

## Giriş

1930'lardaki maddenin üç tür temel parçacıktan (proton,nötron,elektron) oluştuğu şeklindeki çerçeve kısa sürede terk edildi ve temel parçacıklar için uzun bir arayış başladı. 1960'lara kadar birçok temel parçacık bulundu ve çerçeve genişleyerek daha karmaşık bir hal aldı.1960'ların ortalarında bu karışıklığa bir düzen getirilebileceği anlaşıldı;zira temel olduğu ileri sürülen birçok parçacığın aslında bileşik parçacıklar olduğu görüldü.Bu daha az sayıda ve daha temel düzeydeki bu parçacıklara **KUARK** adı verildi. Daha önceden temel kabul edilen parçacıkların bir bölümü bu yeni düzende de temel sayılabiliyordu.Bunlar arasında elektron, nötrino, foton'u sayabiliriz. Diğerleri örneğin proton nötron iki veya üç kuarktan oluşmuş bileşik parçacıklar oluyordu.

Parçacık fiziğini inceleyen fizik dalına yüksek enerji fiziği de denir.Bunun nedenini anlamak kolaydır: temel parçacıklar  $10^{-15}$  m veya daha küçük boyutlarda olduklarından dalga boyu  $10^{-6}$  m olan görünür ışıkta gözlenemezler. Bu parçacıklarla etkileşmek üzere gönderilen elektron proton veya yüksek enerjili fotonların de broglie bağıntısıyla verilen dalga boyları  $10^{-12}$  m civarında olmalıdır. Bu bağıntıyı sağlayan parçacıkların kinetik enerjileri 1 Gev mertebesinde olur.günümüzdeki bazı deneylerde  $10^{-17}$  m kadar mesafelere inilebilmekte ve bunun için yüzlerce Gev enerji gerekmektedir.atomik ölçeğe göre bu ölçüler çok büyük olduğundan 'yüksek enerji fiziği'adı uygun düşmektedir.

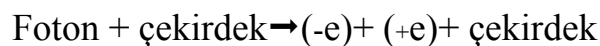
## ANTİPARÇACIKLAR

Bu kısımda antiparçacığın ilk örneği olan pozitronu yakından inceleyeceğiz  
Pozitronun bulunuşu

Pozitronun varlığı deneysel olarak kanıtlanmadan önce bir hipotez olarak ortaya atılmıştı.1928'de Dirac Schrödinger denklemini genişletti.Dirac'ın amacı schrödinger denklemini görelilik teorisiyle uyumlu hale getirmektir, ama daha fazlasını elde etti.Dirac'ın denklemi spin kuantum sayısını  $s=1/2$  olarak veriyordu ve böylece elektron spinini öngörmüş oluyordu.

Dirac denklemi elektrona uyguladığında yükü +e olan ikinci bir parçacığında aynı denklemi sağlayacağı görüldü. Yüğü pozitif olarak bilinen tek parçacık proton olduğundan, Dirac önce elektron için yazdığı denklemin protonu da kapsadığını zannetti.Fakat kısa sürede +e yüklü parçacığın elektrona aynı kütleli ve aynı spinli olması gerektiği anlaşıldı.o yıllarda yaşanan kargaşayı tahmin etmek zor değil.

Bu gün bu parçacığın pozitron adında yeni bir parçacık olduğunu biliyoruz. Dirac teorisinin diğer sonucu şöyleydi;  $2m_e c^2$  den büyük bir enerji ile bir elektron-pozitron çifti yaratabilmeliydi;örneğin enerjisi  $2m_e c^2$  den büyük bir foton çekirdekle çarpıştığında çift yaratılma deneni olay meydana gelir:

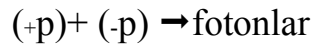


Burada –e ve +e sırasıyla elektron ve pozitronu gösterir. Benzer şekilde elektron ve pozitron yan yana geldiğinde yok olup durgun ve kinetik enerjilerinin toplamıyla foton yaratır.

Bu varsayımlar hiç beklenmedik bir şekilde 1932 yılında amerikalı deneyci Anderson tarafından kanıtlandı. Anderson kozmik ışınları inceliyordu. Bu ışınlar uzay boşluğundan gelen yüksek enerjili parçacıklardır; genellikle proton ve alfa parçacıklarıdır, bazen daha ağır çekirdekler olabilir. Bu parçacıklar dünyanın atmosferindeki atomlarla çarpıştığında ikincil parçacıklar (foton, elektron, proton) üretirler. Anderson kozmik ışınları bir gaz odası aygıtıyla inceliyordu. Gaz odası bir magnetik alan içine konulduğunda parçacıkların gözlenen dairesel yörünge yarı çapları ölçülerek kütleleri bulunabiliyordu. Anderson kozmik ışınlar arasında elektron ve yükü protona eşit bir parçacığa işaret ediyordu. Böylece pozitronun varlığı ve Dirac'ın cesur varsayımları doğrulanmış oldu.

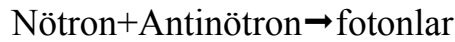
## ANTİPROTON

Elektronun bir anti parçacığı olduğuna göre **tüm parçacıkların anti parçacığı varmıdır?** Bu sorunun yanıtının olumlu olduğu anlaşılmaktadır. Her temel parçacık için, onunla aynı kütle ve spine sahip fakat zıt yüklü bir parçacık vardır. (buna göre nötr parçacığın antiparçacığı da nötr olur) ayrıca, bir parçacık kendi anti parçacığıyla karşılaştığında bir birlerini yok eder ve tüm enerjileri foton şeklinde elektromanyetik ışımaya dönüşür. Örneğin, proton (+p) ve anti proton (-p) şöyle bir reaksiyonda yok olabilirler:



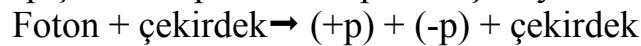
Elektirik yükü korunumlu ve foton yüksüz olduğundan denklemdeki çift yok olması neden antiparçacığın zıt yüklü olması gerektiğini gösterir. Eşitliğin iki tarafındaki yüklerin aynı olması için antiproton yükünün –e olması gerekir.

Nötron yüksüz olduğundan anti nötrondan anti nötronda yüksüzdür, yani yük bakımından aralarında bir fark yoktur. Fakat bu ikisi farklı parçacıklardır. Antinötron ile nötron birlikte yok olabilirler



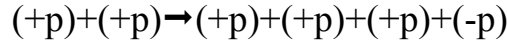
Antinötron ve Antiprotonun varlığı 1955 yılına kadar ispatlanamadı. Pozitron gibi, antiprotonda doğal madde yapısında bulunmaz, çünkü hemen yok olur.

Bir antiproton oluşturmak için çok büyük enerji gerekir. Örneğin, bir foton çekirdekle çarpışarak bir proton-antiproton çifti yaratabilir:



Gelen fotonun enerjisi en az  $2m_p c^2$  yani 2 Gev kadar olmalıdır. Kozmik ışınlarda bu kadar enerjili parçacık bulunabilir, fakat 2 Gev gibi çok yüksek enerjili foton bulunması dolayısıyla antiproton gözlenmesi çok zayıf bir olasılıktır.

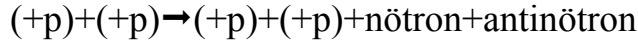
Doğal reaksiyonlarda antiproton bulunamıyorsa diğer seçenek hızlandırıcılarda yüksek enerjili parçacıklar kullanarak üretmektir. 1955'de Chamberlain, serge ve arkadaşları Berkeley'de antiproton yaratmaya yetecek enerjili protonlar üretebilen hızlandırıcı yaptılar. Bu protonlar diğer protonlar üzerine (örneğin bir bakır parçası üzerine) gönderildiğinde antiprotonlar şöyle üretiliyor:



Bu araştırmaların antiprotonları tanımlaması çok zahmetli bir iř oldu, çünkü Reaksiyonlarıyla üretilen her antiprotonun yanı sıra 40.000 kadar başka parçacık da üretiliyordu. Önce bir magnetik alan yardımıyla yükü negatif ve momentumu antiproton için beklenen değerde olan parçacıklar ayrıldı. Bu parçacıklar iki dedektör arasından geçirilip hızları ölçüldü; hız ve momentum bilinerek kütleleri Hesaplandı. Böylece , chamberlain ve arkadaşları antiprotonun yük ve kütlesine eşit birkaç yüz parçacık gözlediler ve antiprotonun varlığını kanıtladılar.

## DİĞER PARÇACIKLAR

Chamberlain ve segre antiprotonu buldukları için 1959 nobel ödülünü aldılar. Bu araştırmacılar aynı deneyler dizisinde antinötronu da şöyle bir reaksiyonla gözlediler:



günümüzde her parçacığın bir anti parçacığı olduğu kanıtlanmış sayılmaktadır.

Örneğin kütlesi 139,6 Mev , spini 0 ve yükü +e olan (+ $\pi$ ) parçacığının anti parçacığı (- $\pi$ ) aynı kütle aynı spin ve -e yükle gözlenmiştir.

Bazı parçacıkların antiparçacığı kendisidir. Örneğin , foton kendisinin anti parçacığıdır.yine  $\pi$  nötr piyonu kendisinin antiparçacığıdır. Bir parçacığın kendi antiparçacığı olabilebilmesi için yüksüz ve nükleon sayısı 0 olması gerekir. Fakat bu iki koşulu sağlayan parçacığın kendi antiparçacığı olduğunu söylemek zordur.

Örneğin, nötrinoların antinötrinolardan farklı olduğu hala kesin olarak

bilinmemektedir;genel düşünce farklı olduklarıdır. Alttaki tabloda

Sözünü ettiğimiz parçacıkların antiparçacıkları gösterilmiştir .

Adı	Parçacık			Antiparçacık			Her ikisi	
	Sembol	Yük	Nükleon sayısı	Sembol	Yük	Nükleon sayısı	Kütle	Spin
Foton	$\gamma$	0	0	—parçacıkla aynı—			0	1
Nötrino	$\nu$	0	0	$\bar{\nu}$	0	0	0	1
Elektron	$e^-$	-e	0	$e^+$	+e	0	0.5	$\frac{1}{2}$
Pionlar:	$\pi^0$	0	0	—parçacıkla aynı—			135	0
	$\pi^+$	+e	0	$\pi^-$	-e	0	140	0
Proton	p	+e	+1	$\bar{p}$	-e	-1	938	$\frac{1}{2}$
Nötron	n	0	+1	$\bar{n}$	0	-1	940	$\frac{1}{2}$

## ANTİMADDE

Her parçacığın bir antiparçacığı olması antimadde olasılığını da gündeme getirir.

Normal madde proton ,nötron ve elektronlar olduğuna göre antimaddeninde antiproton,antinötron ve pozitrondan oluşması beklenir. Gerçektende antihelyum çekirdeği gözlenmiştir. Normal maddenin olduğu yerde antiöaddenin kararsız olması beklenir, fakat yalıtılmış halde kararlı olur. Buna göre evrenin uzak köşelerinde yalnız antimaddeden oluşmuş galaksiler olabilir ancak řu ana kadar gözlenememiştir.

## PİON VE MÜONLAR

1953'te japon fizikçi hiedaki yukuwa kütlesi 100 Mev kadar olan bir parçacığın var olması gerektiğini bir varsayım olarak ileri sürdü. Bu kütleinin değeri elektron kütlesi(0,5Mev) ile nükleon kütlesi(940Mev)değerleri arasında olduğundan yukuwa'nın öngördüğü bu parçacıklara 'orta kütleli' anlamına gelen mezon adı verildi. Daha sonra bulunan orta kütleli parçacıklar arasında yukuwa'nın tarifine uyan parçacığa  $\pi$  mezon yada pion adı verildi.

### Müonun bulunuşu

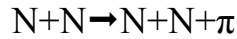
1937'de Anderson ve öğrencisi Neddermeyer kozmik ışınlar arasında kütlesi 100Mev civarında olan bir parçacık gözlemlediler. Bu değer yukuwa'nın tahminine çok güzel uyduğu için dikkatler yukuwa teorisine çekildi. Fakat daha sonra 10 yıl içinde Andeson ve öğrencisi gözlediği parçacığın yukuwa'nın öngördüğü mezon olmadığı anlaşıldı. Bu yeni parçacığa müon veya  $\mu$  parçacığı adı verildi: ( $+\mu$ ) ve ( $-\mu$ ) gibi artı ve eksi yüklü iki müon olduğu görüldü.

Pion ve müonlar arasındaki en önemli fark şudur ; kuvetli etkileşimin aracı parçacığı olan pi mezonu çekirdeklerle kuvetli etkileşimler yapar. Oysa anderson ve neddermeyer in müonu çekirdekle çok zayıf etkileşir. Örneğin, negatif müonların çekirdek etrafında atomik yörüngelerde tutulduğu gözlenmiştir.eğer müon yukuvanın öngördüğü parçacık olsaydı kısa sürede çekirdek tarafından soğurular ve çekirdeği parçalayacak kadar enerji açığa çıkardı. Oysa müon atomik yörüngede uzunsüre kalıp sonra kendiliğindenbozunduğu gözlenmiştir.

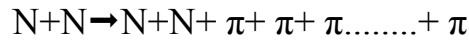
Bu ve diğer birçok nedenlerle müonn yukuwa'nın öngördüğü kuvetli etkileşiminin aracı parçacığı olmadığı kanıtlanmıştır. Müonların kuvetli çekirdek etkileşmesiyle hiçbir alakası yoktur.  $-\mu$  ve  $+\mu$  birbirinin antiparçacığı olup, her bakımdan elektron ve pozitron çifti gibi davranır. Müonların da spini  $\frac{1}{2}$  ve magnetik momentleri Dirac teorisinin öngördüğü değerdedir.

### Pion'un bulunuşu

Yukuwa'nın öngördüğü parçacığın müon olmadığını gören fizikçiler 1947'lerde tekrar kozmik ışınlarda orta kütleli bir parçacık aramaya koyuldular. Çarpışan iki nükleonun enerjisi yeterliyse, pion üretilebilir:



Veya daha büyük enerjilerde çok sayıda pion üretilebilir;



Buna göre, atmosferin üst tabakalarında yüksek enerjili kozmik ışınların atmosferdeki çekirdeklerle çarpışması sonucu çok sayıda pion üretilmesi beklenir. Öte yandan pionlar çekirdekle kuvetli etkileşip soğurdukları için, kilometrelerce atmosfer tabakasını geçip yeryüzüne gelme olasılıkları çok küçük olur. Bu durumda deniz seviyesindeki labratuvarlarda pion gözlenme olasılığı zayıf olur. Bunun üzerine ingiliz fizikçi Powell yönetimindeki bir grup araştırmacı prene ve and dağlarının zirvelerinde deneyler gerçekleştirdiler. Dağın tepesinde bir hafta bekletilen yüzlerce foğraf filmi incelendiğinde gerçektende orta kütleli iki parçacık bulunduğu görüldü;biri 105 Mev kütleli müon diğeri ise uzun zamandır beklenen 140Mev kütleli piondur.

İlk gözlenen pionlar yükü  $+\pi$  ve  $-\pi$  oldular. Powell ve arkadaşları şu reaksiyonlarda pionların bozunarak müonlara dönüştüğünü gözlediler:

$$(+\pi) \rightarrow (+\mu) + \nu$$

$$(-\pi) \rightarrow (-\mu) + \text{anti nötrino}$$

Bu iki reaksiyon pionların başlıca bozunma mekanizması olup, kozmik ışıklarda çok sayıda müon gözlenmesini açıklar.  $+\pi$  ve  $-\pi$  nin ortalama ömürleri  $10^{-8}$  saniyedir. Powell ve arkadaşlarının deneylerinde müonlarında elektron, nötrino ve anti nötrinoya dönüştükleride gözlendi:

$$\pm\mu \rightarrow \pm e + \nu + \text{anti nötrino}$$

pionların çekirdekle kuvetli etkileştiği kısa sürede anlaşıldı. Örneğin çekirdek etrafında bir atomik yörüngede yakalanan negatif pion parçacığı kısa sürede çekirdek tarafından soğurulur ve açığa çıkan enerji çekirdeği parçalara ayırır.

Kozmik ışıklarda gözleendiğinden kısa süre sonra pionlar berkeleydeki 6Gev'lik hızlandırıcıda yapay olarak üreilmeye başlandı.

Yukuwa teorisine göre yüklü  $\pm\pi$  un yanısıra nötr bir  $\pi$  parçacığıda olması gerekir. Yüklü pionların kütleleri bir birine eşit olduğu halde nötr pionun kütlesi biraz daha hafiftir:

$$M(\pm\pi) = 139,6 \text{ Mev} \quad M(\pi) = 135 \text{ Mev}$$

Fakat yüksüz pionun  $\pm\pi$  den en önemli farkı bozunmasında görülür.  $\pm\pi$  parçacıkları  $10^{-8}$  saniye içinde bozunurken, nötr  $\pi$  daha çok iki fotona dönüşür:

$$\pi \rightarrow \gamma + \gamma$$

ve ortalama ömrü daha kısa olur; yaklaşık  $8,3 \times 10^{-17}$  saniye

yüklü ve yüksüz pionların ömürleri arasındaki büyük farkın nedeni şudur nötr pion'un bozunması elektroöagnetik kuvetin eseridir; oysa yüklü pionların bozunması daha küçük olan zayıf etkileşme yoluyla olur. zayıf etkileşmeye birazdan değineceğiz.

## DÖRT TEMEL KUVET

Müon ve pionun bulunmasından sonra bunları diğer parçacıklar izledi. Sayısı çoğalan bu parçacıkların doğadaki temel etkileşme türlerine göre gruplandırılabilceği kısa sürede anlaşıldı. Bu kısımda temel etkileşimleri ele alacağız.

1930'ların ortalarında bilinen elektromagnetik ve gravitasyon kuvetlerinin yanısıra iki kuvetin daha olması gerektiği anlaşıldı. Birincisi çekirdekdeki nükleonları bir arada tutan kuvetli etkileşme olmalıydı. İkincisi  $\beta$  bozunması kuvetli, elektromagnetik veya gravitasyon etkileşmelerinin hiç biriyle açıklanamıyordu. Bu durumda  $\beta$  bozunmasını mümkün kılan dördüncü bir etkileşme türü olmalıydı. Bu bozunmaların çok yavaş olması nedeniyle bu kuvet türüne **zayıf etkileşme** adı verildi. Dört etkileşmenin erimleri ve şiddetleri oldukça farklıdır. Gravitasyon ve elektromagnetizma etkileşimleri  $1/r^2$  yasına uydukları için uzun erimlidirler; ilke olarak bu iki etkileşme sonsuz erimli sayılırlar. Buna karşın kuvetli çekirdek etkileşmesinin erimi  $10^{-15}$  ve zayıf etkileşmenin erimi bundanda küçük  $10^{-18}$ m olur. Buna göre; makroskopik ölçüde kuvetli ve zayıf etkileşim yok sayılabilirler.

İki parçacık birbirine çok yakın olsa bile bu dört kuvetin birlikte etki edeceği kesin değildir. Örneğin, iki elektronu ne kadar yakına getirsek de aralarında kuvetli etkileşme olmaz. Fakat dört kuvet birlikte etki ediyorsa kuvetli etkileşme en büyük olanıdır. Onu sırasıyla elektromagnetik etkileşme, zayıf etkileşim ve son olarak

gravitasyon izler. Özellikle gravitasyon, temel parçacıklar üzerindeki etkisi bakımında tümüyle yok sayılabilir.

Elektron müon ve nötrino gibi bazı parçacıkların kuvvetli etkileşimden etkilenmediklerini görmüştük. Bu tür parçacıklara (yunanca'da 'hafif' anlamına gelen) **Lepton** adı verilir ileride göreceğimiz üzere altıtane bilinen lepton vardır ve tümünün de gerçekten temel parçacık olduğuna inanılmaktadır. Leptonların daha temel parçacıklarının bileşimi olduğuna dair hiç bir kanıt yoktur.

Kuvvetli etkileşmeyi gören parçacıkların genel adı (yunanca'da ağır anlamına gelen) **Hadron'dur**. Hadronlara şu ana kadar bildiğimiz örnekler proton, nötron ve pion olmakla birlikte, yüze yakın hadron bilinmektedir. Artık hadronların temel parçacık olmadıkları anlaşılmıştır. Bu parçacıklar kuark adı verilen altı tane temel parçacığın ikili veya üçlü bileşimi olurlar. Bu altı kuark altı lepton gibi, iç yapısı olmayan gerçek temel parçacıklardır.

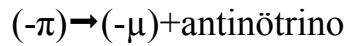
Lepton ve Hadrona ek olarak etkileşmelere aracı olan parçacıklarda vardır. Bu kuvvet ileticilerine **ayar parçacıkları** denir ve günümüzde tüm etkileşimlerin bu ayar parçacıklarıyla iletildiğine inanılmaktadır. Örneğin elektromanyetik etkileşimin ayar parçacığı fotonudur. Kuarklar arasındaki kuvvetli etkileşmenin ayar parçacıklarında *glüon* denir. Zayıf etkileşmenin ayar parçacıklarına W ve Z parçacıkları adı verilir.

İkiyüzdenden fazla temel parçacığın sınıflandırılmasındaki başlıca gruplar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir;

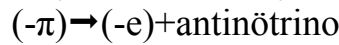
Grup adı	Özelliği	Örnekler	Halen bilinen yapısı
Ayar parçacıkları	Kuvvet ileticisi	foton	Temel
Leptonlar	Kuvvetli etkileşmeyi görmez	e, $\mu$ , $\nu$	Temel
Hadronlar	Kuvvetli etkileşme yapar	p, n $\pi$	Kuark bileşiği

## LEPTONLAR

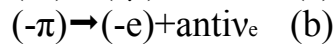
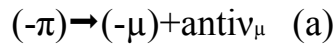
Lepton grubu kuvvetli etkileşimden etkilenmeyen  $\frac{1}{2}$  spinli parçacıkları (elektron, müon ve nötrino) içerir. Kütlelerinin çok farklı oluşu yanı sıra (-e) ve (- $\mu$ ) birçok bakımdan benzerlik gösterirler. Her ikisinde (-e) yüklü olup antiparçacıkları (+e) yüklü olur. Biri için olan reaksiyonun eşdeğeri öbürü içinde vardır. Örneğin - $\pi$  pionun en bilinen bozunma türü



bozunmasıdır. Bu reaksiyon yanı sıra, - $\pi$  şöyle de bozunur;

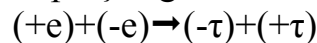


bildiğimiz diğer lepton  $\nu$  (nötrino) ve onun anti parçacığıdır. 1962 senesinde nötrininin de iki farklı türü olduğu anlaşıldı:  $\mu$ 'ye eşlik eden  $\nu_\mu$  ( $\mu$ -nötrino) ve e'ye eşlik eden  $\nu_e$  (e-nötrino) adı verildi. buna göre üstteki reaksiyonların daha doğru yazımı şöyledir;



Bu iki nötrininin farklı oldukları şöyle kanıtlandı; a reaksiyonundaki nötrino daha sonra müonlarla tepkimeye girebiliyor fakat elektronla giremiyor fakat elektronlarla aynı reaksiyonları ;b reaksiyonundaki nötrino başlatabiliyorlardı.

1975 yılında iki lepton daha bulundu; yüklü (+ $\tau$ ) tau parçacığı ve ona eşlik eden  $\nu_\tau$  ( $\tau$ -nötrino) .- $\tau$  ve onun anti parçacığı + $\tau$  elektron pozitron çarpışmalarında



reaksyonuyla ortaya çıkıyor ve daha sonra çeşitli  $\tau$ -nötrinoları içeren reaksiyonlara giriyorlardı. Müon gibi tau parçacığı da iri bir elektron gibi düşünülebilir, ancak bu kez kütle farkı çok daha büyüktür;

$$m_{\tau}=178 \text{ Mev} \approx 3000m_e$$

diğer leptonlar gibi tau ve onun nötrinosuda  $\frac{1}{2}$  spinlidirler.

Kuşak	Yüklü lepton (kütle, MeV/c <sup>2</sup> )	Nötrino (kütle, MeV/c <sup>2</sup> )
Birinci	elektron, e <sup>-</sup> (0.5110)	e nötrinosu, $\nu_e (< 2 \times 10^{-5})$
İkinci	muon, $\mu^-$ (105.7)	$\mu$ nötrinosu, $\nu_{\mu} (< 0.25)$
Üçüncü	tau, $\tau^-$ (1784)	$\tau$ nötrinosu, $\nu_{\tau} (< 35)$

yukarıdaki tablodaki altı parçacıktan yalnız elektron normal maddenin yapısında yer alır. Neden böyle olduğu bir bakıma anlaşılabilir; elektron en hafif yüklü parçacıktır:bozunarak dönüşebileceği daha hafif bir parçacık yoktur. Bu nedenle kararlı olmak zorundadır. Buna karşılık  $\mu$  ve  $\tau$  oldukça kararsız parçacıklar olup normal maddenin bir parçası olamazlar. Fakat,  $\mu$  ve  $\tau$ 'nun neden var olduklarını ve kütlelerinin neden elektrona kıyasla çok büyük olduğunu açıklayan bir teori yoktur. Bu üç parçacığın daha kararlı bir temel parçacığın kuantum durumları olduğu düşünülebilir; taban durumu elektron ve uyarılmış durumlarda  $\mu$  ve  $\tau$  olurdu. Fakat, bu varsayımı destekleyen deneysel hiçbir kanıt yoktur.  $10^{-18}$  m ölçeğine kadar e,  $\mu$  ve  $\tau$ 'nun iç yapısı olmayan temel parçacıklar olduğu kanıtlanmıştır. Benzer şekilde nötrinoların da iç yapısı olduğuna dair hiçbir kanıt yoktur ve lepton ailesinde bu kütleli parçacıkların neden var olduğu hala anlaşılabilmiş değildir.

## DİĞER HADRONLARIN BULUNUŞU

Hadron parçacık ailesi kuvetli etkileşimlere katılan parçacıklardan oluşur;bunlar arasında bildiğimiz proton nötron ve pion da vardır. 1950'lerde yapılan hızlandırıcılarda Gev enerji mertebesine ulaşıldığında yeni birçok hadronun peşpeşe Gözlendiği bir devir başladı. Bu parçacıkların nasıl bulunduğunu ve özelliklerini gözden geçirelim:

### UZUN ÖMÜRLÜ YENİ HADRONLAR

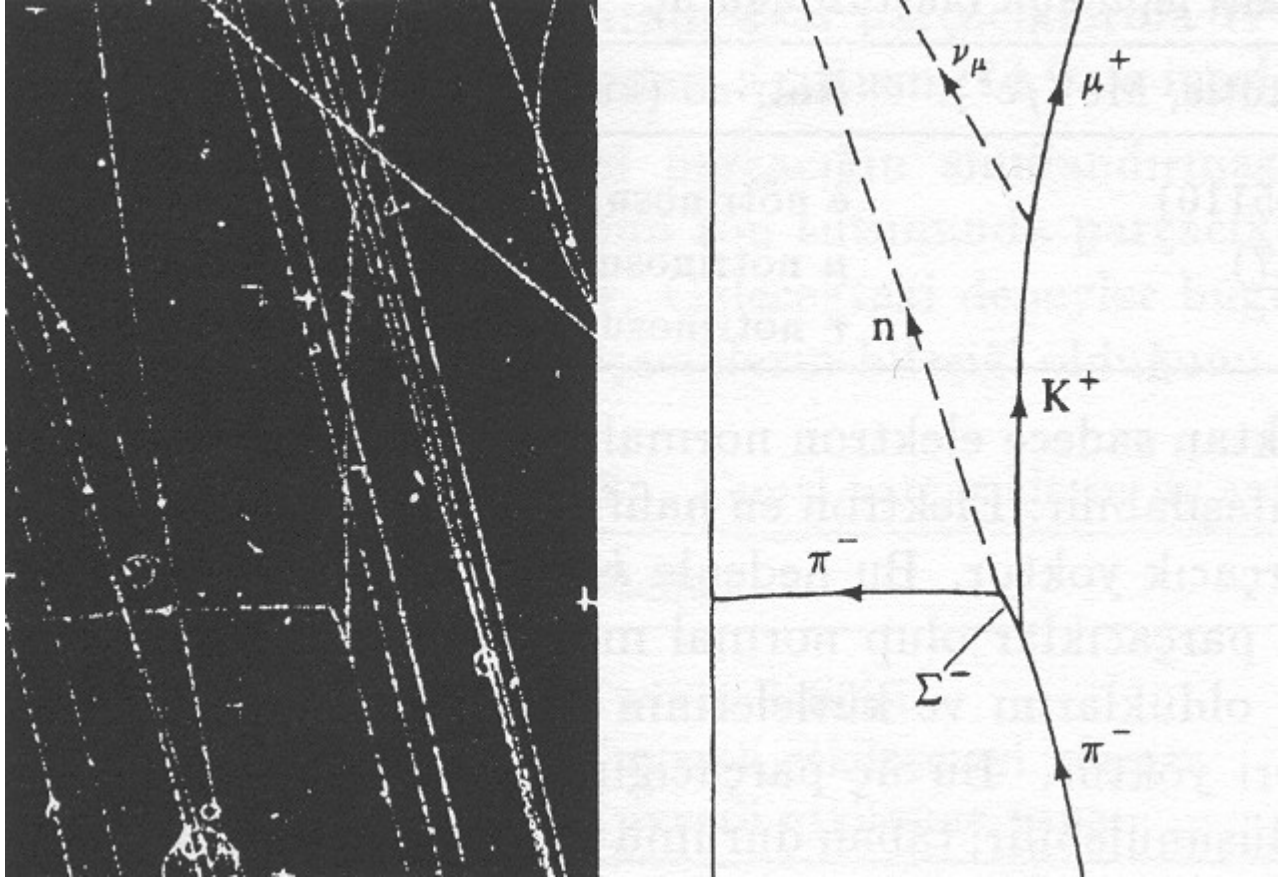
Yeni bulunan hadronlardan bir kısmını ortalama ömürleri  $10^{-8}$  ile  $10^{-10}$  saniye arasındadır; bu süre parçacık fiziği için uzun bir süredir. Özellikle ışık hızına yakın giden parçacıklar bu sürede birkaç cm yol katedebilir. Bu parçacıklar yüklü is bir detektörde bıraktıkları izlerle gözlenebilirler. Buna bir örnek aşağıdaki kabarcık odası resmidir. Kabarcık odası içine kaynama noktasına yakın sıcaklıkta sıvı hidrojen bulunan bir odadır. Yüklü bir parçacık sıvı içinden geçerken parçacığın yolu üzerinde küçük kabarcıklar oluşur. Kabarcık odasındaki hedef çekirdek yoğunluğu bulut odasındakinden 1000kat fazla olduğundan çarpışma olasılıkları da aynı oranda artar ve kısa sürede daha çok olay gözlenebilir. Resmin alt tarafından giren negatif pionların izleri görülmektedir. Bu pionlar durgun bir proton(hidrojen çekirdeği) ile çarpışınca iki yüklü hadron yaratır.  $K^+$  ve  $\Sigma^-$  denilen bu parçacıklar



reaksyonuyla oluşurlar. Bu yeni parçacıkların izleri ve daha sonraki bozunmaları resimde görülmektedir.

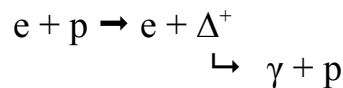


Bir dış magnetik alan uygulandığından bu yüklü parçacıkların yörüngeleri eğri olur; eğrilik yarıçapı hesaplanarak momentum bulunabilir. Bazı uygun koşullarda parçacığın enerjisi ve dolayısıyla hızı hesaplanabilir. Parçacığın hızı ve aldığı yoldan giderek ömrü hesaplanır.

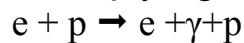


## REZONANSLAR

Yeni parçacıkların bir bölümü o kadar hızlı bozunur ki kabarcık odasında iz bırakmadan yok olurlar. **Rezonans** denen bu parçacıkların nasıl tanındığına bir örnek olarak  $\Delta^+$  parçacığını ele alalım. Bu parçacık şöyle bir reaksiyonda ortaya çıkar;



$\Delta^+$ 'nın bozunma şekillerinden biri aynı denklemden gösterilmiştir.  $\Delta^+$ 'nın ömrü o kadar kısadır ki  $10^{-15}$ m yol alabilir ve hiçbir detektör de izi gözlenemez. Bu durumda yukarıdaki reaksiyon üzerinde şöyle gibi görünür



fakat yine de iki reaksiyon ayırt edilebilir ve  $\Delta^+$  parçacığının oluştuğu kanıtlanabilir.

## ACAİP PARÇACIKLAR

1950'lerde bulunan yeni hadronların en şaşırtıcı özelliği ortalama ömürlerinin bir birinden çok farklı oluşuydu. Kuşvetli etkileşim bilinen şiddeti göz önüne alınarak yapılan hesaplara göre kararsız hadronların ortalama ömürleri  $10^{-23}$ s mertebesinde

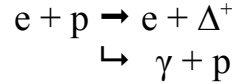
olmalıydı. Oysa  $\Sigma$  ve  $\Lambda$  parçacıklarının ortalama ömürleri  $10^{-10}$  s, yani 13 mertebe daha yüksek olabiliyordu. Bu anlaşılmaz uzun ömürlerinden dolayı bunlara **acayip parçacıklar** adı verildi. Acayip parçacıkların varlığını açıklamak için verilen çaba sonucu hadronların kuark modelinin doğduğu söylenebilir.

## MULTİPLET PARÇACIKLAR

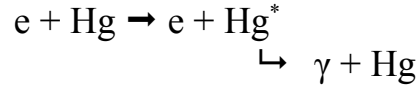
Yeni hadronların diğer çarpıcı özelliği, kütleleri eşit ve farklı yüklerde aileler yani multiplet oluşturmalarıdır. Örneğin  $\Delta^+$  parçacığı dört kişilik bir ailenin üyesidir:  $\Delta^{++}$ ,  $\Delta^+$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^-$  parçacıklarının kütleleri yaklaşık  $1232 \text{ Mev}/c^2$ , fakat yükleri  $+2e$ ,  $+e$ ,  $0$ ,  $-e$  olur. Daha yakından bildiğimiz bir örnek nötron ve protonun oluşturduğu dublet, veya  $\pi^+$ ,  $\pi^0$ ,  $\pi^-$  pionlarının oluşturduğu triplet ailesidir. Yüklerinin farklı oluşu dışında, multiplet parçacıkların diğer tüm özellikleri aynı olmaktadır; özellikle kuvvetli etkileşimde aynı davranışları gösterirler. Multipletlerin varlığı hadronların kuark modelinin gelişmesine diğer itici güç olmuştur.

### BARYON SAYISI

İleride göreceğimiz üzere yeni hadronların birçoğu nötron ve protonun uyarılmış durumları olmaktadır. Örneğin  $\Delta^+$  parçacığı protonun uyarılmış bir durumudur. Bu düşünce daha önce gördüğümüz şu reaksiyondan kaynaklanır.



Bura daki ilk satır protonun daha yüksek enerjili bir duruma  $\Delta^+$  uyarılması gibi görülebilir. Daha sonra uyarılmış durumdan bir foton salınarak parçacık taban duruma geçer. Bu bakış açısında reaksiyonu, atomik fizikteki Franck-Hertz deneyine benzer;



Burada elektronun çarptığı civa atomu önce uyarılmış duruma geçer ve sonra bir foton yayınlarken taban duruma iner. Her iki örnekte de uyarılmış durumun enerjisi salınan fotonu gözleyerek veya gelen elektronun enerji kaybından bulunur.

Çekirdek reaksiyonlarında nükleon sayısının korunduğunu biliyoruz.

$e + p \rightarrow e + \Delta^+$  gibi reaksiyonlar göz önüne alındığında, bu yasanın genişletilerek çekirdeğin uyarılmış durumlarının da kapsamına girmesi gerekir. Nükleon terimi proton ve nötron için kullanılırken bu iki parçacığın ve tüm uyarılmış durumlarının genel adı **Baryon** olur.

(daha sonra görüleceği üzere baryonların en kısa tanımı üç kuarktan oluşan bileşiklerdir) toplam baryon sayısının değiştiği bir olay bu güne kadar gözlenmiş değildir. Nötron ve proton dışındaki baryonlar kararsızdır bu yüzden maddenin yapısında yalnız bu ikisi bulunur.

## HADRONLARIN KUARK MODELİ

Yeni hadronların çoğunun proton ve nötronun uyarılmış durumları olduğunu söylemiştik. Buna göre nötron ve protonunda daha temel parçacıklardan oluşmuş birer sistem olmaları gerekir. 1960'larda Amerikalı fizikçiler Gell-Mann ve Zweig birbirlerinden bağımsız olarak kuark modelini ortaya attılar. Bu modele göre

Tüm hadronlar kuark adında üç temel parçacığın ikili veya üçlü bileşimi olarak açıklanabilir.

Gell-man ve zweig' in önerdiği üç kuark yukarı kuark (u), aşağı kuark (d) ve acaip kuark (s) adlarıyla bilinirler. Herbirinin kütlesi yaklaşık 500MeV/c<sup>2</sup> sipinler ½ olup Herbirine karşılık gelen üç anti kuark vardır. Bu üç kuarkın varsayılan özellikleri aşağıda sıralanmıştır. Bu tabloda en çarpıcı olan kuark yükleridir. Kuarklar kesirli yük taşıyor gell-man ve zweig in önerisine göre d ve s kuarklarının yükü -1/3e , u kuark'ınki 2/3e dir. Bu cesur bir öneriydi ancak doğruluğu çeşitli yollarla kanıtlandı.

Adı	Sembol	Yük	Baryon sayısı	Kütle (MeV/c <sup>2</sup> )	Spin
u-kuark	u	2e/3	1/2	≈ 350	1/2
d-kuark	d	-e/3	1/2	≈ 350	1/2
s-kuark	s	-e/3	1/2	≈ 500	1/2

yukarıdaki tabloya bakarak hadronların kuark modelini anlamak kolaydır. Tüm baryonlar üç kuarkın bağlı durumları olurlar. Her kuarkın baryon sayısı B=1/3 olduğundan baryonların herbirinde B=1 olur. İki u-kuark ve bir d-kuarkın düşük enerjili durumu proton bir u-kuark ve iki d-kuarkın en düşük enerjili durumu nötron olur.

$$\text{Proton} = (uud) \quad \text{nötron} = (udd)$$

Bu yapının proton ve nötron yüklerini doğru veriğini görelim;

$$q_p = (2/3 + 2/3 - 1/3) = +e \quad q_n = (2/3 - 1/3 - 1/3) = 0$$

u ve d kuarklarının kütleleri yaklaşık olarak eşit olduğundan proton ve nötron kütlelerinin yaklaşıkeşit oluşu açıklanır. ayrıca nötron ve protonun spinleri ½ olduğuna göre, üç kuarktan ikisinin spinleri anti paralel olması gerekir.

$\Delta^+$  parçacığı protonu oluşturan aynı üç kuarkın (uud) uyarılmış durumudur.

$\Delta$  ailesinin kuark yapıları şöyledir;

$$\Delta^{++} = (uuu), \quad \Delta^+ = (uud), \quad \Delta^0 = (udd), \quad \Delta^- = (ddd)$$

$\Delta$  parçacığının spinleri  $s=3/2$  olduğundan, üç kuarkın spinlerinin paralel olduğu anlaşılır.  $\Lambda$  ve  $\Sigma$  türündeki acaip baryonlarda üç kuarktan biri acaip s-kuarkı olur.

Örneğin  $\Sigma^+$  parçacığı  $\Sigma^+ = (uus)$

$\Sigma^+$  bu üç kuarkın endüşük enerjili durumudur; ancak s in kütlesi d den daha büyük olduğundan  $\Sigma^+$  parçacığı protondan daha ağır olur. Bu kütle farkı  $\Sigma^+$  nın bozunarak Bir proton ve bir  $\pi^0$  a dönüşmesine yetecek kadar büyüktür. Fakat bunu için s in d ye dönüşmesi gerekirken buda ancak zayıf etkileşimle olabilir. Buna göre  $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$  Reaksiyonu zayıf etkileşimle olduğundan  $\Sigma^+$  'nın daha uzun ömrü açıklanır

$\pi$  mezonları kuark anti kuark çiftlerinden oluşur;örneğin

$$\pi^+ = (u, \text{anti-d}) \quad \pi^- = (\text{anti-u}, d)$$

olur; aslında mezon deyimi böyle kuark-antikuark çiftlerinin genel adıdır.

Tüm kuarkların baryon sayısı 1/3 anti kuarkların -1/3 olduğundan mezonların baryon sayısı sıfırdır.

Kuark modeli sadece hadronların hangi kuarklardan oluştuğunu söylemekle kalmaz. Hadron multipler ailelerinin varlığında bu teoride öngörülmüştür. Örneğin  $\Delta$  dörtlüsü spini 3/2 olan şu kuarklardan oluşur;

$$\{ (uuu), (uud), (udd), (ddd) \} \text{ eleman } \Delta$$

aşağıdaki tablolarda multiplerleri ve özelliklerini görebilirsiniz;

Multipler	Parçacık	Kuark yapısı	Ortalama ömrü (s)
N(939)	$\begin{cases} p(938.3) \\ n(939.6) \end{cases}$	$\begin{cases} uud \\ udd \end{cases}$	$\begin{cases} \infty \\ 896 \end{cases}$
$\Lambda(1116)$	$\Lambda(1115.6)$	uds	$2.63 \times 10^{-10}$ s
$\Sigma(1193)$	$\begin{cases} \Sigma^+(1189.4) \\ \Sigma^0(1192.5) \\ \Sigma^-(1197.4) \end{cases}$	$\begin{cases} uus \\ uds \\ dds \end{cases}$	$\begin{cases} 7.99 \times 10^{-11} \\ 7.4 \times 10^{-20} \\ 1.48 \times 10^{-10} \end{cases}$
$\Xi(1318)$	$\begin{cases} \Xi^0(1314.9) \\ \Xi^-(1321.3) \end{cases}$	$\begin{cases} uss \\ dss \end{cases}$	$\begin{cases} 2.90 \times 10^{-10} \\ 1.64 \times 10^{-10} \end{cases}$
Multipler	Parçacık	Kuark yapısı	Ortalama ömrü (s)
$\Delta(1232)$	$\begin{cases} \Delta^{++}(1232) \\ \Delta^+(1232) \\ \Delta^0(1232) \\ \Delta^-(1232) \end{cases}$	$\begin{cases} uuu \\ uud \\ udd \\ ddd \end{cases}$	$6 \times 10^{-24}$
$\Sigma(1385)$	$\begin{cases} \Sigma^+(1385) \\ \Sigma^0(1385) \\ \Sigma^-(1385) \end{cases}$	$\begin{cases} uus \\ uds \\ dds \end{cases}$	$2 \times 10^{-23}$
$\Xi(1530)$	$\begin{cases} \Xi^0(1530) \\ \Xi^-(1530) \end{cases}$	$\begin{cases} uss \\ dss \end{cases}$	$7 \times 10^{-23}$
$\Omega(1672)$	$\Omega^-(1672)$	sss	$8 \times 10^{-11}$

Multipler	Parçacık	Kuark yapısı	Ortalama ömrü (s)
$\pi(138)$	$\begin{cases} \pi^+(139.6) \\ \pi^0(135.0) \\ \pi^-(139.6) \end{cases}$	$\begin{cases} u\bar{d} \\ u\bar{d} \text{ ve } d\bar{d} \\ d\bar{u} \end{cases}$	$\begin{cases} 2.6 \times 10^{-8} \\ 8.4 \times 10^{-17} \\ 2.6 \times 10^{-8} \end{cases}$
K(496)	$\begin{cases} K^+(493.6) \\ K^0(497.7) \end{cases}$	$\begin{cases} u\bar{s} \\ d\bar{s} \end{cases}$	$\begin{cases} 1.2 \times 10^{-8} \\ 5.2 \times 10^{-8} \text{ ve } 8.9 \times 10^{-11} \end{cases}$
$\bar{K}(496)$	$\begin{cases} \bar{K}^0(497.7) \\ \bar{K}^-(493.6) \end{cases}$	$\begin{cases} s\bar{d} \\ s\bar{u} \end{cases}$	$\begin{cases} 5.2 \times 10^{-8} \text{ ve } 8.9 \times 10^{-11} \\ 1.2 \times 10^{-8} \end{cases}$
$\eta(549)$	$\eta^0(548.8)$	$u\bar{u}, d\bar{d} \text{ ve } s\bar{s}$	$6.1 \times 10^{-19}$

## KUARK VARLIĞININ KANITI

Hadronlar kuarklardan oluştuğuna göre bunları bölüp yalnız başlarına gözlemek düşüncesi doğal olarak akla gelir. kuarklar kesirli yüke sahip oldukları için birkez ayrıldıktan sonra tanıyabilmek kolay olurdu. fakat yapılan geniş çapta araştırmalara rağmen kesirli yüke sahip hiç bir parçacık gözlenememiştir. Bunun bir açıklaması bir hadronu bölmek için gerekli olan enerjinin deneysel olanakların çok üstünde olduğudur. Fakat bu mantıklı görünmemektedir, çünkü kozmik ışınlar arasında az da olsa  $10^{22}$  Mev enerjili parçacıklar bulunmaktadır. Bunlar serbest kuark üretebilecek

enerjide sayılırlar. Diğer açıklamaya göre bir kuark tek başına serbest durumda gözlemek imkansızdır.günümüzde bu açıklama daha çok kabul görmektedir. Kuvvetli etkileşiminin modern teorisine göre bir baryondaki üç kuarkı veya mezondaki kuark-antikuarkı ayırmak için sonsuz enerji vermek gerekir.buna kuark tutulması denir.

Serbest kuark gözlenmemiştir fakat hadronların içinde kuarkların olduğuna dair kanıtlar vardır. Bunlardan ilki satanford'daki 2-mil lineer hızlandırıcıda elde edildi. Bu hızlandırıcıda birkaç Gev enerjiye çıkarılan elektronlar daha sonra nötron ve protonlarla çarpıştığında, nükleonun yapısını araştırmakta çok iyi bir araçtır. Bu deneylerden çıkan en açık sonuç nükleonların noktasal olmadıkları ve yüklerinin  $10^{-15}$ m genişlikte bir alanda yer almakta olduğudur.

Stanford'daki deney daha sonra yüksek enerjilerde defalarca tekrarlanarak nükleon yapısı daha duyarlı incelenmiştir. Bu deneylerin sonuçları inandırıcıdır elektronlar yüklü sürekli dağılmış bir nükleondan saçılması beklenenden daha geniş açılarla saçılmıştır.bu ipuçlarına göre nükleon içinde daha küçük parçacıklar bulunmalıdır  $10^{-18}$ m kadar. Bu deney sonuçları kuarkların varlığına kanıt olarak kabul edilmektedir.

## YENİ KUARKLAR

Buraya kadar sadece üç kuarktan söz ettik u,d ve s dördüncü bir kuarkın varlığı  $k^0$  mezonu bozunmasıyla gündeme geldi. Teoriye göre  $k^0$  müona dönüşebilmeliydi Tüm araştırmalara rağmen böylebir bozunmaya rastlanmadı 1970 yılında ileri sürülen bir iddaya göre kütlesi s kuarkın yaklaşık iki ile dört katı büyüklükte bir kuarkın varlığı kabul edilirse bu bozunmanın neden olmayacağı açıklanabiliyordu.

Adına sihirli (c) denen bu dördüncü kuarkın varlığı bir süre tartışıldı ;ancak 1974'de bulunan bir mezon ancak c anti c çiftiyle açıklanabiliyordu bu yeni mezona  $\Psi$  Parçacığı adı verildi.  $\Psi$ 'nin kütlesi 3,1 Gev c kuarkının kütleside 1,5Gev tayin edildi. Birkaç yıl sonra adına alt kuark denen ve b ile gösterilen beşinci kuark benzer bir yolla bulundu. Y mezonu adı verilen mezon ancak b ve anti b çiftiyle açıklanabiliyordu. b kuarkı diğer dört kuarka göre çok daha ağır olup  $m_b=5$  Gev dir Bugün adına üst kuark denen t ile gösterilen altıncı kuarkın var olduğuna inanılmaktadır. Bunun kütlesi  $m_t>20$  Gev kadardır.

Altaki tabloda bilinen temel parçacıklar kuşaklarına göre dizilmiştir.

Kuşak	Leptonlar		Kuarklar	
Birinci	$e^-$	$\nu_e$	u	d
İkinci	$\mu^-$	$\nu_\mu$	c	s
Üçüncü	$\tau^-$	$\nu_\tau$	t	b
Yük	$-e$	0	$2e/3$	$-e/3$

kaynaklar;

- 1)fizik ve mühendislikte modern fizik(john r. Taylor,chiris zafaritos)
- 2)maddenin yapıtaşları (gerard't hof)
- 3)ilk üç dakika (steven weinberg)

