

Adronların Işık Hızına Çok Yakın Hızlarda Çarpışmalarını Temin Eden Hızlandırıcı ve Evrenin Doğduğu Anın Aydınlanması

a. Giriş

Biliyoruz ki eski çağlarda insanların yarattığı en masraflı büyük harikalar Firavunlar için mezar olan piramitler olmuşlardır. Orta çağlarda da büyük ve ihtişamlı binalar dikkatleri çekmiş ve bunlar arasında da Hıristiyan katedralleri ön plana çıkmışlardır. Şimdilerde ise gelişmiş teknoloji dünyasında en büyük ve en pahalı projeler yüklü parçacıkları hızlandıran çok büyük kurgulardır, yani hızlandırıcılardır. Dünya medyası Eylül ayının ortalarında (ayın 10 dan başlayarak) günlerinde İsviçre ve Fransa'nın sınırında, dünyanın en büyük hızlandırıcısının işe başlamasını bol bol konuştu ve yazdı. Çünkü bu, dünyanın en pahalı bilimsel projesidir ve maddenin temelini (derinliklerini) anlamak için en büyük atılım olabilir. Doğal olarak Türkiye medyası da buna ve sonra diğer bir olaya daha geniş yer verdi. Bu diğer olay, bir Alman'la evlenen Türk'ün ailesinin Türkiye'ye döndükten sonra hanımının ve kızının dinlerinden vazgeçerek Müslüman olmasıydı. Biz fizikçi olduğumuz için elbette ki hızlandırıcılar konusunda okurlarla bilgilerimizi paylaşmayı daha uygun bulduk.

Hızlandırıcılarda elektronlar ve protonlar gibi yüklü parçacıklar hızlandırılırlar. Elektrik yükü olmayan veya elektrik yükü olup da, çok kısa ömürlü olan parçacıkları ise hızlandırmak mümkün değildir; zira hızlandırma elektrik ve manyetik alanlarla elde edilir. Diğer yandan kısa ömürlü yüklü parçacıklar demetini oluşturmak hem çok zordur, hem de bilimsel açıdan pek anlam taşımazlar.

Elektronların ise kütleleri protonun kütlelerinden yaklaşık 2000 defa az olduğu için onları hızlandırmak daha kolaydır. Çünkü kütle ile ivme ters orantılıdır ve bunu zaten ortaokul öğrencileri de bilirler. Yani kütle azaldıkça ivme artacaktır. Bu açıklamayı onların öğrendiği şekilde yaptık ama aslında Newton bu meşhur ifadesini

$$F = \frac{dP}{dt} \quad (1)$$

biçiminde vermiştir. Oysa orta eğitim okullarında büyük hızlarda ve değişken ivmeli durumlarda geçerli olmayan şekliyle

$$F = ma$$

olarak verilmektedir. Yukarıda F parçacığa etki eden net kuvvet, P momentumu, m kütlesi, a ivmesi ve t hızlandırma(yavaşlatma) süresidir.

Aslında hızlandırıcılara çoğumuz yabancı değiliz. Yaklaşık seksen yıldır bilim adamları farklı türde hızlandırıcılar yapmakta ve kullanmaktalar. Hatta eskiden beri evlerimizdeki cihazların içinde de bir sürü küçük hızlandırıcılar vardır. Örneğin radyo ve televizyon içindeki lambalar, TV ve bilgisayar ekranlarının tüpleri gibi. Ayrıca bilimsel laboratuvarlarda ve hastanelerin onkoloji bölümlerinde de küçük

elektron hızlandırıcıları vardır. Yani bunlarla az çok tanıştık. Son zamanlarda popüler hale gelen hızlandırıcılardan biri, çok önceleri Sovyetler Birliği'nde de en büyük olan; proton ve elektron hızlandırıcısı, Moskova'dan yaklaşık 200 km uzaklıktaki Protvino kasabasında kullanılıyordu. Çember biçiminde olan bu hızlandırıcının çapı 3 kilometreydi. Deneyler yapmak için birçok laboratuvar çember üzerinde bazı yerlere yerleştirilmişlerdi ve bunların her biri büyük fabrikalara benziyorlardı.

Bu kasabada yaklaşık yirmi bin insan yaşıyor ve buradaki ailelerin hiç olmasa bir üyesi hızlandırıcıya bağlı birimlerden birinde çalışıyordu. Ben de bir hafta orada bulunmuştum. Protvino hızlandırıcısında en uzun süre (yaklaşık 20 yıl) çalışan Azeri arkadaşımın yardımı ile laboratuvarlarla tanıştım. Rafik Rzayev zayıf etkileşme konusunda, büyük elektron hızlandırıcısında çalışarak doktor, doçent ve profesör olmuş tek Azeri'ydi ve ne yazık ki profesör unvanını aldığı yıl, genç yaşlarda ölmüştü. Rafik bey Prof. Gershtein'in takımında çalışırdı ve ölmeden önce, Gershtein'dan onun çok iyi çalıştığını duymuştum.

İsviçre ile Fransa sınırında (Avrupa nükleer araştırma merkezinin arazisinde) yerleştirilen yeni hızlandırıcının adı "Large Hadron Collider" dir. Hızlandırıcının yerin yüz metre altına yerleştirilen çember biçiminde tünelinin uzunluğu 26.65 km dir. Bu tünelin içinde hızlandırılan parçacıklar demetinin hareketi için iki ayrı boru vardır. Boruların birindeki parçacıklar demetleri saat dönüş yönünde çevrilirken, diğer borudakiler ise tersi yönüne hareket ettirilirlen. İlk proton demetleri ayrı düzenekte oluşturulur, hızlandırılır ve LHC borularının içine yöneltilirlen. Sonra bu demetler büyük hızlandırıcının borularının içinde ışık hızına kadar hızlanmaya devam edilirlen.

Bu boruların dışında, tünel boyunca birbiri ardına çok güçlü elektrik akısı ile çalışan manyetik yöneltiler konulmuştur. Buradaki manyetik yöneltiler sayısı 7 bindir. Elektromanyetik alanda yüklü parçacıklar hızlanırken, hem demet şekillerini korur hem de hedefe yöneltilirlen. Bu iki borudaki proton demetleri sekiz yerde kesişebilir ve bu bölgelerde demetler gerektiği zamanda karşı karşıya getirilerek çarpıştırılırlen. Tünelin içindeki cihazların ekonomik ve bilhassa hassasiyetle (dakik) çalışması için içerisi sıvı Helyum sıcaklığına (eksi 271.4° C = 1.9° K) kadar soğutulmuş olarak tutulur. Bildiğiniz gibi, bu kadar soğuk ortamda bütün elektrik telleri süperiletken halindedir. Parçacıkların hareket ettikleri yollar ise yüksek derecede vakumlanmış (havasız boşaltılmış) haldedir.

Aşağıda hızlandırılmış parçacıkların enerjilerinden bahsedilecek, bu nedenle bazı bilgileri okura hatırlatmakta fayda görüyoruz. 1 eV enerji, bir elektronun veya protonun, potansiyel farkı 1 V olan elektrik alanı geçtiğinde kazandığı veya kaybettiği enerjiye denir.

$$1\text{J} = 6.24 \cdot 10^{18} \text{ eV} \quad 1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{J}$$

Enerji, Boltzmann sabitinin ($k = 1.38 \cdot 10^{-16}$ erg/derece) mutlak sıcaklıkla çarpımıyla da ölçülür: $E = kT$. Hatta ciddi kitaplarda k arada dolaşmasın diye sıcaklığı derecelerle değil, enerji birimlerinde ölçüler. Bu çerçevede

$$1 \text{ } ^\circ\text{K} = 0.86 \cdot 10^{-4} \text{ eV} \quad 1\text{eV} = 1.16 \cdot 10^4 \text{ } ^\circ\text{K}$$

olduğunu da belirtelim. Parçacık, çekirdek ve yüksek enerji fiziğinde genelde aşağıdaki enerji birimleri kullanılmaktadır:

$$\begin{array}{lll} 1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV} & 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} & 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} \\ 1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV} & 1 \text{ PeV} = 10^{15} \text{ eV} & 1 \text{ EeV} = 10^{18} \text{ eV} \end{array}$$

b. 1970 Yıllarına Kadar Temel Sayılan ve Genelde Yapıları Olmayan Gibi Gösteren Parçacıklar

Şimdilerde 200'den fazla, eskiden temel sayılan, parçacık ve yaklaşık o kadar de bunların antiparçacıklarının bulunduğu bilinmektedir. Her bir parçacığın birer tane anti-parçacığı da vardır. Bu parçacıkların yaklaşık olarak % 80'ninin yaşam süreleri 10^{-18} saniyeden kısa olduklarından özelliklerini incelemek pek mümkün olmamaktadır. Diğer yandan, temel parçacıkların ve etkileşmelerin incelenmesinde böylesi parçacıkların önemi daha az olduğundan, bu makalede onlardan söz etmeye gerek duymuyoruz.

Burada temel parçacık sözünü, yaklaşık 40 yıl önceki anlamında kullanıyoruz, yani daha alt katlarda olan kuarklar seviyesine inmeden. Temel dediğimiz parçacıkların yapıları vardır ve çok büyük hızlarla (ultra relativistik, yani ışık hızına çok çok yakın hızlarla, başka deyişle de enerjileri durgunluk enerjilerinden çok fazla) çarpıştıklarında çok sayıda farklı temel parçacık da doğururlar. Kuarkların ise yapıları yoktur ve bu nedenle de onlar temel parçacıklar gibi çarpıştırılsalar bile bölünemezler. Düşünün ki, bir zamanlar bütün bir atom için en temel parça denirdi. Bugün, işte bu kuarklar, asıl temel veya yapısız parçacıklardır. Nerededirler diye soracak olursanız; kuarklar evrende serbest şekilde bulunmazlar ve en temel parçacıklar sayılırlar. Bu tür yeni parçacıklar direkt olarak, maddenin yapısına -ani olarak bile- dahil olmazlar. Atom ve moleküllerde bulunan proton ve nötronların içinde birleşmiş ve belirlenemez şekilde bulunurlar. Evrenin yaşı birkaç dakikayı aştıktan itibaren de onun içindeki parçacık dağılımını etkilemezler.

Parçacıkların ve bunlara karşılık gelen anti-parçacıkların çiftler çiftler lepton, elektrik ve baryon yükleri birbirlerine zıttır, ama her bir çiftin (parçacık ve antiparçacık) kütleleri ($m_0 = m$) ve durgunluk enerjileri birbirine eşittir. (Bu kavramlar aşağıda açıklanmıştır). Bu parçacıklardan yalnızca ikisinin kütlelerinin (durgunluk enerjisinin) sifıra eşit olduğu kesin olarak bilinmektedir. Bunlar, kütleçekim (daha doğrusu gravitasyon veya enerji çekim) alanının parçacığı graviton ve elektromanyetik alanının parçacığı foton. Alan parçacığı olmayan, ama lepton yükü taşıyan elektron nötrinოსunun kütlesi var kabul edilir ama bu enerji 7 eV'tun altındadır, yani $mc^2 < 7 \text{ eV}$. Müon (μ) nötrinolarının kütleleri de sifırdan farklıdır. En fazla çeşitleri olup, az ömürlü olan parçacıklar rezonanslar olarak adlandırılmaktadır ve içinde 10^{-22} s kadar kısa süre yaşayanlar olduğu bilinmektedirler.

Bilindiği gibi evrende yalnızca dört temel etkileşme vardır (olduğu bilinmektedir ve başka da bilinen yoktur):

1) Etkileşme katsayısı 1 kabul edilmiş çekirdek (güçlü veya baryon) etkileşmesi:

Baryon etkileşmesinin alan parçacıkları pionlardır (π^0 , π^+ ve antiparçacık olan π^-). Bunların durgunluk enerjileri 135-140 MeV ve yaşam süreleri $<2.6 \cdot 10^{-8}$ s`dir. Etkileşme yarıçapları ise 10^{-12} cm ve etkileşme (serbest parçacığın bozulması) süresi $10^{-23} - 10^{-24}$ saniye mertebesindedir. Baryonların içinde en küçük kütlesi (durgunluk enerjisi) olan protondur. Proton, nötron ve diğer daha büyük kütlesi olan (baryon etkileşmede iştirak eden) temel parçacıklara hiperonlar veya hadronlar denir. Yeni büyük hızlandırıcılarda da protonlar hızlandırılmaktadır ve çok sayıda hadron da üretileceği için adlarında hadron sözü geçmektedir.

2). Etkileşme katsayısı $1/137$ (atomun ince yapı sabiti) olan elektromanyetik etkileşme:

Bu etkileşmenin alan parçacığı, fotondur (γ). Doğal olarak fotonun antiparçacığı, yani antifoton da vardır (veya olabilir) ama onu fotondan ayırma imkanı yoktur. Çünkü fotonun (graviton gibi) ne lepton, ne elektrik, ne de baryon yükü vardır. Foton ile anti-fotonun kendi eksenleri çevresinde dönme yönleri bakımından farklı oldukları düşünülmektedir. Elektromanyetik etkileşmenin etkileşme yarıçapı ise sonsuz denecek kadar büyüktür ve etkileşme (serbest parçacığın bozulması) süresi $10^{-20} - 10^{-18}$ saniye mertebesindedir.

3). Etkileşme katsayısı $10^{-12} - 10^{-14}$ (katsayının büyüklüğündeki belirsizlik etkileşmenin zayıf olması; başka bir deyişle, etkileşme enerjisinin çok az olmasındandır) olarak kabul edilmiş zayıf veya lepton etkileşmesi:

Bu etkileşmenin alan parçacığı W^+ , W^- ve elektrik yükü olmayan Z^0 aralık bozonları sayılırlar. Bu parçacıkların durgunluk enerjilerinin çok büyük ($>10^5$ MeV) ve yaşam ömürlerinin 10^{-24} s`den daha az olduğu kabul edilir. Etkileşme yarıçapı 10^{-16} cm ve etkileşme (serbest parçacığın bozulması) süreleri $10^{-10} - 10^{-8}$ saniye mertebesindedir. Bu bozonlara aralık bozonlar denilmesinin nedeni şudur: Fizikle ilgili herkes nötronun protona her tür yoğunluklarda ve protonun atom çekirdeği ve daha fazla yoğunluklarda birinin diğerine çevrilmesini bilir. Örneğin; $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ tepkimesinde önce nötronun ve W^+ doğduğu düşünülüyor ve ardından, deney zamanı izleyemediğimiz kadar kısa bir sürede aralık bozon bozularak pozitron ve nötrinoya dönüşür $W^+ \rightarrow e^+ + \nu$.

4) Etkileşme katsayısı $10^{-36} - 10^{-40}$ olan gravitasyon (genel veya enerji çekim) etkileşmesi:

Bu etkileşmenin alan parçacığı gravitondur (Katsayısının büyüklüğündeki belirsizliğin nedeni etkileşmenin çok zayıf olmasıdır). Gravitonların yaşam süreleri ve gravitasyon etkileşmesinin yarıçapı da sonsuzdur. Tüm parçacıkların enerjileri olduğundan, enerji çekim etkileşmesi yaparlar.

Görüyoruz ki, etkileşme yarıçapları sonsuz alan parçacıkları olan graviton ve fotonun durgunluk enerjileri sıfır ve yaşam süreleri ise sonsuzdur. Yalnızca elektron (e^-), müon (μ^-), bunların anti-parçacıkları ve nötrinoları lepton yükü taşırlar. Müona ağır elektron da denir. Çünkü etkileşmelerde tıpkı elektron gibi davranır ama sadece durgunluk enerjisi elektronunkinin 230 katıdır. Parçacıkların kütleleri (durgunluk enerjileri) arttıkça, genel olarak, etkileşmeleri daha fazla olur. Leptonlar zayıf ve elektromanyetik etkileşmelerde; mezonlar ve baryonlar (yani hadronlar) ise, baryon

etkileşmesine ek olarak baryonların iştirak ettikleri zayıf etkileşmelere bağlı olan tepkimelerde bulunurlar.

Bütün tepkimeler sırasında mutlak şekilde korunan nicelikler; evrenin her köşesinde ve her zaman, tartıştığımız yüklerdir, parçacıkların sayısı ise korunmamaktadır. Parçacıkların çok önemli başka kuantum sayıları da vardır. Ama bunların bazıları, değişik tepkime türlerinde korunmayabilirler.

İki yüze yakın sayıda olan parçacıktan yalnızca üçünün (elektron, proton ve nötron) maddenin yapısında yer almasının nedeni bütün temel parçacık türlerinin yaklaşık %90'ının, yaşam sürelerinin (atom ve çekirdek içinde bile) çok kısa olmasıdır. Yani izleyemeden yokolurlar. Temel parçacıklar doğarlar ve saniyeden çok çok küçük süreler içinde bozulurlar, ama kesinlikle evrimleşmezler.

İnsanlar şimdiye kadar yanlış olarak düşünüyorlardı ki, evrende olan bütün nesnelere ve çevremizdeki cisimler boş uzayda yerleşmiştir. 1916'da, Einstein Genel Görelilik Teorisinde (gerçekte bu teori, özel relativite teorisini kesin şekilde içeren, yani temeline alan gravitasyon veya genel çekim teorisidir) göstermiştir ki, nesnelere boş uzaya değil, aksine uzay nesnelere arasına yerleşmiştir. Genelde insanlar farkı ne diyorlar? Fakat farkı inanılmayacak kadar büyüktür. Uzay ve zaman; nesnelere ve alanlar (diğer bir deyişle enerji) olmayınca uzay ve zaman da olamazlar. Uzay ve zaman üretmek, enerjinin bir özelliğidir. Enerji, uzayı eğiltir ve zamanın temposunu değiştirir. İşte, fark bu kadar önemli!

Evrenin doğma anında, enerji yoğunluğu ve sıcaklık sonsuz denecek kadar büyüktü. Evrenin boyutları sifıra yakındı. Evrenin oluşmaya başladığı ilk saniyelerde bile orada çok büyük sayıda, temel parçacıklar (günümüzün manasında kuark) da vardı. İlk 5 dakikanın sonuna doğru, evrende şimdi gözleendiği kadar proton, nötron, elektron ve helyum atomunun çekirdeği oluşmuş oldular. Şimdi, evrenin her cm³ünde 500 foton vardır. Üç türde nötrino çiftinin sayısı 450'dir. Baryon ve elektron sayısı ise, ortalama olarak, her metreküpde birkaç tanedir. Ne ilginç değil mi? Yaklaşık 50-60 yıl yaşamış baba ve dedelerimizin ömürlerinin ilk yıllarında neler olduğunu bilemiyoruz ama yaklaşık 15 milyar yıl yaşlı olan Evrenin, doğduğundan sonraki ilk dakikalarda neler olduğunu gayet iyi biliyoruz. Hem de, güneşin var olduğunu ve her gün doğup battığı gibi...

c. Temel Parçacıklar ve Onların Etkileşmeleri

Temel parçacıklar temel etkileşmelerde (yukarıda hatırlattığımız 4 etkileşme türünde) iştirak edişlerine göre aşağıdaki gruplara bölünürler:

Yapısı olan parçacıklar (adronlar). Adronların hepsinin temelini kuarklar (quarks) oluştururlar. Daha evvel söylediğimiz gibi, asıl temel parçacıklar etkileşme türlerinin hepsinde iştirak eden kuarklardır. Adronlar grubuna dahil olan ve spinleri tam olanlar (0 ve 1), yani bozonlar (Bose - Einstein istatistiğine uyanlar) mezon olarak adlandırılırlar. Adron grubuna dahil olup da, spinleri kesirli olanlara (1/2, 3/2), yani fermiyonlara (Fermi - Dirac istatistiğine uyanlar) baryon denilir. Şimdiye kadar bulunan adronların spinleri genelde 0 ve 1/2 dir. Yani adronlar (yapısı olan);

mezonlar ve baryonlar olarak iki grup oluştururlar. Spinleri tam olanlar bozon, kesirli olanlar ise fermiyon olarak anılır.

Yapısı olmayan temel parçacıklar da farklı türlere bölünürler. Bunların içinde en iyi şekilde incelenenler leptonlardır. Leptonların da hepsi fermiyondur ve spinleri 1/2 dir. Elektrik yükü olan leptonlar zayıf etkileşme dışında elektromanyetik etkileşmede de bulunurlar. Böylece lepton ve kuarklar yapısı olmayan gerçek temel parçacıklardır.

Yapısı olmayan ve serbest halde bulunamayan kuarkların adronların yapısını oluşturduğunu söyledik. Kuarkların acayip bir özelliği, elektrik yüklerinin temel (yapısı olan) parçacıklar gibi tam değil, kesirli olmasıdır (eksi 1/3 ve artı 2/3). Kuarklar güçlü (baryon) etkileşmesinde de bulunurlar ve hepsi fermiyondur.

Yapısı olmayan temel parçacıklar içinde birçok parçacık vardır ki, bunlar diğer temel parçacıkların etkileşmelerini gerçekleştirirler, yani temel etkileşme alanlarının kuantlarıdır. Diğer temel parçacıklar bu alan parçacıklarını birbirlerine gerçekten veya sanal şekilde alıp-vererek etkileşmelerini gerçekleştirirler. (Birbirine verip almaları, mekanikte iki kişinin bir kütleyi atıp tutarak mekaniksel etkileşmelerine benzer). Bu parçacıkların hepsi bozonlardır. Bunlardan ikisi uzaktan etkileşmeleri ışık hızı ile gerçekleştiren ve böyle bir işi üstlendikleri için kütleleri sıfır olan foton ve gravitonlardır. Hatırlayalım ki, kütlesi olan parçacıklar ışık hızında hareket edemezler.

Fotonlar uzak mesafelere ulaşabildiklerinden ve elektromanyetik alanının parçacıkları olduklarından, eskiden beri bilinen ve teknolojilerde de kullanılan parçacıklardır. Gravitonlar da aynen fotonlar gibi sonsuz yaşayabilir ve her yere ulaşabilirler. Ama bunların etkileşme sabiti (genel çekim etkileşme sabiti) elektromanyetiğinkinden yaklaşık 10^{36} kere küçüktür. Bu nedenle de, demetleri çok büyük değerlere ulaşsa da şimdiye kadar gravitasyon dalgalarını kaydetmek mümkün olamamıştır.

Hatırlatalım ki, fotonlar ve gravitonlar ışımasında etkileşme katsayıları dışında diğer önemli bir fark da vardır: Elektromanyetik ışımının oluşması için elektrik yükleri dağılımında dipol momentinin olması yeterlidir. Ama kütlelerin dağılımında dipol momentinin olması gravitasyon ışımasına neden olamaz. Bunun için kuadrupol momentinin olması gerekir. Diğer yandan, aynı miktar elektrik yükünün (veya kütlelerin) kuadrupol ışıması dipol ışımasından çok zayıf olur. Böylece gravitasyon dalgalarının kaydedilme zorluğu, başta gravitasyon etkileşme katsayısının çok küçük olmasına, sonra da kaynakların zayıf ışımalı kuadrupol ışıması yapmalarındandır. Sonuçta; astrofizikçiler ikili radyopulsarların yörünge periyodunun küçülmesini ölçerek, dolaylı yolla da olsa, gravitasyon ışımasının gerçekleşmesini gösterdiler ve Nobel ödülü kazandılar.

Nükleer (baryon) etkileşmenin π (pi) mezonlarla gerçekleştiğini yaklaşık 60 yıl önce Yukawa Hideki (1908-1981) teorik olarak göstermiş ve 1949 yılında Nobel ödülü kazanmıştı. Ama şimdi biliyoruz ki, π (pi) mezonlar, yapısı olan parçacıklardır ve baryon etkileşmeleri daha alt ve yapıları olmayan 8 türde gluonlarla gerçekleşmektedir.

Zayıf etkileşmeyi gerçekleştiren parçacıklar W^+ , W^- ve Z^0 vektör bozonlarıdır. Yukarıda baryon ve zayıf etkileşmenin atom çekirdeği boyutundan (10^{-12} cm) daha küçük olduğunu hatırlatmıştık. Bunun da nedeni bu alanların

parçacıklarının (kuantlarının) kütlelerinin büyük ve yaşam sürelerinin çok küçük olmasındadır. Bu bozonlar dışında, bilim adamları, halen bulunamamış Higgs bozonunun da (1960 yılında Peter Higgs tarafından ileri sürülmüştür) olacağını düşünüyorlar. Bu bozonun da çok önemli görevi olduğu düşünülmektedir. Bu bozonun temel parçacıkların kütlelerinin oluşmasını temin ettiği düşünülüyor.

Böylece diyebiliriz ki, asıl temel parçacıklar yapısı olmayan, leptonlar ve kuarklardır. Bozonlarsa temel etkileşme alanlarının kuantlarıdır, yani temel parçacıkların birinin diğeri ile etkileşmesini üstlenen parçacıklardır. Leptonların ve kuarkların hepsi Fermi-Dirac istatistiğine uyduklarından fermiyondurlar. Bunlar fiziksel özelliklerine göre üç gruba bölünürler. Birinci gruptaki (kuşaktaki) parçacıklar kendine benzer ikinci gruptakilerden ve ikincidekiler de üçüncüdekilerden hafiftirler. Kuarklar 6 türdür (6 farklı güzel koku veya tat -flavors) ve eskiden bilinen temel parçacıklar gibi bunlarında iç kuant durumları vardır (spin ve izospin gibi). Bu iç özelliklere “renkler” denir. Her kuarkın da yükleri ters olan antisidir.

Kuarklar da leptonlar gibi üç gruba bölünürler. Her üç gruba dahil olan kuarktan birisinin elektrik yükü artı $2/3$ ve diğerininki eksi $1/3$ 'dür. Güçlü etkileşimde gluon alışverişinde bulunurlar, bu etkileşimde renkleri değişebilir, ama kokuları değişmez. Zayıf etkileşimde ise tam olarak tersi oluşur, yani renkleri değişmez, ama kokuları değişebilir. Bir kuark diğeri ile öyle güçlü şekilde etkileşir ki, onlardan biri diğere uzaklaşamaz (confinement). Yalnız birleşerek “renksiz” adronlar oluştururlar.

Tablo 1	İkinci	Üçüncü
Brinci		
Elektron e^-	Myuon μ^-	Tau-lepton τ^-
Elektron nötrinosu ν_e	Myuon nötrinosu ν_μ	Tau-nötrino ν_τ
u-up kuark (yukarı)	c-charm kuark (hayran)	t-truth kuark (gerçek)
d-down kuark (aşağı)	s-strange kuark (tuhaf)	b-beauty kuark (güzel)

Doğal olarak bunların hepsinin antiparçacıkları da vardır. Unutmamak gerekir ki, her bir parçacığın antisinin kütlesi parçacığına eşittir, fakat taşıdığı yükleri terstir (zıttır).

Bu 6 tür kuarkın elektrik yükleri ve durgunluk enerjileri aşağıda verilmiştir:

Tablo 2		
Kuarkların adları	Yükleri	Durgunluk enerjileri
d aşağı (down)	-1/3	~ 4 MeV
u yukarı (up)	+2/3	~ 6 MeV
s tuhaf (strange)	-1/3	150 MeV

c hayran (charm)	+2/3	1.5 GeV
b güzel (beauty)	-1/3	4.5 GeV
t gerçek (truth)	+2/3	171 GeV

Yapısı olan temel parçacıkların spinleri olduğu gibi bunların da renklerinin olduğu sayılır. Yanlış anlama olmaması adına; bildiğimiz gibi moleküller ve atomlar biraraya gelmesi ile oluşan maddelerin koku, renk, güzellik, tuhafılık gibi belirtileri olabilir. Kuarkların ise böyle özellikleri doğal olarak olamaz. Bilim adamları bu sıfatları kuarklar için kullanmakla, sadece çalışmalarına renk katmak istemişlerdir!

Yukarıda en hafif baryonun proton olduğunu ve durgunluk enerjisinin yaklaşık 1 GeV olduğunu hatırlatmıştık. En büyük kütlesi olan hiperonun (hadronun - Ω - hiperon) durgunluk enerjisi yaklaşık 3 GeV dir. Tablo 2 den görüyoruz ki baryonların yapısında yer alan son iki kuarkın durgunluk enerjileri (kütleleri - $m=E/c^2$) hiperonların kütlelerinden bile çok fazladır. Leptonların yapısını oluşturan kuarkların kütleleri de leptonlarınkinden çok daha fazladır.

Bir mukayese açısından; hidrojen bombasının patlaması sırasında birim kütleden ayrılan enerji atom bombasındakinden fazladır ve maksimum değeri % 0.8 mc^2 yi aşmaz. Doğada serbest kuarklar olsaydı ve onları bir araya getirerek baryonlar (nükleonlar ve hiperonlar) oluşturmak mümkün olsaydı, birim kütleden ayrılan enerji 10000 kez fazla olurdu. Yani bir gram kuark yakıtı ile bir şehri yok etmek mümkün olabilirdi!

Şimdiye kadar hiçbir deneyde kuarklara rastlanamamıştır. Ama buna rağmen parçacık ve yüksek enerji konularında çalışan büyük bilim adamları kuarkların temel parçacıkların yapısında bulduklarına inanıyorlar. (Aslında insanların inanıp inanmamasının pek önemi yoktur. Bilgi ve düşünce gücü az olan insanlar mantığa uymayan şeylere bile inanabilirler). Kuark modeli ilk kez 1964 yılında ileri sürülmüştü ve buna en büyük katkıda bulunan; Ω - hiperonun kendisini ve fiziksel özelliklerini teorik olarak öngören, 1969 yılında Nobel Ödülü almış; Gell-Mann Murray (1929 -) olmuştu. Hızlandırıcı kullanılarak böyle özellikler taşıyan parçacık arandı ve hemen bulundu da. O zaman ben Moskova'da doktora öğrencisi olarak çalışmaya başlamıştım ve bizler -o pek heyecanlı yıllarda- Gell-Mann'ın yaptıklarının hayranıydık.

Onun çalışmalarının temelinde cebirde yeni oluşturulan SU(3) ve SU(6) simetrisi bulunurdu. Bu matematik araca Gell-Mann dışında birçokları da katkılarda bulunmuşlardı. Bu araç konusunda büyük katkıda bulunanlardan biri de geçen -ve büyük olasılıkla bu 100 yılın da- en büyük Türk kökenli teorik fizikçisi Feza Gürsoy olmuştu. Çok kere ABD'ye gidip gelen ve öğrencilerini de ABD'de çalıştıran Feza Bey'i 1974 yılında ODTÜ de istifa etmeye mecbur ettiler. O da ölene kadar (1992) ABD'de çalıştı. Fakat Gell-Mann temel parçacık fiziği konusunda o yıllarda herkesten üstün olduğunu göstermişti.

Şimdi dönelim kuarkların varlığına olan bilim adamlarının inancına. Teorik fizikçiler kuark modelinde, yani tablodaki kuarkların, yapısı olan temel parçacıkları (adronları) oluşturan özelliklerini kullanarak, hesaplamalar yaparak sonuçlara ulaşıyorlar. Sonra büyük hızlandırıcılarda gerekli şekilde deneyler yaparak sonuçlar alıyorlar. Bu deney sonuçları teorik öngörülerini destekliyorsa, modellerin temelinde duran kuarkların varlığını da gösteriyor. Bilim adamlarının kuark modeline

dayanarak aldıkları sonuçlar deneylerle hep desteklendiklerine göre, kuarkların, adronların yapıtaşları olduğu bir gerçek gibi ele alınıyor. Bilimde her zaman direkt deney veya gözlem yaparak bir şeyler ispat olunmuyor. Bazen de, deneyler ve gözlemler öngörmeleri sadece dolaylı yollarla ispatlıyorlar.

Kuarkları ileri sürenlerin (Ailesi Macaristan'dan ABD'ye göçmüş Gell-Mann ve Moskova'da 1937 yılında doğup ABD'ye ailesi ile göçen ünlü fizikçi, biyolog ve ekonomist Geörg Zweig) ve destekleyenlerin onların birbirleri ile etkileşmesini gerçekleştiren parçacıkları da belirlemesi gerekirdi. Bu gluon (İngilizce tutkal anlamında) olarak adlandırılan parçacıklar Gell-Mann ve Zweig tarafından 1964 yılında ileri sürülmüştür. Gluonlar hem adronlar arasında güçlü (baryon) etkileşmesini gerçekleştirirler hem de kendilerinin renk yükleri olduğu için birbiri ile güçlü şekilde etkileşirler. Böylece fotonlardan ve aralık bozonlardan çok farklıdır. Bunlar da Bose istatistiğine uyduklarından bozondurlar ve normal spinleri 1 dir. İzospinleri (sanki spini) sıfırdır.

Gluonların 8 türü olduğu, kütlelerinin ve elektrik yüklerinin olmadığı bilinmektedir. Gluon, foton gibi kendi kendinin antiparçacığdır. İlk defa gluonların olması, dolaylı yollarla Almanların elektron-pozitron çarpıştırıcısında (collider) 1979 yılında gösterilmiştir. Daha sonraları ise ABD'nin adron ve çekirdek çarpıştırıcıları RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) de, kuark-gluon plazma oluşumunu kanıtlanmıştır.

d. Hızlandırıcıların Türleri ve Enerjileri.

Bir parçacığ çok büyük hızlara kadar, yani ışığın boşluktaki hızına ($c=2.99793 \cdot 10^{10}$ cm/s veya 300,000 km/s) hızlandırmak için ona büyük bir ivme kazandırmak gerekir ve bu ivmeyi kazandıran kuvvet yeteri kadar süre uygulanmalıdır. Yukarıda bu amaç için zayıf ve gravitasyon etkileşmelerinin yetersiz olduğunu gördük. Bu iki etkileşmenin katsayıları çok küçüktür ve diğer yandan zayıf etkileşme yalnızca 10^{-15} cm den daha küçük mesafelerde meydana gelir. Baryon (adron) etkileşmesi ise en güçlü etkileşmedir. Ama onun da etkileşme mesafesi çok küçüktür: Atom çekirdeğ boyutlarında, yani 10^{-12} cm den daha küçük. Böylelikle parçacıkları hızlandırmak için işe yarayan yalnızca elektromanyetik etkileşmedir.

Elektromanyetik etkileşme elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlarda meydana gelir. Manyetik alanın ise değişen elektrik alana bağlı olduğunu biliyoruz. Böylece anlıyoruz ki, yalnız elektrik yükü taşıyan parçacıkları hızlandırarak büyük hızlara ulaştırabiliriz. Ama bunun için yüklü parçacığın yaşam süresi de, hiç olmazsa saniyeye yakın veya fazla olmalı ki parçacık yeterince momentum ($p = mv$) kazansın. Çünkü momentumun artışı ($dp = F dt$) kuvvetin etki ettiği zaman aralığına bağlıdır. Unutmamak gerekir ki, Newton fiziğinde geçerli olan $p = mv$ çok büyük hızlarda, yani ışık hızına yakın hızlarda (başka deyişle relativistik durumlarda) geçerli değildir. Her durumda geçerli olan ifade ise şöyle yazılır:

$$p = \frac{mv}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}} \quad (2)$$

Hemen hatırlatalım ki, kitapların çoğunda yaygın olarak kullanılan

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}$$

ifadesi fizik kavramları açısından gerçekleri yansıtmamaktadır. Parçacığın hızı arttığı zaman onun kütlesi hiç değişmez. Değişen momentumudur ve momentumun değişmesi de (2) ifadesi ile verilmiştir.

Elektromanyetik alanda yüklü parçacığa etki eden kuvvetin

$$\vec{F} = q\vec{E} + \frac{q}{c}[\vec{v} \times \vec{B}] \quad (3)$$

Lorentz Hendrik (1853–1928) kuvveti olduğu iyi bilinmektedir. Burada birinci terim elektrik alanının, yükü q olan parçacığa uyguladığı kuvvettir. Parçacığın da her an kazandığı ivme, elektrik alan şiddetinin yönünde olur. Manyetik alan kuvvetinin parçacığın hızı yönündeki bileşeni ise her zaman sifıra eşit olduğundan parçacığın hızının büyüklüğünü etkilemez, ama onun hareketinin yönü değişir. (3) ifadesinin ikinci terimi parçacığın hızı ve manyetik alan şiddetinin vektör çarpımını içerir. Bu nedenle de manyetik alanın yüklü parçacığa etki ettiği kuvvet hem hızın, hem de manyetik alan şiddetinin yönlerine dik olur. Buradan anlaşılıyor ki, hızlandırıcılarda parçacığın hızının büyüklüğünün artması yalnız elektrik alan şiddetine bağlıdır. Manyetik alan ise yalnız parçacığın yörüngesinin belirlenmesi (saptırma) için işe yarar.

Bu saydığımız sebeplerden hızlandırıcılar iki türde yapılıyor. Birinci tür hızlandırıcılar doğrusal (lineer) olanlardır. Bu tür hızlandırıcılarda hızlandırılan parçacıklar doğru boyunca hareket ederek yolun yalnız bir kısmında ve bir kere hızlanarak hedef üzerine yöneltilirler. İkinci tip hızlandırıcılarda parçacık demetleri ya çember yada çembere yakın yörüngelerde hareket ederek defalarca hızlandırıcı bölgeden geçerler. Bu tip hızlandırıcılar çembersel (daha doğrusu cyclotron) olarak adlanırlar ve yeni LHC de bu tipin benzerine aittir.

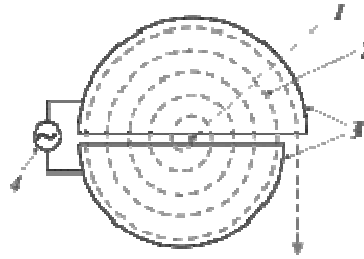
Hızlandırıcılar amaçlarına göre de sınıflandırılırlar: parçacıkların çarpışmalarını sağlayan çarpıştırıcılar ("collider" ler), nötron demetleri oluşturanlar, cyclotron ışınları kaynakları olanlar, tıp ve kimyada kullanılanlar, sanayide gerekenler ve diğerleri.

Parçacığı hızlandırmak onun kinetik enerjisinin artırılması anlamına gelir. Yüklü parçacığın enerjisini artırmak için de onu büyük potansiyel farkı olan bir bölgeden geçirmek gerekir. Yani q yükü olan bir parçacık potansiyeli ϕ_1 olan bölgeden ϕ_2 olana geçene dek onun kinetik enerjisi $q(\phi_2 - \phi_1)$ kadar artar. Ama hızlandırıcılardaki her bir parçacığın kinetik enerjisinin bu artışı Newton fiziğinden bilinen ifadeye eklenemez. Newton fiziğinde parçacığın kinetik enerjisi artıkça onun hızı da birlikte artmaktadır. Fakat Einstein fiziğinde (relativistik fizikte) kinetik enerji ne kadar artarsa artsın parçacığın hızı ışığın boşluktaki hızına tam olarak ulaşamaz. Relativistik fizikte parçacığın momentumu (2) ifadesi ve enerjisi (durgunluk enerji mc^2 ve kinetik toplanarak) arasında bağlantı şöyledir:

$$\mathbf{p} = \frac{E\mathbf{v}}{c^2} \quad (4)$$

Hızlandırıcılarda potansiyel farkı olan (enerji kazandırılan) bölgeleri öyle yapmaya çalışırlar ki, demetteki parçacıkların hepsi aynı miktar enerji kazansınlar. Bu amaca ise lineer hızlandırıcılarda daha kolay ulaşılır. Yine lineer hızlandırıcılarda parçacıkların her birine yaklaşık eşit şekilde kazandırılan enerjiyi, limit değeri aşmadan, istenen büyüklüklere ulaştırma imkanı da bulunur. Burada hızlandırılan parçacıkların enerjilerindeki farklar da gayet küçük olur, yani demet mono enerjiye çok yakın olur. Buraya kadar her şey lineer hızlandırıcının lehinedir. Ama lineer hızlandırıcıların parçacıklarını çok büyük enerjilere ulaştırma imkanı maalesef yoktur. Bunlardaki hızlandırılmış parçacıkların enerjileri yaklaşık 20 MeV' u aşamıyor ve hızlandırma süresi $10^{-6} - 10^{-7}$ saniye civarında oluyor. Hatırlatalım ki eski radyo, TV ve bilgisayarlardaki ampuller ve elektron tüpleri lineer hızlandırıcılara benziyorlar.

Çembersel hızlandırıcıların en başarılıları siklotronlardır (cyclotron). Burada çembersel derken okurun hareketin şeklini düşünmesini ve buna ek olarak parçacığın zamana bağlı olarak hareketinin dinamiğini de unutmamalarını öneriyoruz. Dikkat ederseniz, bu harekette hız devamlı artmaktadır. Dolayısıyla her bir turda parçacığın enerjisi ile eş zamanlı olarak manyetik alan ve Lorentz kuvveti değişir. (Ne yazık ki Türkçe fizik kitaplarında birçok terim gerçek kavramını yansıtmıyor. Örneğin temperature kavramının yanlış karşılığı sıcaklık terimi gibi.) Siklotron, aşağıdaki şekilden göreceğiniz gibi iki adet yarıçapları birbirinden biraz farklı yarım disklerden (bunlara duantlar denilir) oluşmaktadır. Bu yarım diskler arasına zamanla artırılabilen potansiyel farkı uygulanır ve yüklü parçacıklar disklerin arasındaki mesafeyi her geçişte hızlanmış olurlar. Şekil düzlemine dik doğrultuda, yarı disklerin üzerine homojene çok yakın olan güçlü manyetik alan yöneltilir. Bu manyetik alanın şiddeti, duantlar arasındaki potansiyel farkı sayesinde senkron (synchron; eş-zamanlama) değişir ve devamlı olarak artar. Siklotronun içine parçacıklar merkezdeki noktadan dahil olurlar.



İlk siklotron (cyclotron) 1931 yılında Ernest Lawrence tarafından hazırlanmış proje üzerine yapılmış ve 1939 yılında Lawrence, Nobel ödülü kazanmıştır. Bu cihazlarda elektronlar, protonlar ve atom çekirdekleri hızlandırılabilirler (genelde büyük kütleliler) ama ayrı ayrı parçacıkların enerjileri yaklaşık 50 MeV' u aşmazlar.

Şimdi farklı tür çembersel hızlandırıcılarda manyetik alanının önemini hatırlatalım. Örneğin siklotronda manyetik alan olmasa, parçacıklar duantlar

arasında çembere dokunacak şekilde hareket ederek duvarlarına çarparlar. Fakat yüklü parçacığın hareketine dik yönde manyetik alanı varsa, (3) ifadesinin ikinci teriminden gördüğümüz gibi, ona duantların düzleminde yerleşen Lorentz kuvveti etki edecektir. Manyetik alanın hem yönünü hem büyüklüğünü belirleyerek bu kuvvetin yönünü duantların merkezine yöneltirler.

Çember boyunca hareket eden parçacığa merkezkaç kuvvetin etki ettiğini herkes bilmektedir. Hatırlatalım ki, bu kuvvetin doğası temel etkilere bağlı olmadığından doğada olan gerçek bir kuvvet değil, koordinat sisteminin seçiminden kaynaklanan eylemsizlik (inertia) kuvvetidir (Newton fiziğinde $F = mv^2/R$ şekilde yazılan). Parçacığın çember üzerinde hareket edebilmesi için bu kuvvetin Lorentz kuvvetindeki ikinci terime eşit olması gerekir.

$$\frac{mv}{R} = \frac{Bq}{c} \quad (5)$$

Buradan parçacığın hızı büyüdükçe manyetik alanın da güçlendirilmesi gerektiği kolayca görülür.

e. En Büyük Hızlandırıcının Çalışmasından Beklenenler

Şimdiye kadar en büyük, yani protonlara en fazla enerji kazandırabilen hızlandırıcı ABD de yaklaşık olarak 10 yıldır çalışan hızlandırıcı idi. Yeri gelmişken hatırlatalım: Elektronun durgunluk enerjisi (mc^2) 0.511 MeV, müonunki ise 106 MeV dur. Mesonların kütleleri 140-549 MeV, yaşam süreleri $2.4 \cdot 10^{-19} - 5.38 \cdot 10^{-8}$ saniye aralığında. Yaşam süresi sonsuz olan protonun durgunluk enerjisi 938.2 MeV, hiperonlarıki 1116-1672 MeV. Ama hiperonların yaşama süreleri $10^{-14} - 310^{-10}$ saniye arasında. Böylece baryonların durgunluk enerjileri (kütleleri) 938.2-1672 MeV arasındadır. Buradan açık şekilde görülüyor ki, adronlar (baryon ve mezonların) içinde yalnız protonlar uzun süre yaşıyorlar ve bu nedenle de hızlandırmak için en iyi seçenektirler. Diğer yandan adronların oluşması için gereken enerji GeV mertebelerinde olan hızlandırıcılar için pek büyük bir enerji değeri denemez, yani hızlandırmak için koşullar sağlanmış sayılırlar.

LHC önemini ve imkanlarını anlamak için 1990 yılından sonra dünyada kurulmuş collider tipli hızlandırıcılara bağlı bazı bilgileri hızlanan parçacıkların maksimum enerjilerinin artması sırasıyla verelim:

Tablo 3

Hızlandırıcı	Ülke	Çalışma yılı	Hızlandırılan parçacıklar	Demetin maximum enerjisi, GeV	Perimetresi (uzunluğu), km
VEPP-2000	Rusya	2006	E^+e^-	1,0	0,024
VEPP-4M	Rusya	1994	E^+e^-	6	0,366
BEPC-II	Çin	2007	E^+e^-	1,89	0,23753

CESR-C	ABD	2002	E ⁺ e ⁻	6	0.768
KEKB	Japonya	1999	E ⁺ e ⁻	3.5-8	3.016
PEP-II	ABD	1999	E ⁺ e ⁻	7-12	2.2
HERA	Almanya	1992	ep	E 30 ve p 920	6.336
RHIC	ABD Brookhaven	2000	pp, Au-Au, Cu-Cu, d-Au	100	3.834
LHC	İsveçre CERN	2008	pp, Pb-Pb	pp 7000 ve Pb-Pb 1760	26.659

Proje işleri 1984 yılından ve yapımı 2001'de başlamış yeni LHC'nin gücü 12 Gigawattır (GeV), yani $1.2 \cdot 10^7$ kilowatt. Evlerimizin banyolarındaki su ısıtıcıları ortalama 5 - 7 kW, yani LHC'ninkinden 2.3 milyon kez azdır. LHC tam gücü ile çalıştığında içinde bulunan protonların toplam enerjisi, saatte 100 km hızla giden yaklaşık 1000 tane küçük arabanın kinetik enerjisi kadar olacaktır.



LHC'de hızlandırma şöyle tasarlanmıştır: Önce parçacıklar ardı ardına iki lineer hızlandırıcıda hızlanırlar ve demetler halinde sinkrotrona iletirler. Burada parçacıkların enerjileri 28 GeV'e ulaşır. Böyle hızlandırılmış parçacık demetleri ardınca süpersinkrotrona püskürtülürler. Burada her bir parçacığın enerjisi 450 GeV'e ulaşmış olurlar. Ve en son olarak maksimum enerjiye kadar hızlandırılmış parçacık demetleri büyük (çapları 26.65 km olan) çemberlere dahil olur ve orada karşı karşıya gelirler. Burada parçacıklar hızlanmazlar, ama karşı karşıya getirilerek çarpıştıklarından, hareket etmeyen hedefe 7000 GeV gibi enerjilerle çarpmış olurlar. Bu enerji karşı karşıya gelen parçacıkların kütle merkezlerine göre hesaplanandır. (Hatırlatalım ki relativistik değil, klasik fizik çerçevesinde hesaplama yapsaydık 450 GeV'i ikiyle çarpmış olacaktık.) Hızlandırma yüksek frekanslı elektrik alanında meydana verir. Parçacıkların akışı 10^{33} - 10^{34} adet/cm²s.

İki çemberin içinde hızlanan ve karşı karşıya gelen proton demetleri saniyede 30 milyon defa çarpışacaklardır. Her bir direkt (kafa kafaya) proton çarpışmasında binlerce parçacık doğacaktır. Çarpışmalar sırasında meydana gelen süreçleri kaydetmek için, her çarpışma bölgesinden gelen veriler yaklaşık 100 milyon veri kanalıyla bilgisayarlara ulaştırılacaklardır. Bu verileri incelemek için 10 binlerce bilgisayar bir arada çalışacaklardır.

Tablo 3 den görüldüğü gibi hızlandırılan protonların enerjileri 7000 GeV a kadar ulaştırılacak. Protonun durgunluk enerjisi yaklaşık 1 GeV olduğundan bu enerjisi 7000 defa artmış olacaktır. Hızlandırılmış protonların hızlarını bulmak için

$$E = E_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

kullanırsak $v = 0.999999999 c$ olduğunu buluruz. Yani ışığın boşluktaki hızına çok çok yakın ve ışığın havadaki hızından ($0.99971 c$) da fazla. Böylesine hızlı çarpışmalar sonucu bilim adamları kuark-gluon plazması, kuark ve Higgs parçacığı kaydetmeyi ve incelemeyi amaçlıyor, umuyorlar.

f. Doğal hızlandırıcılar ve kozmik ışınma

Yukarıda elektrik yükü olan parçacığın hızlandırılmasından ve hızlandırıcılardan söz ettiğimizde okura yalnızca elektrik potansiyel farkı olan kutuplar arasındaki hızlandırmayı hatırlatmıştık. Gerçekte ise hızlandırma mekanizmaları çoktur. Örneğin plazma (iyonlaşmış gaz) herhangi bir şekilde hareket ediyorsa o ortamda yüklü parçacıklar hızlanırlar. Parçacıklar değişen elektromanyetik alanda veya elektromanyetik dalganın içinde de hızlanırlar. Yine, parçacıklar lazer ve grazer ışınması (indüksiyon ışınmalar) ile de hızlanırlar. Çok büyük frekanslı herhangi tür ışınma olan yerde ters Arthur Compton (1892-1962) mekanizması ile de hızlanırlar. Bilimadamları doğada karşılaşmadığımız birçok mekanizmalar da kullanarak parçacıkları hızlandırırılar.

Ama bu hızlandırma mekanizmalarının doğada sağlanmasını insanlar zamanla öğrendiler ve buluşlarını geniş şekilde kullanmaya da başladılar. Uzayda hızlandırılmış parçacıklara kozmik ışınma denir. Bu parçacıklar dünya ile rastgele karşılaştıkça atmosferine dahil olurlar. Biliyoruz ki, deniz seviyesinde sıcaklık yaklaşık $20^{\circ} C$ ($293^{\circ} K$) ise parçacık (moleküller) sayı yoğunluğu $2.68 \cdot 10^{19}$ adet/ cm^3 tür. Yükseklik arttıkça bu değer eksponansiyel şekilde azalır. Bu azalma diğer parametrelere de (sıcaklık ve moleküler ağırlık) bağlıdır. Fakat yükseklik çok fazla olursa eksponansiyel azalmanın önemi daha baskın olur.

Örneğin 6-7 kilometre yükseklikte, bahsettiğimiz deniz seviyesindeki yoğunluk iki, 18 km yükseklikte on, 30 km yükseklikte yetmiş ve 100 km yükseklikte bin defa, azalmış olur. Yani dünyaya en yakın bölgedeki yapay uyduların uçtukları yerde (genelde uydular yaklaşık 1000 kilometre yüksekliklerde uçarlar) parçacık sayı yoğunluğu yaklaşık olarak 10^{14} adet/ cm^3 mertebesinde olur. Atmosferdeki yükseklik 255 km olduğunda ise parçacıkların sayı yoğunluğu 10^{15} adet/ cm^3 mertebeye ulaşmış olur. Doğal olarak böyle yüksekliklerde gaz iyonlaşmış olur. Hatırlatalım ki, İyonosfer 80 km yükseklikten başlıyor. İyonosfer'deki yoğunluklar Güneş atmosferinde, onun tacının altında da rastlanılır. Yıldızlar arası ortamda ise ortalama

olarak 1 cm³ de yalnızca bir parçacık; galaksiler arası bölgede milyon defa daha az parçacık bulunur.

Yukarıda (özellikle bölüm b de) yüklü parçacıkların içinde yalnız elektron, proton ve atom çekirdeklerinin uzun süre yaşadıklarını ve diğerlerinin yaşam sürelerinin 10⁻⁶ - 10⁻²³ saniye arasında olduklarını hatırlatmıştık. Kararlı olmayan bu parçacıklar içinde en fazla yaşayan müondur (μ^- , başka bir deyişle ağır elektron). Bu parçacık serbestse ve küçük hızlarla hareket ederse, yaşam süresi 2.2 10⁻⁶ saniye kadar olabilir.

Einstein'in Görelilik Teorileri'nden biliyoruz ki, parçacığın yaşam süresi iki durumda büyüyebilir. Birincisi parçacık fiziğinde çok rastladığımız ışık hızına yakın hızlarda (relativistik ve özellikle ultra-relativistik durumlarda) ve bir de çok büyük gravitasyon alanlarında (karadeliklerin çok yakın civarında):

$$t = t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

$$t = t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\phi}{c^2}}} = t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R_g}{R}}} \quad (8)$$

Burada ϕ gravitasyon alanının potansiyeli ve

$$R_g = \frac{2GM}{c^2} \quad (9)$$

R_g gravitasyon yarıçapı veya karadeligin yarıçapıdır. Karadelğin bütün kütlesi M , yarıçapı onun gravitasyon yarıçapına eşit olan kürenin içinde yerleşir. Diğer yıldız ve cisimlerin yarıçapları kendi gravitasyon yarıçaplarından çok büyük olur. Örneğin Güneşin yarıçapı R yaklaşık 7×10^{10} cm ama gravitasyon yarıçapı 3×10^5 cm dir. $G = 6.67 \cdot 10^{-8}$ cm³/g s² olup, Newton genel çekim sabitidir. t_0 küçük hızlarda ve zayıf gravitasyon alanlarında (diğer alanlar değil!) geçen süredir ve t ışık hızı mertebesinde çok büyük hızlar veya gravitasyon alanlar bulunan bölgelerdedir.

Yukarıda (7) ifadesinden görüyoruz ki, parçacığın hızı ışığın (elektromanyetik dalgaların) boşluktaki hızına yaklaştıkça ömrü uzuyor ve sonsuz derecede büyük olabiliyor. Ama parçacığın uzun süre yaşaması ve büyük mesafeleri geçebilmesi için önce hızlanması gerekir. Hızlanma ise zaman gerektirir. Eğer parçacığın yaşam süresi çok küçükse, yani onu hızlandırmak için yeterli değilse parçalanır ve yok olur.

Diğer yandan biliyoruz ki, ivmeli hareket eden yüklü parçacık ışımaya yapar. Böyle hareket eden parçacık farklı alanlarda (örneğin elektrik ve manyetik) ışımaya yapar ve kinetik enerjisini kaybeder. Doğal olarak parçacığın hızlanması için kazandığı kinetik enerji, kaybettiğinden daha fazla olmalıdır. Enerji kayıpları farklı alanlarda farklıdır ve söz konusu alandaki etkileşme sabitine ve yarıçapına bağlıdır.

Doğal olarak proton, elektrik yükü dışında baryon yükü de taşıdığı için enerjisini güçlü etkileşme sırasında çok hızlı şekilde kaybedebilir. Ama bu etkileşmenin yarıçapı çok küçük, yani 10^{-13} - 10^{-12} cm olduğundan, etkileşme oluşması için protonun diğer baryonla veya atom çekirdeğiyle kafa kafaya çarpışması gerekir. Bunun için protonun Coulomb enerji bariyerini (elektrostatik Coulomb kuvvetini anımsayın) geçebilmesi gerekir. Yani proton çok hızlı olmalıdır. Diğer yandan böyle çarpışmalarda çekirdek tepkimeleri meydana gelir ve proton sadece hızını azaltmak yerine birçok yeni parçacığın doğmasına neden olur.

Güneş atmosferinin en alt katmanı olan ve görünen ışımının büyük çoğunluğunu veren bölgeye fotosfer denir. Güneş yüzeyinin sıcaklığı 6000 derecedir denilince bu fotosfer kastedilir. Bu katmanın üzerinde kromosfer yerleşir ve güneş lekeleri bölgesinde, farklı kutuplu manyetik alanların (şiddeti 1000 Gauss civarında) bir araya gelen yerlerinde, kromosfer patlamaları meydana gelir. Bu bölgelerde manyetik alanlarda türbülans şeklindeki plazma akınları, indüksiyon sonucu güçlü elektrik akımları oluşur. Doğal olarak da rezistansın azaldığı yerlerde kısa kapanmalar olur ve büyük enerji açığa çıkar. Bu gözlenen olaya da kromosfer patlaması denir.

Böyle patlamalar elektronların ve protonların (az da olsa, hidrojen dışındaki atom çekirdeklerinin) hızlanmasının başlamasına neden olur. Hızlanma süreci protuberansların (Güneşin yüzeyinde patlama sonucu oluşan büyük gaz püskürmesi. Bu püskürmeler binlerce kilometre yüksekliklere ulaşarak Güneşin tacına gaz getirmiş olurlar.) getirdiği plazmadan kaynaklanan güneş tacında da bitmez. Parçacıkların hızlanması taçtan uzak bölgelerde plazma dalgalarında devam eder. Toplam olarak bu tür hızlandırmalar sonucu Güneş kaynaklı kozmik parçacıkların kazandığı enerji birkaç GeV den fazla olmaz. Yani böyle bir mekanizmayla hızlanmış protonun enerjisi 2-3 sefer katlanmış olur. Böyle protonlar ise yalnızca relativistik hızlara ulaşmış olurlar; ultrarelativistik hızlara değil. Fakat elektronun durgunluk enerjisi protonunkinden yaklaşık 2000 defa az olduğundan, enerjileri çok daha fazla katlanmış olduğundan, ultrarelativistik sayılırlar.

Yukarıda güneş atmosferinde (tacı da dahil) parçacıkların sayı yoğunluğunun yıldızlar arası ortamdakinden çok çok fazla olduğunu sayısal olarak vermiştik. Böyle olduğundan parçacıkların birinin diğeri ile karşılaşma olasılığı çok fazla olur ve hızlandırılmış parçacıklar enerji kaybederler. Bu da onların daha yüksek enerjilere ulaşmasını engeller. Aynı nedenlerle de, büyük hızlandırıcıların, LHC lerin içini imkan verdiği ölçüde vakum yaparlar ve sıvı helyum sıcaklığına kadar soğuturlar. Buradaki oluşturulmuş vakumda parçacık sayı yoğunluğu Güneş atmosferindekinden az değildir. Bu nedenle de bu ortamı yaklaşık -270^0 C kadar soğuturlar ki, oradaki moleküller rastgele hareketlerini dondursunlar ve proton demeti onların arasından -çok büyük olasılıkla- çarpışmadan geçsinler.

Hızlandırılmış parçacık Güneş ve Dünya atmosferinde veya gezegenler arası ortamda genelde en fazla enerjisini Coulomb etkileşmesi süresince kaybeder. (Uyaralım ki, gök cisimlerinin atmosferi deyince, bu cisimle birlikte dönen ve gök cismi ile çevresinde, ama daha uzakta olan ortam arasındaki gazı düşünürüz.) Doğal olarak parçacığa etki eden kuvvet ne kadar büyükse ve uzun süre etkirse, hızı (kinetik enerjisi) bir o kadar fazla değişir. Coulomb (ve genelde elektriksel) etkileşmesi de uzaktan uzağa ve etkileşme sabiti güçlü etkileşmeninkinden yalnızca

137 kere az olduğundan çarpışma ve enerji kaybı için yine gayet etkindir. Elektromanyetik alanda veya ayrı ayrı elektrik ve manyetik alanlarda, manyetik kuvvetin $1/c$ içerdiğini (3) ifadesinden görüyoruz. Bu nedenle de, manyetik etki genelde çok düşüktür ve parçacığın ona bağlı enerji kaybı elektriksel etkileşmeye göre çok az olur. Okur hatırlayacaktır ki, cisimler hareket ettiğinde enerjisini (hızını) sürtünme kuvvetine karşı iş gördüğü için ısısal enerji şeklinde kaybeder.

Burada ise parçacık iki çarpışma arası boşlukta hareket etmekte ve yüklüdür. Büyük enerjisi olan yüklü parçacık, elektrik (Coulomb) alanda tayfı sürekli olan ışımaya yapar. Bu ışımaya yüksek taraftan frekans limiti, parçacığın karşılaştığı parçacıktan hedef mesafesi ne kadar küçükse ve elektrik yükü fazla ise (yani kaybettiği momentum büyükse) bir o kadar fazla olur. Çarpışma sonucu saçılan hızlandırılmış parçacığın hızı ne denli fazlaysa, hedef olan parçacıkla etkileşme süresi de bir o kadar az olur (momentumun değişmesini gösteren basit formülü hatırlayın $F dt = m dv$) ve ışımaya frekansı da düşük olur. Fakat relativistik ve özellikle ultra-relativistik parçacıkların hızları pek farklı olmazlar, zira ışık hızı(c) zaten limit hızdır.

Şimdi de hızlandırılmış yüklü parçacığın manyetik alanda ışımaya hatırlatalım. Güneşin bir yıldız gibi, manyetik alanı 1 Gauss civarındadır, ama lekelerinde ise 100 -1000 Gauss'a ulaşır. Dünyanın kutup bölgelerinde manyetik alanın şiddeti 0.66 Gauss'tur ve ekvator bölgesinde, bu değerden 2 kat azdır. Yıldızlar arası ortamda genelde manyetik alan şiddeti $3 \cdot 10^{-6}$ Gauss'tur. Biliyoruz ki, kozmik ışımaya en önemli kaynağı ve çok yüksek enerjilerinin tek kaynakları Süpernova kalıntıları ve pulsarlardır. Süpernova kalıntılarının manyetik alan şiddetleri genelde $10^{-4} - 10^{-5}$ aralığında, fakat pulsarlarınki 10^{15} Gauss kadardır, yani inanılmayacak kadar büyük olabilir.

Manyetik alan çok büyük hacimleri doldurabilir, örneğin bütün Galaksiyi. Hızlandırılmış parçacık enerjisini manyetik alanlarda belirli frekanslarda veya belirli bir frekansın altında sürekli şekilde kaybeder. Bu da parçacığın enerjisine bağlıdır. Parçacığın enerjisi kendi durgunluk enerjisi mertebesinde ise, o cyclotron ışımaya yapar. Cyclotron ışımaya frekansı parçacığın homojen şekildeki manyetik alanda çember boyunca yaptığı hareketin periyoduyla ters orantılıdır. Eğer parçacığın enerjisi durgunluk enerjisinden çok çok büyükse, ona ultra-relativistik parçacık denir. Böyle parçacığın manyetik alandaki ışımaya tayfı sürekli olur ve onun ışımaya synchrotron ışımaya denir. Bu ışımaya yüksek frekans frekanslar tarafında bir limiti vardır ve bu limit frekans parçacığın enerjisine bağlıdır ($h\nu < E$).

Hızlandırılmış parçacıkların Dünya ve Güneş atmosferlerinde iki çarpışma arasındaki mesafesi (serbest yol) birkaç kilometredir. Doğal olarak atmosferin üst katmanlarında bu yol daha uzun ve alt katmanlarında ise daha kısa olur. Hatırlatalım ki, relativistik parçacık birkaç kilometre yolu yaklaşık $(3-5) \cdot 10^{-6}$ saniyede geçer. Ultrarelativistik bir parçacık dünyanın atmosferine girdikten sonra bu kısa süre zarfında atmosferdeki yüklü parçacıklarla çarpışarak parçalanabilir. Böyle bir parçacığın enerjisi çok büyük olduğundan binlerce farklı türde parçacık doğurabilir. Dikkat ederseniz, hızlandırılmış parçacığın çarpıştığı parçacığın da yüklü olduğunun hep altını çiziyoruz. Çünkü elektriksel etkileşme de Broglie dalga boyu kadar mesafeye yaklaşmadan önce başlar ve bu da çarpışma sürecinin kesitini artırmış olur.

Hızlandırılmış parçacıkların dünya atmosferinde serbest yolu çok kısa olduğundan, çarpışmadan (yani enerjisini kaybetmeden) yeryüzüne ulaşma

olasılıkları çok azdır. Böyle olduğundan da, bilim adamları atmosfere dahil olan relativistik ve ultra-relativistik parçacıkların çok küçük bölümünü inceleme imkanı bulurlar. Doğal olarak böyle incelemeleri yapmak için parçacıkları kaydeden düzenekler dağların yüksek yerlerinde çalıştırılmalıdır. Hatırlatalım ki kozmik parçacıkların atmosferdeki serbest yolunun kısa olması yerdeki yaşam için çok önemlidir. Bu yolun kısa olması yerdeki radyasyon seviyesinin düşük olmasını sağlar.

Kozmik ışımaları ilk defa Avusturyalı bilimadamı Victor Hess, 1912 yılında keşfetmişti ve bu çalışmaları için 1936 yılında Nobel ödülü kazanmıştı. Hızlandırıcılar kurulmadan önce yüksek enerjili parçacıkları incelemek için tek kaynak kozmik ışımalardı. Bugün ise, LHC' lerin enerji limiti $7 \cdot 10^{12}$ eV olduğundan, bundan fazla enerjili parçacıkları incelemek için tek kaynak yine kozmik ışımalardır. Kozmik ışımalarda $10^{19} - 10^{20}$ eV enerjili protonlar bile kaydedilmiştir. Diğer yandan kozmik ışıma konusu bilim için kendi içinde çok önemli bilim dalıdır. Kozmik ışımaların incelenmesi bize, evrendeki büyük patlamalar ve farklı hızlandırma mekanizmalarını inceleme imkanı verir. Kozmik ışıma yakın ve uzak uzayda ortamın fiziksel özelliklerini (madde yoğunluğunu, manyetik alanları, şok dalgalarını ve bunların boyutlarını) öğrenme imkanı sağlar.

Kozmik ışımaların kaynaklarının doğası farklı olsa da, enerji tayfları (spectrumları) her zaman benzerdir ve üstel fonksiyon şeklindedir. Yani parçacıkların enerjileri arttıkça onların sayısı hızla azalır. Diğer yandan kozmik ışımadaki parçacığın enerjisi fazla olduğunda ise o çarpışma sırasında daha çok sayıda, farklı türde parçacık üretebilir. Bunların içinde hem yüklü ve hem de yüksüz olanlar vardır. Elektrik yükü olmayan parçacıkların çarpışma olasılığı (çarpışma sürecinin kesiti) daha düşük olduğundan serbest yolları çok daha uzun olur. Bu parçacıklar enerjilerini koruyarak yeryüzüne yaklaşır, oradaki daha yoğun katmanlarda çarpışarak parçacıklar (çok sayıda pionlar veya π -mezonlar ve muonlar veya μ - mezonlar) üretir ve bilim adamlarının başarılı deneyler yapmalarına imkan sağlarlar. Genelde enerjilerini koruyarak yere (yüksek dağlara) ulaşan parçacıklar, temel parçacıklar ve Yüksek Enerji Fiziği'nin gelişmesine yardımcı olurlar. Örneğin pozitron ve müonlar ilkönce kozmik parçacıkların incelenmesi sırasında bulunmuşlardır. Özel görelilik teorisinden bilinen (7) ifadesinin geçerli olması da kozmik ışımadaki müonların gözlemi sayesinde mümkün olmuştur.

Yukarıda yüksek enerjili kozmik ışımaların kaynaklarının genelde Supernova kalıntıları ve pulsarlar olduklarını söylemiştik. Supernova kalıntılarının boyutları genelde 10^{20} cm mertebesindedir. Oradaki maddenin ortalama yoğunluğu 10^{-22} g/cm³ ve manyetik alan şiddeti ise $10^{-4} - 10^{-5}$ Gauss civarındadır. Pulsarların (nötron yıldızlarının) boyutları 10^6 cm, ortalama yoğunlukları 10^{15} g/cm³ ve manyetik alan şiddetleri ise 10^{15} Gaus gibi değerlerde olabilirler. Ama nasıl olur da bunca farklı nesne aynı enerjilerde kozmik ışıma üretebilirler? Bunun nedeni çok basittir. Supernova kalıntılarında, yüklü parçacık çarpışmadan 10 bin yıl boyunca hızlanabilirken, pulsarların birkaç cm kalınlıktaki atmosferinde hızlanma süresi 10^{-10} saniye mertebesindedir. Aradaki bunca zaman farkına karşın, Pulsarın atmosferinde parçacık bir cm yolda, LHC nin içinde bin kilometre gittiği yoldakinden binlerce kez fazla enerji kazanabilir. Yani zaman açığını bu sayede kapatır, diyebiliriz. Sağladığı

muazzam enerjinin sırrı ise, çok büyük şiddette manyetik alanı olan pulsarların kendi eksenini çevresinde dönme periyodunda saklıdır, ki genelde bir saniyedir. Yani bir pulsar günü bir saniye mertebesine yakın oluyor. Böylece Faraday'ın manyetik indüksiyon kanununa uyarak çok büyük elektrik alanı üretilmiş olur; 10^{15} volt mertebelerinde!

g. LHC de karadeliklerin oluşma fantazyası.

Haberlerde LHC çalıştığında mini karadeliklerin oluşacağı ve bunların da çevrelerindeki her şeyi (doğal olarak bizler de dahil) yutacağı tartışıldı. Hemen bildirelim ki, bu fikirlerin ikisi de gerçeklere uymayan fantezilerdir. Şöyle izah edelim: Karadelik öyle bir cisimdir ki, yarıçapı R gravitasyon, başka bir deyişle Schwarzschild Karl (1873–1916) yarıçapına R_g (bakınız: 9. ifade) eşittir. Diğer yandan Güneş için $R_g = 3$ km, ama yarıçapı $7 \cdot 10^5$ km olup, gravitasyon yarıçapından yaklaşık 200 bin defa fazladır. Böyle olduğundan Güneşin içinde ve çevresinde Newton genel çekim teorisi geçerli olur ve karadelik özelliklerinden konuşmaya gerek kalmaz. Diğer yandan, dünyanın gravitasyon yarıçapı 6 cm ve yarıçapı 6370 km'dir, yani gravitasyon yarıçapından 100 milyon kere fazla. Bu da o demektir ki, Dünya için gravitasyon yarıçapının hiç önemi yoktur.

Şayet güneşi sıkıştırıp yarıçapını 3 km ya da dünyayı sıkıştırarak yarıçapını 6 cm yapabilirsek, her biri birer karadeliğe dönüşürlerdi. Diğer yandan gezegenlerin ve uydularının güneş ve dünyadan olan mesafeleri değişmez kalmışlarsa, hiçbir gök cisminin hareketinde bir değişiklik de olmaz. Kısaca; Karadeliğe özel olan özelliklerin etkilerinin (Einstein'in Genel Görelilik Teorisinin değil) görünmesi için cisimleri onun merkezlerinden gravitasyon yarıçaplarının $3/2$ den daha yakın mesafeye yakınlaştırılmaları gerekir, diyebiliriz.

Cismin kütlesi ne kadar büyük olursa onun karadeliğe dönüşmesi bir o kadar kolay olur. Örneğin güneşi karadeliğe dönüştürme olasılığı yoktur. Dünyayı ise hiç yoktur. Ama kütleleri güneşinkinden yaklaşık 20 kez veya daha fazla olan bir yıldız, evriminin sonunda karadeliğe dönüşebilir ve böyle örnekler de çoktur. Nesnenin kütlesi ne kadar fazla ise karadelik durumundaki kütle yoğunluğu da bir o kadar fazla olur. Biraz daha hesaba girersek:

Karadeliğin yarıçapı gravitasyon yarıçapına eşit olduğundan

$$M = \frac{4}{3} \left(\pi R_g^3 \rho \right)$$

ifadesini (9) ifadesinde yerine koyarsak, cismin yoğunluğunun onun gravitasyon yarıçapının karesi ile veya kütesinin karesi ile ters orantılı olduğunu buluruz. Örneğin evren bir karadelik olabilir ve gözlemler evrenin ortalama yoğunluğunun 10^{-30} g/cm den az olduğunu gösterir. Güneş karadelik olsaydı, yoğunluğu 10^{16} g/cm³ civarında olurdu ve bu da atom çekirdeğinin yoğunluğundan yaklaşık olarak 100 kez fazladır. Dünyayı karadelik yapmak için, sıkıştırarak yoğunluğunu yaklaşık 10^{27} g/cm³ yapmak gerekir.

Şimdi LHC de maksimum enerjiye kadar hızlandırılmış iki protonun birleşmesinden oluşacağı düşünülen karadeligün gravitasyon yarıçapını da hesaplayalım. Bu iki parçacığın enerjilerinin toplamı 7000 GeV karşılığı kütle yani yaklaşık $1.5 \cdot 10^{-21}$ gramdır. Bu kadar kütlesi olan karadeligin yarıçapı (gravitasyon yarıçapı) $2 \cdot 10^{-49}$ cm olur. Protonun boyutu veya onun de Broglie dalga uzunluğu

10^{-12} cm dir, yani gravitasyon yarıçapından 37 merteye daha büyük. Dünyanın yarıçapı ise gravitasyon yarıçapından sadece 100 milyon defa büyük olduğunu söylemiştik. Açıkça görülüyor ki, dünyayı sıkıştırarak bir proton boyutuna getirmek, LHC'ler de hızlandırılmış veya kozmik ışımalarındaki protonları gravitasyon yarıçapı boyutunda yapmaktan çok daha kolaydır.

Kesinlikle imkansız ve bilime aykırı olanı düşünelim. LHC lerde böyle karadelik oluştu. (Hemen hatırlatalım ki, kozmik ışımalarda böyle karadeliklerin oluşması daha kolay olurdu ve evrenin bunlarla dolması gerekirdi.) Peki sahiden oluşsaydı, nelerin olmasını beklemek gerekirdi?

Kara deliklerin ne elektrik yüklerinin ne de manyetik alanlarının olamayacakları 1964 yıldan beri bilinmektedir. Onların diğer nesnelere ile yalnızca genel çekim (gravitasyon) etkileşmesi mümkündür. Ayrıca ışık hızı ile hareket eden bir cisim (parçacık) bile ona $3/2 R_g$ mesafesi ve daha yakınına kadar karadelige yaklaşmış olsa, Einstein genel çekim teorisine göre (Newton değil) çekim alanından kaçamaz ve üzerine sonsuza yakın bir kuvvetle çekilir. Galaksimizde de karadelikler vardır ve yarıçapları (gravitasyon yarıçapı) 10-15 kilometre kadardır. Böyle mesafelere yaklaşan her şeyi bu karadelikler soğurup yutarlar. Sonsuz çekim kuvveti karşısında hiçbir diğer etkileşme karşı koyamaz ve katı cisimler parçacıklara ayrılarak yutulurlar.

Bir de şu yönden yaklaşalım; bizler atomun veya onun çekirdeğinin içine girebilseydik orada plazmaya dönüşür ve hemen yok olurduk. Birini öldürmek için $10^{-12} - 10^{-8}$ cm boyutlara sokma imkanı var mıdır? İki protonu bile bir araya getirip 10^{-12} cm mesafeye sokma imkanı kısmen kolay olsaydı, dünyada termonükleer enerji problemi çözüldü. Termonükleer enerji işi ise yalnız nötron bombalarında çözüme imkanı bulunmuştur. Evrende ise yıldızların merkez kısımlarında kendiliğinden termonükleer tepkimeler oluşmaktadır. Orada protonlar birbirine kendi boyutları kadar yaklaşmış olurlar. Demek ki, karadeliklere girmek gibi bir korku tamamen yersiz imiş!

Bütün canlıların ömür boyu radyasyon etkisine maruz kalmış olduğunu biliyoruz. Elektrik yükü taşıyan relativistik parçacıkların milyonlarca bedenimize her gün girmektedir. Kozmik ışımaya etkisine daha fazla maruz kalanlar yüksek dağ bölgelerinde yaşayanlardır. Canlılar için tehlike, radyasyonun belirli bir dozu aşması sırasında oluşur. Canlıları en fazla etkileyen parçacıklar elektromanyetik etkileşmede bulunanlardır. Çünkü bu etkileşmenin olasılığı en fazladır. Bu parçacıklara yüksek enerjili fotonlar da dahildir. Baryon etkileşmesinin katsayısı elektromanyetik etkileşmenininkinden 137 kere fazla olsa da, etkileşme yarıçapı çok küçük olduğundan o kadar önemli değildir.

Güneşteki çekirdek etkileşmeleri sonucu çıkan nötrino ışınması yoğun akı şeklinde ve ışık hızı ile çevreye yayılırlar. Bunlar lepton yükü taşırlar ve elektrik yükleri yoktur. Bu nedenle de zayıf etkileşmede bulunurlar ve bu etkileşmenin katsayısı baryon etkileşmesininkinden yaklaşık 10^{13} kez azdır. Bunlar dünyada pratik

olarak yutulmadan onun içinden geçebilir, ama ışık ise ince kağıdı bile zorla geçebilir. Bu nedenle de yerde gece ve gündüz (gölgeler de) oluşur. Ama nötrino ışımalarının önünü kesme imkanı yoktur ve bu ışımada gece ve gündüz olayına benzer şeyler olmaz. Bu nötrinolar yoğun bir akı şeklinde her an (gece ve gündüz fark etmeden) bizi delip geçerler fakat hiçbir ziyan vermezler. Kozmik ışımaların atmosferde oluşturdukları çekirdek tepkimeleri sonucu enerjileri yaklaşık yüz MeV civarında olan nötrinolar da her zaman doğarlar ve bizim içimizden bir tehlikeye neden olmadan geçmektedirler.

Eğer kozmik ışımalar ve LHC ler karadelikler oluştursaydı hiç bir tehlike yaratamayacağını söylemiştik. Bu meseleye bir daha dönelim. Hızlandırılmış parçacıklardan oluşmuş olduğunu düşündüğümüz (gerçekte oluşması imkansız olan) kara deliklerin yarıçapları bütün temel parçacıkların yarıçaplarından yaklaşık 10^{35} defa küçük olmalı idi. Diğer yandan karadeliklerin yalnız gravitasyon etkileşmesinde iştirak etmelerinin mümkün olduğunu da kesin şekilde biliyoruz. Ayrıca gravitasyon etkileşmesinin katsayısı da zayıf etkileşmenin (leptonların, nötrinoların) katsayısından yaklaşık 10^{15} defa küçük olduğunu da biliyoruz. Şimdi düşünelim ki, bu mini karadelikler bizim üzerimize büyük bir akı şeklinde geliyor olsunlar. Ne olabilir ki? Böyle bir akı dünyadan ve bütün canlılardan nötrinolardan bile daha rahat şekilde geçerler ve hiçbir tehlike yaratamazlar. (Böyle karadelikler temel parçacıklardan 10^{35} defadan daha küçüktür. Bunları böyle karadeliklerin yakın çevresine sokmak için çaplarını hiç olmazsa 10^{35} defa küçültmek gerekir.)

Bizim insanlarımız da dünyanın çoğu ülkelerinde olduğu gibi yeteri şekilde eğitim almadıklarından “aydan günden” korkanlardır; bir sürü masallara inanırlar. Bilim adamları karadelikler gibi mevzuları konuştuğunda kozmik zaman ve çok boyutlu uzay benzeri cümleler kullanıyor ve bilgisiz insanlar daha da fazla korkuya kapılıyorlar. Ama burada da korkacak bir şey yoktur. Kozmik zaman aynen herkesin bildiği zamandır. Sadece Evrenin yaşı yaklaşık $1.3 \cdot 10^{10}$ yıl olduğu için, çok uzun zaman dilimlerini kasdetmek için kullanılır. Çok boyutlu (örneğin 10) uzay demenin de nedeni, böyle kavramlar sayesinde bilimsel problemlerin çözümünü kolaylaştırmaktır. Böyle sözler bizim uzayımızı hiç değiştirmez (etkilemiyor) ve bu nedenle bütün canlılar rahat yaşayabilir, her zaman olduğu gibi. Bizler ise eğitim ve bilim seviyemizin çok düşük olmasından rahatsız olmalıyız. Unutmamak gerekir ki insan ne kadar bilinçsiz ise, bilimsel düşüncesi gelişmemişse bir o kadar mucizelere inanma eğilimindedir. Tarih bunun örnekleriyle doludur.

Biz burada Einstein’ın Genel Görelilik (gerçekte relativistik gravitasyon) teorisi çerçevesindeki karadeliğin (kendi ekseni çevresinde hızla dönen de dahil) bazı özelliklerine dayanarak fikirler söyledik. Fizikte uzayın bir noktasında olan tekilliklere (örneğin Newton’un genel çekim kuvvetini yansıtan formüldeki gibi) alışmışız. Bir noktada fiziksel nicelik sonsuz değer alıyor ve biz bu tekilliği aradan kaldırmak için noktayı gözardı ediyoruz. Ama Einstein teorisi kapsamında tekillik karadeliğin tüm yüzeyinde (gerçekte hiçbir yüzey yoktur, yüzey olarak $4\pi R_g^2$ düşünülür). Bu da hiçbir zaman fizikçilerin hoşlandığı bir şey olmamıştır.

Ama fizikte (bilimde) hoşlanmanın veya inanmanın hiçbir önemi yoktur. Gerçekler deney ve gözlemlerle test edilir. Astrofizik gözlemleri de karadeliklerin anlattığımız özelliklerinin gerçek olduğunu büyük olasılıkla destekliyorlar. Einstein dışında gravitasyon; teoriler, deneyler, gözlemlerle desteklenen yeni hiçbirşey

vermemişlerdir. Böyle teorilerden yola çıkarak farklı tür “karadeliklerin” oluşmasını düşünmek mümkündür ama bunlardan korkmak, deney ve gözlem sonuçlarından (böylece de güzel teoriden) uzak düşmek demektir.

Gerçekte bizim yaşamımızı (mikroplarını bile) etkilemeyen çok boyutlu uzayların olduğunu kabul etmek yanlış olmaz. Temel parçacıkların dışında ve içinde böyle uzaylar gerçekten de olabilir. Bunların olmasını dolaylı yollarla deneyler de gösterebilirler. Fakat böyle çok boyutlu mikro uzaylardan korkmaya da gerek yoktur. Bunlarla kıyasla mikroplar bile makro boyutlardadırlar. Burada bir fıkranın anlatılması iyi olabilir:

Akıl hastanesindeki bir hasta tavukların onu yiyeceğinden korkuyormuş. Doktor bir süre sonra, onun tavuklardan çok büyük olduğunu anlatabilmiş. Hasta tavukların onu yemesine imkan olmadığına ikna olmuş. Fakat hala dışarıya çıkmaktan korkuyormuş. Diyormuş ki, tamam, beni tavuklar yiyemezler, ben büyüğüm fakat bunu sadece ben biliyorum, tavuklar bunu bilmeyebilirler. Bu sebepten de beni yiyebilirler.

h. LHC ve Karşıdaki Bazı Problemler

Bir gün, yavru bir sinek ailesinden ayrılır ve uzun süre akrabalarını telaş içinde bırakır. Sonra sinek döner ve nerede olduğunu açıklar: “Bir öküzle birlikte toprak sürüyorduk.” Okur bunun nasıl gerçekleştiğini ve sineğin toprak sürmeye katkısının ne kadar önemi olduğunu merak etmiş olabilir. Şöyle bir katkısı vardır; öküzün ayakları ve yer arasında sürtünme kuvveti olmasa yer sürülmez. Sürtünme kuvveti ise öküzle onun üstünde oturan sineğin ağırlığının toplamı ile doğru orantılıdır. Böylece sineğin yer sürmedeki katkısı düpedüz ortadadır. Biliyoruz ki Asya, Afrika ve Latin Amerika ülkelerinin büyüklerinin bile, dünyada şimdiki bilim ve teknoloji üretimine katkıları bu sineğin yer sürmedeki katkısından fazla değildir.

Aynı şeyi LHC teknolojisi ve gelecekte onun sayesinde yapılacak bilim için de söyleyebiliriz. Doğal olarak bu ülkelerin tartışılan konulara bağlı yaptıkları parasal yatırımların, aynı konularda dünyadaki toplam yatırımlara oranı; elde ettikleri bilimsel sonuçların öneminin, dünyada elde edilen sonuçların önemine olan oranından yaklaşık bin kez fazladır. Bu fikri desteklemek için hatırlatalım ki, 15 milyon nüfusu olan Hollanda bilimadamları, Asya (Japonya ve İsrail hariç) ve Afrika ülkelerinin hepsinin birlikte (yaklaşık 4.5 milyar nüfusu olan ülkelere) aldıkları Nobel fizik ödüllerinden daha fazlasını almışlardır.

Farklı işaretli elektrik yükleri olması sayesinde, elektriksel kuvvetlerinin çeken ve iten olmaları aydınlatılmıştır. Bu farklı işaretli elektrik yüklerini parçacıklar olan (anti değil) elektron ve protonlar taşırlar. Baryon ve leptonların (antileri değil) yükleri ise artı ve eksi diye ayrılmazlar (gravitasyon yükü de dahil). Çekirdek fiziğinin geliştiği ilk yıllarda baryonların aynı yükü taşıdıkları ve bu aynı yükü taşıyan parçacıkların birbirini yalnız çektiği sanılırdı. Sonraları aydınlatıldı ki, baryonlar arasındaki bu pek basit şekilde olmayan çekim kuvveti, onların arasındaki mesafeye bağlı olarak önce artıyor (madde yoğunluğu ile anlatılarda 10^{14} g/cm³, yani atom çekirdeği yoğunluklarda), sonra azalıyor ve nihayetinde itme kuvvetine

dönüşüyor. Baryonlar arasındaki mesafe azaldıkça bu itme kuvveti devamlı olarak ve hızla artıyor (yoğunluk 10^{15} g/cm³ ve daha fazla olduğunda).

Baryonlar arasındaki güçlü itme kuvvetini yenerek parçacıkları birbirine daha da yaklaştırmak için enerjilerini hızlandırıcılar vasıtası ile çok fazla artırmak ve karşı karşıya yönelterek çarpıştırmak gerekir. Böylece onlar, sanki maddenin yoğunluğu 10^{17} g/cm³ imiş gibi yaklaştırmış olurlar. Bu yoğunluk nötron yıldızlarının ortalama yoğunluğundan fazladır ama onun merkezindekinden ve özellikle evrenin doğduğu andakinden (yaşı 1 saniyenin çok çok altında olduğu zamankinden) azdır. Böyle yoğunluklarda olan baryon gazının oluşturduğu basıncın yoğunluğa bağlı olarak nasıl değiştiği (maddenin hal denkleminin bulunması) ise çok önemli bir meseledir.

Ama LHC için daha önemlisi kuark ve gluonların fiziki özelliklerini güvenli şekilde ortaya çıkaracak olmasıdır. Sonraları alınan sonuçlar parçacık fiziği ve yüksek enerjilere bağlı çok sayıda problemlerin (Evrenin ilk anları, karadeliğin içinde ve nötron yıldızlarının merkezlerinde oluşan süreçler) aydınlatılmasını da sağlayacaktır. LHC'nin üretimi ve kullanımı için gereken gelişmiş teknolojiler ise ayrıca zaman içinde çok farklı alanların gelişmesine de neden olacaktır.

Akdeniz Üniversitesinden emekli Prof. Dr. Oktay Hüseyin

Volkan Kor, Fizik Öğretmeni (volkan-kor@hotmail.com)