk kısmı parçacık fiziği ve nükleer fizik araştırmaları başta olmak üzere temel bilim araştırmalarında, Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmalarında, ışınlam ve nötron kaynağı olarak ve eğitim amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Dünyada en büyüğü CERN olmak üzere yaklaşık 100 kadar büyük ölçekli hızlandırıcı, hızlandırıcıya dayalı ışınlam ve nötron kaynağı merkezi vardır. Dünyadaki parçacık hızlandırıcılarının kitalara ve kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmasına

https://www.elsa.physik.uni-bonn.de/accelerator_list.html adresinden ulaşılabilir.

Dünyada önde gelen merkezlerin bazılarına ilişkin bilgiler ve web adresleri aşağıda verilmiştir:

Merkez	Web adresi	Açıklama
CERN	https://home.cern	Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi
DESY	https://www.desy.de	Deutsche Elektronen Synchrotron
FNAL	https://www.fnal.gov	Fermi National Laboratory
SLAC	https://www6.slac.stanford.edu	Stanford Linear Accelerator Center
KEK	https://www2.kek.jp/accl/eng/	High Energy Accelerator Research Organization
BNL	https://www.bnl.gov	Brookhaven National Laboratory
ANL	https://www.anl.gov	Argonne National Laboratory
JLAB	https://www.jlab.org	Jefferson National Laboratory
APS	https://www.aps.anl.gov	Advanced Photon Source
FAIR	https://www.fair-center.eu	Facility for Antiproton and Ion Research
SNS	https://neutrons.ornl.gov	Spallation Neutron Sources
ESS	https://ess.eu	European Spallation Source
JPARC	https://j-parc.jp/c/en/	Japan Proton Accelerator Research Center
Spring-8	https://www.spring8.or.jp/en/	Japan Synchrotron Radiation Facility
ESRF	https://www.esrf.fr	European Synchrotron Radiation Facility
European XFEL	https://www.xfel.eu	European X-Ray Free Elecyron Laser Facility
BESSY	https://www.helmholtz-berlin.de	BESSY Synchrotron Radiation Facility
DIAMOND	https://www.diamond.ac.uk	DIAMOND Synchrotron Radiation Facility
SOLEIL	https://www.synchrotron-soleil.fr/en	SOLEIL Synchrotron Radiation Facility
ALBA	https://www.cells.es/en	ALBA Synchrotron Radiation Facility
ELETTRA	https://www.elettra.eu	ELETTRA Synchrotron Radiation Facility
SESAME	https://www.sesame.org.jo	SESAME Synchrotron Radiation Facility
TARLA	https://tarla-fel.org	Türk Hızlandırıcı ve Işınım Laboratuvarı (Ankara, Türkiye)