

Hayalet parçacıklar: Nötrinolar

1930' ların başında temel parçacıklardan sadece foton, elektron, atom çekirdeği biliniyordu. Radyoaktif bir elementin yaptığı beta ışınımı gözlemlenmişti ve bunun atom çekirdeğinden gelen elektronlar olduğu saptanmıştı. Ancak bir sorun vardı: atom çekirdeğin “bozunarak” bir proton ve bir elektron çıkardığı gözlemlenmişti ama **enerji korunumu** sağlanmıyordu. Başlangıçtaki enerji, proton ve elektronun enerjilerinden fazlaydı. Zamanın çok ünlü fizikçilerinin enerjinin korunumu ilkesinden vazgeçmeye kadar umutsuzluğa düştükleri bir sırada **Pauli**, Aralık 1930' da Tübingen toplantısına bir bildiri gönderdi ve yeni bir “**yüksüz**” parçacık önerdi: **nötron**. Pauli' ye göre bu yüksüz parçacık çok hafif olmalıydı. O dönemki diğer bütün fizikçiler gibi Pauli de bu yüksüz parçacığın bozunumdan önce atom çekirdeğinde var olması gerektiğini varsayıyordu. Gerçekten de 1932' de nötron Chadwick tarafından keşfedildi ve atom çekirdeğinde yüklü protonların yanında, aynı sayıda nötronların da bulunduğu anlaşıldı, ama sorun çözülmemişti. Nötron hiç de hafif değildi, hatta kütlesi protonunki kadardı. Bunun üzerine **Fermi**, günümüzde de geçerli olan **beta bozunum** kuramını ortaya attı. Beta bozunumu, atom çekirdeğinde protonla birlikte varolan nötron' un, bir proton, bir elektron ve bir “**nötrino**” (nötron'lara istinaden, “küçük nötron”) ya bozunmasıdır. Daha sonra bunun zayıf kuvvet (weak force) nedeniyle olduğu anlaşılacaktı.

$$\beta^- \text{ bozunumu: } n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

$$\beta^+ \text{ bozunumu: } p \rightarrow n + e^+ + \nu \quad (\text{örnek: } {}^{14}\text{O}_8 \rightarrow {}^{14}\text{N}_7 + e^+ + \nu)$$

Kuram çok güzeldi ve bütün gözlemleri açıklıyordu. Enerjinin korunum ilkesi kurtulmuştu. Ama hala bir sorun vardı: Nötrino' lar bir türlü dolaysız olarak gözlemlenemiyorlardı. Varlıkları ancak “**kayıp enerji**” sinyalinin tahmin ediliyordu. Hayalet parçacıklar gibi...Nötrinolar madde ile o kadar nadir etkileşime girerler ki, bir nötrino milyonlarca ışık yılı kalınlığındaki bir kurşunun içinden hiçbir şey olmamış gibi geçip gidebilir.

Nötrinoların keşfi için 20 yıl beklemek gerekecekti. 1953'de Reines ve Cowan' ın ekibi Savannah River' daki nükleer enerji santralinden gelen milyarlarca nötrinodan bir kaçını madde ile etkileşime sokmayı ve nötrinoların varlığını ispatlamayı başardılar. Bu başarı onlara 42 yıl (evet tam kırkiki yıl) sonra Nobel ödülü getirecek ama Reines ödülü alamayacak kadar yaşlı olduğu için Stockholm' e gelip İsveç kralının huzuruna çıkamayacaktı...Bu nötrinolar tam bir baş belasıdır zaten.

Standart Modele göre 3 lepton ailesi olduğu için, nötrinolar da üç tiptir: Elektron nötrinosu, müon nötrinosu ve tau nötrinosu. Standart Model' de temel parçacıklar 10^{-18} - 10^{-19} m. boyutlarında, maddenin noktasal (iç yapısı olmayan) en temel yapı taşları olarak tanımlanır. Bunlar, madde parçacıkları ve ara etkileşim parçacıkları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Spin sayısı $s = 1/2$ olan birinciler (ki bunlara Fermi-Dirac istatistiğine uydukları için **fermion** denir) yine kendi aralarında **lepton** ve **kuark** olarak ikiye ayrılırlar. Leptonlar, temel elektron yükü biriminde elektrik yüküne sahip elektron, e^- , muon μ^- ve tao τ^- ; ile 0 elektrik yüküne sahip ν_e , ν_μ ve ν_τ nötrinolarıdır. Kesirli elektrik yüküne sahip **kuarklar** ise, 3-aile modeline göre altı kuarktan oluşurlar: yukarı kuark **u**, aşağı kuark **d**, acaip kuark **s**, tılsımlı kuark **c**, alt kuark **b** ve tepe kuark **t**.

Standart Model' de Lepton aileleri				Standart Model' de Kuark aileleri		
	Çesni	Kütle (GeV/c ²)	Elektrik Yükü	Çesni	Kütle (GeV/c ²)	Elektrik Yükü (e')
ν_e	e nötrino	$< 7 \cdot 10^{-9}$	0	u üst (up)	0.003	+2/3
e^-	elektron	.000511	-1	d alt (down)	0.006	-1/3
ν_μ	μ nötrino	$< .0003$	0	c tılsımlı (charm)	1.3	+2/3
μ^-	müon	0.106	-1	s acaip (strange)	0.1	-1/3
ν_τ	τ nötrino	$< .03$	0	t tepe (top)	173	+2/3
τ^-	tau	1.7771	-1	b taban (bottom)	4.5	-1/3

Bose-Einstein istatistiğine uyan (**bozon**) ara etkileşim parçacıkları ise, temel etkileşmelerin kuvvet taşıyıcılarıdır. Kütleçekim etkileşimini bir kenara bırakırsak, diğer üç tür temel etkileşim (elektromanyetik, zayıf ve yeğın etkileşimler), spin $s = 1$ olan bozon parçacıklarının değiş-tokuşu yoluyla gerçekleşir. *Foton*, **g**, **elektromanyetik** etkileşimin, sekiz adet gluon, g_a ; $a = 1, ..8$, **yeğın** (**strong**) etkileşimin, üç adet zayıf bozon, W^\pm, Z ise **zayıf etkileşimin** kuvvet taşıyıcılarıdır.

Elektrozayıf			Güçlü yada Renk		
Bozon	Kütle (GeV/c ²)	Elektrik Yük	bozon	Kütle (GeV/c ²)	Elektrik Yük
γ	0	0	glüon	0	0
W^+	80	+1			
W^-	80	-1			
Z^0	91	0			

spin = 1
temel etkileşimlerin kuvvet taşıyıcıları

bozonlar, fermiyonlar

Fermiyonlar	Bozonlar
Leptonlar Kuarklar	Taşıyıcı Bozonlar γ, W^\pm, Z^0, g
Baryonlar (qqq)	Mezonlar (q \bar{q})
Spin $\frac{1}{2}$	Spin 1
$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$	0, 1, 2, ...

(*) Bir elektronun bir voltluk gerilim altında bir metrede kazandığı enerji anlamına gelen **1 eV**' un **1000 milyar** (10^{12}) kere fazlası olan **1TeV** lik enerji, bir sivrisineğın kanat çırpışındaki kinetik enerji kadardır.