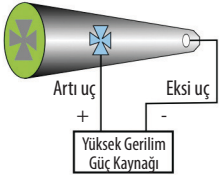


Parçacık Hızlandırıcıları

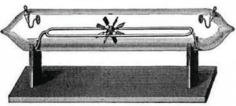
CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndan (BHÇ) yeni bir parçacığın keşfi ile ilgili haberler alıyoruz. BHÇ'de protonlar, hızları neredeyse ışık hızına eşit olacak şekilde hızlandırılıyor ve sonra çarpıştırılıyor.

Peki parçacık hızlandırıcısı ve çarpıştırıcısı nedir? Nasıl çalışır ve nerelerde kullanılır?

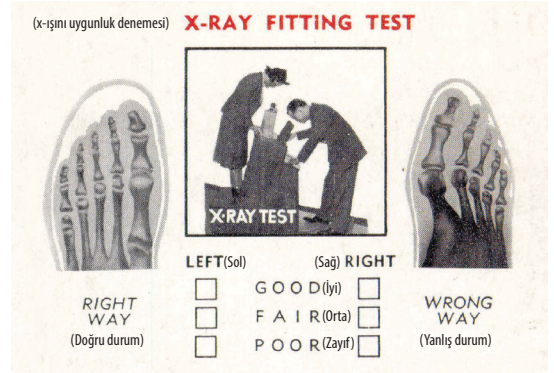


İnsanlığın hızlandırıcılarla serüveni 1870'lerde, İngiliz bilim adamı Crookes'un yaptığı bir deneyle başlar. Aslında Crookes'un yaptığı çok karmaşık bir alet değil: Cam bir tüpün iki ucuna metal parçalar bağlayıp farklı voltaj verdiğinizde "bir şeylerin" eksi uçtan artı uca gitmesi bugünün bilgisi ile şaşırtıcı olmasa da, 19. yüzyıl için büyük bir buluştu. O zamanki fizikçiler bu "şeylere" katot ışınları adını verdi.

Günümüzde eksi uçtaki metalde bulunan elektronların, iki uç arasında oluşan potansiyel farkı sayesinde metalden kurtularak artı uca doğru hızlanarak ilerlediğini biliyoruz. Yüksek voltajlı uçtan toprağa doğru hızla ilerleyen elektronları, yüksek bir dağın tepesinden aşağıya kayarken hızlanan bir kayakçıya benzetebiliriz. Kayakçının hedefine ulaşabilmesi için pistin boş olması gerekir. Benzer şekilde, Crookes tüpünün içindeki havanın boşaltılıp vakum ortamı sağlanması deneyin kilit noktasıdır. Sadece bu yolla elektronların hava molekülleriyle çarpışıp enerji kaybetmesi engellenebilir. Boş tüpün içindeki bu hareketlenmeyi görmenin en basit yolu ise Crookes'un yaptığı gibi iki metal uç arasına küçük bir pervane yerleştirmek ve görünmez elektronların pervaneyi nasıl döndürdüğünü seyretmektir.



Bu gerecin icadını takip eden 30 yıl içinde parçacık fiziğinde iki büyük keşif yapıldı: X-ışınları (1895) ve elektron (1897). Böylece hızlandırıcı ve parçacık fiziğinin üretken dansı başladı. O günkü adıyla katot ışınlarını, yani hızlandırılmış elektronları tungsten bir bloğa çarptırarak elde edilen X-ışınları hemen günlük hayata girdi: Birinci Dünya Savaşı'nda cankurtaranların bir kısmı gezici röntgen makinesi haline geldi, ameliyatlara daha bilinçli yapılmaya başlandı. Bina ve gemi yapımında birleşme noktalarının iyi kaynaklanıp kaynaklanmadığı X-ışınları sayesinde görülür hale geldi. Hatta bu ışınları çok faz-



la almanın zararlı olduğunun farkına varılmasından önce, ayakkabıcılar bile müşterinin rahatından emin olmak için yeni ayakkabının içindeki ayağın röntgenini çeker olmuştular. Fakat daha derindeki yapıları görmek için daha yüksek enerjili elektronlardan çıkan X-ışınlarını kullanmak gerekiyordu. Bu da hızlanma işlemini anlamayı ve iyileştirmeyi gerektirdi.

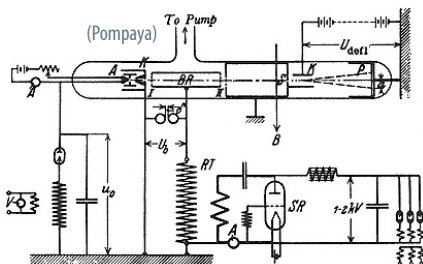
Daha yüksek enerjili X-ışınları elde etmek için çözümlenmesi gereken iki sorun vardı: Birincisi çok yüksek voltaj (yani dağın tepesinden inerken hızlanan kayakçıyı daha çok hızlandırmak için daha yüksek bir dağ) elde etmek, ikincisi de belli bir eşik voltajdan sonra çıkan ve yüksek gerilimi bozan kıvılcımların engellemek. 1920'lerde yüksek voltaj üretmek için sürtünme yolunu deneyen Amerikalı fizikçi Van de Graaf, milyon Volt mertebesinde yüksek voltaj elde edebiliyordu, ne var ki bu yöntem kullanışlı değildi.

1928'de İngiliz ve İrlandalı fizikçiler Cockcroft ve Walton 800 bin Volt sağlayabilecek, kendi adlarıyla anılan yeni bir tür güç kaynağı tasarlamaya başladılar. 1932'ye gelindiğinde 700 bin Volt'a ancak ulaşabilmişlerdi. Aynı yıl 400 bin Volt ile hızlandırdıkları protonları kullanarak lityum atomunu bölmeyi başardılar ve 1951'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazandılar.

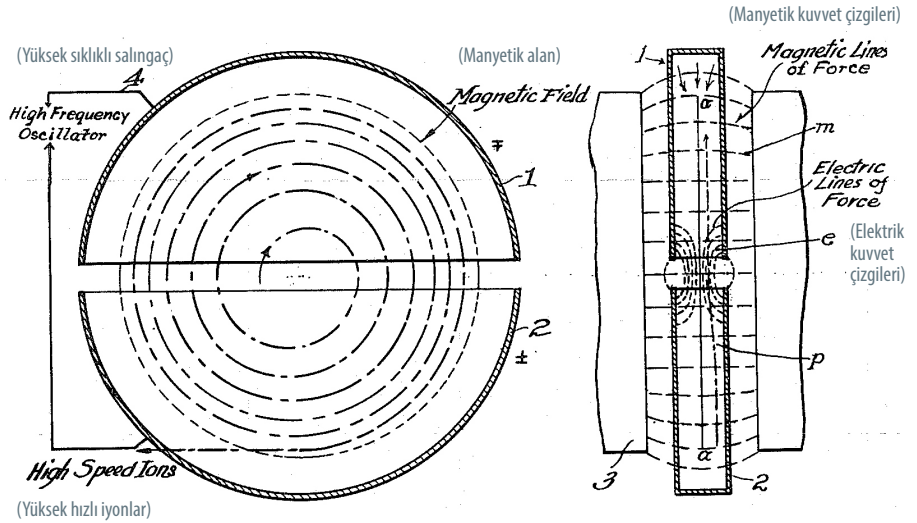
Sahil çocukları

Güç kaynağı ve dolayısıyla daha çok hızlandırma sorununu aşmak amacıyla İsveçli fizikçi Ising 1924'te sörfçülerin çok iyi bildiği bir yöntemin kullanılmasını önerdi: Sörf tahtasıyla dalganın tepesine çıktığınızda, eğer doğru noktadaysanız, aşağıya düşmeden dalga ile beraber ilerler ve hızlanırsınız. Ising de yüklü parçacıklar için, sörfçü örneğindeki dalgalar gibi elektromanyetik dalgaların kullanılabileceğini düşündü. Bu fikri kullanan Norveçli fizikçi Wideröe 1928'de 88 cm uzunluğunda, 1 MHz sıklığında (frekansında) dalga kullandığı ilk doğrusal hızlandırıcıyı yaptı. Parçacıkları elektromanyetik dalgalarla hızlandırma fikri, günümüzdeki bütün modern hızlandırıcılarda da kullanılan temel bir kavram olmaya devam ediyor.

Doğrusal hızlandırıcıları uç uca ekleyerek uzatmak ve parçacıkları daha da yüksek enerjilere taşımak mümkün. ABD'li fizikçi Lawrence ise aynı seviyede enerjiye daha küçük bir düzenele ulaşmanın mümkün olup olmayacağını araştırıyordu. İletken bir metale, örneğin bakıra kalınca bir köy ekmeği (D harfi) şekli verip ikiye böldüğümüzü ve bir yarıya yüksek voltaj uygularken, diğer yarıyı toprağa bağladığımızı düşünelim. Bu durumda iki parçanın arasında kalan boşluğa yerleştirilen yüklü parçacıklar elektrik alanının etkisiyle düşük voltajlı yarıya doğru hızlanacaktır. Yüklü parçacıklar bu yarıya ulaşıp içeri girdiklerinde üzerlerine uygulanan, yönü ve şiddeti uygun bir manyetik alanla yönleri değiştirilip bir yarım daire çizdirilerek parçacıkların tekrar yarının kenarına gelmesi sağlanır.



Wideröe'nün Ising'in kuramını kullanarak yaptığı ilk doğrusal hızlandırıcının doktora tezinde yer alan çizimi



Döndürgeç çizimi ve çalışma ilkesi

İşte tam bu anda yüksek ve alçak voltajların yeri değiştirilirse (yani alternatif akımlı bir güç kaynağı kullanılırsa) parçacıklar bir defa daha hızlanarak karşı yarıya geçecektir. Her aralık geçişinde yüklü parçacıkların hızı daha da artacak ve D içinde takip ettikleri yol daha da büyük bir yarım daire olacaktır. En sonunda uygulanan manyetik alanın gücü parçacığı aynı yarı içinde döndürmeye yetmez duruma gelecektir. Bu noktada bu hızlandırıcının sağlayabileceği maksimum enerjiye ulaşılmış olunur. Lawrence işte bu ilkeye dayanarak 1930'larda 10 cm çapındaki ilk siklotronu (döndürgeç) geliştirmiş, hızlandırılan parçacıklar 80 kV'luk bir güç kaynağından elde edilebilecek enerjiye sadece 2 kV kullanılarak ulaştırılmıştır. (Lawrence 1932'de protonları 1,25 milyon Voltluk bir enerjiye çıkarmış ve Cockcroft-Walton'dan sadece birkaç hafta sonra atomu bölmeyi başarmıştır) Lawrence 1939'da bu buluşu ile Nobel Fizik Ödülü'ne layık görmüştür.

Daha hızlı, daha yüksek, daha güçlü

Parçacıkları daha yüksek enerji seviyelerine taşımak için daha çok döndürmek, yani daha büyük bir döndürgeç yapmak gerekir. Ancak manyetik alanı

sağlayacak elektromıknatısların sayısını ve kullanılacak "köy ekmeğinin" büyüklüğünü düşündüğümüzde, bu tip hızlandırıcıların yüksek enerjiler için çözüm olamayacağını anlarız. Örneğin günümüzde dünyanın en büyük döndürgeci Japonya'daki RIKEN Deneyevi'ndedir. Çapı 19 metre, yüksekliği 8 metre olan bu döndürgecin toplam ağırlığı 8300 tondur ve yüklü parçacıkları 345 milyon Volta eşdeğer bir enerji seviyesine çıkarabilir.

Hızlandırıcıları daha iyi anlayabilmek için, şu ana kadar kullanıldıkları bazı alanlara bakalım. En basiti tüplü televizyondan başlayalım. LCD ve LED televizyon ekranlarına alışmaya başlasak da, evlerimizin ilk neşesi tüplü televizyonları nasıl unutturuz? Hele onların birer hızlandırıcı olduğunu öğrendikten sonra! Bu televizyonlarda kullanılan elektron tüpleri, elektronları yaklaşık 20 bin Volt ile hızlandırır ve ekrana çarptırarak görüntüyü oluşturur. Televizyon tüpünde hızlanan elektronların kazandıkları enerjiye 20 kilo elektron Volt denir, keV olarak kısaltılır. Tıpta ve endüstride kullanılan elektron hızlandırıcılar 70 keV'den 10 milyon elektron Volt'a (MeV) kadar enerji gerektirir. Tıpta kullanılan radyoaktif izotopları üretmek için gereken proton hızlandırıcıların enerjileri ise 30 MeV'e kadar yükselebilir.



Karşı-protonların ilk kez üretildiği hızlandırıcı, Bevatron (Lawrence Berkeley Ulusal Deneyevi, ABD)

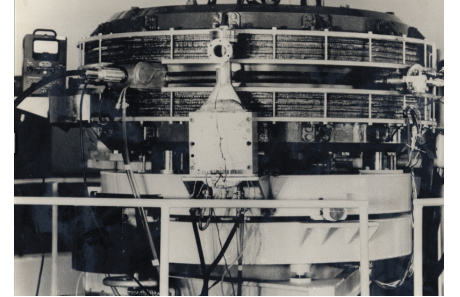
Milyar Volta Doğru

Kuramsal olarak var oldukları iddia edilen karşı-protonları deneysel olarak gözlemlemenin en basit yolu, en az 6 milyar elektronvoltluk (6 GeV) bir proton demetinin bir hedef malzemeye çarptırılması ve ortaya çıkan yeni parçacıkların incelenmesidir. Ne Wideröe'nün tüpü ne de Lawrence'ın döndürgeci bu adım için gerekli olan GeV'e (gigaelekton Volt) ekonomik şartlar dâhilinde ulaşabilir. Bu yüksek enerji seviyelerine ulaşabilmek için o zamana kadar kullanılan iki yöntemin, yani Wideröe'nin doğrusal hızlandırıcısının ve Lawrence'ın döndürgecinin en iyi yönlerini birleştirmek gerektiği. Hızlandırılan yüklü parçacıklar, manyetik alanlar yardımıyla içi vakumlanmış simit şeklindeki bir metal borunun içinde döndürülse, yine aynı hızlandırma biriminin içine geri getirilebilir ve yine hızlandırılabilir. Parçacığın hızının yani kinetik enerjisinin artmasıyla eşzamanlı olarak, parçacığı yörüngede tutan manyetik alanların şiddetinin de artması sayesinde parçacığın yörüngesi sabit kalır. Yani döndürgeçte olduğu gibi spiral çizerek hızlandırıcının dışına çıkmaz. İlk defa 1943'te yapılan bu

yeni tür hızlandırıcıya "sinkrotron" (eşzamanlı) adı verilir. 1954'te ABD'deki Lawrence Berkeley Ulusal Deneyevi'nde yapılmış olan 6,2 GeV enerjili eşzamanlı hızlandırıcı 1955 yılında anti-protonu üretmiştir. Bevatron adı verilen bu hızlandırıcıda üretilen anti-protonların gözlemlenmesi Segre ve Chamberlain'e 1959'da Nobel Fizik Ödülü'nü kazandırmıştır

Çarpışan demetler

X-ışını ve televizyon örneklerinde olduğu gibi, ilk aşamada yüklü parçacıklar duran hedeflere çarptırılarak elde edilen sonuçlardan yararlanılmıştır. Oysa daha 1943'te Wideröe, hızlandırılmış parçacık demetlerini birbirleriyle çarpıştırma ve her iki demetin de enerjisinden yararlanma fikrini ortaya atmış ve bu fikrin patentini almıştı. Demet-demet çarpışması adı verilen bu yöntem hızlandırıcı ve parçacık fiziğinde yeni bir çağ açmıştır. Demet-demet çarpışmaları, ilk defa 1960'ların başında İtalya'nın Frascati şehrinde yapılan ve AdA (*Anello di Accumulazione*-biriktirme halkası) olarak isimlendirilen elektron-pozitron çarpıştırıcısında gerçekleştirilmiştir.



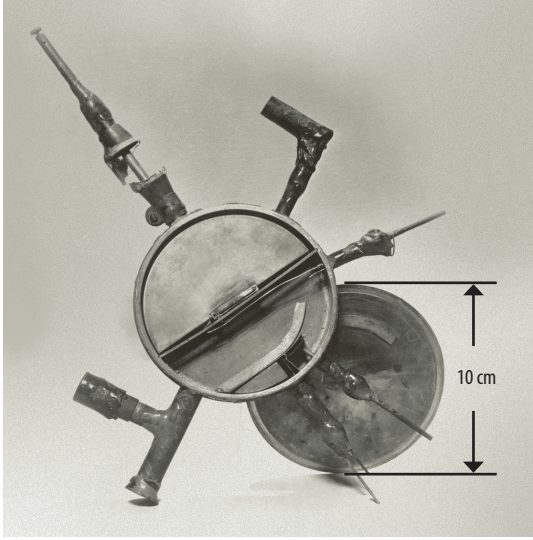
Hangi parçacıklar hızlandırılır?

Kısaca tüm yüklü parçacıklar denebilir. Örneğin eksi yüklü elektronlar ve bunların karşı-parçacıkları, yani artı yüklü pozitronlar, küçük ve hafif oldukları için kolay hızlanır. Protonlar ise büyük ve ağır oldukları için, görece daha büyük bir hedefi vurmak için tercih edilir.

Aynı şekilde, iyonize edilmiş (elektrik yükü olan) her atom hızlandırılabilir. Örneğin 1928'de Wideröe potasyum iyonlarını hızlandırmıştı. Özellikle dairesel hızlandırıcılarda dönerken daha az enerji kaybettikleri için ağır parçacıklar, örneğin protonlar tercih edilir.

Demet-demet çarpışmaları yüksek enerjilere çıkılmasını sağlasa da, bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir: Çarpışma sayısı azlığı ve yüksek enerjideki demetlerin yönlendirilmesi. Demetleri oluşturan parçacıkların tamamına yakın bir kısmı karşıdan gelen parçacıklarla çarpışmadan yollarına devam eder. Olay istatistiğini artırmak için daha çok çarpışma sağlanmalı, demet özellikleri ve demet yörüngesi sıkı kontrol altında tutulmalıdır. En çok çarpışma, demet içindeki parçacıkların birbirlerine en yakın oldukları durumda olur. 1968'de Hollandalı fizikçi Van der Meer tarafından ortaya atılan ve değişken soğutma adı verilen yöntem, ideal parçacık yörüngesinden uzaklaşan parçacık öbeklerini belirleyerek, yörünge tamamlanmadan aykırılırların ideale yaklaşmasını sağlar. Bu da karşılıklı iki demet içindeki kafa kafaya çarpışma oranını artırır. Bu yöntemi CERN'deki SP̄S hızlandırıcısına uygulayan Van der Meer ve bu demetleri kullanarak W ve Z bozonlarını keşfeden UA1 deneyinin başkanı İtalyan fizikçi Rubia 1984'te Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşmıştır.

Lawrance'ın ilk döndürgeci



SP̄S (çevresi 6,9 km) ve benzer bir hızlandırıcı olan ABD'deki Fermi Ulusal Deneyi'ndeki Ana Halka (çevresi 6,4 km) devasa dairesel hızlandırıcılar ve yüksek enerji yarışı dönemini başlattı. Ancak doğrusal hızlandırıcı takımı da boş durmamış ve ABD'deki, SLAC Deneyi'nde 3,2 km'lik uzun bir elektron pozitron hızlandırıcı ve çarpıştırıcısını aynı dönemde devreye sokmuştu, hem de kutuplanmış elektron demetleriyle! Tüm bunları ve hızlandırıcı fiziğinde son otuz yılda gerçekleşen en önemli ilerlemeleri başka bir yazıya bırakıp hızlandırıcıların temel fizik dışındaki uygulamalarına bakalım.

Uygulama Alanları

2010 verilerine göre dünyada 26 bin hızlandırıcı bulunduğu sanılıyor. Bunların sadece 200'ü (yani % 1'i) temel bilim araştırmaları için kullanılıyor. Kalanların da yaklaşık yarısı tıpta ve biyolojide, kalanı da endüstri uygulamalarında kullanılıyor. Kanser tedavisinde proton demetleri ile yapılan "hadron terapisi", tıp uygulamalarına örnek olarak verilebilir. Bir başka örnek de PET görüntüleme yönteminde kullanılan çok kısa yarı ömürlü yapay malzemenin üretilmesidir. Endüstrideki kullanım alanları içinde kaynaklama, sterilizasyon, fırınlama, litografi (taşbaskı), gaz ve sıvıların arıtılması gibi pek çok uygulama sayılabilir. Işınlanan malzemeyi radyoaktif hale getirmediği ve elde edilip hızlandırılması protonlara göre daha kolay olduğu için endüstride genelde elektron demetleri kullanılır. 2011 verileriyle, endüstriyel olarak elde edilip kullanılan elektron demetlerinin dünya genelindeki pazar değeri 50 milyar doları bulmuştur.

Türkiye ve Hızlandırıcı Fiziği

Türkiye'de hızlandırıcı fiziği çalışmaları görece çok yeni. Parçacık hızlandırıcılara dayalı temel fizik araştırmaları ve başka uygulamalar için bir hızlandırıcı merkezi kurulması fikri 1990'ların ortalarında ortaya atıldı. Fizibilite çalışmaları bugün bu kompleksin, yani Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin (THM) teknik tasarımının yapıldığı bir proje ile sürdürülüyor. Ülkemizdeki ilk Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü de 2010'da Ankara Üniversitesi'nde kuruldu. TAEK'in tıp uygulamalarında kullanılması amacıyla kısa yarı ömürlü radyoizotop üretmek için satın almak yoluyla kurduğu proton hızlandırıcı tesisi de 30 Mayıs 2012'de açıldı. Bu tesis henüz deneme üretilimi aşamasında.

Türk bilim adamlarının hayali olan CERN üyeliğinin gerçekleşmesi durumunda ise, bu kadar gecikmeyle girilmiş olan hızlandırıcı fiziği alanında Türkiye'nin hızlı bir ilerleme kaydetmesi umuluyor. Kişi başına 1 TL'den az bir yatırım gerektiren bu hayalin gerçekleşmesi ve hızlandırıcı fiziği konusunda ismi geçen ölümsüzler arasında Türk fizikçiler de bulunması dileğiyle.

Kaynaklar

<http://www.interactions.org/beacons/tr/home>
http://cdsweb.cern.ch/record/261062/files/p1_2.pdf
 Bozbey, A., Çetin, S., Ünel, G., "Yüzyılın anahtar hızlandırıcılar", *TOBB Ekonomik Forum Dergisi*, s. 44, Temmuz 2012.

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/28470>
 Feder, T., "Accelerator school travels university circuit", *Physics Today*, Cilt 2, Sayı 63, s. 20, 2010.
http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/accelerator_list.html