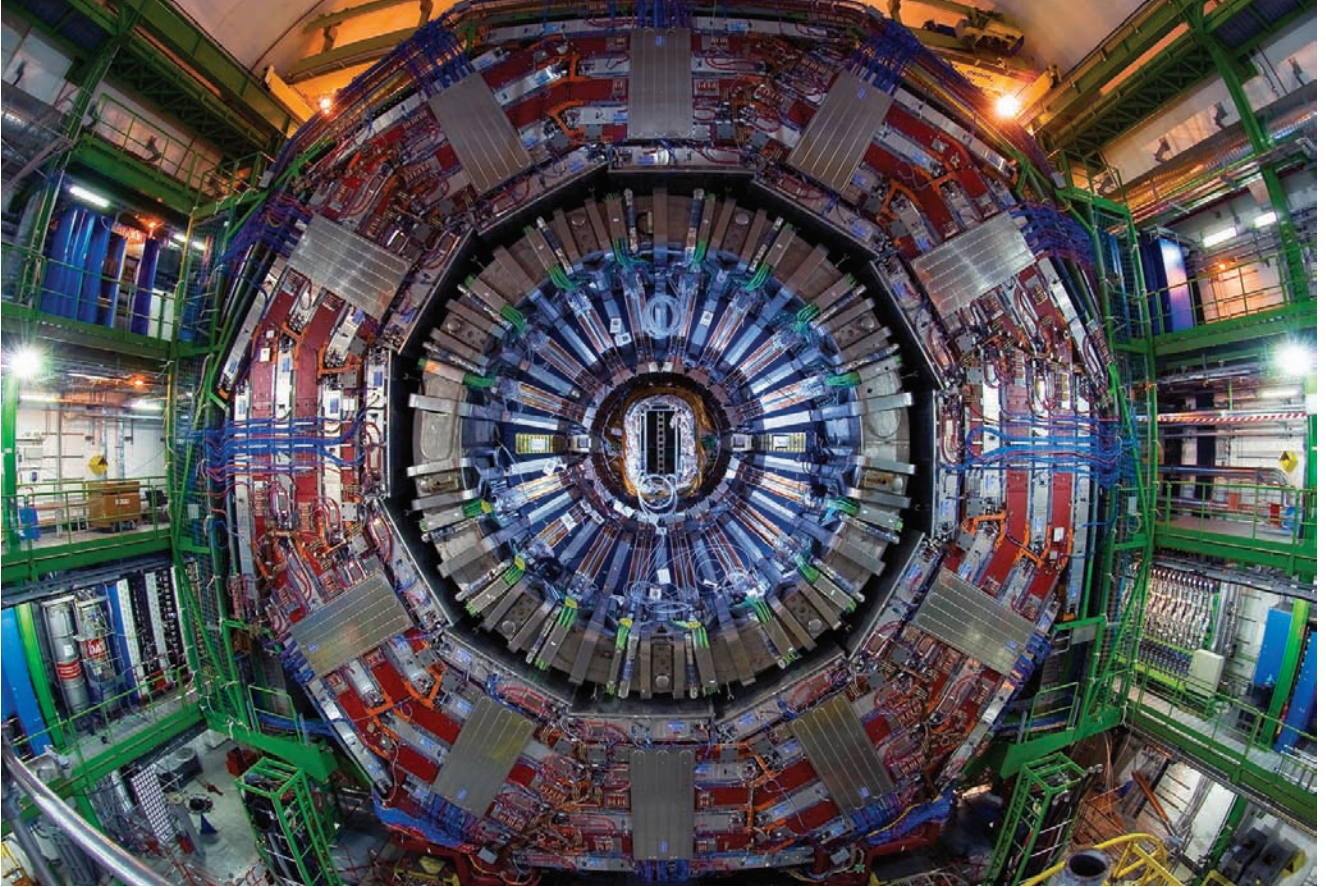


# YENİ FİZİK İÇİN DÜĞMEYE BASILDI



**Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN) 10 Eylül 2008’de, tarihi günlerinden birini yaşadı. Yapımı yaklaşık 15 yıldır süren Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider - LHC) proton demetlerini, sorunsuz bir şekilde içinde döndürmeye başladı. 10 Eylül sabahı CERN’ün kontrol odasındaki gergin ve heyecanlı bekleyişin yerini saat 10:28’de (yerel saatle) sevinç alkışları aldı. Projenin bu aşamasında proton demeti, hızlandırıcının içinde önce saat yönünde sonra da saat yönünün tersinde tam bir tur attı. Proje lideri Lyn Evans, Dünya’nın en büyük hızlandırıcısının, yeni fizik keşifleri için hazır olduğunu Dünya’ya ilan etti. Böylece birkaç yıl gecikmeyle de olsa projenin ilk aşaması başarıyla tamamlanmış oldu.**

Bu kadar karmaşık bir makineyi çalıştırmak, öyle bir düğmeye basarak gerçekleştirilecek bir işlem değildir. Protonların LHC’de dönmeye başlaması gerçekte uzunca bir sürecin sonucudur. Bu süreçte karşılaşılan bütün zorluklar yaklaşık 5000 fizikçi, mühendis ve teknisyenin çabasıyla aşıldı. Haftalar öncesinden başlatılan süperiletken

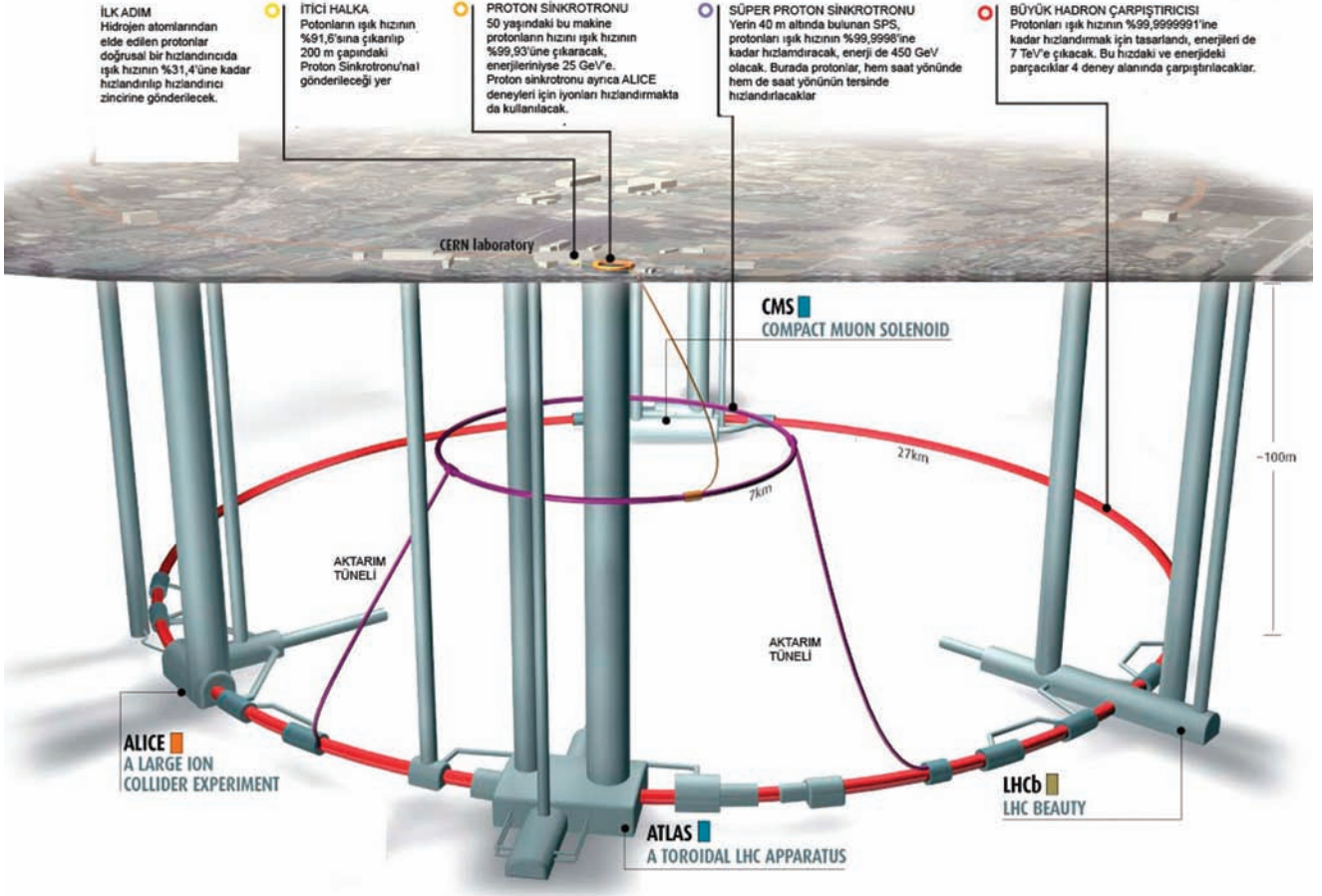
elektromıknatısları soğutma işlemi Ağustos ayında tamamlandı. 8 ve 22 Ağustos tarihlerinde yapılan başarılı iki ayrı senkronizasyon testinden sonra CERN Genel Direktörü Robert Aymar 25 Ağustos’ta, LHC’nin protonları döndürmeye 10 Eylül’de hazır olacağını açıkladı. 10 Eylül sabahı, birkaç küçük sorunun giderilmesinin ardından, so-

nunda protonlar saat 10 gibi LHC’de görünmeye başladı. Önce kısa turlar atan proton demeti, sistem hazır olunca LHC’de tam turlar atmaya başladı. Böylece ilk proton demeti, yerin 100 m altındaki 27 km’lik dairesel hızlandırıcıdaki yolcuğunu başarıyla tamamlamış oldu. Bu aşamada proton demetinin enerjisi ve yoğunluğu, olabilecek bir ta-



# LHC

## BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI



kim tersliklere karşı, düşük tutuldu. Bu denemede olabilecek en büyük problem, proton demetinin kontrolden çıkıp süperiletken elektromıknatlara zarar vermesiydi. Bu olasılık nedeniyle hızlandırılan toplardaki (bunch) protonların sayısı ve enerjisi düşük tutuldu. Her topakta yaklaşık iki milyar proton, 450 milyar eV enerjiyle LHC halkasında saat yönünde dolaştırıldı. Bu yoğunlukta ve enerjideki demetin süperiletken elektromıknatlara zarar vermediği, yani delikler oluşturmadığı önceden sınanmıştı.

## LHC'de Çok Sayıda İlk Gerçekleşti!

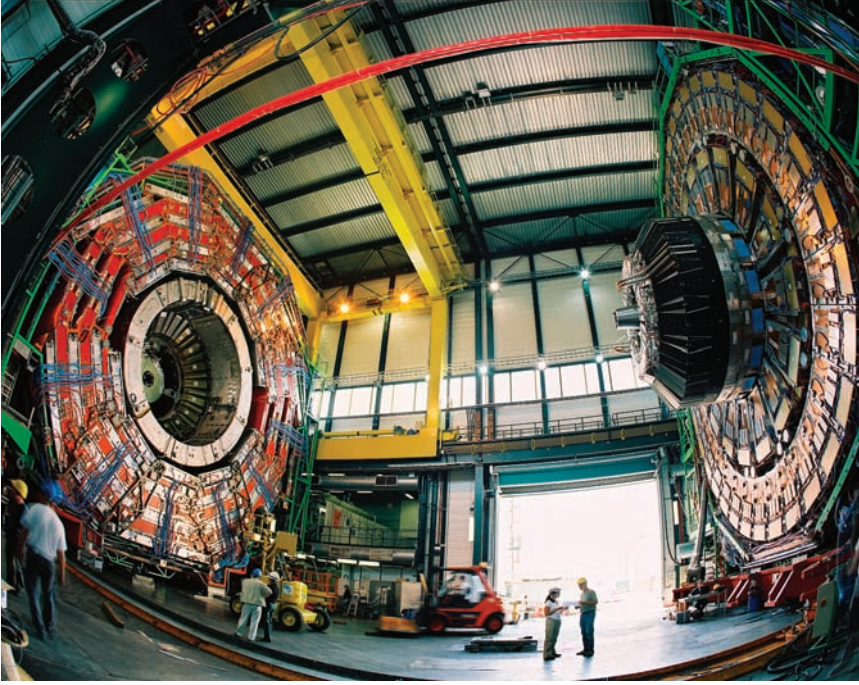
LHC'nin birçok özelliği onu önceki hızlandırıcılardan farklı kılıyor. İki proton demetinin ters yönde, iki ayrı halkada ama aynı elektromıknatsitimin-

de hızlandırılması ilk kez LHC'de gerçekleşti. Ayrıca süperiletken ve soğutma teknolojisinin en büyük çapta uygulandığı ilk yer de LHC. LHC bu durumuyla evrenin en soğuk ve süper yeridir.

Çarpıştırıcı, her bölümünde 154 çift-kutuplu ve 54 dört-kutuplu süperiletken elektromıknatsit bulunan, sekiz bölümden oluşuyor. Çift-kutuplu elektromıknatsitler proton demetini vakum

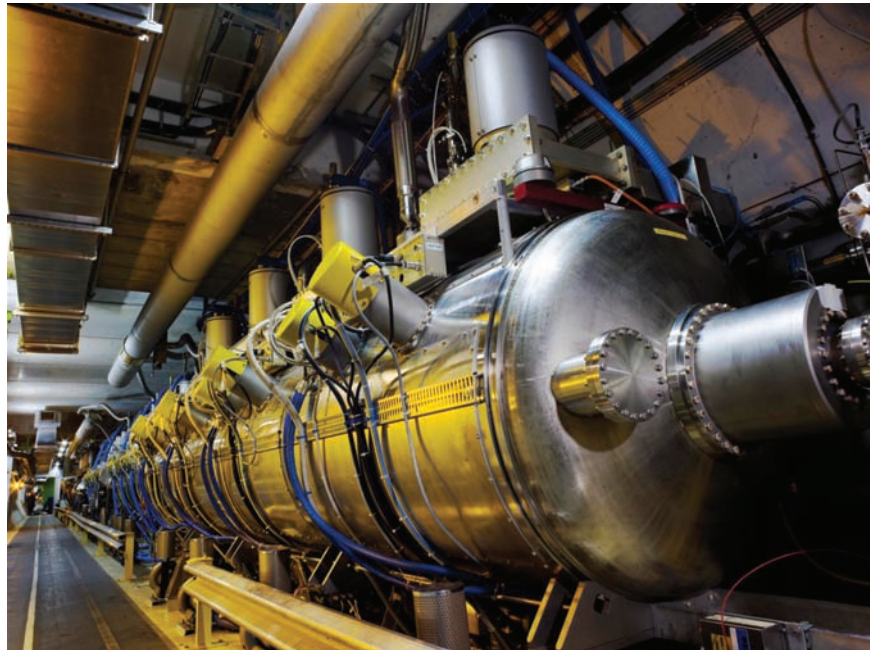






tüp içinde yörüngede tutarken dört-kutuplu elektromıknatıslar da demeti odaklıyor. Çift-kutuplu elektromıknatısların her biri 14,3 m uzunluğunda ve 35 ton (yaklaşık 7 fil kadar) ağırlığındadır. Elektromıknatısların yapımında 220.000 km uzunluğunda ve 6 mikron kalınlığında (bir saç telinin kalınlığı yaklaşık 50 mikrondur) niobyum-titanyum (NbTi) teli kullanıldı. Yani bu uzunlukta bir telle Dünya'nın ekvatordaki çevresini 5,5 kez dolaşabilirsiniz. NbTi telinin süperiletkenlik özelliğini gösterebilmesi için  $-271,3^{\circ}\text{C}$ 'a kadar soğutulması gerekir. Bu sıcaklıkta, elektromıknatıslardan 11.700 A akım geçerek 8,3 Tesla'lık bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan Dünya'nın manyetik alanından 160.000 kez daha büyüktür. 27 km'lik tünel boyunca elektromıknatısların soğutulma işlemi LHC'nin en zorlu işlemlerinden biridir. Elektromıknatısların  $-271,3^{\circ}\text{C}$ 'a kadar soğutulması, üç aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada, 10.000 ton sıvı azot kullanılarak, elektromıknatıslar  $-193,2^{\circ}\text{C}$ 'a kadar soğutulur. Bu sıcaklıkta mıknatıslar büzülür. Metre başına 3 mm'lik bir çekme olur. Hızlandırıcıda gerçekleşen toplam çekme miktarı 80 m (bölüm başına 10 m) kadardır. Sistem bu büzüşmeyi telafi edecek şekilde tasarlanmıştır. Soğutmanın ikinci aşamasında, 60 ton sıvı helyum elektromıknatısların içine pompalanır ve elektromıknatısların sıcaklığı  $-268,7^{\circ}\text{C}$ 'a düşürülür. Bu işlem için her biri 18 kW gücünde (evlerde kul-

landığımız buzdolapları, yaklaşık 100 W'tır) sekiz büyük buzdolabı kullanılır. Son olarak da tüplerdeki sıvı helyumun basıncı düşürülerek sıcaklık  $-271,3^{\circ}\text{C}$ 'a indirilir. Bu işlem toplamda yaklaşık 3 hafta sürüyor. Elektromıknatısların soğutulması kadar önemli bir başka işlem de tüplerin içindeki havanın boşatılması ve ultra-yüksek vakumun oluşturulmasıdır. Ultra-vakum, protonların tüpün içindeki gazlarla etkileşmesini önlemek için gerekir. Büyük pompalarla, tüpün içindeki havanın basıncı 1 atmosferin 10 trilyonda birine düşürülür. Bu basınç Ay'ın yüzeyindeki basınçtan 10 kat daha düşüktür.



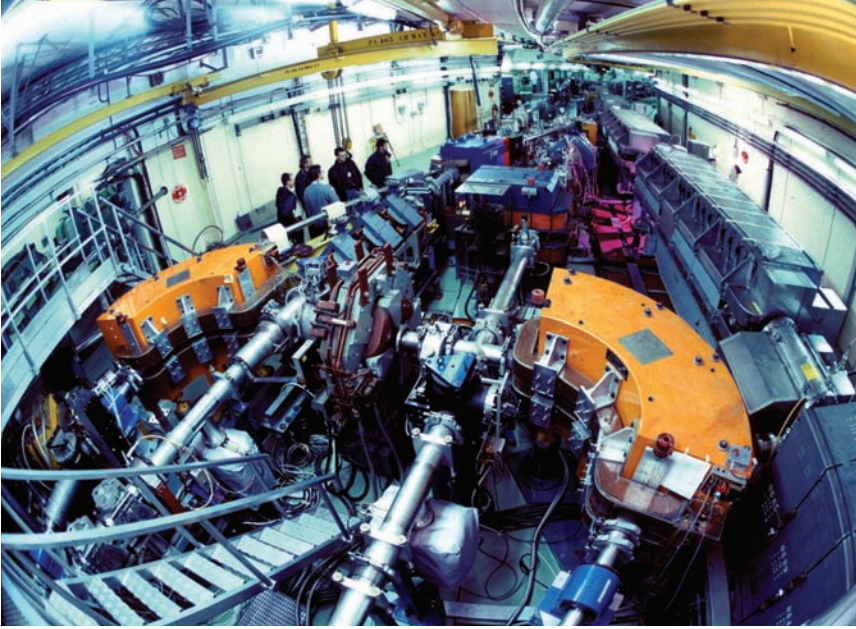
LHC'nin bir başka önemli sistemi de RF (radyo frekansı) birimidir. Proton demetini topaklar halinde hızlandırmak için kullanılan 16 tane RF birimi,  $-268,7^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta çalışır ve her biri 400 MHz'de, 5 MV/m'luk elektrik alan üretir. Protonlar RF birimlerinden her geçişte, bu elektrik alanın etkisiyle hızlanır.

## LHC'de Protonlar Çok Hızlı Koşacak

Çarpıştırıcı tam güce çalıştığında, protonların enerjisi 7 TeV'e çıkacak. Yani ışık hızının %99,999'una ulaşacak olan protonlar her saniye 11.245 kez LHC halkasının çevresini turlayacak. Protonlar bu enerjiye ulaşmadan önce uzun ve ince yollardan geçecek.

CERN'deki hızlandırıcı kompleksinin başlangıç noktası iyon kaynağıdır. Bu aşamada hidrojen atomları iyonize edilerek, proton ve elektronlara ayrıştırılır. Günlük kullanılan hidrojen miktarı öyle kilolarca değil, yalnızca 2 nanogramdır (bir gramın milyarda ikisi kadar). Ayrıştırılan protonlar doğrusal hızlandırıcıda (Linac2) hızlandırılarak enerjileri 50 MeV'e çıkarılır. Protonlar, hızlandırıcı kompleksinin en küçük dairesel hızlandırıcısı olan PSB'da (Proton Synchrotron Booster) 1,4 GeV'lik enerjiye ulaşabilir. Sonra PS hızlandırıcısına (Proton Synchrotron) aktarılan proton demetinin enerjisi 25 GeV'e çıkarılıp SPS'e (Super Proton Synchrotron)





yönlendirilir. Enerjileri 450 GeV'e ulaşan protonlar LHC'deki iki halkaya geçirilir ve 7 TeV'e kadar hızlandırılıp çarpıştırılır. Proton demetlerinin LHC'de bu enerjiye ulaşması yaklaşık 20 dakika sürer.

LHC'de bir protonun ulaşacağı 7 TeV'lik enerjiyi günlük yaşamımızdaki enerjilerle karşılaştırsak, bunun korkulacak bir enerji olmadığını görürüz. Bu enerji, ancak bir arının uçarken harcadığı enerji kadardır. Dolayısıyla, LHC'de iki protonun çarpışmasını iki arının kafa kafaya çarpışması şeklinde düşünebiliriz. Bu iki çarpışma arasındaki en önemli fark LHC'de bu enerjinin, 1 cm'nin trilyonda biri kadar bir alana sıkıştırılacak olmasıdır. Öte yandan hızlandırıcının içinde trilyonlarca proton aynı anda hızlandırıldığı için halkada dolaşan toplam enerji çok büyüktür. Hızlandırıcı en yüksek enerjisinde çalışmaya başlayınca her iki halkada dolaşacak toplam enerji miktarı 725 milyon Joule'a ulaşacak. Bir ton bakırı eritmeye yetecek olan bu enerji, bir sorun oluştuğunda (proton demetinin yörüngeden çıkması gibi) elektromıknatıslar yardımıyla güvenli bölgeye, grafit soğurucu içine yönlendirilip soğurulabilmektedir. Bu enerjiden daha büyüğü süperiletken elektromıknatıslarda depolanacak. Yalnızca çift-kutuplu elektromıknatıslarda depolanan toplam enerji miktarı yaklaşık 10 milyar Joule'dur. Bu enerji, 2,4 ton TNT'nin patlamasıyla açığa çıkacak enerjiye eşittir. Bu enerjinin kontrol edilebilmesi için her bölümün güç ünitesi birbirinden

bağımsız tasarlanmıştır. Dolayısıyla bir bölümde oluşabilecek bir sorun öteki bölümleri etkilemeyecektir. Ayrıca bir sorunun ortaya çıkması durumunda mıknatıslardaki enerjinin soğurulabilmesi için direnç sistemi devreye girmektedir.

Proton demeti, her birinde 100 milyar proton içeren 2808 topaktan oluşuyor. Proton topakları yaklaşık 7 m aralıklarla hızlandırıcıda dönecek. Büyüklüğü bir toplu iğne kadar olan topakların kalınlığı hızlandırıcının içinde değişebilir. Sıkışıp genişleyebilen topağın çapı, çarpışma noktasında 16 mikron kadar olacaktır. Topağı sıkıştırma-  
daki amaç, proton demetleri karşılaştığında oluşacak etkileşim sayısını artırmaktır.

LHC'de ayrıca kurşun iyonları da hızlandırılacak. Kurşun iyonlarının hızlandırılması protonların hızlandırılma-

sından çok farklı değil. Kurşun iyonları, arı kurşunun yüksek sıcaklıkta buharlaştırılmasıyla elde ediliyor. Oluşan kurşun iyonları, çekirdek başına 4,2 MeV'lik enerjiye ulaşınca, düşük enerjili iyon halkasına (Low Energy Ion Ring, LEIR) transfer ediliyor. LEIR'de hızlandırıldıktan sonra PS'e ve ardından da SPS'e geçen iyonlar, çekirdek başına 177 GeV'lik enerjiye ulaşıyorlar. Son olarak, SPS'den LHC'ye geçirilip, hızlandırılan kurşun iyonlarının enerjileri, çekirdek başına 2,7 TeV oluyor. Saniyede 10.000 kez keşitirip çarpıştırılacak olan kurşun demetlerinin ışıklığı proton demetinkinden 10 milyon kez daha az olacak.

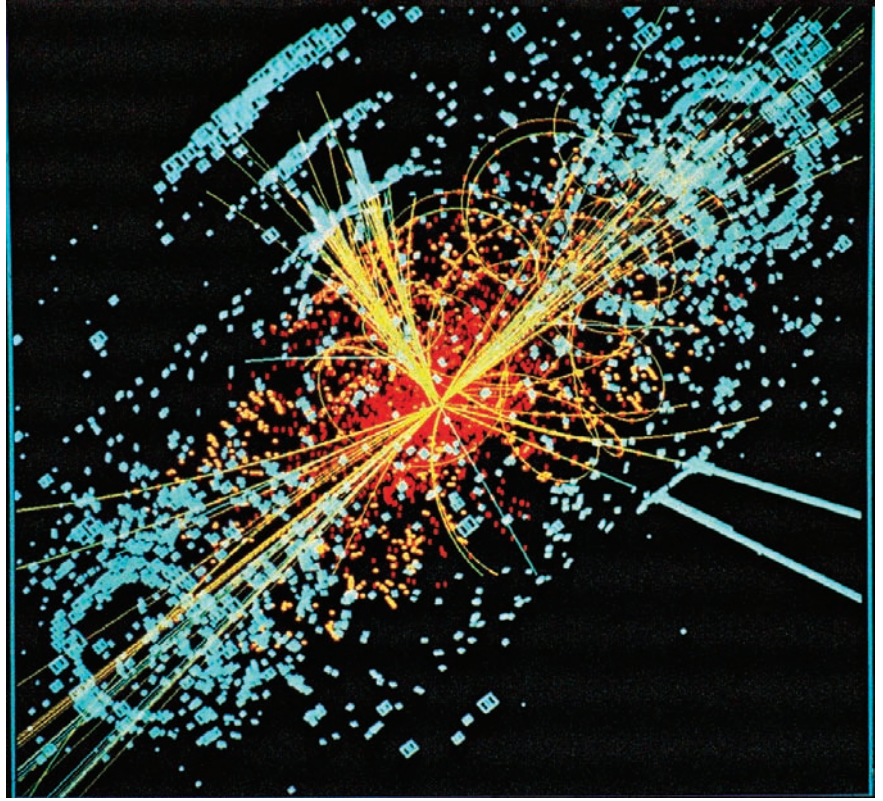
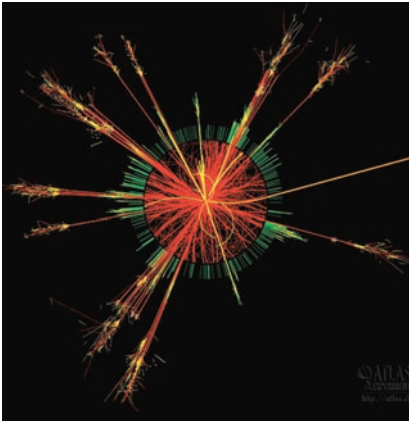
## Toplanacak Veriler Üst Üste Konulsa, LHC'den Ay'a Yol Olur!

LHC'deki iki halkada ters yönde döndürülen proton demetleri 25 nanosaniyede bir keşitirilip detektörlerin içerisinde çarpıştırılacak. Saniyede 600 milyon etkileşimin oluşması bekleniyor. Yüz milyonlarca kanaldan akacak bilgiler milyonlarca DVD'yi doldurmayaya yetecek kadar. Bu kadar bilgiyi kaydetmek olanaklı olmadığı için etkileşimler, tetikleme ve veri toplama sistemi tarafından filtre edilip kaydedilecek. Birkaç kez filtrelendikten sonra kaydedilen veri miktarı deney başına saniyede 100-150 olay şeklindedir. İlk filtreleme aşamasına, Düzey bir (Level 1 - L1) denir. Bu aşamada, yalnızca birkaç alt detektörden (kalorimetre ve muon spektrometre) alınan verilerin hızlı (<4





mikrosaniye) bir şekilde analizi sonucunda olayın bir sonraki aşamaya geçip geçmeyeceğine karar verilir. Bu elemeyen geçen olay sayısı topak başına ortalama 50.000'dir. L1'den geçen olaylar bir sonraki filtrelemede daha dikkatli incelenir. Yüksek Seviye Tetikleme (High Level Trigger -HLT) denen bu aşamada, bütün alt detektörlerden gelen veriler yaklaşık 10 mikrosaniye içinde analiz edildikten sonra, olayın kabul edilip edilmeyeceğine karar verilir. Çok sıkı filtrelemeye karşın kaydedilmesi gereken veri miktarı çok büyüktür. Her yıl toplam 150 milyon GB'lik verinin depolanması planlanıyor. Yani yılda üç milyon DVD boyutunda verinin depolanması gerekecek. LHC'de veri işleme ve depolama ortamı oluşturmak için LHC Hesaplama Grid'i (LCG) geliştirildi. Grid'i (adı enterkonnekte sistemden geliyor) bilgisayarların hesaplama ve veri depolama kapasitelerini İnternet üzerinden paylaşarak daha verimli kullanıma olanak sağlayan servis olarak tanımlayabiliriz. Katmanlardan (Tier) oluşan bu yapıda, bilgisayar merkezleri kapasiteleri doğrultusunda ağda farklı fonksiyonları yerine getirirler. Bu yapıda CERN ilk katmandır ve Tier0 olarak adlandırılır. Detektörlerde oluşacak veriler önce Tier0'a aktarılıp depolanacak. Burada hızlı bir çözümleme aşamasından sonra ham ve işlenmiş veriler 12 adet Trier1 merkezine (bunlardan biri yine CERN'dedir) saniyede 10 Gb hızla aktarılacak. Böylece verinin iki kopyası arşivlenmiş olacak. Bu merkezlerde yeniden çözümlenecek veriler fiziksel analiz çalışmaları için Tier2 merkezlerine (2,5 Gb/s hızla) gönderilecek. Ayrıca çok sayıda Tier2 merkezinde üretilen simülasyon verileri de Tier1 merkezlerine aktarılıp depolanacak. Ti-



er2'ler Tier1 merkezlerine bağlı olarak çalışacak ve çoğunlukla modelleme ve veri analizi çalışmaları için kullanılacak. Kullanıcıların, verilere ulaşması Tier2 merkezleri üzerinden olacak. Türk Ulusal Grid Altyapı (TUGA) Projesi kapsamında (TÜBİTAK-ULAKBIM tarafından desteklenen) ULAKBIM (TR-01-ULAKBIM ) ve ODTÜ'de (TR-03-METU) kurulmuş olan TR-Grid bilgisayar altyapısı, LCG'de Tier2 olarak görev yapabilecek.

## Detektörlerin Çalışması

Atom altı fizik araştırmalarının, dev detektör sistemleriyle yapılması ilk başta şaşırtıcı gelebilir. Bu aslında etkileşim enerjisinin çok büyük olmasından kaynaklanıyor. Etkileşimde oluşan parçacıkların enerjilerini ve momentumlarını yüksek duyarlılıkla ölçmek için bu parçacıkların, enerjilerinin tamamına yakınına detektör ortamına aktarmaları gerekir. Bunu gerçekleştirmenin yolu da kimi alt detektörleri çok ağır ve yoğun malzemelerden yapmaktır. Bu da detektörün büyüklüğünü ve ağırlığını önemli ölçüde artırır.

LHC üzerinde yapılan dört büyük detektörlere gelince, bunlar: A Large Ion Collider Experiment (ALICE), A Torodial LHC Apparatus (ATLAS), Com-

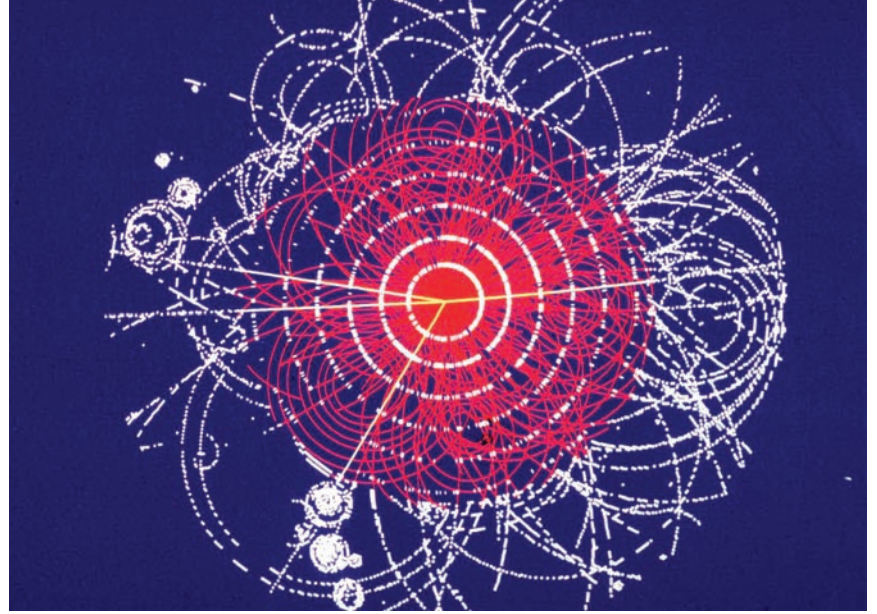
pact Muon Selenoid (CMS), Large Hadron Collider beauty (LHCb). ALICE, ATLAS ve CMS detektörlerinin de çarpıştırıcı tipi detektör tasarımı var. Hermetik ya da silindirik soğan olarak da adlandırılan bu yapıda, detektörler etkileşim noktasını saracak şekilde yapılır. Bu yapıyı Rus matruşka bebekleri gibi düşünebilirsiniz. Klasik hermetik detektörler dört temel alt sistemden oluşur. Bunlar içten dışa doğru iz takip edici (Tracker), elektromanyetik kalorimetre, hadronik kalorimetre ve muon spektrometresidir. Bu geometride, etkileşimde oluşan parçacıkların tamamına yakını detektör içinden geçerek iz bırakır. Ama nötrinolar gibi çok zayıf etkileşen yüksüz parçacıklar, detektörden geçse bile iz bırakmaz. Onların varlığı birtakım kinematik analizlerin sonucunda ortaya çıkar. İdeal bir detektör, çarpışmada oluşan her parçacığın yükünü, yönünü, momentumunu ve enerjisini ölçebilmelidir. Ayrıca bu ölçümleri çok hızlı yapıp kaydetme yeteneği olmalıdır. Doğal olarak hiç bir detektör ideal değildir. Her ölçümü belli bir çözünürlük ve duyarlılıkta yapabilirler. Detektörün çözünürlüğü, birtakım testlerle ve benzetim çalışmalarıyla belirlenmelidir. Bu da detektör tasarımının ve yapımının en önemli aşamalarından biridir.



## LHC'deki Detektörler

Bu dört büyük detektörü çok daha yakından tanımaya ATLAS ile başlayalım. ATLAS deneyine 35 ülkeden yaklaşık 3000 fizikçi katılıyor. Ankara ve Boğaziçi üniversitelerinden yaklaşık 20 fizikçi bu deneyde ülkemizi temsil ediyor. ATLAS, dört detektörün en büyüğüdür. 25 m çapında, 46 m uzunluğunda ve 7000 ton ağırlındaki ATLAS detektörü genel amaçlı bir detektör olarak tasarlanmıştır. Klasik silindirik soğan tasarımında olan ATLAS detektörünün en iç bölümüne iz detektörleri, onu saracak şekilde elektromanyetik ve hadronik kalorimetre ve en dış bölümüne de muon odacıkları yerleştirildi. 2 Tesla'lık manyetik alan üreten solenoidin içine yerleştirilmiş izleyici sistemi, üç alt detektörden oluşur. Bunlar piksel, yarı-iletken izleyici ve geçiş radyasyon izleyicisi şeklindedir. Elektromanyetik kalorimetre (ECAL) foton, elektron ve pozitronların enerjilerini ve yönlerini saptamak için tasarlanmıştır. ECAL, kurşun soğurucu plakaların arasına yerleştirilmiş sıvı argondan oluşan bir örnekleme kalorimetresidir. Hadron (kuvvetli etkileşim yapabilen parçacıklar) duşlarının enerjilerini ve yönlerini ölçecek olan hadronik kalorimetre, izleyici ve elektromanyetik kalorimetreyi saracak şekilde tasarlanmıştır. Bir örnekleme kalorimetresi olan HCAL, soğurucu demir plakaların arasına yerleştirilmiş sintilatörden oluşur. En dış kısmına yerleştirilen muon sistemi, dört odacıktan oluşur. Muon sistemi muonları, yüksek çözünürlükle tanımlamak ve momentumlarını ölçmek için tasarlanmıştır. Momentum ölçümü için gereken yüksek manyetik alan, süperiletken toroit tarafından sağlanacaktır.

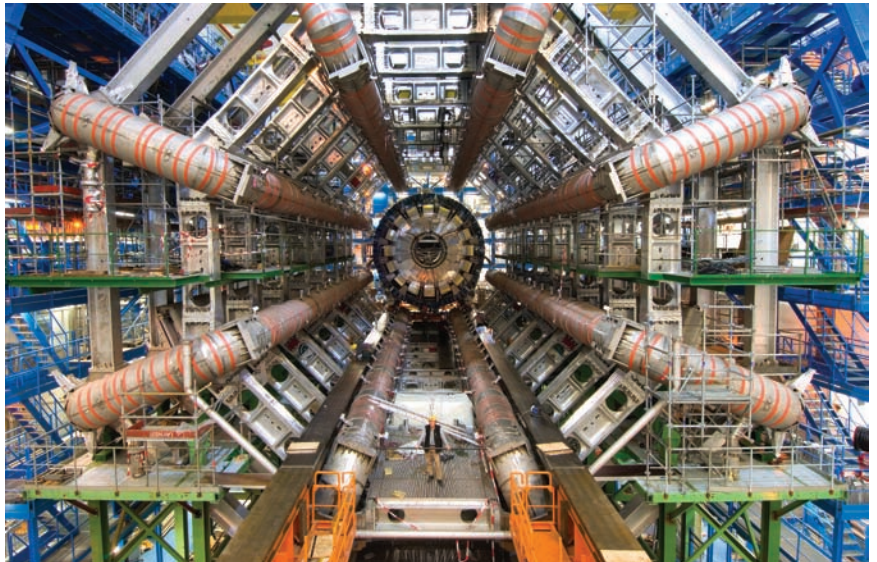
CMS de ATLAS gibi genel amaçlı bir detektör olarak tasarlanmıştır. Bu deneye 37 ülkeden yaklaşık 3000 fizikçi katılıyor. Türkiye'yi Boğaziçi ve Çukurova üniversiteleriyle ODTÜ'den 30 kadar fizikçi temsil ediyor. CMS, ATLAS detektöründen hacimsel olarak daha küçük ama ondan daha ağırdır. 22 m uzunluğunda 15 m çapında ve 12.500 ton ağırlığındadır. CMS detektörü de tıpkı ATLAS gibi hermetik yapıdadır. En iç bölümünde silikon-piksel ve silikon-mikro şerit detektörlerinden oluşan iz belirleme sistemi vardır. İz belirleme sistemini saran, elektromanye-



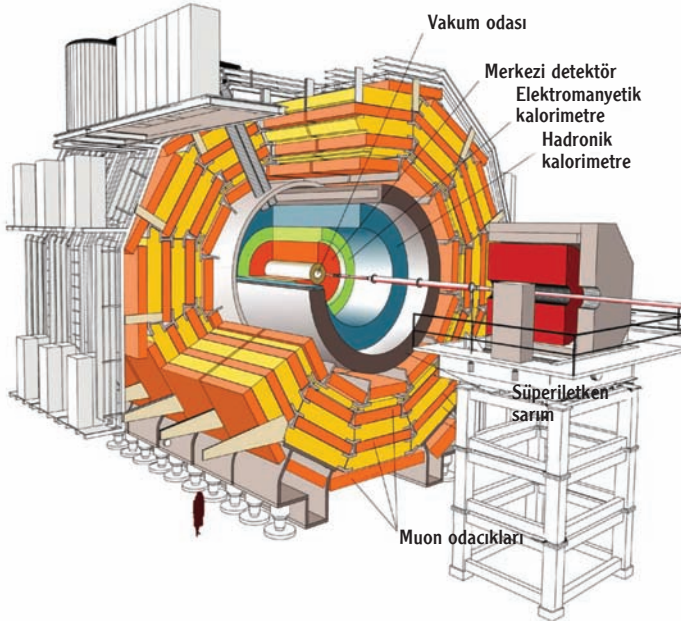
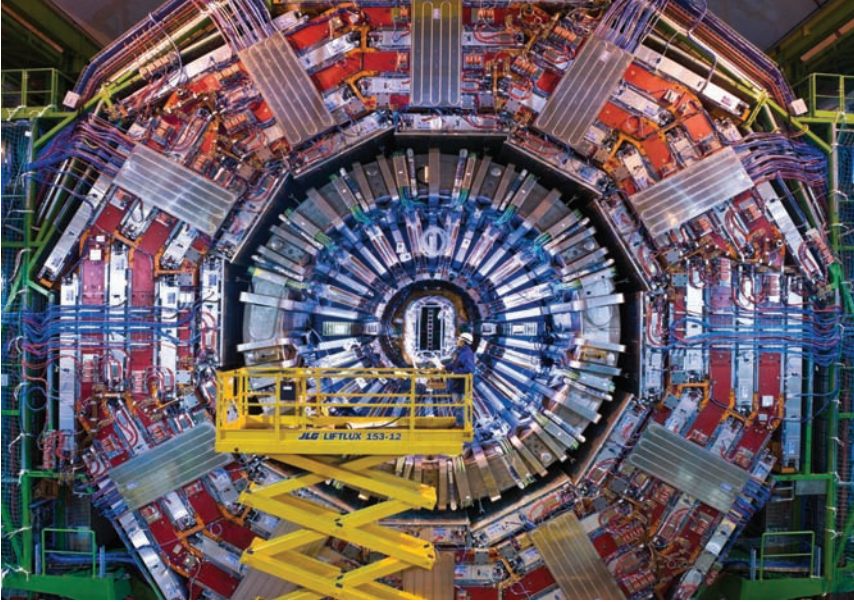
tik kalorimetre, kurşun tungsten kristallerinden yapılmış yüksek performanslı bir kalorimetredir. Elektromanyetik kalorimetreden hemen sonra gelen hadronik kalorimetre, merkezi ve ileri olmak üzere iki bölümden oluşur. Solenoidin içinde yer alan merkezi kalorimetre, silindirik geometride, bir örnekleme kalorimetresidir. Bu kalorimetrenin yapımında soğurucu olarak bakır, etken malzeme olarak da plastik sintilatör kullanılmıştır. İleri kalorimetreyse demir soğutucunun içine kuvars lif yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. CMS'nin en dış bölümünde yer alan muon sistemi, muonların saptanıp momentum ve yüklerinin yüksek duyarlılıkla ölçülebilmesi için tasarlanmıştır. Üç odacıktan oluşan muon detektörü için gereken yüksek manyetik alanı, süperiletken solenoid sağlar. Solenoid,

demet eksenini yönünde 4 Tesla'lık bir manyetik alan üretir.

Öteki üç deneyden farklı olarak iyon-iyon çarpışmalarını inceleyecek olan ALICE deneyinde, 30 farklı ülkeden yaklaşık 1000 fizikçi görev almaktadır. Yıldız Teknik Üniversitesi'nden bir grup da (henüz deneye tam üye değil), ALICE deneyindeki çalışmalara katılıyor. ALICE detektörünün büyüklük ve ağırlık açısından ATLAS ve CMS'den geri kalır yanı yok. 16 m yüksekliğinde, 16 m çapında ve 26 m uzunluğundaki bu detektör 10.000 ton ağırlığındadır. Bu haliyle ALICE, Eiffel kulesinden daha ağırdır. Araştırılacak fizik konusunun getirdiği ön koşullar dikkate alınarak tasarlanan ALICE detektörü, toplam 18 alt detektör sisteminden oluşuyor. Kurşun-kurşun çarpışmasında oluşacak parçacık sayısı (on binlerce) göz



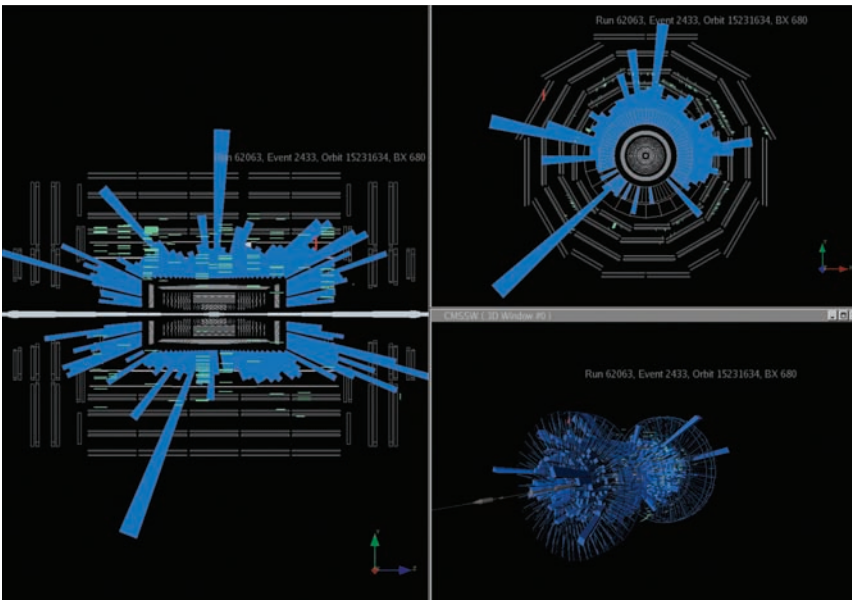




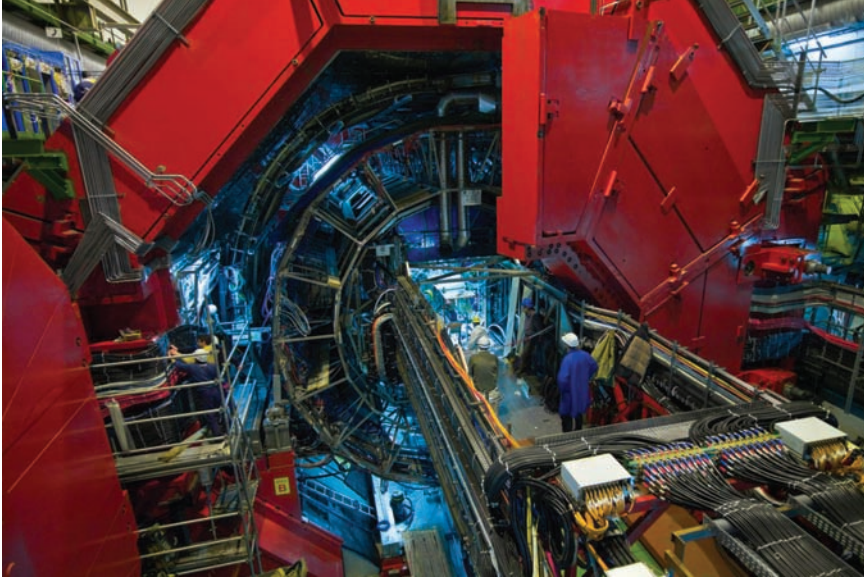
önüne alındığında, iz belirleme sisteminin bunlarla baş edebilecek özellikte olması gerekiyor. Bu amaçla, parçacık belirleme ve tanımlamada bilinen tüm teknikler ALICE’de kullanıyor. Detektör yapım giderlerinden tasarruf sağlamak için ALICE, L3 (LEP hızlandırıcısı üzerindeki deneylerden biriydi) detektörünün eski solenoidini kullanıyor.

LHCb de ALICE deneyi gibi özel bir fizik konusu için tasarlanmış bir detektör. LHCb deneyine 15 ülkeden 700 kadar fizikçi katılıyor. LHC’deki dört detektörün en küçüğü olan LHCb’nin ağırlığı yaklaşık 1600 ton. Hafif olmasının nedeni, tek kol üzerine yapılmış olmasından ve mıknatis sisteminin farklılığından kaynaklanıyor. Bu nedenle LHCb’nin yapısı öteki üç detektörden çok farklı. Hermetik olmayan detektör, yalnızca bir proton demetinin yönünü kapsayacak şekilde tasarlanmış. Bu şekilde sabit hedef detektörüne benziyor. Çok iyi iz belirleme ve parçacık tanımlama sistemleriyle donatılan LHCb detektörü, B-bozonlarının bozunum noktalarını ve bozunumda oluşan parçacıkların yönlerini çok yüksek duyarlılıkla belirleyebilecek. Ayrıca gelişmiş parçacık tanımlama sistemi sayesinde çarpışmada ve bozunumda oluşan parçacıkları yüksek duyarlılıkla tanımlayabilecek. Örneğin pion ve kaon ayrımını, 2-100 GeV momentum aralığında, çok yüksek duyarlılıkla yapabilecek. Öte yandan, momentum ölçümü için gerekli olan manyetik alanı, çift-kutuplu elektromıknatis üretecek. Süperiletken mıknatis olmamasına karşın bu özel elektromıknatis 4 Tesla’lık bir manyetik alan üretebiliyor.

Dört ayrı çarpışma noktasına yerleştirilen bu dört detektörün yapımı 10 Eylül’den önce tamamlandı. Proton-proton çarpışmaları başlamadan önce bu büyük ve karmaşık yapıların tam anlamıyla hazır olabilmeleri için binlerce fizikçi büyük çaba harcadı. Detektörlerin her parçası her ne kadar smandıktan sonra yerleştirilmiş olsa da asıl zorluk bütün parçaların uyum içinde çalıştırılması. Bunu sınamak amacıyla yerin 100 m altına kadar süzülüp, detektörlere ulaşan kozmik parçacıklar kullanıldı. Bu veriler detektörün bir bütün halinde, gerilim kaynağından veri toplama ünitesine kadar, doğru çalışıp çalışmadığını anlamak açısından çok yararlı oldu. Ancak asıl sınav protonlar





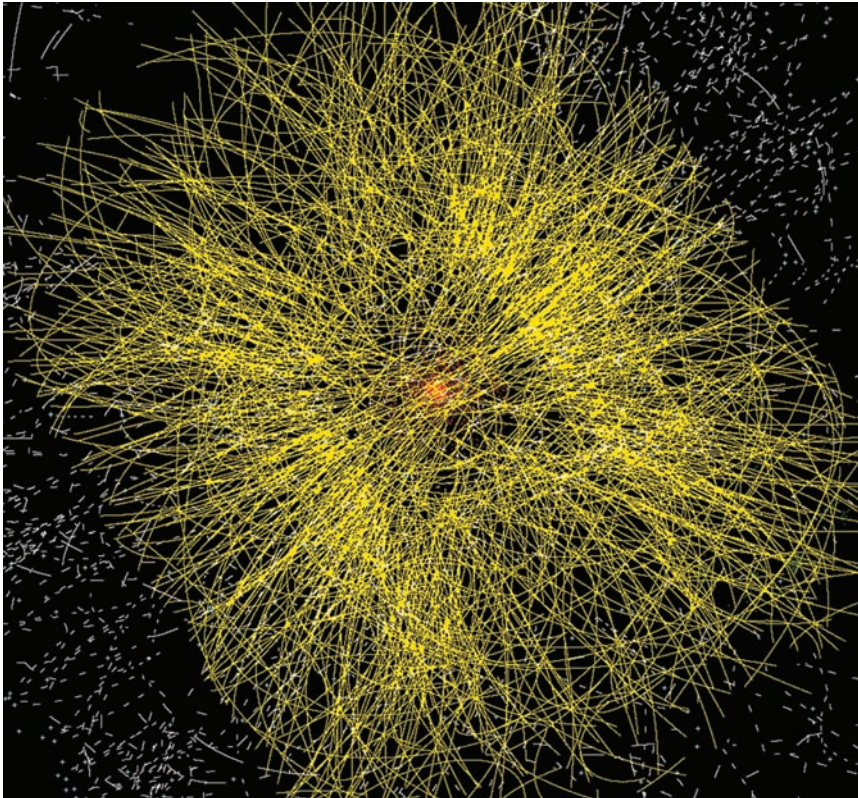
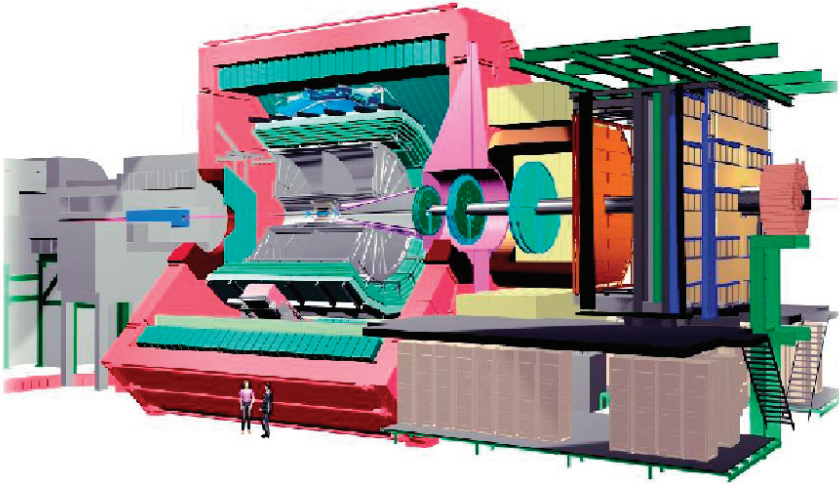


çarpıştığında verilecek ve detektörlerin en son kalibrasyonları ve hizalamaları yapılacak.

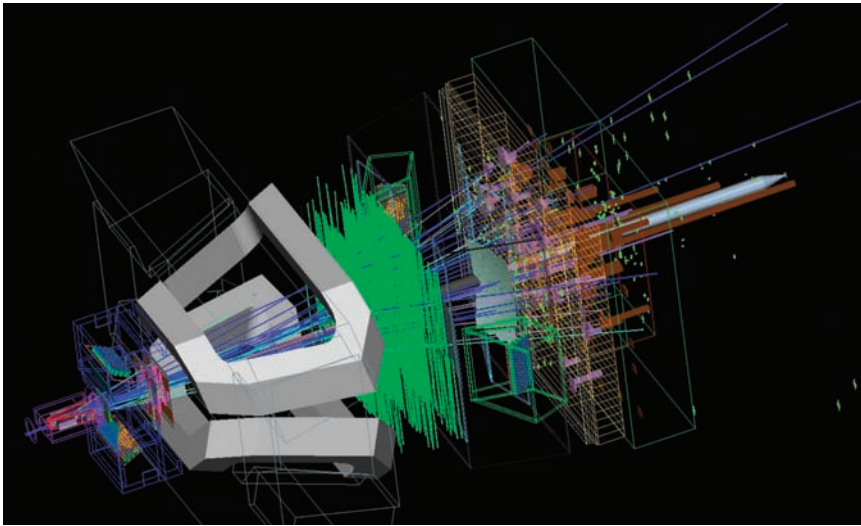
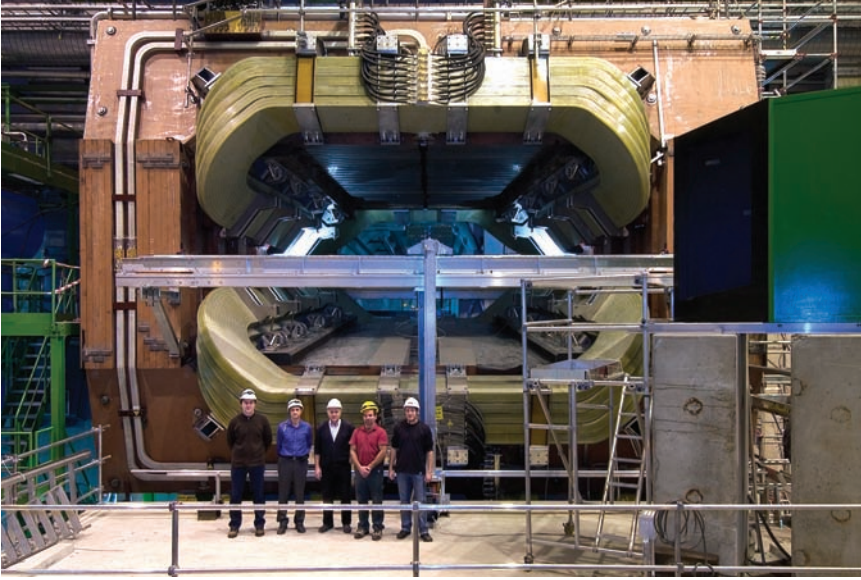
## Bu Yüzyıl Keşifler Yüzyılı Olabilir!

Üzerinde çalışılması planlanan yeni fizik olaylarına gelince, liste çok uzun. Aslında bu deneylerde elde edilecek sonuçların tamamı çok önemli; çünkü şimdiye kadar erişilmemiş bir enerji bölgesinde veri toplanacak. Bu kadar yüksek enerjide neler olabileceğini tam anlamıyla bilmiyoruz. Birtakım sürprizlere hazırlıklı olmakta yarar var.

Doğadaki dört kuvvetten (kütleçekimi, elektromanyetik, zayıf çekirdek ve güçlü çekirdek) üçünün (elektromanyetik, zayıf çekirdek, ve güçlü çekirdek) kuantum kuramı olan Standart Model, doğanın işleyişini anlamaya yönelik önemli katkılar sağladı. Standart Model çok sayıda deneyde sılandı. Elde edilen sonuçlar modelin öngörülerini doğruladı. Nitekim Standart Model'in fikir babaları Sheldon Glashow, Abdus Salam ve Steven Weinberg deneysel kanıtların bulunmasından sonra, 1979'da Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar. Ama bu modelin kendi içinde tam anlamıyla tutarlı ve doğru olabilmesi için bir parçacığın daha deneysel olarak gözlemlenmesi gerekiyor. Zayıf etkileşimleri duyan bütün parçacıklarla etkileşime girerek onlara kütle kazandıran bu parçacık ünlü Higgs bozonu. 1966'da İskoçyalı fizikçi Peter Higgs'in geliştirdiği mekanizmanın ürünü olan Higgs parçacığı yıllardır hem kuramsal hem de deneysel alanda bilim insanlarını peşinden koşturuyor. Son olarak Tevatron hızlandırıcısındaki (ABD'de Fermilab da bulunan dairesel bir parçacık hızlandırıcısı) CDF ve D0 deneyleri (Tevatron hızlandırıcısı üzerindeki deneyler) Higgs'i avlayamadı ama daha pes de etmediler. Bu deneylerde yapılan analizler Higgs'in kütlesinin 170 GeV/c<sup>2</sup>den daha ağır olduğu yönünde. Temel sorun Higgs'in kütlesinin ne olduğunun bilinmemesinden kaynaklanıyor. Standart Model bunu öngöremiyor. ATLAS ve CMS deneylerinin öncelikli amaçlarından biri de Higgs'i avlamak. Eğer Higgs varsa, büyük olasılıkla LHC'de ortaya çıkacaktır.







Aslında Higgs'in bulunması Standart Model'i tam anlamıyla kurtarmıyor. Çünkü model doğadaki temel parçacıkların nasıl etkileştiğini açıklamaya karşın neden sorularına yanıt vermiyor. Neden 12 tane madde parçacığı (6 lepton ve 6 quark) olduğunu ve bunların kütlelerinin neden birbirinden farklı olduğunu açıklayamıyor. Öte yandan yapılan çalışmalar dört kuvvetin Standart Model altında birleştirilemeyeceği yönünde. Dolayısıyla Standart Model'in ötesinde başka bir modelin varlığını birçok fizikçi kabul ediyor. Bu modellerden, ilk akla gelen Süper Simetri (SUSY). Bu model, Standart Model parçacıklarının her biri için bir kardeş parçacık öngörüyor. Yükleri aynı olan bu kardeş parçacıkların spinleri kardeşlerinkinden  $\frac{1}{2}$  kadar farklıdır. Yani her fermiyona (spin'leri buçuklu parçacıklar) karşılık bir bozon (spin'i tam sayı olan parçacıklar) ve aynı şekilde her bozona karşılık da bir fermi-

yon öngörüyor. Temel parçacık ailesinin kalabalıklaşması, Standart Model'in karşılaştığı sorunların çözümünü kolaylaştırıyor. Örneğin Standart Model'de sonsuz çıkan kimi hesaplar (tesir kesiti gibi) kardeş parçacıkların katkılarıyla Süper Simetri'de doğal olarak sonlu hale geliyor. En önemlisi SUSY'de kütleçekimi dışındaki üç kuvvetin birleştirilebilecek olması. SUSY ayrıca karanlık madde için de bir çözüm öngörüyor. Kararlı en hafif Süper Simetrik parçacık olan nötralino, karanlık madde için en kuvvetli aday. Yapılan astrofiziksel gözlemler ve hesaplar görünen madde miktarının, evrenin toplam enerjisinin yalnızca %4'ünü oluşturduğu yönünde. Daha gözlemlenmemiş ancak varlığını kütle çekim etkisiyle (gökadaların ve yıldızların dönme hızlarından) hissettiren karanlık madde miktarının %23 olduğu hesaplandı. Geri kalan %73 ise evrenin tamamını dolduran karanlık enerjiden

oluşuyor. SUSY için en önemli sorun öngördüğü parçacık ailesinin çok kalabalık olmasına (en yalın durumda 124 parametre içeriyor) karşın şimdiye kadar deneysel hiçbir ipucunun bulunmamış olması. ATLAS ve CMS deneyleri bu kalabalık ailenin üyelerinden en azından birkaçını avlamak için ilk günden beri büyük bir gayret gösterecek. Öte yandan çoklu boyutlar, kompozitlik ve 4. aile (4th family) gibi birçok egzotik model de yine bu iki deneyin av listesinde.

LHCb deneyi de yine Standart Model'in açıklayamadığı madde ve karşımadde asimetrisinin yeni kaynaklarını araştırarak. Büyük Patlama'dan hemen sonra madde ve karşımaddenin aynı kütle ve özelliklerle ancak ters elektrik yüküyle aynı miktarda oluştuğu düşünülüyor. Ama kaynağı tam olarak bilinmeyen asimetriden dolayı geriye yalnızca madde kaldı ve evrenin oluşmasını sağladı. Madde ve karşımadde arasındaki bu asimetri deneysel olarak gözlemlendi. Ancak ölçülen asimetri çok küçük. Dolayısıyla evrenin neden yalnızca maddeden oluştuğunu açıklamaktan da çok uzak. Benzer fizik programı olan BABAR (ABD'deki Stanford Doğrusal Hızlandırıcısında gerçekleştirilen B ve B-bar deneyi) ve BELLE (Japonya'daki yüksek enerji hızlandırıcındaki B ve B-bar deneyi) deneylerine göre LHCb'nin en büyük üstünlüğü yüksek enerjideki proton çarpışmalarından oluşan B mezonlarının üretim ve bozunum mekanizmalarını araştırarak olması.

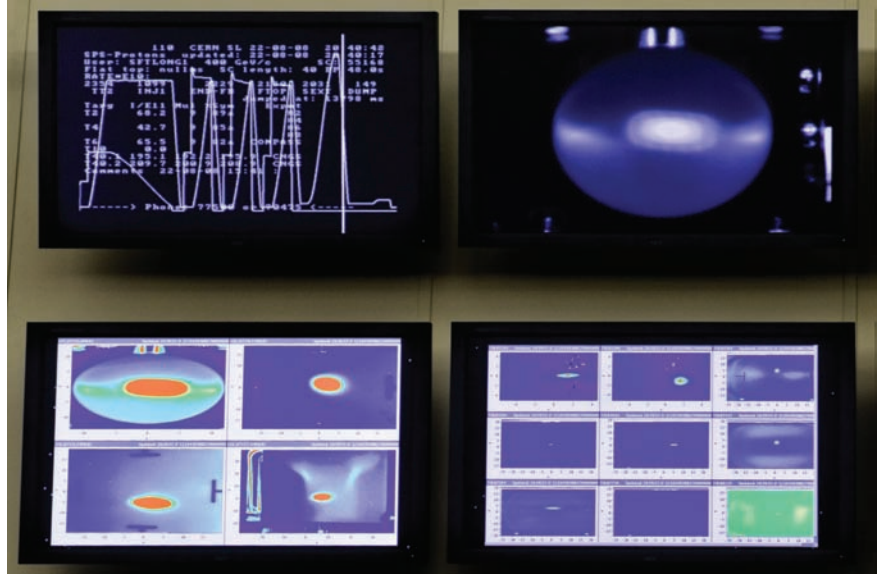
ALICE deneyiyse öteki üç deneyden farkı olarak ağır iyonları çarpıştırıp inceleyecek. Çok renkli bir fizik programı olan bu deney, referans veri olması açısından proton-proton etkileşimlerini de kaydedecek. Deneyin temel amacı kurşun iyonlarını çarpıştırarak 13,7 milyar yıl öncesinin koşullarını ALICE detektörünün ortasında oluşturmak. Büyük Patlama'dan hemen sonraki (mikrosaniye sonrası) çok sıcak (Güneş'in merkezindeki sıcaklıktan 100.000 kez daha sıcak) ve yoğun dönemde madde, kuark-gluon plazması halindeydi. Yani kuarklar ve gluonlar serbestçe hareket ediyorlardı. Bu dönemi anlamak maddenin oluşumuna ilişkin önemli sonuçlar verecek. Bunun gibi daha birçok konu ALICE'in fizik programında yer alıyor.



Bu dört büyük deneye ek olarak iki de küçük deney bu çarpışmalardan paylarına düşeni almaya çalışacak. Bu deneyler, Large Hadron Collider forward (LHCf) ve TOTal Elastic and diffractive cross section Measurement (TOTEM). CMS detektörünün yakınına yapılan TOTEM, proton-proton etkileşim tesir kesitini ölçecek. ATLAS detektörünün yaklaşık 140 m ilerisine yerleştirilen LHCf de proton-proton etkileşimlerinde oluşacak yüksüz parçacıkları inceleyecek.

## Yeni Fizik Nasıl Ortaya Çıkacak?

Bu sorunun yanıtını vermek kolay değil. Ama şu söylenebilir, var olan bilgilerimizle açıklayamayacağımız herhangi bir şey yeni fiziğin imzası olabilir. Bu 15 yıllık süreçte, fizikçiler bir yandan detektörlerini yaparken bir yandan da modelleme üzerine çalışmalar yaparak yeni fiziğin olası imzalarını çalıştılar. Hangi imzanın ne kadar verimlilikle oluşabileceğini hesapladılar. Yukarıda söz edilen bütün yeni fizik konuları, on binlerce satırlık bilgisayar programları yazılarak çok ayrıntılı çalışıldı. Verilerin akmaya başladığı ilk günden itibaren, analize nereden ve nasıl başlanılacağı çok iyi biliniyor. Yine de toplanan verilerin analizi, işin en zor yanı olacak. Her etkileşimde binlerce parçacığın oluştuğu düşünülürse, bunların içinden yeni fiziğin imzasını taşıyan etkileşimleri bulmak samanlıkta iğne aramaya benzeyecek. Bu analizler, bilgi, beceri ve sabır gerektirecek.



## Büyük Çarpışma Ne Zaman?

Herhalde herkes bundan sonrasında merak ediyor. Bu önemli testten sonra, önümüzdeki günlerde, proton demetlerinin aynı anda iki ayrı halkada döndürülmesi test edilecek. Ardından proton demetlerinin enerjileri aşama aşama yükseltilerek 5 TeV çıkarılacak. Bu enerjide gerçekleştirilen çarpışmada oluşan veriler detektörlerin kalibrasyonunda ve hizalanmasında kullanılacak. Hızlandırıcının ve detektörlerin duyarlı ayarlarının yapılmasından sonra 7 TeV'lik enerjide gerçekleştirilecek çarpışmaların 2009'da başlaması planlanıyor. Bu tarihten sonra deneyler yaklaşık 10 yıl boyunca veri toplayacak. Bu sürecin ilk beş yılından sonra detektörlerin bazı bölümlerinin yenilenmesi ve hızlandırıcının ışıklığının artırılması söz

konusu olabilecek. İlk sonuçların alınmasına gelince, bunun için kesin bir tarih vermek şu an olanaksız. Araştırılacak fizik konusuna göre bu süre birkaç ay ile birkaç yıl arasında değişebilir.

## İlk Sürpriz Kötü Oldu...

Her şey yolunda giderken ilk kötü sürpriz 19 Eylül'de yaşandı. Bu LHC'de gerçekleşen ikinci ciddi kazaydı. İlk kaza 27 Mart 2007'de üçlü süperiletken mıknatısın (üç tane dört-kutuplu elektromıknatısın oluşturduğu yapı) basınç testinde gerçekleşmişti. Uygulanan 20 atmosferlik basınca dayanamayan mıknatısların biri ve onun elektrik bağlantısı zarar görmüştü. O tarihten bugüne kadar ciddi bir terslik yaşanmamıştı. 19 Eylül'deki kazaysa ilk belirlemelere göre iki mıknatısın arasındaki bağlantıyı sağlayan güç kablosunda oldu. Bu kablunun erimesi sonucunda oluşan mekanik problem sıvı helyumun tünele yayılmasına yol açtı. Kazanın tam nedeni, sıvı helyumun güvenli bir şekilde tünelden boşalmasından sonra anlaşılacak. Öte yandan sorunun giderilmesi ancak mıknatısların yeniden ısıtılıp, uzmanların tünele girmesiyle sağlanabilecek. Düş kırıklığı yaratan bu kaza, bu karmaşık makineyi sorunsuz bir şekilde çalıştırmamanın hiç de kolay olmadığını bir göstergesiydi. Mıknatısların onarılıp yeniden soğutulması için iki aylık bir süreye gereksinim olduğu açıklandı. Görünen o ki ilk çarpışma için biraz daha sabredeceğiz.

Doç. Dr. Murat A. Güler  
ODTÜ Fizik Bölümü

