



Pion Parçacıklarının Keşfinin Ellinci Yılı

Pion (veya π -mezon) parçacıkları bundan 50 yıl önce 1947' de Bristol Üniversitesi'nde Prof. Cecil F. Powell ve grubu tarafından kozmik ışınlarla yapılan deneylerde ilk defa gözlenmişti. Bu keşif, yüksek enerji parçacık fiziğinin, atom fiziği ve nükleer fiziğin devamı, ancak bunlardan farklılaşmış ayrı bir bilim dalı olarak gelişmesinin başlangıç noktası olmuştur.

YÜZ YIL ÖNCE 1897'de, elektronların J. J. Thomson tarafından keşfedilmesiyle ilk temel parçacık bulunmuş oluyordu. Elektron, fiziğin ve kimyanın pek çok dalında önemli rolü olan, elektromanyetik olayların temel kaynağı, hatta popüler bilim literatürüne bile girmiş maddenin yapı taşları arasında en tanınmış sayabileceğimiz bir parçacıktır.

Kimyasal metotlarla incelenen molekül yapısının daha derinine indiğimiz zaman karşımıza elementlerin atomlarının yapısı çıkar.

Atomların bir iç yapısı olabileceği düşüncesiyle yüzyılımızın başında yapılan incelemeler arasında bilindiği gibi Rutherford Deneyleri (~1911) ilginç sonuçlar vermiştir. Bu deneylerde radyoaktif elementlerden elde edilen yüksek enerjili α -parçacıkları, Zn (Çinko) atomlarından oluşmuş hedefler üzerine yönlendirildiği zaman bunların büyük çoğunluğunun hiç etkilenmeden geçip gittiği; ancak, az sayıda, bazılarının büyük açılarla sapma yaptığı gözlenmişti. Demek ki atom yapısında büyük oranda boşluk vardı ve bu yapıdaki negatif elektronları nötralize eden pozitif yük çok küçük boyutlu bir merkezi çekirdeğe yoğun olarak yerleştirilmiş olmalıydı.

Bu sonuç ve diğer bazı gözlemlerden ve atomların kararlı oluşundan giderek Niels Bohr, birkaç yıl sonra atom modelini ortaya koydu: 10-13 cm mertebesinde boyutları olan pozitif elektrik yüklü bir çekirdek (nükleus) etrafında belirgin eliptik yörüngelerde hareket halinde elektronlar (atom boyutları $\sim 10^8$ cm) bu yapıyı oluşturuyordu. Sonraki yıllarda, bu model kuantum mekaniği ile uyumlu olarak daha gelişmiş bir duruma getirildi.

Hydrojen atomunun çekirdeği olan proton, kütle değerleri bağlantılarına göre diğer atomların çekirdeklerinde de

bulunmalıydı. 1932'de Chadwick kütle proton ile aynı olan; ancak, elektrik yükü bulunmayan bir parçacık keşfetti ve buna nötron ismi verildi. Atom çekirdeklerinin kütle, elektrik yükü ve diğer çeşitli özellikleri bunların proton ve nötronların sıkıca biraraya bağlanmasıyla oluştuğunu gösteriyordu.

Çekirdek içinde yapı taşları olan proton ve nötronları birarada tutan kuvvetlerin o zamana kadar bilinen kütleçekimsel ve elektromanyetik kuvvetlerden çok farklı özellikleri vardı. En önemli farklar şöyleydi: 1-Çok güçlüydüler; güçleri elektromanyetik kuvvetlerden defalarca kat daha yüksekti. 2-Çok kısa erimliydiler; elektromanyetik kuvvetlerin etkisi prensipte sonsuz mesafelere kadar geçerliken bunların etkisi çok kısa mesafelerde (~10-13 cm) tükeniyordu. 3-Elektrik yükünden bağımsızdılar: proton-proton, proton-nötron ve nötron-nötron arasındaki etkileşimler aynıydı.

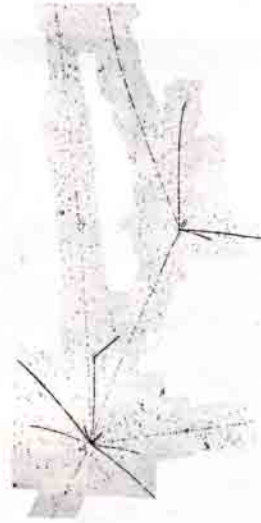
Burada daha önce bilinenlerden farklı bir kuvvet gözlemlendiği kabul edildi ve bu kuvvetlere nükleer kuvvetler veya güçlü kuvvetler denildi. (Bu kuvvetlerin kaynağı olan proton ve nötronlara da nükleon denildi.) Çekirdek yapısında etkili, yukarıda özetlediğimiz özellikleri gösteren, güçlü kuvvetlerin kuramını geliştirmede en başarılı bilim adamı Japon fizikçisi H. Yukawa oldu. Yukawa modeline göre bu kuvvetleri betimleyen potansiyel terim, elektromanyetik teorideki benzer terim ile ilave bir ekponensiyel faktörün çarpımından oluşuyordu: $\Phi = q/r$ yerine $\Phi = ge^{-m_r r}/r$. Bu

yeni terim yukarıdaki ikinci farklı özelliği hemen açıklayabiliyordu. Modelde kuvvet alanının kuantumları (değiş tokuş edilebilen çok küçük enerji-momentum paketleri) elektromanyetik kuvvet alanının kuantumları (yani fotonlar) gibi etkileşmelerin nedeni olarak ortaya konuyordu.

Bu kuantumların kütlesi ile kuvvetin erimi (etkili olduğu mesafe) arasında ters orantılı bir bağlantı bulunuyordu: Elektromanyetik kuvvetlerin erimi sonsuza kadar uzandığı için fotonların kütlesi sıfırdı. Ancak güçlü kuvvetlerin erimi 10-13 cm kadar olduğu için bu alan kuantumlarının kütlesinin 200 m_e - 400 m_e (m_e = elektron kütlesi) olması gerektiği hesaplanabiliyordu. Hatta modele göre bu kuantum parçacıklarının yarı ömrü dahi yaklaşık olarak verilebiliyordu: 10^{-8} saniye.

Böylece 1935'te Yukawa Modelinin ortaya koyduğu belirgin özellikleri taşıyan yeni parçacıklar (çekirdek içinde etkin güçlü kuvvetler alanının kuantumları) pek çok fizikçi tarafından aranmaya başlandı. Ancak araya giren İkinci Dünya Savaşı bilimsel araştırma çalışmalarının büyük oranda durmasına sebep oldu.

Savaştan sonra bu tür çalışmalar tekrar başladığında İngiltere'de Bristol Üniversitesi'nde Prof. Powell ve grubu kozmik ışınlarla yeni parçacık izlerinin gözlenebilmesi için detektör olarak kullanılabilen fotoğraf plakları üzerindeki emülsiyon maddesinin geliştirilmesine Ilford firması ile birlikte büyük gayret sarfettiler. Emülsiyon içindeki



Pion etkileşmeleri

AgBr konsantrasyonunu artırmak, çeşitli aktivatörler eklemek gibi yollarla bu maddeyi daha hassas hale getirdiler ve daha kalın tabakalar (~600 µm) halinde kullandıkları zaman emülsiyon içinden geçen yüksek enerjili parçacıkların bıraktıkları izlerin uzun mesafeler gözlenebildiğini farkettiler. Daha da geliştirilen ve nükleer fotoğrafik emülsiyon olarak isimlendirilen türde elektron izleri bile gözlenebiliyor ve bu izler üzerlerinde ölçümler yapılabiliyordu. Bu tür detektörleri kozmik ışınların daha yoğun olduğu dağ tepelerinde uzunca süreler bırakıp sonra "processing" işlemleri ardından özel mikroskoplar altında incelemeye başladılar. Daha başka deneylerde bu detektörleri balonlar yardımıyla atmosferin üst tabakalarına gönderiyor ve elde edilen izleri yine mikroskop altında inceliyorlardı.

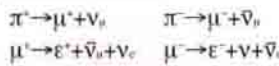
Bu yıllarda başka araştırma grupları tarafından da kozmik ışınlarda aranan Yukawa parçacıkları için bazı adaylar bulunmuştu. Bunlara mezon adı verilmişti. Kütleleri beklediği gibi 200 m_e civarındaydı ve yarı ömürleri de beklenenden çok farklı değildi; ancak etkileşim olasılıklarında sorunlar vardı. Eğer bunlar güçlü kuvvetler alanının kuantumları olan Yukawa parçacıkları ise, kozmik ışın-nükleon çarpışmalarında bol miktarda oluşmaları ve sonra madde içinden geçerken çok sayıda etkileşme olayları meydana getirmeleri gerekiyordu. Halbuki yapılan gözlemlere göre bunlar bol miktarda oluşuyor ancak geçtikleri madde içinde etkileşme oluşturmuyorlardı.

Bu paradoksü çözmek için Roma'da M. Conversi ve grubu sistematik incelemeler yaptı. İnceleme sonuçları bu parçacıkların çok miktarda meydana gelmekle birlikte, etkileşme oluşturmada uzun mesafeler yol alabildikleri ve genelde bozunma yoluyla yok olduklarını gösterdi; bunlar Yukawa parçacığı olmazdı. Durumu açıklayabilecek bir öneri Bethe ve Marshak'dan geldi. Bu iki fizikçiye göre belki de Yukawa parçacıkları kuvvetli etkileşmelerle çok sayıda meydana geldikten kısa bir süre sonra biraz daha küçük kütleli ikincil bir parçacığa bozunuyorlardı ve bu ikincil parçacıklar güçlü kuvvetlerden etkilenmiyorlar, uzun mesafeler yol alabiliyorlar ve bozunmayla yok oluyorlardı; gözlenenler bunlardı.

Bu sıralarda kozmik ışınlarla ve emülsiyon detektörlerle deneylerine de-

vam eden Powell ve grubu, bu hipotezi doğrulayan kesin sonuçlar elde ettiler.

İncelenen mezonların, negatif yüklü iseler % 10 kadının etkileşme meydana getirdiğini, pozitif yüklü ise (çekirdeklerle yaklaşmadıkları için) etkileşme oluşturmamadıkları ancak bunların da % 10 kadının gerçekten kendilerinden biraz daha az kütleli bir parçacığa bozduklarını gösterdiler. Hem negatif, hem pozitif yüklü parçacıklar için de bu % 10'luk kısımlar Yukawa parçacıkları, geri kalanlar ise daha az kütleli ikincil parçacıklardı ve bunların nükleer kuvvetlerle etkilenmeleri beklenmiyordu. Bu aşamada Yukawa parçacıklarına "π-mezon", daha sonra "pion" adı verildi, ikincil parçacıklar ise "müon"lardı. Gözlenen bozunma olaylarını bu isimlerle daha açık olarak şöyle belirleyebiliriz; Pion iki parçacığa bozunma sonucu müon ve elektrik yükü taşımayan (dolayısıyla izi olmayan) bir diğer parçacığa (nötrinoya) bozunmaktadır. Bu yorum, Powell ve grubu tarafından bu tür bozunma olaylarında yapılan gözlemler, ölçüler ve kinematik hesaplar sonucunda ilk defa ortaya konmuştur. Yapılan gözlemler bozunma öncesi pion hızının sıfırlanmış olduğunu ve müon enerjisi ve dolayısıyla iz uzunluğunun bütün bu tür bozunma olaylarında sabit olduğunu gösteriyordu. Müon da hızının sıfırlandığı noktada üç-parçacığa-bozunma sonucunda elektron ve yük taşımayan iki parçacığa (iki nötrinoya) bozunmaktadır.



Sadece izleri gözlenen parçacıklarla belirlendiği zaman bu bozunmalar dizileri $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow \nu^+$ bozunmaları olarak da adlandırılabilir. Powell ve grubu geliştirdikleri emülsiyon detektörler içinde bu bozunma dizilerini ve bunlardaki parçacık izlerini net bir şekilde gözlemlemiş, bunlar üzerinde hassas ölçüler yapmış ve kinematik hesapları sonucunda yorumlarını hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde ortaya koyabilmişlerdir. Böylece pion ismi verilen Yukawa parçacıkları Powell ve grubu tarafından 1947 de keşfedilmiştir. Bu başarılı çalışmalar, detektör geliştirilmesi, kozmik ışın etkileşimlerinin incelenmesi, analizi ve sonuçta gerçekleştirilen pionların keşfi dolayısıyla C. F. Powell 1950 de Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır.

Pionların keşfi ile gündelik hayatımızda karşılaştığımız maddeler içinde

Pion-müon-elektron bozunması dizileri



mevcut olmayan bir temel parçacık bulunmuş oluyordu. O zamana kadar bilinen temel parçacıklar elektron, proton ve nötron (bir de foton ve nötrino) idi. Bunların hepsi sonsuz veya sonsuza yakın uzun ömürlü parçacıklardı; ve bunlar gündelik hayattaki maddelerin yapısını anlamak için yeterliydi. Atom fiziği ve nükleer fizik çerçevesinde geliştirilmiş modellerle o yıllarda hemen hemen herşeyin anlaşıldığı zannediliyordu. Pion'un keşfi ile ilk defa ancak yüksek enerjili çarpışmalarda meydana gelen ve kısa ömürlü dolayısıyla, çok kısa bir süre sonra yok olan bir parçacık bulunmuştu. Bu ilk örnekten giderek daha sonraki yıllarda da özellikle hızlandırıcılarda kontrollü olarak meydana getirilen çarpışmalar sonucunda oluşan çeşitli türlerde kısa ömürlü çok sayıda parçacıklar bulunmuştur. Yüksek enerji fiziği bu parçacıkların özelliklerini, sınıflandırılmalarını, etkileşmelerini inceler. Bütün bu bilgiler, evrenin oluşumu, gelişmesi gibi konuların ve "herşey" in anlaşılabilmesi için gereklidir. Böylece pionların keşfinin neden yüksek enerji parçacık fiziğinin başlangıç noktası sayılması gerektiği anlaşılabilir.

Bugün pionlar hızlandırıcı laboratuvarlarında yüksek enerji fiziği deneylerinde en bol meydana gelen, en çok kullanılan parçacıklar olarak bilinir. Başka parçacıkların oluşturulmasında da genellikle en kolay en kestirme yol pionların kullanılmasından geçer: Örneğin $\pi + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$ etkileşmesi Λ -hiperon veya kaonları oluşturmanın en kolay yollarından biridir.

Bir parçacık etkileşmesinde oluşan parçacıkların ne tür olduğu bilinmiyorsa, bunları pion kabul etmek genelde doğruya en yakın sonucu verecektir. Sonuç olarak şöyle diyebiliriz: Pionların keşfi yüksek enerji fiziğinin başlangıç noktası olmuştur ve pionlar yüksek enerji fiziği araştırmalarının temel dayanağı ve orta direğidir.

Perihan Tolun*
Prof. Dr., ODTÜ Fizik Bölümü

*Perihan Tolun, BSc. ve PhD. derecelerini Rockefeller Enstitüsü'nde, ODTÜ Fizik Bölümü'nde almıştır. Doktoru çalışmaları Cenevre'de, CERN'de ve Bristol'de C.F. Powell'in grubunda yapılmıştır.