

*Bir dünyayı görmek kum tanesinde,
Ve yaban çiçeğinde semayı
Avucunda tutabilmek sonsuzluğu
Ve tüm zamanı bir saatin içinde.*

William Blake, 1803

Büyük Deneý Düzenekleri

Küçüklerin Dünyasına Açılan Gözler

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'na (LHC) ancak büyük deneý düzenekleri ulaşabilirdi. En büyükleri olan ve ismini mitolojide Zeus tarafından Dünya'yı omuzları üzerinde taşımakla cezalandırılan bir titandan alan ATLAS deneýinden, en küçükleri olup CMS dedektöründeki çarpışmaları uzaktan gözlemleyen TOTEM deneýine kadar hepsi, insanlığın en küçüklerin dünyasına açılan gözü.

ALICE deney düzeneğinin özellikle kurşun çarpışmalarında oluşabilecek kuark gluon plazmasını gözlemlemek için özel olarak üretilen çok telli orantısal gazlı dedektörü, zamanlama bilgisini de kullanıyor ve iç dedektörde yer alıyor. Bu fotoğrafta, bir fizikçi dedektörün bilgi okuma kablolarını bağlıyor.



LHC çemberi üzerinde belli çarpışma noktalarına yerleştirilmiş olan ATLAS, CMS, LHCb, ALICE ve TOTEM deney düzeneklerinde, doğanın izin verdiği ve bilimin bulabildiği en ileri teknolojinin harikaları olan parçacık dedektörleri kullanılıyor. Çözünürlükleri saç telinden daha ince olabilen dedektörler, çapı 25 metreyi bulan deney düzenekleri içinde çarpışmalardan çıkan yüksek enerjili parçacıkları gözlemliyor. Ağırlıkları 12.500 tonu bulabilen, yapımlarında binlerce kilometre kablo kullanılıp milyonlarca kanaldan gelen bilgilerin akışının sağlandığı deney düzenekleri, yerin 100 metre altında, dünyanın dört bir yanından gelen parçaların büyük bir emekle, ilmek ilmek birleştirilmesiyle kuruldu. Bu dedektörler LHC'deki çarpışmalardan çıkan yüksek enerjili parçacıkları gözlemleyerek, bize kâinatın yapısına katkıda bulunan fizik kuralları hakkında bilgi verecek.

Peki LHC'de çarpıştırılan ve çarpışmalardan çıkan parçacıkları betimlemek için kullanılan "yüksek enerjili parçacık" ne demek? Işık hariç, doğada görebildiğimiz tüm parçacıkların kütlesi var. Kinetik enerjisi kütle enerjisinden yüksek olan parçacıklara yüksek enerjili parçacık diyoruz. Mesela LHC tam kapasitede çalıştığında LHC içinde çarpıştırılacak protonların kinetik enerjisi kütle enerjisinin yaklaşık 7000 katına ulaşacak. Doğaldır ki, bu çarpışmalardan çıkan parçacıklar da yüksek enerjili parçacıklar olacak. Onları gözlemlemek, bizlere çarpışma esnasında yaşanan ve Büyük Patlama'nın ilk anlarında da yaşanmış bir enerji yoğunluğunda fizik kurallarının nasıl olduğu hakkında bilgi verecek.

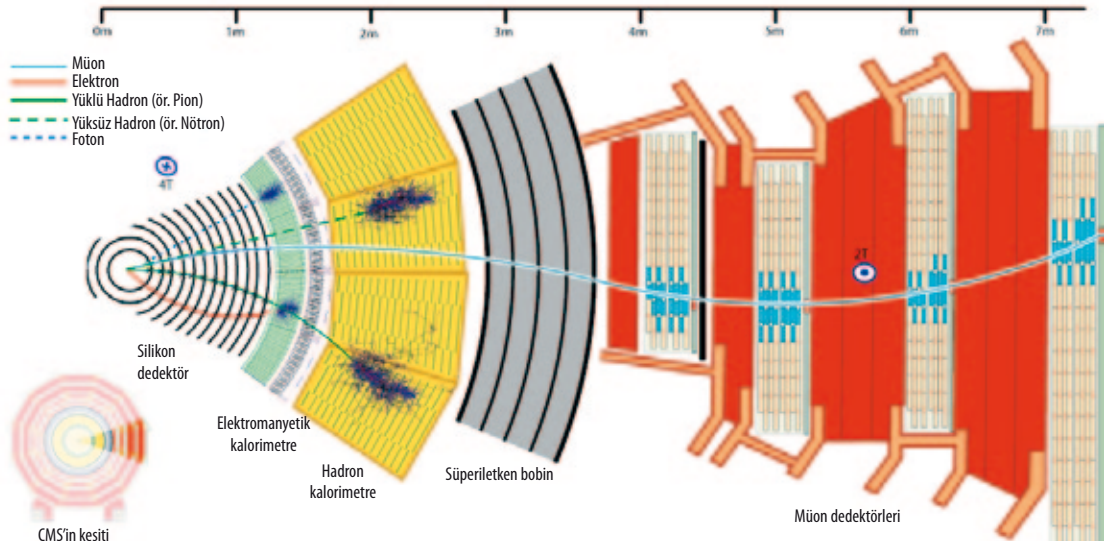
CMS deney düzenekindeki elektromanyetik kalorimetre hem kalorimetre hem de sintilatör özelliği olan kurşun tungstat (volfram oksit) kristallerinden yapıldı. Sovyetler Birliği ordusunun savunma amaçlı lazerler için geliştirdiği teknoloji Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla bilimin kullanımına sunuldu. CMS elektromanyetik kalorimetresi için bu kristallerden 75.000 adet üretildi.



CERN'de kullanılan gelişmiş dedektörlerin atası sayılan Geiger-Müller sayacı hâlâ hayatımızın bir parçası. Jeolojiden nükleer tıbbı kadar birçok alanda kullanılan Geiger-Müller sayacı, 1908'de Hans Geiger tarafından icat edilmiş ve 1928'de Walther Müller tarafından geliştirilmiştir. 1908'de doktora sonrası araştırmacısı olan Geiger, Cambridge Üniversitesi'nde Prof. Ernest Rutherford'un laboratuvarında dedektörü geliştirdiğinde, henüz yirmi yaşında bir üniversite öğrencisi olan Ernest Marsden ile bir saçılma deneyi üzerinde çalışıyordu. İkilinin ilginç ve o zamanki kuramın açıklayamadığı bulguları, hocaları Rutherford'un atomun bir çekirdeği olduğu sonucuna varmasına yetti. Onları meşhur eden bu buluş,

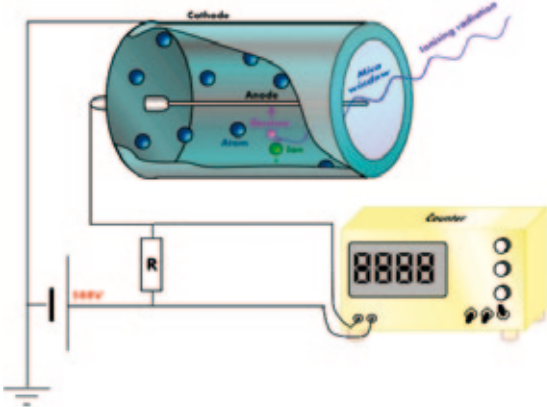
atom çağının açılması demektir. Geiger sayacı ancak mikroskop altında gözlemlenebilen küçük ışık çakmalarından başlayıp, Çernobil faciasından sonra televizyonlarda koruyucu giysileriyle radyasyon ölçümü yapanların ellerinde gördüğümüz aletlere dönüştü. Yüzyılın başında, Geiger sayacının icadı, insanlığın radyoaktiviteyi anlamasında ve kontrol edebilmesinde önemli rol oynadı. Marie Curie ve eşi Pierre Curie'nin yeni radyoaktif elementler bulmaya çalışırken ne kadar çok radyoaktiviteye maruz kaldıklarını bilmeden çalışmalarını, günümüz dünyası için düşünülmemeyecek kadar korkunç. İkisinin de ciddi sağlık sorunlarıyla boğuşmalarına neden olan bu durum artık dedektörler sayesinde önleniyor.

LHC'deki deney düzenekleri içinde en ağır olan ve yarıçapı 7,5 metreye varan CMS dedektörünün bir kesitinde dedektörün soğan gibi olan katmanlı yapısını görmek mümkün. Solda görülen çarpışma noktasından çıkan yüklü parçacıklar, manyetik alanda kıvrılarak ilerliyor. Manyetik alanın miknatısın dışında içinden geçtiği yönde zıt yönde olması dolayısıyla, yüklü parçacıklar miknatısın dışında ters yöne kıvrılıyor. Nötr parçacıklar ise iç dedektörde iz bırakmıyor, sonra da kalorimetrelerde enerji kaybedip duruyor.



Radyoaktivite, atom çekirdeğinin bozunması sırasında çekirdekten dışarı atılan alfa, beta ve gamma ışınları olarak anlatılır. Bu ışınlarla modern bir gözle bakarsak, alfa ışınları, çekirdekten iki nötron ve iki protonun, yani bir helyum çekirdeğinin büyük bir hızla atılmasıdır. İsim babalığını Rutherford'un yaptığı beta ışınları bir elektronun çekirdekten atılması, gamma ışınlarıysa çekirdekten bir foton atılması yani yüksek enerjili bir ışık saçılmasıdır. Alfa ışınlarının artı yüklü, beta ışınlarının eksi yüklü olduğunun altını çizelim. Yüksek hızda giden yüklü parçacıklar, karşılaştıkları atomları iyonize ederek (elektronlarını kopararak) enerji kaybeder. İşte ilk parçacık dedektörü olan Geiger sayacı, alfa ve beta ışınlarının iyonizasyon özelliğini kullanarak parçacıkları saymaya yarıyor. Belli bir seviyeden yüksek enerjideki gamma ışınlarının, elektron ve pozitron çiftlerine dönüşerek hayatlarına son verdiğini düşünürsek, Geiger sayacı gamma ışınlarını da gözlemleyebilir.

Geiger sayacının nasıl çalıştığını anlamak için, enerjisi yüksek bir elektronun sayaca girdiğini düşünelim. Elektron, sayacın argon veya neon gazının metan gazı karışımıyla dolu, düşük basınçtaki haznesindeki atomlardan önüne çıkanları iyonize ediyor, yani atomlara bağlı halde olan bazı elektronlara enerjisinin bir kısmını vererek, onların atomlardan bağımsız hale gelmesine yol açıyor. Bağımsızlaşan elektronlar ise, haznenin ortasına yerleştirilmiş ve yüksek artı voltaja (mesela $+1500V$) bağlanmış, 20-50 mikron incelikteki telin (anod) yarattığı elektrik alandan etkilenerek, bu tele doğru hareket etmeye başlıyor. Elektronları ayırdığı için artı yüklü kalan atomlar ise iyon ismini alarak dedektörün topraklanmış dış kabuğuna (katod) doğru yönlendiriliyor. Elektronlar tele doğru yak-



Geiger sayacına giren bir yüklü parçacık cihazın içindeki gazı iyonize ediyor. Yüksek gerilimdeki ince telin yarattığı elektrik alanda elektron çığı oluşuyor. Teldeki akım ölçüldüğünde geçen parçacık hakkında bilgi toplanabiliyor.

laşırken, elektrik alanda enerji kazanıyor ve önlerine çıkan atomları iyonize edip, tele doğru akan elektron sayısını artırıyorlar. Bu olaya elektron çığı deniyor. Elektronların tele varmaları ancak birkaç mikrosaniye sürdüğü halde, bir elektronun geçişinin başlattığı bu çığı, tele milyarlarca elektronun varmasıyla sonuçlanabiliyor. Tel ile dış kabuk arasında bir elektrik devresi yardımıyla gözlenebilen elektrik akımı, Geiger-Müller sayacının çalışma ilkesini ortaya koyuyor. Bu yüksek akımı bazen bir ışık çakması olarak gözle görmek de mümkün olabiliyor. Bilim müzelerinde bu tip dedektörlerin örnekleri görülebilir. Bu sayaçlar yüklü parçacıklar için kullanılabilirlerinin yanı sıra, içindeki gazın boron triflorit veya helium-3'le değiştirilmesinden sonra, kolayca nötr bir parçacık olan nötron için de kullanılabilir. Halen dünyadaki tüm nükleer reaktörlerin giriş kapılarında yanımıza alabileceğiniz Geiger-Müller sayaçları var.



ATLAS'ın silikon dedektörlerden yapılmış iç dedektörü bir soğan kabuğu gibi. Burada dördüncü kabuğun dıştaki kabukların içine yerleştirilme aşaması görülüyor.

Neredeyse tüm modern parçacık dedektörlerinin de temel ilkesi aynı: Parçacığın bıraktığı izi kullanarak bir maddenin içinden geçişini görebilmek. Bu iz, maddenin cinsine bağlı olarak artıp azalabilir, ayrıca izin farklı yönlerini de kullanmak mümkün. İlk olarak yüklü bir parçacığın bir maddenin içinden geçişine bakalım. Yukarıdaki örnekte olduğu gibi yüklü ve yüksek enerjili bir parçacık, içinden geçtiği maddeye yoluna çıkan atomları iyonize ediyor yahut eksite



CERN

ediyor (uyarıyor). Gazlı dedektörler LHC'de, örneğin ATLAS deneyinde muon dedektörleri olarak kullanılıyor. Ancak farklı atomların farklı iyonize enerjileri olduğu için, farklı maddeler kullanarak değişik dedektörler yapmak mümkün. Ayrıca parçacığın kaybettiği enerji de yüküne ve cinsine göre değiştiği için kaybedilen enerji miktarı sayesinde parçacığın yükü ve çeşidi anlaşılabilir. Bu enerji kaybı, Hans Beth'e'nin ve Felix Bloch'un çalışmalarıyla bulunan Bethe-Bloch formülü ile hesaplanabilir.

Bu dedektörlerin atalarından belirli bazı farkları olduğunu vurgulayalım. En önemli değişiklik dedektördeki telin etrafında oluşan elektron çığınının kontrol altında tutulabilmesi ve böylece parçacığın bıraktığı enerjiyle, dedektörden ölçülen akımın birbiriyle orantılı olması. Bu sayede parçacığın kaybettiği enerjiyi doğrudan ölçebiliyor ve parçacığın çeşidi hakkında bilgi sahibi olabiliyoruz.

Gazlı orantısal dedektörlerdeki ikinci önemli adım, CERN'de çalışan Dr. Georges Charpak'ın 1992'de Nobel Fizik Ödülü'nü getirdi. Dr. Charpak büyük bir dörtgen tabanlı hazne içinde yüzlerce hatta binlerce telin gerilmesiyle oluşturulan bir dedektör geometrisine geçiş yapılmasını sağladı. Büyük dedektörler yapılmaya başlandı ve böylece parçacıklar uzun mesafelerde izlenebilir duruma geldi. Daha da önemli dedektörler manyetik alanların içinde kullanılmasına başlandı. Manyetik alanın içinde artı yüklü bir parçacık izlediği düz yoldan bir yöne doğru eğilirken, eksi yüklü bir parçacık ise onun ters yönünde eğiliyor. Parçacığın elektrik yükü böylelikle ölçülebildiği gibi parçacıkların görel momentumu da, kavis yarıçapı ile doğru orantılı olduğu için, hesaplanabilir. Momentum klasik fizikte bir parçacığın kütesinin hızıyla çarpımı olarak tanımlanıyor. Fakat görelilik kuramına göre ışık hızına yakın giden bir parçacığın görel kütlesi de ışık hızına yaklaştıkça artıyor. LHC'deki çarpışmalardan çıkan parçacıklar ışık hızına çok yakın gittiklerinden, hızları aralarında bir fark olmasa da görel kütlelerinde ve böylece momentumlarında çok büyük farklar olabiliyor.



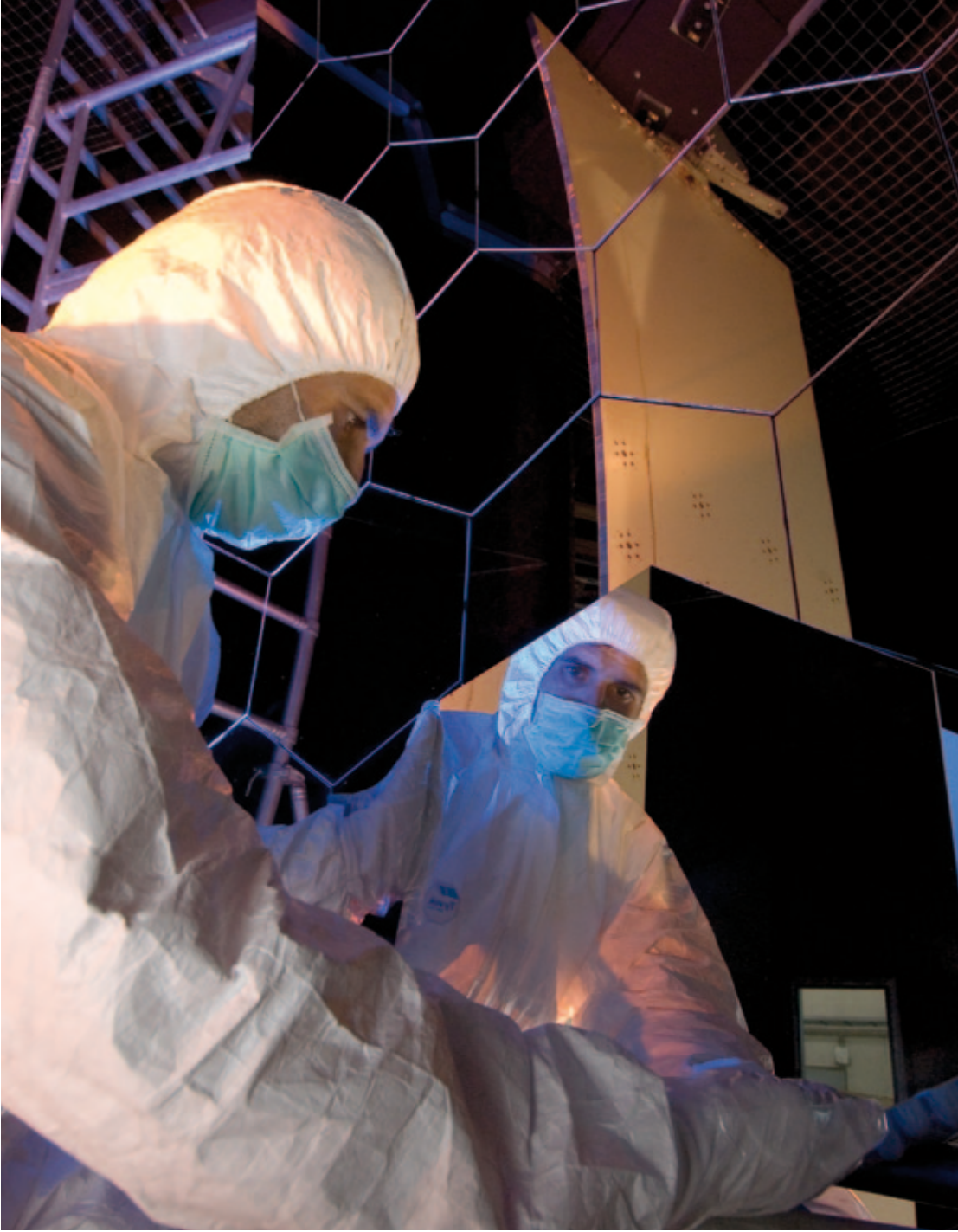
CERN

Hans Geiger (altta) ve Georges Charpak (üstte) parçacık dedektörleri denilince akla gelen isimlerden.

Gazlı dedektörlerden (Geiger-Müller dedektörü ve orantısal çok telli dedektör) bahsettik, ama bir sıvı veya katı hal dedektörü de tasarlayabiliriz. Sıvıya örnek olarak ATLAS dedektörünün düşük sıcaklıkta sıvı kullanan kalorimetre dedektörünü, katı hal dedektörü olarak da silikondan yapılan ve fotoğraf makinelerinde de kullanılan silikon teknolojisine benzer bir teknolojinin kullanıldığı bir dedektörden bahsedebiliriz. Değişik maddeler kullanılsa da amaç, geçen parçacığın geride bıraktığı serbest elektronları çoğaltıp toplamak veya ışığı gözlemlemek. Yüklü bir parçacığın içinden geçtiği maddedeki atomları yahut molekülleri eksite etmesinin mümkün olduğunu söyledik. Bu eksitasyondan sonra atomlar ya da moleküller, aldıkları enerjiyi bazı özel materyallerde çevrelerine kısa bir süre sonra bir ışık saçılması olarak veriyor. Bu tip materyallere sintilatör adı veriliyor ve yine maddenin her halinden sintilatör yapılabilir. Işık saçılmaları gözle görülebildiği gibi, dedektörün kenarına yerleştirilen ışılçoğaltıcılar (*photomultiplier*) sayesinde çoğaltılarak bir elektrik akımına da dönüştürülebilir. Sintilatörlerin bir başka özelliği de, iyonizasyon ölçen ve elektronları çoğaltmak için zamana gereksinimi olan akrabalarından daha hızlı sinyal vermeleri. Bu yüzden, çoğu ışık hızına çok yakın hızda ilerleyen parçacıklar arasındaki hız farkını ölçmek için bile kullanılabilirler.

Şunu belirtelim: Maddenin içinden geçerken önündeki atomları iyonize eden veya eksite eden parçacık, her iyonizasyon ve eksitasyonda bir bedel ödüyor. Her etkileşme başına kendi enerjisinden kaybediyor; bu da bir süre sonra tüm enerjisini kaybedip durması demek. Bu özellikle elektronları ölçmek için iyi bir yöntem.

Yüksek enerjili bir elektron, elektron yoğunluğu yüksek bir maddeden geçerken, nadiren enerjisinin büyük bir kısmını yolu üzerindeki bir elektrona verebilir. Bu bilardo masalarından bildiğimiz ve bilardo toplarının kütleleri aynı olduğu için gerçekleşen bir olay. Tıpkı onlar gibi elektron da enerjisini bu şekilde yolundaki elektronlara dağıtabiliyor. Elektromanyetik kuvvet rol oynadığı için elektromanyetik kalorimetre denilen bu tip dedektörlerde amaç, elektronun tüm enerjisini kaybettirerek enerjisini ölçmek. Kalorimetrelere ATLAS deney düzeneğinde bahsettiğimiz gibi likit argondan yapılmış olabileceği gibi, CMS deney düzeneğindeki gibi hem kalorimetre hem de sintilatör özelliği olan kurşun tungstat (volfram oksit) kristallerinden de yapılmış olabiliyor. Yüklü olan elektronlar için etkili olan elektromanyetik kalorimetre, yüksüz fakat yüksek enerjili ışık olan fotonlar için de iyi bir ölçüm cihazı. Fotonlar yeterince yüksek ener-

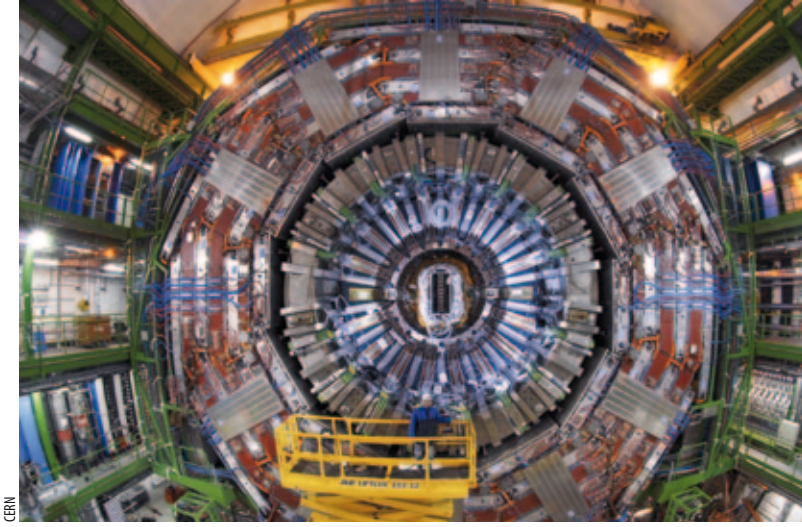


LHCb deney düzeneğinde Çerenkov radyasyonu sayesinde oluşan ışık özel aynalar yardımıyla toplanıp ölçülüyor. Bu fotoğrafta bir teknisyen, aynaları yerine yerleştiriyor.

jiliyse, bir atom çekirdeğinin yakınında, bir elektron ve pozitron çiftine dönüşebilir. Oluşan çiftteki her iki parçacık da yukarıda bahsettiğimiz gibi etkileşeceğinden yüksek enerjili bir fotonun enerjisinin elektromanyetik kalorimetrede ölçülmesi mümkün oluyor.

Peki değişik maddelerin iyonizasyon ve eksitasyon enerjisini kullanmak dışında yüksek enerjili parçacıkları nasıl görebiliriz? Parçacığın cinsine bağlı olan bir etkileşme daha söz konusu. Eğer maddenin içinden geçen parçacık yeterince kütleli ise, o zaman

o parçacığın maddedeki elektronların dışında atomların çekirdekleriyle de etkileşme ihtimali artıyor. Bu özellikle proton ve nötron gibi kuarklardan yapılmış olan parçacıklar için geçerli. Bu parçacıkların, içinden geçtikleri maddede iyonizasyonla enerji kaybettikleri gibi, karşılıklarına çıkan atomların çekirdeklerinden bir kaç hadron koparması da mümkün oluyor. Onlar da etkileşmeye, önlerinde bulunan atomlardan elektron ve hadron koparmaya devam ediyor. Bu etkileşme özelliği, dedektör maddesinin kurşun yahut



CMS deney düzeneklerinin 2007 sonundaki genel görünüşü. İçten dışa doğru, silikondan yapılmış iç dedektör, elektromanyetik ve hadronik kalorimetreler, ve dış kabukta muon dedektörleri gözükmemekte.



Dr. Melahat Bilge Demirköz, İstanbul Amerikan Robert Lisesi'ni bitirdikten sonra, burslu olarak gittiği MIT'de fizik bölümünü müzik ve matematik bölümlerinden sertifika alarak 2001 yılında bitirdi. MIT'de yaptığı lisans ve yüksek lisans araştırmalarında AMS projesinde görev alarak NASA ile AMS projesinde toplam dört yıl çalıştı. Doktorasını Dorothy Hodgkin bursunu alarak Oxford Üniversitesi'nde ATLAS projesinde üç yılda tamamladı. 2006 yılında Research Fellow unvanıyla CERN'in elemanı olarak kabul edildi. CERN'deki görevine Cambridge Üniversitesi'nden sonra Barselona Üniversitesi adına devam etmektedir.

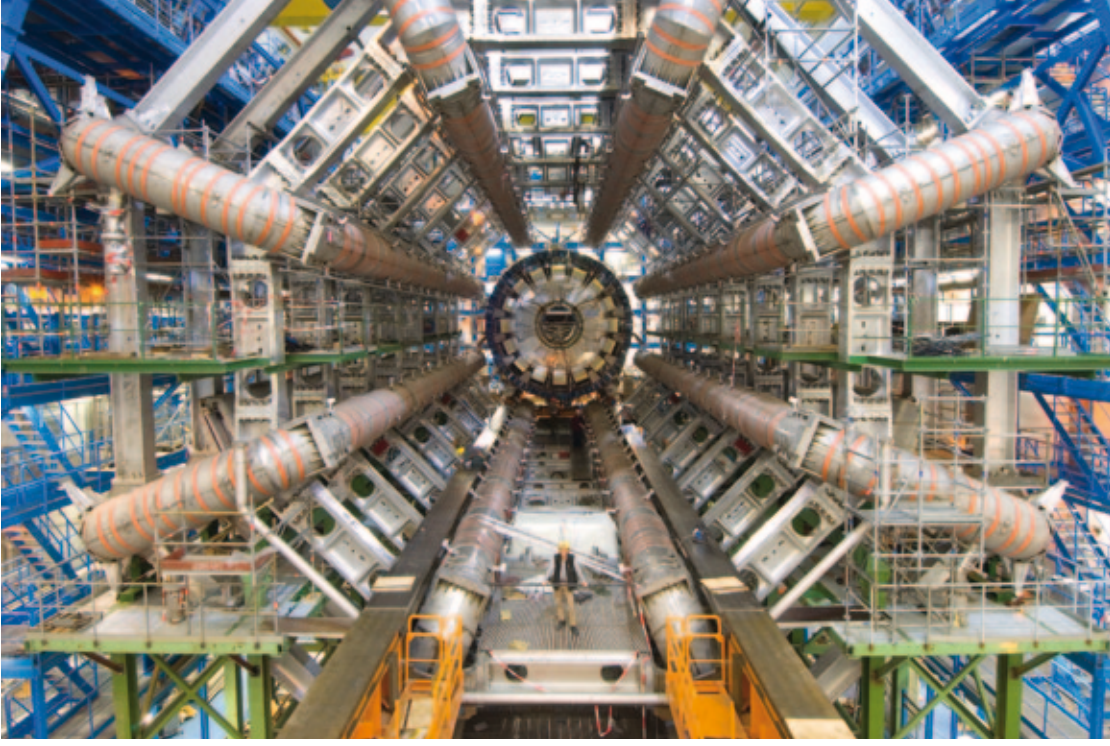
demir gibi ağır bir elementten seçilmesiyle artıyor. O zaman enerjisi dağılan parçacık, hadronik yağmur dediğimiz bir şekilde enerjisini dağıtıp sonra duruyor. Kurşun yahut demir gibi ağır bir maddeden yapılmış kalorimetrede gelişen hadronik yağmuru gözlemlemek ise bu materyallerin elektrik özelliklerinden dolayı zor. Hadronik kalorimetrelerde parçacığı durdurmak için kat kat demir yahut kurşun levhaları kullanılırken, gelişen hadronik yağmuru izlemek için ise bu levhaların arasına sintilatör dedektörleri yerleştiriliyor. Sandviç hadronik kalorimetre ismi verilen bu dedektörlerde, yağmurun enerjisi ölçülerek, yağmuru başlatan parçacığın enerjisi hesaplanabiliyor.

Şimdiye kadar parçacığı manyetik alanda izleyerek, enerji kaybını ölçerek ve durdurarak, parçacığın elektrik yükünü, momentumunu, hızını, cinsini ve enerjisini ölçme metodlarını anlattık. LHC'deki tüm dedektörlerde yukarıda anlattığımız ilkeler kullanılarak büyük deney düzenekleri yapıldı. Bunların dışında, görelilik yasalarından ötürü ortaya çıkan ve LHC çarpışmalarından ortaya çıkan parçacıkları gözlemlemede kullanılan iki etki daha var. İlki Çerenkov ışınması, ikincisi geçiş radyasyonu (*transition radiation*). Burada sadece ilkinin anlatacağız. Çerenkov ışınması, ismini 1934'teki keşfinden ötürü 1958 Nobel Ödülü'ne layık görülen Pavel Aleksiyeviç Çerenkov'dan almış. Işık yalıtkan bir madde içinden geçerken boşluktaki hızından daha yavaş gidiyor, fakat yüksek enerjili bir parçacığın hızında ciddi bir değişiklik görülüyor. Demek ki, yalıtkan bir madde içinde parçacık ışığın o madde içindeki hızından daha hızlı gidebiliyor. İşte bu durumda, tıpkı bir jet uçağının ses hızını aşınca çıkardığı patlama sesi ve konik alana yayılan şok dalgası gibi, parçacık da etrafına konik alana yayılan bir ışınma veriyor. Bu ışınma açısı gözlemlenerek, parçacığın hızının o maddedeki ışık hızına oranı ölçülebiliyor.

LHC'deki çarpışmalarda ortaya çıkan parçacıkları en sağlıklı şekilde gözlemlemek için, yukarıda saydığımız dedektör çeşitlerini çarpışma noktasına en yakın çaptan dışa doğru sıralandırmamız gerekiyor. LHC'deki deney düzeneklerinin kat kat, sanki soğana benzer bir yapısı var. En iç katmanlarda yüklü parçacıkların manyetik alandaki eğilmelerini en hassas şekilde ölçebilecek, yüksek çözünürlükte dedektörlere ihtiyacımız var. İç dedektör denilen bu katmanda parçacıkların enerji kaybını manyetik alandaki yörüngelerinden sapmamaları için en alt düzeyde tutmak gerektiğinden, en hafif materyallerden yapılmış dedektörler kullanılıyor. Tüm LHC deney düzeneklerinin iç dedektöründe silikondan yapılmış ve çözünürlükleri 20 mikron kadar hassas olabilen dedektörler art arda sıralanıyor. Silikon dedektörlerin yanı sıra LHCb deney düzenekinde yine hafif olan Çerenkov dedektörü, ATLAS deney düzenekinde gazlı bir geçiş radyasyonu dedektörü ve ALICE deney düzenekinde orantısal çok telli dedektörler kullanılıyor. Yine bütün deney düzeneklerinde, iç dedektörde parçacıkların eğrilmesini sağlayacak olan miknatıslar iç dedektörün dışında bir kabuk oluşturuyor.

İç dedektörde çözünürlüğü bu kadar yüksek olan dedektörler kullanmanın yan etkisi ise tıpkı fotoğraf makinelerindeki gibi, çözünürlük arttıkça bilgi kanalları sayısının da artması. Örnek olarak CMS deney düzenekinin iç dedektöründe toplamda 75 milyon kanal bilgi bulunmasını gösterebiliriz. Dijital fotoğraf makinelerine benzettiğimiz silikon dedektörler, fotoğraf makinelerinden çok farklı olarak her çarpışmadan çıkan parçacıkları gözlemleyebiliyor, yani saniyede 40 milyon kez bilgi toplayabiliyorlar. Halbuki en modern makineler şu anda ancak saniyede 10 kare fotoğraf çekebiliyor. 75 milyon kanal bilginin 40MHz'te okunması bile müthiş bir olay. İşlenmemiş haldeyken saniyede toplam 3 Terabite karşılık gelen bu bilgi akışı, ancak işlendikten ve tetikleme dediğimiz bir seçim işleminden sonra diğer dedektörlerden gelen bilgilerle birlikte diske kaydedilebiliyor.

İç dedektörde yükleri ve momentumları ölçülmüş olan parçacıkları artık kalorimetrelerle durdurma zamanı geliyor. Orta kabuk diyebileceğimiz kalorimetre katmanlarında ilk olarak elektromanyetik kalorimetrede foton ve elektronlar, sonra hadronik kalorimetrede proton, nötron ve diğer hadronlar durdurularak enerjileri ölçülüyor. Mesela nötron gibi, iç dedektörde yüksüz olduklarından dolayı iz bırakmamış olan parçacıklar ise izlerinin olmaması ve hadronik kalorimetrede yağmurlanmaları dolayısı ile tanımlanabiliyor. LHC'deki tüm deney düzeneklerinde kalo-



CERN

ATLAS deney düzeneğinin 2005 sonundaki genel görüntüsü: 8 kol halinde olan ATLAS'ın süperiletken toroid mıknatısları dikkat çekiyor. ATLAS'ın kalorimetre sistemi ise arka planda henüz dedektörün tam ortasındaki yerine yerleştirilmemiş halde gözükmekte. İç dedektör ve muon dedektörleri daha sonra yerleştirildi.

rimetreler farklı materyallerden yapılmış olsa da, sıra değişmiyor. Kalorimetreler çok büyük ve ağır olmalarıyla tanınıyor. Örnek olarak ATLAS'ın kalorimetre sistemi toplam 4 bin ton ağırlığında.

Son kabukta ise, önceki katmanlarda iz bırakmış fakat önüne bu kadar materyal konulmuş olduğu halde enerji kaybı düşük olduğu için uzun mesafeler kat edebilmiş tek parçacıkları yani muonları gözlemliyoruz. Elektronların daha kütleli akrabaları olarak tanımlayabileceğimiz muonlarla yaklaşık yüz yıldan beri dostuz. 1911'de Prof. Victor Hess'in buluşuyla, uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferimizde aynen bir kalorimetreden geçer gibi durduğunu öğrendik. Uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferimize vurmasıyla oluşan, yeryüzüne kadar inen ve şu anda içinizden ve etrafınızdaki her şeyin içinden geçen muonları durdurmak gerçekten de çok zor. İşte bu yüzden LHC dedektörlerinde onları durdurmaya çalışmak yerine son kabukta izleri ve böylece momentumları daha da iyi ölçülmeye çalışılıyor. Çoğunlukla Dr. Charpak'ın tasarladığı çok telli orantısal gazlı dedektörler yahut daha da geliştirilmiş halleri kullanılıyor. LHC dedektörlerinin en büyükleri olan ATLAS deney düzeneğinin hacminin çoğunu işte bu muon dedektörleri alıyor.

Geriye ise gözlemleyemediğimiz parçacıklar kalıyor. Peki onları nasıl ölçeceğiz? Görülemeyen ve dedektörlerde hiç iz bırakmayan bir şeyi ölçmek sizi şaşırtabilir ama evrenin en büyük bilinmezi olan karanlık maddeyi arayan bir projenin, tabii ki iz bırakmadığını bildiğimiz bu maddeyi ölçme metodu

var. Elimizde doğanın bize büyük bir armağanı var: Momentumun korunumu yasası. Eğer çarpışmalardan çıkan ve dedektörlerimizde iz bırakan her şeyi ölçebiliyorsak ve bütün ipuçlarını topladıktan sonra elimizdeki tüm parçacıkların çarpışma ekseninin dışındaki toplamında bir asimetri varsa, yani momentumların toplamı sıfır değilse, o zaman dedektörlerimizden bir şeyin iz bırakmadan kaçıp gittiğini ölçebiliriz. Momentumun korunumu yasası çarpışma ekseninde de geçerli, fakat iki protonun çarpışmasında esas olan içlerindeki kuark parçacıklarının çarpışması ve bu esnada hangi kuarkın momentumun ne kadarını taşıdığını bilmediğimiz için, yasayı ancak çarpışma eksenine dik olan düzlemde kullanabiliyoruz. Kaybolan dik momentum dediğimiz bu ölçümden LHC'de karanlık maddeyi keşfetmeyi ümit ediyoruz.

LHC'deki büyük deney düzeneklerinin amaçları belli: Doğanın yapıtaşlarını gözlemlemek ve yasalarını daha iyi anlamak. Maddeye kütlelerini verdiğini düşündüğümüz Higgs parçacığından evrende var olduğunu kabul ettiğimiz fakat göremediğimiz karanlık maddeye, bilmediğimiz boyutlardan mikro karadeliklere kadar, LHC'nin gözlemleyebileceği birçok kuram var. Hangilerinin doğru, hangilerinin yanlış olduğunu artık zaman gösterecek. Ama bir şey kesin: Modern fiziğin ve ileri mühendisliğin harikaları olan bu dev gözler, küçüklerin gizemli dünyasına sızacak ve düşünce denizlerimizde bizlere yeni ufuklar açacak.