

MADDENİN SIRLARINI ÇÖZMEK

Bu ay sizlere araştırmalarını yıllardır ABD'nin Iowa Üniversitesi'nde deneysel elementer parçacık fiziği ve nükleer fizik üzerine yürüten değerli bir bilim insanını tanıtmak istiyoruz: Prof. Dr. Yaşar Önel. Önel, yirmi yılı aşan bir süreci kapsayan araştırmalarını, maddenin aslını keşfetmeye adanmış. Kendisi, bu konuda büyük heyecan duyarak çalışan ve dünyanın dört bir yanındaki fizikçilerden oluşan geniş bir ekibin parçası. Bu geniş ekip, bugünlerde, parçacık fiziğinin önemli bazı sorularını yanıtlayacak, daha da önemlisi dünyanın ve evrenin yapısını, zaman kavramını daha iyi anlamamızı sağlayacak büyük bir deneyin hazırlıklarıyla meşgul. Deneyin, önümüzdeki yılın Ağustos ayında, İsviçre'nin Cenevre yakınlarında bulunan CERN adlı dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarında gerçekleştirilmesi planlanıyor. Önel, deneyin yapılacağı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın önemli bir işlevini yerine getirecek detektörlerden birini geliştiren grubun Amerika sözcüsü. Önel'e Iowa Üniversitesi'ndeki laboratuvarından ulaştık ve bu heyecanlı konuyla ilgili sorularımızı yönelttik.

Çok temel bir soruyla söyleyişle başlamak istiyorum. Parçacık fiziği neyle uğraşır? Amacı nedir?

Parçacık fiziği nükleer fizikten doğmuş bir konu. 1950'lere kadar, bir atom hakkında bildiğimiz tek şey, proton, nötron ve elektron denen parçacıklardan oluştuğuydu. Fakat 1953'te, ABD'nin Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda yeni bir parçacık hızlandırıcısı kurulunca, bu hızlandırıcı sayesinde yeni parçacık-

lar bulunmaya başlandı. Bunların dışında ayrıca, daha önce, 1940 sonlarında ve 1950 başlarında, uzayda yer aldıkları tahmin edilen bir takım parçacıklar keşfedilmişti. Brookhaven'deki hızlandırıcı, bu tür parçacıkların laboratuvar ortamında üretilmesine olanak sağlamış oldu. Doğal olarak bu konu hızlı bir şekilde gelişmeye başladı. Kısaca özetlemem gerekirse, parçacık fiziğinin konusu, biz insanların olsun diğer canlı cansız tüm

varlıkların olsun, bir kütleyle sahip dünyadaki bütün nesnelerin yapısını, yani maddenin yapısını, temel taşlarını anlamak. Parçacık fiziğiyle ilgili yeni buluşlar ve keşifler, yirminci yüzyılda pek çok bilimsel ve teknolojik gelişmeye de neden oluyor. Halen de daha pek çok sorumuza yanıt bulamadık; ama yeni bir keşfe yaklaşmış bulunuyoruz. Maddenin kalbine inerek yeni bir dünyanın sırlarını çözmek ve bulgularımızı evrenle bağ-

LEPTONLAR	
1. AİLE	Elektron Elektrik yükü: -1 Elektriksel ve kimyasal etkileşimlerden sorumlu.
2. AİLE	Müon Elektrik yükü: -1 Elektrondan daha ağır ve kararsız bir parçacık. Ömrü saniyenin iki milyonda biri kadar.
3. AİLE	Tau Elektrik yükü: -1 Daha da ağır ve çok kararsız bir parçacık. 1975 yılında keşfedildi.

KUARKLAR	
Yukarı Kuark Elektrik yükü: +2/3 Kütle: 4×10^{-31} GeV/c ² Protonda iki, nötronda bir adet bulunur.	Aşağı Kuark Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 7×10^{-31} GeV/c ² Protonda bir, nötronda iki adet bulunur.
Tılsımlı Kuark Elektrik yükü: +2/3 Kütle: 1,5 GeV/c ² 1974 yılında keşfedildi.	Garip Kuark Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 0,15 GeV/c ² 1964 yılında keşfedildi.
Üst Kuark Elektrik yükü: +2/3 Kütle: >89 GeV/c ² 1994 yılında keşfedildi.	Alt kuark Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 4,7 GeV/c ² Elektrozayıf kuvvetin ölçülmesinde önemli rolü var.

daştırmak istiyoruz. Burada kendi kendimize sorduğumuz soru, biz nereden geldik? Yani parçacık fiziği büyük bir macera esasında. Bilinmeyene doğru bir macera. Genellikle maddeyi, enerjiyi, evreni ve zaman dediğimiz kavramı birbirine bağlayan, bütün buluşlarıyla hayatımızı değiştiren bir bilim dalı. Örneğin, son otuz yılda protonun yapısını anlamaya başladık. Protonların iki yukarı kuark ve bir de aşağı kuarktan; dahası maddenin altı tane kuarktan ve de altı tane leptonlardan oluştuğunu öğrendik. Bunlardan daha küçük parçacıklar yok. Leptonlardan bazılarını nötrino diyoruz. Bunların kütleleri olduğunu düşünmüyorduk, fakat yeni bir takım deneyler ufak da olsa bu parçacıkların kütlelere sahip olduklarını gösteriyor ki bu çok ilginç bir şey.

Onun dışında, doğada bir takım bilinmeyen yeni problemler var. Örneğin, dünya maddeden oluşuyor ama çok az miktarda antimaddeye de sahip. Bu olguyu anlamaya çalışıyoruz, çünkü konumuzun önemli bir bilinmeyen. Tabii tüm bu araştırmalarımızı büyük araştırma laboratuvarlarında yürütüyoruz. Bu laboratuvarlar genelde çok büyük paralarla kurulabiliyor ve araştırmalar yoğun disiplin, takım çalışması gerektiriyor. Yani, çok geniş ekipler halinde çalışıyoruz ve herkesin bu çalışmalara bir katkısı oluyor. Burada hemen şunu da belirtmek istiyorum. Şu anda, çalıştığım konuda heyecan verici bir noktada bulunuyoruz. Bazı bilinmeyenlere yanıt getirecek gelişmelerin eşiğindeyiz. Ben ve ekibim de bu çalışmalara önemli katkılar sağla-



Prof. Dr. Yaşar Önel

yacak olmaktan dolayı gurur duyuyoruz. **Kendinizden ve çalışmalarınızdan bahseder misiniz? Sizi tanıyalım biraz.**

Türkiye'de doğdum, ama hayatımın büyük bir kısmı değişik vesilelerle yurtdışında geçti. Amerika'ya yerleşmeden önce İngiltere'de ve İsviçre'de bulundum. Son yirmi yıldır da Amerika'da üniversite profesörüyüm. İngiltere'deki zamanım doktora çalışmalarıyla geçti. İsviçre'de araştırma ve öğretim üyeliği yaptım. Cenevre Üniversitesi'nde öğretim üyesiydim. O yıllarda, bir yılığına Texas Austin'e araştırma yapmak üzere gelmiştim. Ders vermeye başladım. Tabii üniversiteye gelen profesörlerin araştırma yapmaları gerek. O sırada ilginç bir gelişme oldu. Bir projede çalışmayı teklif ettiler. Bu, Fermilab'deki bir projeydi

ve bu projeye ilgili gerçekten yardıma ihtiyaçları vardı. Projeyi birisinin alıp yürütmesi gerekiyordu. O projeyi yürütmeye başladım ve Amerika'daki yetkili kişisi, sözcüsü oldum.

Projeyi biraz açıkla mısınız?

Fermilab, Amerika'nın en büyük ulusal hızlandırıcı laboratuvarlarından biri. Madde ile enerjinin doğasını anlamak, yani yüksek enerji fiziği konusunda araştırmaların yapılması için 1967 yılında Chicago yakınlarında kurulmuş. Amerika'ya gittiğim zamanlarda Fermilab'de 4-5 farklı deney yapılıyordu. Bana teklif edilen deney, foton parçacıklarıyla ilgiliydi. Bu proje için parçacık detektörlerini yapmamız, bir takım oluşturmamız ve deneyi gerçekleştirmemiz gerekiyordu. O dönemlerde, yeni bir projeye gir-



Gluonlar
Kuarklar arasındaki şiddetli çekirdek kuvveti taşıyıcıları.

Kuarklar arasında etkili.

Şiddetli çekirdek kuvveti, çekirdek içinde kuarkların bir arada tutulmasından sorumlu.

Fotonlar
Işık parçacıkları; elektromanyetik kuvvet taşıyıcıları

Kuarklar ve yüklü leptonlar arasında etkili.

Elektromanyetik kuvvet, elektrik, manyetizma ve kimyasal olaylardan sorumlu.

W⁻ ve Z⁰ bozonları
Zayıf çekirdek kuvveti taşıyıcıları (Higgs bozonları aramıyor)

Kuarklar ve leptonlar arasında etkili.

Zayıf çekirdek kuvveti, bazı radyoaktif bozunmalardan sorumlu.

Gravitonlar
Kütleçekim kuvveti taşıyıcıları

Kütleli tüm parçacıklar arasında etkili.

Kütleçekim kuvveti, Kütleli tüm parçacıkların birbirlerini çekmesinden sorumlu.

mek ve projenin liderlerinden biri olmak benim için çok heyecan verici bir şeydi. Tabii, projenin kısa zamanda bitmesi söz konusu değildi. Dolayısıyla proje başladıktan sonra, ailemle düşündük taşındık ve Amerika'da bir iş bulmamın yararlı olacağına karar verdik. Aksi halde, o zamanki üniversiteme, yani Cenevre Üniversitesi'ne geri dönmek zorunda kalacaktım.

Sonuçta Iowa Üniversitesi'ne geldim. Bu üniversite hakkında biraz bilgi vermem gerekirse, Amerika'nın en iyi 25 devlet üniversitesinden birisi. Biliyorsunuz Amerika'da 3000'in üzerinde üniversite var. Yani oldukça iyi bir devlet üniversitesi. Üniversitenin Fizik ve Astronomi bölümü, o yıllarda yeni bir Parçacık ve Yüksek Enerji Fizik bölümünü oluşturmak istiyordu. Bu işi başlatacak genç ve dinamik bir yüksek enerji parçacık fizikçisine ihtiyaçları vardı. Bölüme özgeçmişimi gönderdim. O dönemlerde, Fizik

bölümünün başında James Van Allen adlı ünlü bir uzay bilimcisi vardı. Biliyorsunuz, dünyanın etrafındaki manyetik alana Van Allen Kuşağı deniyor. Van Allen, bu manyetik alanı keşfeden çok önemli bir bilimadamı. Kendisi o sıralarda bölüm başkanlığından ayrıлып emekli olmayı düşünüyormuş. Bir de bölüm olarak uzay bilimlerinin dışında yeni bir konuya ağırlık vermeye karar vermişler. Karşılıklı görüşmelerimiz oldu ve birkaç tane de sunum yaptım. Sonunda bana bu işi teklif ettiler ve çalışmaya başladım.

Biliyorsunuz, Amerika'da profesörlük ünvanı önce geçici olarak veriliyor. Altı yıllık bir sözleşme imzalıyorsunuz. Altı yıl geçtikten sonra, hem araştırmalarınızın hem verdiğiniz derslerin kalitesine göre, yaşamınızın sonuna kadar profesör ünvanına sahip olup olamayacağınıza karar veriyorlar. Ünvanı hak ediyorsanız size kürsü veriyorlar. Profesör ünvanını aldıktan sonraki ilk altı yılını, önemli çalışmalarla uğraşmakla geçti, fakat ondan sonra da çalışma tempom hiç değişmedi.

Bazı insanlar bu altı yıllık dönemden sonra biraz gevşiyorlar, bazı insanlarsa benim gibi daha da hızlı ilerliyorlar. Ben bu hızlı ilerleyen insanların arasına katıldım. Geçen zaman içinde Fermilab projelerinde çalışmaya devam ettim hep. Bu projeler için yaklaşık yirmi yıldan beri Enerji Bakanlığı'ndan (Department of Energy - DOE) olsun Ulusal Bilim Vakfı'ndan (National Science Foundation - NSF) olsun her zaman fonlar aldım. Halen bu parasal kaynaklarla okuyan üç tane doktora sonrası öğrencim, altı tane doktora öğrencim, bir tane lisans öğrencim, ve bir de projelerimizde çalışan üç tane mühendis arkadaşım var. Yani oldukça geniş bir ekip sayılırız.

Parçacık fiziği araştırmalarının heyecan verici bir aşamada olduğunu söylediniz. Sizin bu araştırmalarda rolünüz ne?

Şu aralar, önümüzdeki yılın Ağustos ayında CERN'de faaliyete girecek olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın (Large Hadron Collider-LHC) son hazırlıklarıyla meşgulüz. Bu dev çarpıştırıcının CMS

Evrenin Tarihi

Kuantum Kütleçekim

geçen süre 10^{-43} saniye

Kütleçekim ayrılıyor. Elektromanyetik, zayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetleri bir bütün olarak duruyorlar (Büyük Birleşim)



$t < 10^{-35}$ s: Büyük Patlama

Evren, sonsuz bir enerji yoğunluğundaki tek bir noktadan başlayarak hızla genişlemeye başlıyor.

$t = 10^{-43}$ s, 10^{32} K (10^{19} GeV, 10^{34} m):

Kütleçekim "donuyor" Başlangıçta tüm madde parçacıklarıyla kuvvet taşıyıcı parçacıklar, bir termal denge içindeler (aynı oranda oluşup yok oluyorlar). Bu parçacıklar, (yani madde) fotonlarla (yani ışınlarla) bir arada, ayrılmamış aynı "çorba" içinde bulunuyorlar.

Bir "faz geçişi" sonucu, kütleçekim, elektromanyetik, zayıf ve şiddetli çekirdek kuvvetlerinden ayrılarak, bağımsız bir kuvvet olarak "donuyor". Öteki üç kuvvet, kuark ve leptonlar üzerindeki etkileri bakımından birbirlerinden farklıdır. Kütleçekiminin ayrılması, temel kuvvetler arasındaki ilk simetri bozulması.

Büyük Birleşme

geçen süre 10^{-35} saniye

"Şişme" durdu; genişleme sürüyor. Büyük birleşme kırılıyor. Şiddetli çekirdek kuvvetiyle, elektrozayıf kuvvetin etkileri ortaya çıkıyor.



$t = 10^{-35}$ s, 10^{27} K (10^{16} GeV, 10^{26} m): Şişme

Evren'in genişliği her 10^{34} saniyede bir katlanıyor. Şişme 10^{-35} s sonunda duruyor. Evren 10^{34} kat genişledi. Evren'in çapı, yaklaşık on milyon ışık yılına çıkıyor. Evren'in görünebilen bölümü ise üç m kadar. Bu, Evren'in iki ucunun, ışığın kendilerine yetişmesinden önce neden aynı sıcaklıkta olmalarını açıklıyor. Şişme, Evren'i düzleştiriyor.

$t = 10^{-32}$ s : Şiddetli kuvvet ayrılıyor

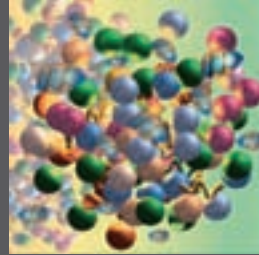
Yeni bir faz geçişiyle, şiddetli çekirdek kuvveti de bağımsızlaşıyor.

Madde ve karşı madde arasında, madde lehinde milyarda bir oranında fazlalık oluşuyor. Sıcaklık, hala kuarkların birleşmesine izin vermeyecek kadar yüksek. Temel parçacıklar, bir kuark gluon plazması halinde bulunuyorlar.

Elektrozayıf Dönem

geçen süre 10^{-10} saniye

Elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetleri başlangıçtaki birleşik kuvvetten ayrılıyorlar.



$t = 10^{-10}$ s, 10^{15} K (100 GeV, 10^{16} m) :

Evren hızla genişlemeye devam ediyor. Sıcaklık, "termodinamik" kuralları uyarınca düzenli biçimde azalıyor. Sonunda zayıf çekirdek kuvveti de "donarak" bağımsız biçimde etkinleşen bir kuvvet haline geliyor.

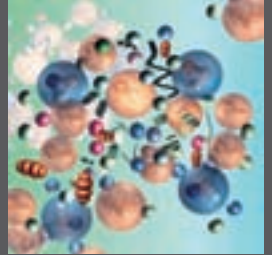
Doğanın dört temel kuvveti de hareketlerinde bağımsız hale gelmiş oluyorlar. Kuarklarla, antikuarklar birbirlerini yokederken geriye küçük oranda bir madde fazlası kalıyor. Elektrozayıf kuvveti taşıyan parçacıklar olan W ve Z bozonları bozunuyor.

Bu süreç içinde sıcaklık, kara cisim ışınımından kaynaklanan fotonların bir madde-karşı madde çifti yaratacak enerjiji yitirdiği noktaya kadar düşüyor. Sonunda Evren'in sıcaklığı bu kritik noktadan altına düştüğünde, başlangıçta ortaya çıkmış olan büyük kütleli kararsız parçacıklar yok oluyor.

Proton ve Nötronlar

geçen süre 10^{-4} saniye

Kuarklar birleşip proton ve nötronları oluşturuyorlar



$t = 10^{-4}$ s, 10^{13} K (1 GeV, 10^{16} m):

Evren'in gözleyebildiğimiz kısmı Güneş Sistemimizin boyutlarına kadar büyümüş durumda. Sıcaklık azaldıkça kuarklarla antikuarkların birbirlerini yok etmesi süreci sona eriyor. Arta kalan kuarklar proton ve nötronları oluşturuyorlar.

$t = 1$ s, 10^{10} K (1 MeV, 10^{15} m): nötrinolar ayrılıyorlar

Elektrik yüksüz parçacıklar olan nötrinolar etkisiz hale geliyorlar. Elektron ve pozitronlar birbirlerini yok ediyor ve yeniden oluşmuyorlar. Ancak fazladan bir miktar elektron kalıyor.

Protonlar, daha ağır olan nötronlara göre çok daha kararlı parçacıklar. Bu nedenle aralarındaki denge sürekli olarak proton lehine geliyor. Bu iki parçacık arasında, 50:50 oran olan bu evrede 25:75 durumuna geliyor.

(Compact Muon Solenoid) adlı proton-proton dedektörü içerisinde yer alacak ayrı bir dedektör için ben ve ekibim bir teklif hazırlamıştık. Şu an son düzenlemeler yapılıyor, yani dedektörün yapımı tamamlanmak üzere. Dedektörler parça parça yeraltına indirilmeye başlandı. Bizim dedektörümüz, Forward Quartz Fiber Calorimetry olarak adlandırılıyor. CMS'in iki tane böyle kalorimetresi olacak. Bunlar, parçacıkların çarpıştığı yerden 14 metre uzaklıkta, CMS'in sağında ve solunda yer alacak. Yani iki manyetik alanın dışında iki tane dedektör olacak. İlki, Nisan sonu Mayıs başında CMS'e monte edilecek. Onun dışında, CMS'in farklı yerlerde geliştirilen parçaları bir araya getirilecek, birleştirilecek ve öyle tahmin ediyoruz ki önümüzdeki yılın Ağustos ayında parçacıklar çarpışmaya başlayacak.

Tüm bu hazırlıklarda ben, bahsettiğim dedektörün teklif edilmesinde rol aldım. Bir arkadaşımınla birlikte bu dedektörün belirli bir teknolojiye üretilmesi için teklifte buldum. Tabii bizimle birlikte

başka araştırmacılar da teklifte bulundular. Dolayısıyla bir seçim sürecinden geçiliyor. Bu aşamada, geliştirdiğiniz dedektörün teknolojisini, nasıl çalıştığını vs. anlatmanız lazım. Ben, bu tür bir dedektörü teklif eden ilk insanlardan biriyim. Dedektörün bütün proto tiplerini, parçalarının pek çoğunu kendi üniversitemdeki atölyemizde yaptım ve geliştirdim. Parçaların bir kısmıysa, yani mekanik olanlar, Türkiye'den geldi.

Burada hemen belirtmem lazım. Türkiye'yle bağlantılarımı hiç bir zaman koparmadım. Bazı okullarla işbirliğim var. CMS projesi için bir dedektör geliştirmeyi önerdiğim zaman, Türkiye'de tanıdığım arkadaşlarım vardı. Bir tanesi, Erhan Gülmez, benim Fermilab'deki projemde çalışıyordu ve Yale Üniversitesi'nden doktorasını almıştı. Kendisi sonradan Boğaziçi Üniversitesi'ne döndü. Bir başka arkadaşım, Gülsen Öngüt, Çukurova Üniversitesi'nde çalışıyor. Bir de OD-TÜ'den Ramazan Sever adlı arkadaşım var. Bu arkadaşlarımın hepsini bizim de-

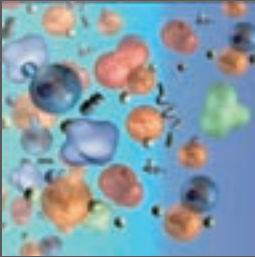
neye davet ettik. Şimdi bu üç Türk arkadaşımın oluşan grup, öğrencileriyle, grup liderleriyle bizim CMS deneyi için katkıda bulunuyorlar ki bu hem onlar hem bizim adımıza sevindirici bir şey.

Ayrıca bu arkadaşlar, TÜBİTAK aracılığıyla bir takım araştırma fonları bularak dedektörün mekanik parçalarını Türkiye'deki bir firmada, Bursa'daki MFK adlı firmada ürettirdiler. Bu büyük bir başarı kazandı. Parçaların Türkiye'de üretilmesi bizim açımızdan büyük bir başarı oldu. Bu Türk firması CERN'de önemli bir ödül sahibi oldu. Bir de İstanbul'daki bir mühendis arkadaşımızın firmasıyla ortaklaşa çalışıyoruz. Geliştirdiğimiz dedektörün çok özel bir mekanik işlevi var. O yüzden bütün parçaların toleranslarının milimetrenin altında olması gerekiyordu. Toleranslar milimetrenin altında olmazsa, parçaların hepsi bir araya getirildiğinde uyumsuzluk olacaktı. Bu nedenle, büyük titizlikle yürütülmesi gereken bir ekip çalışmasıydı. Tüm bu arkadaşların bizim deneyde çok önemli

Çekirdeklerin Oluşumu

geçen süre **100 saniye**

Proton ve nötronlar birleşip helyum çekirdeklerini oluşturuyorlar



$t = 3$ dakika, 10^9 K (0.1 MeV, 10^{12} m): Çekirdekler oluşuyor

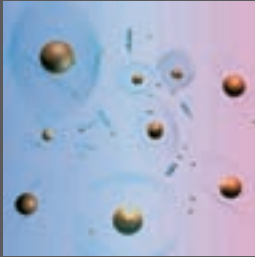
Artık sıcaklık, çekirdeklerin oluşmasına izin verecek kadar düşük... Evren'deki koşullar, günümüzde yıldızların merkezlerindeki, ya da termonükleer bombaların patlama koşullarını andırıyor. Döteryum (ağır hidrojen), helyum ve lityum gibi görece ağır çekirdekler, varolan nötronları yakalıyorlar. Artakalan nötronlar da yaklaşık 1000 saniye içinde bozunuyorlar. Nötron-proton oranı 13:87'ye iniyor.

Evren'in yapısı büyük ölçüde tamamlanmış oluyor. Temel olarak protonlardan (% 75) ve helyum çekirdeklerinden oluşuyor. Sıcaklık, hala atomların oluşmasına izin vermiyor. Elektronlar, serbest parçacıklardan oluşan bir gaz durumunda.

Atomlar ve Işık

geçen süre **300 000 yıl**

Evren şeffaflaşır, ışıkla doluyor



$t = 300\ 000$ yıl, 6000 K (0.5 eV, 10^{10} m): atomlar oluşuyor.

Eksi elektrik yüklü elektronlar, artı yüklü proton taşıyan çekirdeklere bağlanmaya başlıyorlar. Sonunda hafif element diye adlandırılan hidrojen, helyum ve lityum atomları oluşuyor. Işınım, artık atomları parçalayabilecek enerjiden yoksun.

Evren "çorba"sında eskiden serbestçe dolaşan elektronlar, atomlara bağlandıkları için, sürekli bunlara çarpıp saçılan fotonlar, artık serbestçe yol alabiliyorlar.

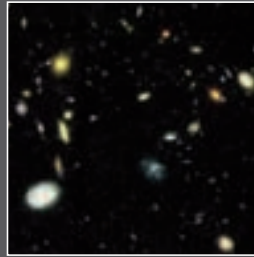
Böylece evren şeffaf hale geliyor. Bunun sonucu ışınım yerine madde yoğunluğu başat hale geliyor.

Gökbilim, (ancak ışığı görebildiği için) Evren'in oluşum tarihinde ancak bu noktaya kadar geri gidebiliyor.

Gökada Oluşumu

geçen süre **< 1 milyar yıl**

Gökadalar ortaya çıkmaya başlıyor



$t < 10^9$ yıl, 18 K : Gökada Oluşumu.

Kütle yoğunluğunda küçük ölçekli yerel oynamalar, yıldız ve gökada oluşumu için tohum işlevi görüyor. Önceleri, belli belirsiz yoğunluk dalgalanmaları olarak ortaya çıkan farklar, şişme süreciyle hızla boyut kazanıyorlar. Yine de mekanizma hala tam olarak bilinmiyor. Çekirdek sentezi, yani karbondan başlayıp demire kadar olan ağır çekirdeklerin oluşması süreci, termonükleer tepkimelerle, yıldızların içinde başlıyor.

Bu süreç uzun sürüyor; bazı elementler,milyonlarca hatta milyarlarca yılda oluşuyor. Yıldızların çöküşü ve süpernova patlamaları sırasında anlık süreçlerde daha da ağır elementler sentezleniyor.

Bugün

geçen süre **13,7 milyar yıl**

İnsan, nereden geldiğini merak etmeye başlıyor



$t = 13,7 \times 10^9$ yıl, 3K : İnsanlar

Sonunda günümüze geldik. Kimyasal süreçler, bağımsız atomları bir araya getirerek moleküllerin oluşmasını sağlıyor. Elektronların bir arada tuttuğu bu yapılar, giderek daha da büyüyerek, organik molekül dediğimiz daha karmaşık yapılara dönüşüyor.

Sonunda bu organik moleküller, dış etkenlerin de yardımıyla kendilerini kopyalamanın yolunu öğreniyorlar. Yıldız tozları ve karmaşık şifreler (DNA), yaşamı sentezliyor.

Dört milyar yıl süren uzun bir evrim sonunda, rastlantıların yadsınamayacak katkılarıyla Dünya'ya egemen olan insan, çevresindeki evreni incelemeye başlıyor.



katkıları oldu. Önemli olan bir başka konu da deneyin bu kısmı için ayrılan paranın büyük bir kısmının, yaklaşık yüzde sekseninin, Türkiye'deki araştırmacılara gitmiş olması. Onun dışında başka ülkelerin de katkısı oldu tabii. Amerika'nın katkısı, Fermilab'deki büyük bir elektronik yapıyı tahsis etmesi biçiminde oldu. Bir takım elektronik aygıtları burada ürettik. Bunlar, verilerin okunması amacıyla detektöre bağlanan aygıtlar.

Parçacık fizikçileri LHC'de yapılacak deneyle neyin peşindeler? Standart Model ve Süpersimetri (SUSY) kuramları hakkında biraz bilgi verebilir misiniz?

Standart model ile ilgili olarak şunu söyleyebilirim. Bugüne kadar saptayabildiğimiz dört kuvvet var: Kütleçekimi, elektromanyetizma, zayıf çekirdek kuvveti ve şiddetli çekirdek kuvveti. Demin iki aileden bahsettim. Bunlara üç jenerasyon diyoruz. Bunlar altı kuarktan ve altı leptondan yapılmış. Bildiğimiz gibi, yukarı, aşağı, garip, tılsım, üst ve alt dediğimiz altı tane kuarkımız var. Yukarı ve aşağı kuarkların kütleleri son derece az, fakat top kuarkın kütlesi oldukça fazla. Aynı zamanda bir de leptonlarımız var. Bunlardan bir tanesi de bildiğimiz elektron ya da muon, yani daha ağır bir elektron. Ayrıca tau, elektron nötrino, muon nötrino ve tau nötrino dediğimiz parçacıklar var. Bunlar da yine altı tane leptonu oluşturuyor. Kısacası, parçacık fiziğinde altı kuark ve altı lepton var. Bunlar birbirleriyle etkileşim halinde. Bu etkileşim, kuvvetli, zayıf ve elektroman-

yetik kuvvetlerle gerçekleşiyor. Bu etkileşimleri yapan da bir değişim. Örneğin, elektromanyetik kuvvetlerde fotonlar değişiyor. Şiddetli çekirdek kuvvetlerinde, yani protonu ve nötronu tutan kuvvetlerde, gluon değişimi oluyor. Zayıf çekirdek kuvvetleri olarak bildiğimiz radyoaktif bozunumlarda, W ve Z bozon dediğimiz bozonların değişimleri meydana geliyor. Standart modelin ana yapısı bu. Bildiğimiz W ve Z parçacıkları çok ağır parçacıklar (fotonlar ve gluonlar ise kütleleri olmayan ya da yok denecek kadar hafif olan parçacıklar). O halde bunlar zayıf çekirdek kuvvetinin zayıflığını gösteriyorlar. Yani bildiğimiz parçacıkların bazıları az miktarda kütleyle sahip, bazılarıysa daha fazla kütleyle sahip. Fakat bilmediğimiz konu, bu parçacıkların neden kütlelere sahip oldukları. İşte bunu matematiksel olarak izah etmek için Higgs mekanizmasının getirilmesi lazım. Higgs mekanizmasında, W ve Z dediğimiz bozonlar, Higgs parçacıklarıyla birleşerek kütleyle sahip oluyorlar. O zaman temel parçacıklar dediğimiz Standart Model'de bunlar kuark ve leptonlar. Kuarklar, kuvvetli yükü taşıyorlar. Leptonlar taşıyor. Aynı teoriye göre, kuark ve leptonlar Higgs ile yine birleşmiş oluyorlar. Ana yapı olarak kuark etkileşimleri bu üç kuvvetle yapılmış oluyor, yani son kuvvet ve kuarkları biz çıplak olarak göremiyoruz, çünkü bunlar birleşik haldeler.

Dediğim gibi, altı kuarkımız var, yukarı, aşağı, garip, tılsım, üst ve alt. Üst kuark, onbir sene önce Fermilab'de keşfedi-

len bir parçacık. Leptonlar şiddetli çekirdek kuvvetini hissetmiyorlar. Bir de yüklü lepton dediğimiz parçacıklar var. Bunların da yine zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerle ilişkileri var. Dediğim gibi üç çeşit lepton var: elektron, muon ve tau. Yüklü leptonların kütleleri 0,5 mega (milyon) elektron volt, 1,8 giga (milyar) da tau parçacıkları. Yani kütleleri değişiyor. Üç tane de nötr var. Bunlara nötrino diyoruz. Standart modelde bunların kütleleri yok. Fakat dediğim gibi, son yıllarda bu nötrinoların çok az kütlelere sahip oldukları anlaşıldı. Standart model, bugüne kadar bütün çalışmaları destekleyen bir model. Yapılan bütün çalışmalar yüzde doksan dokuz oranında bu modelle uyumlu. Anlamadığımız tek şey, bu parçacıklara nasıl kütle veriliyor? Bu da Higgs parçacığı ya da buna benzer başka bir parçacık olabilir. Şu anki Higgs teorisi başka bir mekanizmanın olması gerektiğini öne sürüyor. Eğer Higgs parçacığı yoksa ya da başka bir mekanizma bulunamazsa, Standart Model'i yüzde yüz kabul etmemiz mümkün değil. Onun dışında çok güzel çalışan bir model. Burada bu kütle meselesinin çözülmesi lazım. Bu bizim doğayı, enerjiyi, uzayı ve zamanı anlamamızı kolaylaştıracak bir bilinmeyen.

Sizce Büyük Hadron Çarpıştırıcısı bu soruya yanıt bulunmasını sağlayacak mı?

Ümidimiz, Higgs parçacıklarının kütlelerinin 1 TeV'u (1 trilyon elektronvolt) aşmaması ve ortaya çıkma oranlarının bugüne kadar yaptığımız hesaplara uyması. İşte o zaman tahminlerimizin doğ-

ru olduğunu göreceğiz. Bunu göremezsek eğer, o zaman tahminlerimizle ilgili bir sorun olduğu anlamına gelir. Ancak böyle bir şey olup da Higgs parçacığını yakalayamamak bile, başka bir takım buluşların olacağından eminiz. O zaman yeni bir teori geliştirme imkanı doğacak. Esasında şu noktada bile oldukça fazla şey biliyoruz. Evrenin ve dünyanın nasıl oluştuğunu Büyük Patlama Kuramı'ndan biliyoruz. Günümüzde parçacık fiziği pek çok olguyu çok iyi anlamış durumda. Ancak hala bilinmeyen çeşitli konular da var. Higgs parçacığı dışında, anlamaya çalıştığımız başka şeyler de var. Örneğin, bir başka önemli konu karanlık madde ve karanlık enerji konusu. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı sayesinde bulacağımız parçacıklar bu konuya ışık tutacak

O halde Fermilab Higgs parçacığını bulma yarışını kaybetti diyebilir miyiz?

Burada doğadaki bir olgu söz konusu. Eğer Fermilab'in enerjisi, SUSY parçacıklarının ya da Higgs'in kütlelerini ölçebilecek kapasitede olsaydı, o zaman

bunlar bugüne kadar Fermilab'de keşfedilmiş olurlardı. Fermilab'de çok kesin olarak ölçtüğümüz üst parçacığının özelliklerinden, bunun kütlelerini Fermilab'de keşfetmemizin ne yazık ki çok zor olacağını anlıyoruz. Yine de umut yok değil. Fermilab'de her gün veri alınıyor. Yine de bugünkü teorik modellere göre bunun biraz zor olacağı gözüküyor. O yüzden ümidimizi Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'na saklıyoruz. Fermilab'deki hızlandırıcıyla ilgili bazı teknik sorunlarımız vardı. Bunlar halledildi ve şu an oldukça iyi çalışıyor. Fakat kurulduğu zamanki teknoloji ve maddi olanaklarla ancak 2 TeV'lik bir hızlandırıcının kurulması mümkündü. Oysa CERN'deki yeni hızlandırıcımız yedi kat daha güçlü olacak, 14 TeV. Daha güçlü ve ileri teknoloji sayesinde yeni keşifler yapacağımızdan eminim. Parçacık fiziği bugün bir eşige ulaşmış bulunuyor. Hayatımızı değiştirecek büyük bir keşfin peşindeyiz. Bundan sonra daha derine, maddenin kalbine ineceğiz. Nereden geldik? Nere-

ye gidiyoruz? Bu sorulara yanıt bulacağımızı ümit ediyorum. Kısaca şöyle söyleyeyim: Fermilab ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı arasındaki fark tümüyle enerjiyle ilgili. Bu açıdan Fermilab ne yazık ki şansını kaçırdı. Fakat Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda bir takım yeni keşifler yapacağımızdan eminim.

Higgs bulunursa, her şeyi açıklayan tek bir kuram geliştirilebilir mi?

Esasında bugüne kadar her şeyin açıklığa kavuştuğu duruma hep yaklaştığımızı sandık ama her defasında daha da uzaklaştık! Ancak bu kez çok ümitliyiz. 1950'lerden itibaren hızlandırıcı tarihine bakacak olursak, daha güçlü enerjiler sayesinde hep yeni keşifler yapılmış bugüne kadar. Hep daha güçlü enerjiye sahip hızlandırıcılar geliştirildi ve yeni keşifler yapıldı. Dolayısıyla bu yeni hızlandırıcıyla yapacağımız çalışmalarda da yeni keşifler yapacağımızdan eminiz. Bu, Higgs parçacığı ya da Süpersimetri parçacığı olabilir. Belki de dünyaya bakış açımız değişecek.

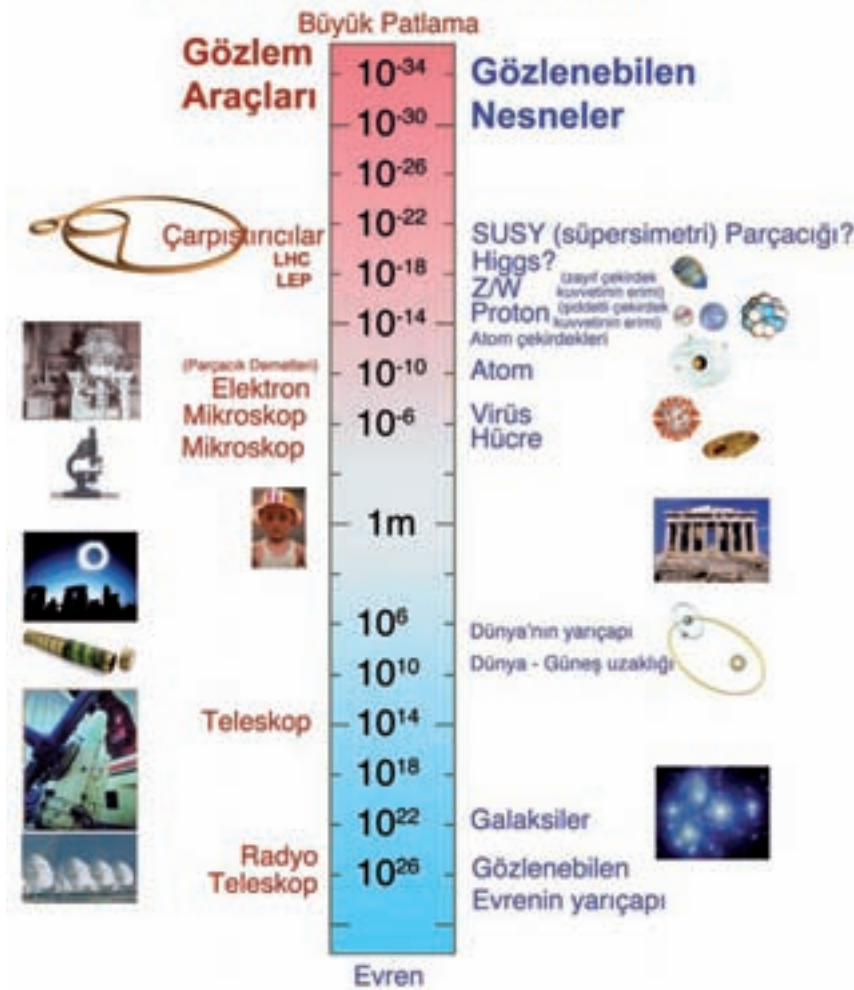
Bir takım başka ilginç gelişmeler de olabilir. Örneğin, gizli boyutlar var. Biz üç boyutlu bir ortamda yaşıyoruz ama bunun dışında başka gizli boyutlar olabilir. Örneğin, Sicim kuramı adında yeni bir kuram var. Yeni bir boyuta yer var mı? Bunlar henüz çok iyi anlaşılacak kuramlar değil, ama belki deneyler bir takım yeni kuramların geliştirilmesine olanak sağlayacak.

Bildiğimiz başka bir şey daha var: Kozmik bağlantı (cosmic connection) dediğimiz bir bağlantı var. Bu, evrenin tarihiyle ilgili bir konu. Yani parçacık fiziği ile uzaybilim arasında bir bağlantı söz konusu. Bu bağlantıyı ortaya çıkarabileceğiz. Karanlık madde ve karanlık enerjiyle ilgili önemli bir takım ipuçları elde edebiliriz. Ayrıca, ilgilendiğimiz temel konulardan başka, işin teknolojik yönü var. Bazı keşifleri yapabilmek amacıyla teknolojik olanakları fazlasıyla zorluyoruz. Bugüne kadar var olan teknolojilerin limitlerini zorladık. Örneğin, kullandığımız bilgisayar sistemleri çok üstün özelliklere sahip sistemler olmak zorunda. Bu amaçla, bir grid (ağ) bilgisayar modelini geliştirdik.

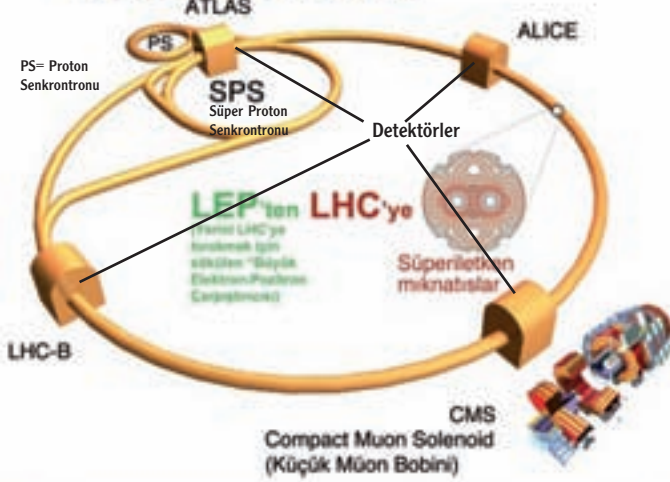
Bu bilgisayar modelini açıklar mısınız?

CERN'de üretilen bilgileri, çok hızlı ve geniş bantlı fiber optik kablolar aracılığıyla, değişik yerlerdeki bilgisayar merkezleri arasında bağlantı kurarak topluyoruz. TIER adlı bir ağ modelimiz var

Nesnelerin Büyüklükleri

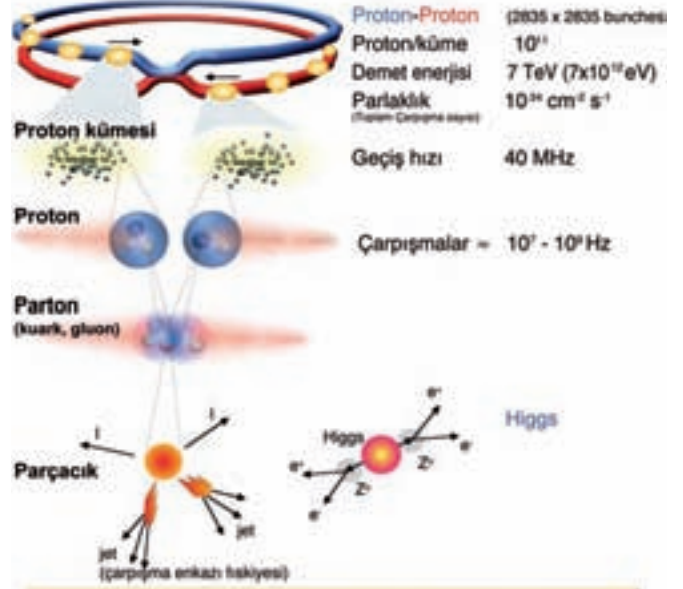


Büyük Hadron Çarpıştırıcısı The Large Hadron Collider (LHC)



	Demetler	Enerji	Parlaklık (Çarpışma ürünlerinin akı şiddeti)
LEP	e+ e-	200 GeV	$10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC	p p Pb Pb	14 TeV 1312 TeV	10^{34} 10^{27}

LHC'de Çarpışmalar



Higgs bozonunun 10 trilyon çarpışmadan yalnızca birinde ortaya çıkması bekleniyor

mesela. CERN'de üretilen veriler sayısallaştırılıyor ve paket paket Avrupa'daki ve Amerika'daki ekip üyelerimizin bilgisayarlara ulaşıyor. Fermilab'in de belli bir saklama kapasitesi var. Iowa'daki laboratuvarımızda bu bilgilerin yüzde yirmisini saklama kapasitemiz var. Verileri bu yolla analiz edebiliyoruz. Bu sayede, her bir ekip üyemiz verileri inceleyerek bir keşif yapma olanağına sahip. Bu yeni bir sistem. Grid yapısı sayesinde bu yapıya bağlı bütün bilgisayarların kapasitesinden yararlanmak mümkün. Örneğin, bir hesaplama yapacaksınız. Bu yapı sayesinde, hesaplama işlemi hangi yerdeki bilgisayar elverişliyse oraya gidiyor ve işlem orada gerçekleştiriliyor.

Deney sırasında parçacıkların çarpıştıklarını nasıl anlıyoruz? Çarpışma bilgisayarı ekranına nasıl yansıyor?

Diyelim ki parçacığımız bir proton. Bu proton kuvars fiber ile etkileşime girdiğinde Cherenkov radyasyonu denilen bir ışık üretiyor. Bu ışık, belli bir dalga-

boyundaki parlaklığa, örneğin, 400 ve 500 nanometre arasındaki bir dalgaboya sahip. Cherenkov radyasyonunun üretilmesi için çarpışmayı yapan parçacığın hızının kuvars fiberdeki ışık hızından daha yüksek olması gerekiyor. Parçacıklar çarpıştıklarında bu ışıkları biz

CMS'nin Kesiti ve Detektörleri



CMS'de, güçlü bilgisayarlarla denetlenen toplam 15 milyon detektör kanalı bulunacak. Bunlar, detektöre LHC parçacık hızlandırıcısıyla eşzamanlı hale getirerek CMS'nin "ilginç" her çarpışmayı kaydetmesini sağlayacak. LHC'de, ışık hızının çok yakınına kadar hızlandırılmış proton kümeleri saniyede 40 milyon kez birbirinin içinden geçecek. Ters yönlerden gelen kümelerin birbiri içinden her geçişinde ortalama 20 proton-proton çarpışması olacak ki, bu da saniyede 800 milyon çarpışma demek. Bu çarpışmaların hepsi "ilginç" sonuçlar vermeyecek. Çarpışmaların büyük çoğunluğunda protonlar birbirlerine sürtünerek geçecekler. Kafa kafaya çarpışmalar ender, yeni parçacık üreten çarpışmalarsa daha da ender olacak. Örneğin, Higgs bozonunun yalnızca 10 trilyon çarpışmadan birinde ortaya çıkması bekleniyor. Bu da demek ki, saniyede 800 milyon çarpışma olurken bile tüm bir gün içinde yalnızca tek bir Higgs bozonu detektörlerce kaydedilebilecek.

PMT'ler (photomultiplier) kullanarak hızlı elektriksel atmalara (pulse) çeviriyoruz, kaydediyoruz ve sayısallaştırıyoruz. Yani sayısal kameralardakine benzer bir işlem esasında. Sonra da bütün sinyaller sayısallaştırılıyor, bunlar bilgisayara aktarılıyor. Işık şiddetine göre, parçacıkların verdiği ışıkların yapısına göre, bu parçacıklara denk gelen bir kalibrasyon var tabii, bu Cherenkov radyasyonu sayesinde parçacıkların hızını ve dolayısıyla enerjisini ölçebiliyoruz.

Hızlandırıcıların başka uygulama alanları var mı?

Hızlandırıcılar, 1980'lerden beri tıp alanında kullanılıyor. Ancak üretilip hastanelerde daha yaygın olarak kullanılmalarının 5-10 yıllık bir geçmişi var. Bir de PET (Pozitron-Elektron Tomografisi) denilen görüntüleme yöntemi var. Bu yöntemde de geliştirdiğimiz parçacık yakalama, yani detektör teknolojisi kullanılıyor. Bugün yaklaşık 15 bin hızlandırıcı bu tür amaçlar için kullanımda. Büyüklükleri değişiyor. En büyükleri zaten üç dört tane, bunlar parçacık fiziği araştırmalarında kullanılıyor. Küçük boy hızlandırıcılara dediğim gibi tıp alanında kullanılıyor. Amerika'nın büyük hastanelerinde kullanılıyorlar daha çok. Bunlarla çok özel radyo izotoplar üretmek mümkün. Bunlar sayesinde kanser hücreleri ya da kanser hastalığı takip edilebiliyor. Daha kuvvetli parçacık hızlandırıcılarıyla da kanser hastaları tedavi edilebiliyor. Kuvvetli bir proton, nötron ya da pionla, bir kanser hücresinin yerini saptayıp onu yok etmek mümkün. Ameliyatla alınamayacak hücrelerin olması durumunda bu aygıtlar devreye giriyor. Kanser hücreleri, parçacık bombardmanına tutularak öldürülüyor.

Diyelim LHC çalıştı ve Higgs bozonunu ya da Süpersimetri parçacıkları buldunuz. Maddenin yapıtaşlarını çözdünüz ve

fizikçiler tek bir yeni kuram geliştirdiler. Peki bundan sonra ne olacak? Buluşların ne gibi yararları olabilecek?

Bu, tümüyle bilimdeki gelişmelere bağlı. Demek istediğim, temel bilimlerdeki bütün buluşlar damla damla birikerek bir uygulama alanı buluyor. Zannetmiyorum ki bizim deney belli bir probleme çare bulsun. Dediğim gibi, şu ana kadar edindiğimiz bilimsel bilgilere yenilerini eklemeye çalışıyoruz. Newton ve Maxwell, Einstein gibi bilim adamlarının buluşları sayesinde hayatımız nasıl değiştiyse, bizim bulacağımız yeni bilgiler de eski bilgilere bir şeyler katacak ve böylece ufukumuz biraz daha genişleyecek. O nedenle CERN'le ilgili görüşüm şöyle: Buradaki çalışmalar başladığı zaman bu bir başlangıç olacak, son değil.

Yeni fizikte ne gibi açılımlar bekleniyor?

CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'yla keşfedeceğimiz parçacıkların yapılarının daha iyi anlaşılması için, daha da gelişmiş bir çarpıştırıcı olan Doğrusal Çarpıştırıcısı'nın (Linear Collider) yapılması planlanıyor. Çarpıştırıcısının adı şimdiden belli: Bu konuda çalışanlar aygıtı Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı (International Linear Collider - ILC) adını verdiler. Ne zaman yapılmaya başlanacağı henüz belli değil. Halen planlama aşamasında. Öyle tahmin ediyoruz ki 2010-2012 yılında bu konuda bir karar alınacak. 2015'den önce çalışmalara başlayacağımızı sanmıyorum. Bu hızlandırıcıyı ABD, uluslararası bir işbirliğiyle yapmak istiyor. Yarısını üstlenmek istiyor. Onun dışında, dörtte birini Avrupa'da kalan dörtte birini de Japonya'da yaptırmak istiyor. ABD, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı için Avrupa'ya büyük parasal destek verdi. Onun karşılığını bekliyor. Öyle tahmin ediyoruz ki bu aygıt da pek çok sorumuza yanıt verecek. Tabii Higgs'i ve bunun kütesini bulmamız la-



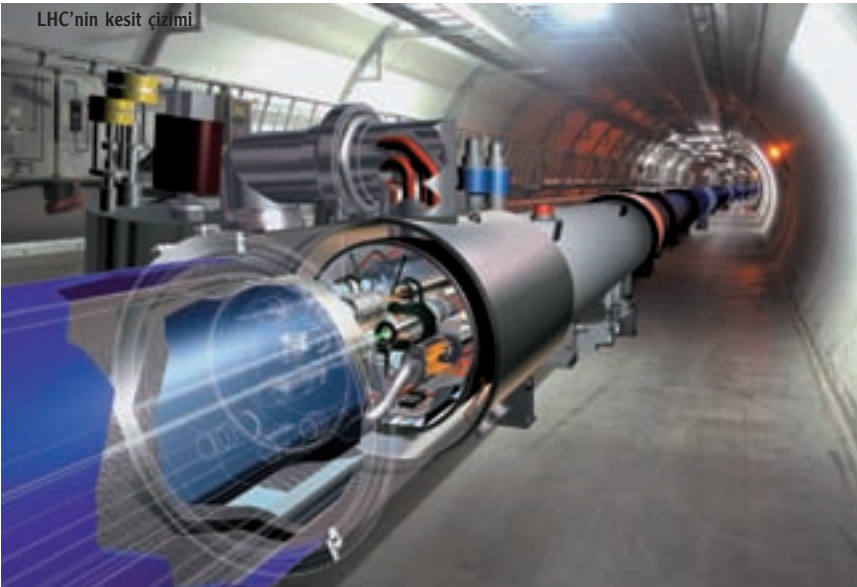
CMS'yi çevreleyen süperiletken mıknatıslar

zım. Bunu anladıktan sonra yeni parçacıkların bulunması ve sorularımıza yanıt bulma imkanı doğacak. Daha önce de dediğim gibi, henüz daha karanlık madde, enerji gibi yığınla bilmediğimiz konu var. O nedenle tüm bu sorularımızın yanıtlarını Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ile bulacağımızı sanmıyorum. Bu başlangıç olacak sadece, daha sonra yeni buluşlarımız olacak.

Çarpıştırıcılarla yaptığımız deneylerin başka yararları da var. Örneğin, hızlandırıcılarında süperiletkenler kullanılıyor. Her yeni geliştiren hızlandırıcı için daha fazla manyetik alana sahip süperiletkenlerin üretilmesi söz konusu. Dolayısıyla, yürüttüğümüz çalışmalar yeni teknolojilerin de geliştirilmesine yardımcı oluyor. Konumuz teknolojinin limitlerini zorluyor. O bakımdan pek çok uygulama alanı yaratılabilir. Ben zaten fiziğin alt dallarını birbirinden ayırmıyorum. Neticede hepsi dünyayı ve evreni anlamamızı sağlıyor.

İki hafta önce, ABD'de fizik araştırmaları için ayrılan bütçenin iki katına çıkarılması için büyük girişimler başlatıldı. Son on yıldır daha çok biyolojik bilimlere ve tıp alanına yatırımlar yapıyordu. Çünkü bu bilimlerde yürütülen uygulamaların sonuçları kısa zamanda alınıyor. Ama sanıyorum sonunda Kongre üyeleri, dünyayı ve evreni anlamamızı ve dahası bugüne kadar geliştirdiğimiz pek çok teknolojiyi temel bilimlerdeki araştırmalara borçlu olduğumuzu anladı ki, yüksek enerji fiziği, nükleer fizik, füzyon fiziği ve ileri hesaplama yöntemleri gibi konuların araştırılması için bütçeyi önemli oranda artırdılar.

Bilim ve Teknik adına
Ayşegül Yılmaz
ayseg2004@yahoo.co.uk



LHC'nin kesit çizimi