



2000'li Yıllara Doğru

Parçacık Fizigi

Maddenin temel yapıtaşı olan parçacıkları araştırmak, atomdan milyonlarca defa daha küçük parçacıkları incelemekle mümkündür. Çok küçük parçacıklar, ancak çok büyük ve karmaşık parçacık fizigi deney düzenekleriyle incelenebilir. Çok karmaşık deneyler ise, çok yönlü bilgisayar kullanımı ile kontrol edilebilir.

YÜKSEK ENERJİ PARÇACIK FİZİĞİ maddenin temelinde bulunan yapıtaşlarını ve bunların etkileşimlerini inceleyen bilim dalıdır. Son yıllarda yüksek teknoloji olanaklarını kullanan deneysel çalışmalar sayesinde maddenin yapısı hakkındaki bilgilerimiz hızla gelişmektedir. Kuramsal parçacık fizikinin atölyesi parçacık hızlandırıcı laboratuvarlarıdır. Parçacık hızlandırıcılarında yüklü parçacıklardan, çoğunlukla proton ve elektron, elektromanyetik alan içinde hızlandırılır ve yönlendirilir. Hızlandırılan bu parçacıklar ya sabit hedefler ile ya da birbirleri ile çarpıştırılır. Bu çarpışmalar sonucunda ortaya çıkan parçacıkların incelenmesi çeşitli detektör sistemleri ile gerçekleştirilir.

1950'li yıllardan başlayarak hızla gelişen hızlandırıcı ve detektör teknolojileri sayesinde çok yüksek enerjili çarpışmalar gerçekleştirilmiş ve bu çarpışmaların gelişmiş detektör sistemlerinde incelenmesi ile maddenin temel diye bildiğimiz atom çekirdek yapısında bulunan proton ve nötronların kuark

ismini verdiğimiz parçacıklardan oluşan bir alt yapısı olduğu anlaşılmıştır. Ulaşılan yüksek enerjilerde yapılan ölçümler protonun yarıçapının yüzde biri kadar olan uzaklıklarda maddenin yapısını araştırma olanağı sağlamıştır. Günümüzde leptonlar (elektron gibi) ve kuarklar en temel yapı olarak karşımıza çıkmıştır. Kuark ve leptonlar üç ayrı aile içinde toplanmıştır. Ayrıca bu temel parçacıkların incelenmesi ile evrende dört temel kuvvetin varlığı anlaşılmıştır, elektromanyetik kuvvet ve yerçekimi makro evrendeki kuvvetler, zayıf ve nükleer kuvvet ise mikro evrendeki kuvvetlerdir.

Hızlandırıcı laboratuvarları, kurulumalarının ve çalıştırılmalarının çok masraflı oluşları nedeniyle dünyada sayılı bir kaç merkezde bulunmaktadır, en önemlileri CERN (Cenevre), DESY (Hamburg), Fermilab-FNAL (Chicago) ve SLAC (California) olarak sayılabilir. Yüksek enerji fizikçileri bu merkezlerde büyük gruplar halinde deneysel çalışmalara katılmakta maddenin ve evrenin sırlarını aramakta çok önemli ve ilginç çalışmalar yapmaktadır.

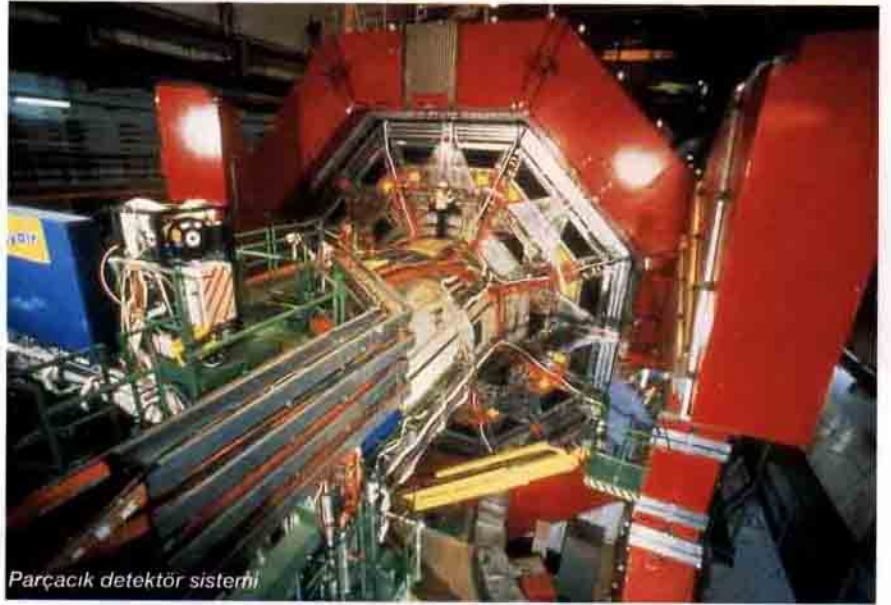
Kuramsal çalışmalardan ve parçacık hızlandırıcıları laboratuvarlarından son 40-50 yıl içinde alınan veriler günümüzde "Standart Model" diye adlandırığımız bir modelde şekillenmiştir. Maddenin temel yapıtaşları, özellikleri ve bunlar arasındaki ilişki ve etkileşimler bu modeli oluşturmaktadır. Elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvetler 100 GeV'lik (1 GeV=1 milyar elektron Volt (eV); 1 eV, 1 elektronun 1 Volt gerilim altında kazandığı enerjidir) enerji bölgelerinde tek bir kuvvet gibi davranmaktadırlar (elektrozayıf kuvvet). Bu sonuç deneysel olarak CERN'de gözlenmiştir. Daha yüksek enerjilerde kuvvetli nükleer güç ve yerçekiminin de elektrozayıf kuvvet ile birleşimi kuramsal olarak çalışılmaktadır. Standart modeldeki parçacıklardan üst kuarkın da FNAL'de gözlenmesi ile deneysel olarak tau-nötrino dışında temel parçacıkların hepsine doğrudan deneysel açıklama getirilmiştir. Tau-nötrino gözlenmesi ile ilgili deneyler ise CERN'de sürmektedir.

Standart model tümüyle doğanın davranış ve seçimlerine de uymamakta-

dır. Bunun bir örneği parçacık kütlelerinin ve etkileşim büyüklüklerinin modelin doğal sonuçları olmamaları, modele elle konulmuş değerler oluşlarıdır. Kuarkların ve leptonların kütlelerinin gerçek nedenlerini ve parçacıkların davranışlarındaki benzerliklerin nedenlerini tam olarak çözebilmiş değiliz. Maddenin kütlelerinin nedenlerini araştırma yolunda iki önemli deneysel yol mevcuttur. Birincisi en ağır temel parçacık olarak üst kuarkın bulunmasıdır. Diğeri ise standart modeldeki Higgs parçacıklarının bulunma arayışıdır. Higgs parçacıkları modele göre diğer parçacıklar ile değişik şekillerde etkileşim yaparak onlara kütlelerini kazandıran neden olarak ortaya atılmıştır. Şu ana kadar da öngörülen yapısı ile böyle bir parçacık günümüze kadar ulaşılan çarpıştırıcı enerjilerinde görülmemiştir.

Standart modeldeki bazı parametrelerin belirsizliğini ortadan kaldırmak ve ölçümlerin daha hassas yapılması için günümüzde yüksek enerji parçacık fiziğinde çok önemli ve büyük projeler yapılmakta ve başlatılmaktadır. Bunlardan birisi de dünyanın hemen hemen bütün yüksek enerji fiziği gruplarını içinde toplamış CERN'deki LHC (Large Hadron Collider) projesidir. LHC projesinin temel kuruluş nedenlerinden en önemlisi temel parçacıkların kütle kazanma mekanizmalarını açıklayabilecek olan Higgs parçacıklarının bulunması doğrultusundadır.

Cenevre'deki CERN (Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı)'de parçacık fiziğinde son 40-50 yıl içinde geliştirilmiş çarpıştırıcılarda çok önemli çalış-



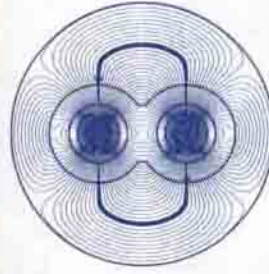
Parçacık detektör sistemi

malara imza atılmıştır. Bunlardan en önemlileri dünyanın ilk proton-proton çarpıştırıcısı, Intersecting Storage Rings (ISR)'in, devreye sokulduğu 70 li yıllarda başlatılan sinkrotron tipi proton hızlandırıcılarından Super Proton Synchrotron, SPS projesidir. SPS daha sonra yüksek enerjili ve yoğun anti-proton demetlerinin elde edilmesi ile bir çarpıştırıcı olarak da kullanılmıştır. Bu makinada dairesel yörüngede (çevresi 7 km) 270 GeV'lik proton ve anti-proton demetleri merkezde 540 GeV enerjiye ulaşarak çarpıştırılır. 1980 yıllarında W ve Z isimleri verilen ve zayıf nükleer kuvvetin taşıyıcı parçacıkları olan vektör bozonlar bu makinada bulunmuş ve buluş Nobel ödülü kazanmıştır. Proton-proton ya da proton-anti-proton çarpıştırıcılarında çarpışan parçacıklar kuarklardan oluşmaktadır. Bu

altyapı nedeni ile yüksek enerjili çarpışmalarda ortaya çıkan bir çok parçacık ve oluşumlar aranan sinyalin görünmesini epey zorlaştırmaktadır. CERN'de son yıllardaki önemli projelerden biri de elektron ve anti-elektronun (pozitron) dairesel yörüngede (çevresi 27 km) çarpıştırıldığı LEP (Large Electron Positron) makinasıdır. 1989 yılında çalışmaya başlayan bu makina da elektron ve pozitronun noktasal yapıları sayesinde proton makinalarının aksine çarpışmalardan sonra sinyallerin kolaylıkla ayıklanabildiği daha temiz etkileşimler oluşmaktadır. Bu avantaja karşılık leptonların dairesel yörüngelerde ışınması (sinkrotron ışınması) bir dezavantajdır. 100 GeV çarpışma enerjilerine ulaşılana LEP makinasında doğada kuark ve leptonlardan oluşan üç ayrı ailenin varlığı gösterilmiştir. Gelişen teknoloji ile çarpışma enerjisinin iki katına çıkarılacağı LEP makinası çalışmaya devam edecektir.

Yüksek enerjiler söz konusu olduğunda sinkrotron ışınması problemi yüzünden proton-proton çarpıştırıcıları daha önem kazanmaktadır. CERN'deki LHC projesi protonların merkezde 14 TeV (TeV = Trilyon elektron Volt) enerjiye kadar ulaşabilecekleri bir proton-proton çarpıştırıcısıdır. LHC'de ulaşılması planlanan enerji FNAL'da üst kuarkın bulunmasını gerçekleştiren Tevatron makinasının 7-8 katı daha fazla bir çarpışma enerjisidir. LHC enerjilerinde protonun yarıçapının binde biri düzeyindeki uzaklıklara yaklaşılması ile Higgs parçacıklarının ortaya çıkması olasılığı bulunmaktadır.





LHC süperiletken mknats

LHC (Large Hadron Collider)

LHC makinası CERN'de kurulu, çevresi 27 km olan LEP tüneline kurulacaktır. Proton-proton çarpışmalarının gerçekleşeceği bu makinada ulaşılabilecek en yüksek enerjiyi manyetik alan belirleyecektir. Süperiletken teknolojisi ile 10 Tesla şiddetine ulaşmak mümkün görünmektedir. Bu da 7 TeV lik proton demetlerini yörengede tutabilecek bir manyetik alandır.

LHC makinasındaki 7 TeV'lik enerjilerde dönen proton demetleri ilk olarak daha küçük yarıçaplı PS (Proton

Synchrotron) makinasında 26 GeV'lik enerjiye çıkarılmış protonlardır. PS'den SPS'e yollanan protonlar bu makinada 450 GeV'ye ulaşır. Buradan da LHC halkasına yollanacak protonlar, 7 TeV enerjiye ulaşma birbirleri ile halkanın iki ayrı noktasında çarpışacaktır.

LHC'de kullanılacak süperiletken mknatsların yapısı iki proton demetinin vakum odalarında zıt yönde hareketine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu iki delikli mknats bir silindir içinde ve sıvı helyum ile sağlanacak düşük sıcaklıklarda tutulacaktır. Son teknolojik gelişmelerin kullanıldığı bu tasarımda bazı malzemelerin

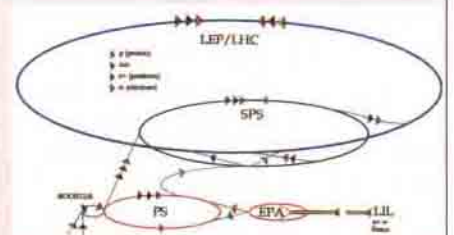
düşük sıcaklıklarda gösterdiği süperiletkenlik özelliğinden yararlanılmıştır. Düşük sıcaklıklarda bazı maddelerin elektrik akımına dirençleri hemen hemen sıfıra inmektedir. Bu sayede büyük akımlar kesitleri küçük yarıçaplı olan süperiletken malzemelerden geçirilerek çok güçlü mknatslar yapılabilmektedir. Bu mknatslar bakır ya da alüminyum kullanılan mknatslardan daha ucuz malolmaktadır. CERN'deki araştırmalar sonucunda çeşitli süperiletkenler denenmiştir, bunlardan Niobium-Titanium süperiletken malzemesi 1.8 derecede (Kelvin) 10 Tesla alan şiddetine ulaştığı gösterilmiştir. FNAL'daki Tevatron makinası süperiletken mknatsların ilk defa kullanıldığı bir hızlandırıcıdır. Tevatron'da ulaşılan manyetik alan 5 Tesla civarındadır. Seçilen bu malzemenin süperiletkenlik özelliğinin herhangi bir ısı değişikliği yaratacak durumlarda, özellikle saçılan parçacık demetlerinin etkisi altında korunması şarttır. Bu nedenle hızlandırılan protonların odaklanıp çarpıştırdıkları bölgelerde bu seçim daha da önem kazanmaktadır. 27 km'lik LHC halkası bu mknatslarla

Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN

CERN parçacık fiziği laboratuvarı İsviçre-Fransa sınırında kurulmuş, 19 Avrupa ülkesinin üyeliği ile oluşan uluslararası nitelikte bir araştırma merkezidir. Laboratuvarın ana yerleşkesi Genevre kentindedir. Türkiye'nin de gözlemci statüsüne sahip olduğu bu laboratuvarın temel araştırma konusu maddenin temel yapısı ve bu yapıyı oluşturan temel yapıtaşları ve etkileşimlerinin yüksek enerjili hızlandırıcılarda incelenmesidir. Kuruluşundan başlayarak geçtiğimiz 40 yıl içinde önemli hızlandırıcı projeleri ve parçacık buluşları bu laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney gurupları çoğunlukla Avrupa ülkelerinden olmak üzere kalabalık kolaborasyonlardır. Laboratuvarında yüzün üstünde deney çalışması sürmektedir. 3000'e yakın fizikçi, mühendis, teknisyen ve idari personelin çalıştığı laboratuvarında 6000'in üstünde üye fizikçi

laboratuvara gelecek çalışmalar yapabilmektedir. CERN aynı zamanda endüstriyel ve teknolojik gelişmelerini çok yakından izlediği ve ortaklaşa araştırma ve geliştirme çalışmalarını yaptığı ve yeni teknolojilerin geliştirdiği bir laboratuvarıdır. CERN aynı zamanda ekolojik önlemler konusunda çok dikkatli davranan ve çevreyi kirletmeye özen gösteren bir araştırma merkezidir.

Laboratuvarında temel olarak proton, elektron ve iyon hızlandırıcıları ve çarpıştırıcıları bulunmaktadır. Sinkrotron tipi dairesel makinelerin geliştirdiği ve yaygın olarak kullandığı yıllardan başlayarak CERN'de önce proton makineleri geliştirilmiştir. Proton sinkrotron (PS) hızlandırıcısı bugün hâlâ çalışan ve protonları 26 GeV'lik enerjiye hızlandıran bir makinedir. PS: 50 MeV doğrusal hızlandırıcı ve 1 GeV'lik başka bir sinkrotrondan (booster) beslenmektedir. Super Protoni Synchrotron (SPS) makinası PS den aldığı 26 GeV'lik protonları 450 GeV'e kadar hızlandırır. SPS makinası aynı zamanda 1990 yıllarına kadar proton ve anti-proton çarpışmalarını yaptığı bir makina olarak kullanılmıştır. SPS günümüzde sabit hedef deneylerde kullanılan 450 GeV proton demetlerinin ürettiği bir makinedir. LEP hızlandırıcısı 1980'lerin sonunda çalışmaya başlamış dünyanın en hızlı elektronlarının dolaştığı çevresi 27 km olan bir tünelde kurmuştur. Halen çalışmakta olan bu hızlandırıcıdaki deneyler elektron-pozitron çarpışmalarını incelemekte maddenin yapısını oluşturan temel parçacıkları (leptonlar ve kuarklar) sayısı hakkında çok önemli sonuçlar vermektedirler. Işık hızına çok yakın hızlarda hareket eden bu proton ve elektronları hızlandıran makineler ve çarpışmaları inceleyen detektör sistemleri yerin 100 metre altında kurmuştur. Bunun nedeni yüksek enerjiler-



de oluşan radyasyonun yayılmasını önlemektir. CERN'de aynı zamanda düşük enerjilerde de deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerden birisinde geçtiğimiz yıl ilk defa anti-hidrojen yani anti-atom gözlemi yapılmıştır. Ayrıca ağır iyonların hızlandırılıp çarpıştırıldığı, kurşun (Pb-Pb) çarpışmaları gibi deneyler yapılmaktadır. CERN'de son yıllarda planlanan ve geçtiğimiz yıllarda başlatılan başka bir araştırma alanı ise nötrino salınımlarını inceleyen deneylerdir. Bunların CHORUS deneyi içinde Türk guruplarında çalıştığı bir deneydir. Yine CERN'de son yıllarda, yeni bir enerji kaynağı olarak, hızlandırıcılardan elde edilecek nötronlar ile gerçekleştirilebilecek nükleer fisyon reaksiyonları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. CERN'de günümüzdeki en güncel proje dünyanın en yüksek enerjilerine ulaştırılacak protonların çarpıştırılacağı LHC (Large Hadron Collider) projesidir. LEP halkasında kurulacak bu yeni makina süperiletken teknolojisi sayesinde 7 TeV'lik protonları yörengede tutabilecektir. Burada planlanan deneylerde maddenin yapısını anlamaya yönelik en önemli parçacıklardan olan Higgs parçacıklarını oluşumu gözlenecek ve bu parçacıklar incelenecektir. Önümüzdeki 20 yıl için planlanan bu makina ve deneylerini çalışmaya başlaması 2000 yıllarında gerçekleşecektir.



Yerin 100 m altında inşa edilmiş CERN hızlandırıcılarının gematik görüntüsü

çevrilecektir, 10 metrelik modüllerin kullanılması düşünülen bu halkada 2000'e yakın mıknatıs kullanılacak ve halkanın iki bölgesinde bazı özel mıknatıslar kullanılarak bu demetler birbirleri ile çarpışacaklardır.

LHC makinasında kullanılacak süperiletken mıknatıslardan başka elde edilecek yüksek enerjili proton demetlerinin çarpışmalarından oluşacak olayları gözlemek için de yine teknolojinin en gelişmiş olanakları ile yeni detektör sistemleri kurulmaktadır. Protonlar iki demet halinde yörüngede dolaşacaklardır, bu demetlerin birbirlerinden olan uzaklıkları çok az olacaktır. Bu demetler her bir 25 nano-saniyede (1 nano saniye, saniyenin milyarda biridir) birbirleri ile çarpışacaktır. Tasarlanan bu tip proton-proton çarpışmalarında yaklaşık saniyede bir milyon olayın meydana geleceği hesaplanmıştır. Bunlardan yalnızca saniyede 100 olayın ilginç ve analiz edilebilir olması da bu çarpışmaları gözlemenin güçlüğüne göstermektedir. Büyük sayıdaki bu olayları kaydetmek için çok hızlı veri transferi yapabilecek bilgisayar ağları da gereken altyapılardan biridir. Bu şartları sağlayacak detektör, elektronik sistemler ve bilgisayar ağları için çeşitli çalışmalar halen sürmektedir.

Detektör sistemleri

Detektörlerin çoğunda yüklü parçacıkların madde ile elektromanyetik etkileşimlerinden yararlanılır. Kütleli elektrondan daha fazla olan yüklü parçacıklar, detektörü oluşturan madde içinden geçerken atomik elektronlarla etkileşerek enerji kaybederler ve iyonizasyona neden olurlar, yani atomik elektronların ayrılıp pozitif iyonların oluşması gerçekleşir. Elektronlarda ve fotonlarda ise esas enerji kaybetme mekanizması yok değildir, sonuçta ortaya çıkan daha düşük enerjilerde parçacık saçanaklarıdır (bremsstrahlung, pair production). Detektör ortamındaki bu etkileşimler çoğunlukla bir çeşit analog sinyal oluştururlar, bu sinyaller standart sinyallere dönüştürülerek, detektörden geçen parçacıkların yörüngelerinin bulunması ve enerjilerinin ölçülmesinde kullanılır. Manyetik alan içine konulan detektörlerde yüklü parçacıkların bükülme ve bükülme yöne-

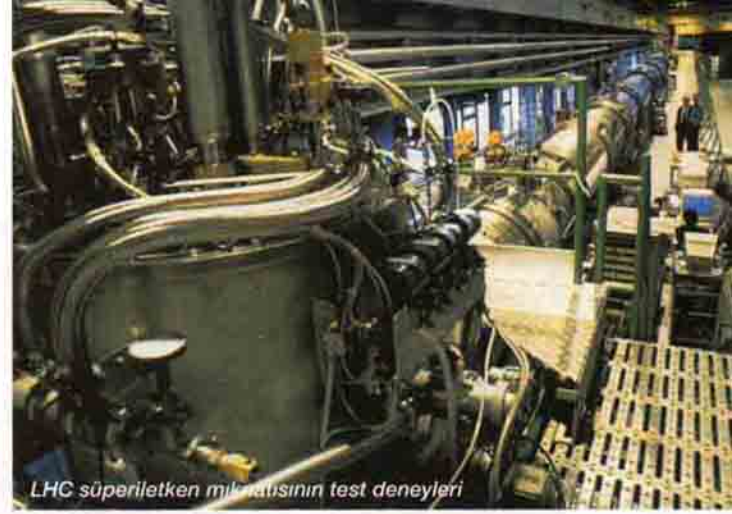
lerinden momentum (kütle x hız) ve yükleri belirlenebilir. Parçacıkların tanınması için kütleleri de momentum ve enerjileri ya da hızları bulunduğu zaman hesaplanabilir.

Parçacık etkileşimlerini gözleyen ve ölçen sistemler çeşitli detektör parçalarından oluşan kompakt sistemlerdir. Tek bir detektör sistemi, ölçülmesi gereken tüm parametreleri ölçmek için uygun değildir. Detektörlerde en önemli özellikler, ölçüm hassasiyeti ve detektörün yanıt verme zamanı (response time) ile ölü zamanı (dead time) dir.

Temel olarak parçacık fiziği deneylerinde detektörler izleme (tracking), momentum ölçümünde, parçacıkların tanınmasında (örnek olarak, kütle ölçümü) ve enerji ölçümlerinde kalorimetrelerde kullanılırlar. Ayrıca tetikleme (triggering) ve veri biriktirimi (data acquisition) sistemleri istenen olayların seçimi ve verinin çeşitli detektör parçalarından alınarak birleştirilip teyplere yazılması işlemlerinde kullanılır.

Higgs Parçacıklarını Aramak İçin LHC Detektörleri

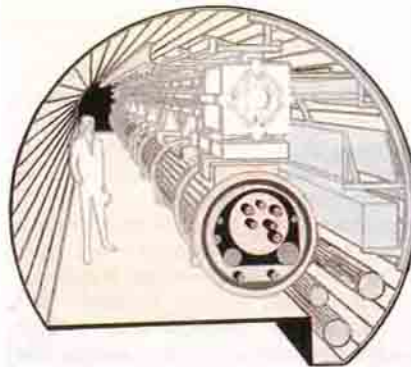
LHC deneyleri için dünyanın çeşitli üniversite ve laboratuvarlarından 2000'den fazla fizikçi bir araya gelerek iki büyük deneyde toplanmışlardır. Büyük kollarasyonlar sayesinde bu yüksek teknoloji kullanan ve masraflı detektör sistemlerini kurabilmek mümkün olabilmektedir. LHC deney-



LHC süperiletken mıknatısının test deneyleri

leri makinanın kurulmasını izleyen ilk önümüzdeki on yıl içinde başlayacaktır. En az 10 yıllık bir fizik programı çerçevesinde veri alacak ve analizler gerçekleştirilecektir. Türkiye'den de yüksek enerji gruplarındaki fizikçiler bu deneylerle ilgili girişimler yapmakta ve deneylere katılmayı planlamaktadırlar.

Bu deneyler kısa isimleri CMS ve ATLAS olan iki deneydir. Higgs parçacıklarını gözlemek amacı ile kurulacak olan bu detektör sistemlerinde farklı detektör teknolojileri kullanılacaktır. Temel olarak bu deneyler dışarıdan içe doğru; muonları gözleyecek ve ölçecek olan muon sistemi, çarpışmadan ortaya çıkacak çeşitli parçacıkların enerjilerini ölçecek kalorimetre sistemi ve çarpışmadan hemen sonra parçacıkların yörüngelerini izleyecek izleyici detektör sistemleri ve manyetik alan oluşturan mıknatıs sistemlerinden oluşmaktadır. LHC makinasında çok yüksek enerjilerde ve çok sık oluşacak proton-proton çarpışmalarını kaydetmek ve incelemek için, özellikle izleme ve enerji ölçümlerinde, yeni bazı teknikler kullanılacaktır. Bu tekniklerde ölçüm hassasiyeti, detektörlerin yanıt verme zamanları ve bir sonraki olaya hazır olma zamanları ve detektörlerin hızlandırıcıda oluşacak yüksek dozadaki radyasyona dayanıklılıkları önem kazanmaktadır. Saniyede milyonun üzerinde olayın oluşacağı çarpışmalarda birçok parçacık ortaya çıkacak ve bunlardan bazıları tekrar bozunup başka parçacıklar ve yüksek enerjili parçacık demetleri oluşturacaktır. Yüksek yoğunluktaki bu parçacıkları kısa zaman aralıklarında ve çok hassas olarak izlemek için özellikle silikon detektörlerden yararlanacaktır. Enerji ölçümlerinde ise içinden yüklü parçacıklar geçtiğinde parlayarak ışık saçan bazı inorganik kristallerden oluşacak detektör matrisleri yapılacaktır. Kristallerden çıkacak bu ışık parçacık-

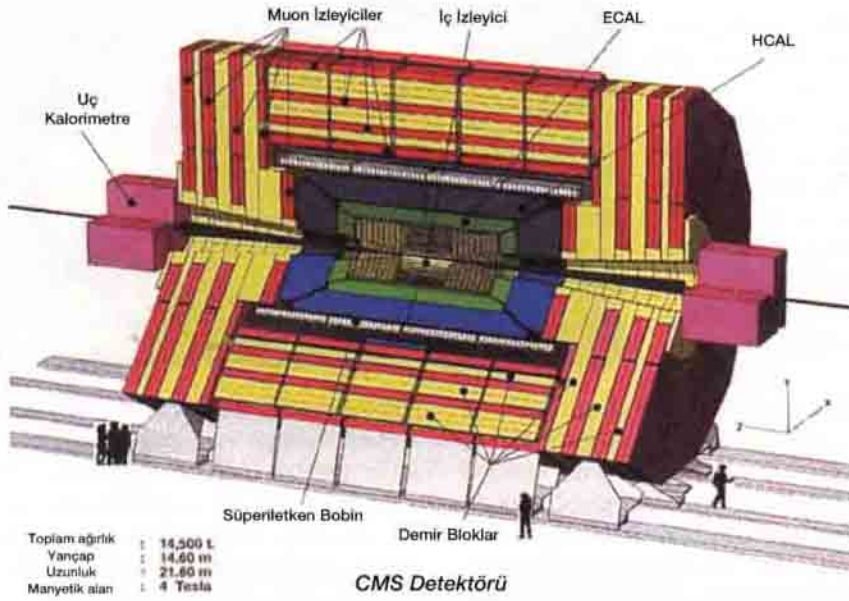


LHC hızlandırıcısının şematik görüntüsü

Parçacık Fiziğinde Simülasyon

Günümüzde bilgisayarların kullanılmadığı iş alanları hemen hemen kalmadı gibi. İnternetin de yaygın olarak kullanılmaya başlaması, bilgisayarları, bu kullanım tarzı ile birer bilgi deposu, haberleşme ve alışveriş hattı haline getirdi. Kullanım alanlarının hızla artması, daha hızlı, daha büyük hafızalı, daha çok depolama imkanına sahip ve daha büyük ve kapsamlı bilgisayar yazılımlarına olan ihtiyacı arttırdı. Bu zincir olanca hızıyla devam etmekte.

Bilgisayarın bilim dünyası ile tanışması ise aşağı yukarı bilgisayarın yaşına eşittir. İlk kullanım alanı, birçok yeni buluşta olduğu gibi, bilim dünyası olmuştur. Bilim sürekli bilgisayarların sınırlarını zorlamış, birçok program ilk defa bilim dünyası için geliştirilmiş ve daha sonra yan ürün olarak toplumun hizmetine sunulmuştur. Buna yakın zamanda bir örnek vermek gerekirse, bu internetin WWW (World Wide Web) gibi programlarla bir bilgi deposuna dönüşmesi olabilir. Proje ilk defa, dünyanın en büyük iki parçacık fiziği laboratuvarından biri olan CERN'de düşünülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda WWW programı geliştirilmiş ve başdöndürücü bir hızla, 4-5 yıl içinde yay-



ların enerjileri ile orantılı elektrik sinyallerine dönüştürülecektir. Bu amaç için seçilmiş bir kristal kurşun-tungstendir (PbWO₄). İzleme ve enerji ölçümü yapacak detektörlerden elde edilecek sinyallerin işlenmesinde de yine çok gelişmiş minyatür fakat karmaşık elektronik sistemlerden yararlanılacaktır. Bu sistemler çok kısa zaman aralıklarında, akıllıca kararlar verip istenen olayları seçmeye çalışacaklardır. Online yapılan veri analizi yanında optik fiber ağları ile veriler bilgisayarlara taşınıp gelişmiş yazılım paketleri ile ileri fizik analizler yapılabilecektir.

Yüksek enerji fiziği deneylerinde detektörlerin kurulup, veri toplandığı aşamalardan önce bilgisayarlar aracılığıyla gerçek şartlar modellenerek olaylar önceden incelenebilmektedir. Bu şekilde tasarlanan detektör sistemleri ve yapılacak ölçümler, deneyler başlamadan önce kontrol edilmekte ve daha sonra gerçek veri ve ölçümlerle bu modeller karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde kurulan detektör sistemleri, ölçüm ve analiz tekniklerinin doğru çalışıp çalışmadıklarını anlamak mümkün olmaktadır. Şimdi bu modellerden bahsedelim.

CHORUS Deneyi

Standart model parçacık ailesinin üst kuartan sonra doğrudan gözlenmesini beklediği bir diğer parçacık, en ağır lepton ailesini tau lepton ile birlikte oluşturan tau-nötrinodur. Diğer nötrinoların varlığı deneysel olarak gözlenmiştir. Nötrinolar evrenin temel yapı taşları olduğu varsayılan 12 temel parçacıktan üçüdür. Nötrinolar tau-nötrino (ν_τ), muon nötrino (ν_μ) ve elektron nötrino (ν_e) olarak üç çeşittir. Nötrinoların birbirlerine dönüşme olasılıkları vardır. Buna nötrino salınımı denir. Nötrino salınımının varlığı da deneysel olarak, nötrinolar ile deney yapmanın zorlukları yüzünden, gözlenememiştir. CHORUS (Cern Hybrid Oscillation apparatus) deneyi, hem tau-nötrinonun varlığını hem de nötrino salınımının varlığını araştırmak için kurulmuş bir deneydir. Nötrino salınımının varlığı fizikçiler için çok önemlidir, çünkü çok küçük veya sıfır olduğu tahmin edilen nötrino kütlesi hakkında net bir fikir verecektir.

Parçacık fiziğinde kullanılan deney düzenekleri genel olarak detektör diye adlandırılırlar. Daha önce de söylediğimiz gibi, detektörler çok büyük ve karmaşıktırlar. CHORUS deneyini yapmak için fizikçi ve doktora öğrencilerinden oluşan 104 kişilik bir grup çalışmaktadır. Grup, değişik ülkelerden gelen fizikçilerden oluşmuştur. Bu ülkeler Japonya,

Hollanda, İtalya, Rusya, Kore, Belçika, Almanya ve 10 kişilik bir çalışma grubuyla Türkiye'dir.

Deney, yaklaşık 4x4x12 metre boyutlarındadır. 6 ana sistemden oluşmuştur. Hedef bölgesi, fiber izleyiciler, hegzagonal elektro-mıknatis, kalorimetre, spektrometre ve tetikleme (trigger) sistemi. Hegzagonal mıknatis ile çok güçlü olmayan parçacıkların momentumları ölçülür. Kalorimetre, parçacıkların enerjilerini ölçmek içindir. Spektrometre ile uzun mesafeler madde içinde ilerleyebilen, güçlü parçacıklar olan muonların momentumu belirlenir. Fiber izleyiciler, hedefte oluşan etkileşimlerden çıkan parçacıkları takip eder. Tetikleme (trigger) sistemi, bu detektör parçalarını elektronik olarak birleştirir ve detektörün çalışması sırasında oluşan olaylardan istenenleri seçer. Hedef bölgesi deneyin kalbidir ve "emülsiyon" denen maddeden oluşmuştur. Emülsiyonun yapısı, fotoğraf filmlerindeki yapıya benzerdir. Kuruduktan sonraki görünümü plastiğe benzerdir. Işıktan etkilendiği için karanlık ortamlarda saklanırlar. Deney çalışması bittikten sonra (yaklaşık iki yıl) emülsiyon banyo edilir ve parçacıkların bıraktığı izler açığa çıkar. CHORUS deneyinde kullanılan emülsiyonun toplam ağırlığı 800 kg'dır; çünkü nötrinolar madde ile az etkileştiklerinden, madde miktarının çok olması, daha fazla etkileşme elde etmek yönünden yararlıdır. Emülsiyondaki parçacık izleri çok hassastır. Kalinlik mikrometre (normal bir saç telinin 50'de biri)



düzeyindedir. Emülsiyon içinde aranan etkileşmeler, otomatik mikroskop sistemleri ile gerçekleştirilir. Emülsiyonun her noktasındaki etkileşimleri arayıp bulmak, sürekli çalışan 20 otomatik mikroskop ile yaklaşık 500 yıl sürer. Fiber izleyicilerin detektöre eklenmelerinin ana sebebi budur. Fiber izleyiciler, etkileşimin emülsiyonun neresinde olduğunu belli bir hassaslıkla belirlerler. Geriye kalan, otomatik mikroskoplarla bu alanı taramaktır.

Detektörün çalışması, yaklaşık 38 CPU (her biri bir bilgisayar eşdeğerinde) ve 7 ay bilgisayar kontrol edilmekte ve deneysel veri alınmaktadır. Ayrıca alınan veriler analiz etmek için, bir o kadar da bilgisayar sistemi kullanılmaktadır. Sadece detektörün maliyeti 15 milyon İsviçre Frangını (yaklaşık 12 milyon USD) aşmaktadır. Detektörde kullanılan birçok parça en ileri teknoloji ürünü olup, bazıları CHORUS detektörü için özel olarak geliştirilmiştir. Örne-

gınlaşmıştır. Şimdi Türkiye'de de İnternetin alyapısının tamamlanmasından sonra evlerimizdeki kişisel bilgisayarlarla kullanılabilecek düzeye gelecektir. Hemen belirtelim, ilk başta bu proje dünyadaki parçacık fiziği laboratuvar ve enstitülerin bilgi alışverişi için tasarlanmıştır.

Bilgisayarın bilim dünyasında en rağbet gördüğü alanlardan biri simülasyon uygulamalarıdır. Simülasyonlar çok çeşitlidir ve birçok bilim dalında değişik şekilde uygulanmaktadır. Bunların hepsinden söz etmek ve açıklamaya çalışmak, konunun çok çeşitli olması ve herbirinin karışık olması yüzünden çok zordur. Ayrıca herbiri uzmanlık isteyen, birbirinden ayrı dallardır. Bu bölümde, parçacık fiziği deneylerindeki simülasyon uygulamaları ve öneminden bahsedeceğiz ama önce simülasyonun ne olduğunu söyleyelim.

Simülasyonu kısaca, karışık kuralları belli bir sistemi bilgisayar ile taklit etmeye çalışmak diye tarif edebiliriz. Elimizde karışık bir sistem olsun, örneğin birazdan detaylı bir şekilde örnek olarak kullanacağımız bilardo oyunu veya yazının ana konusu olan parçacık fiziği deneyleri. Bilardo oyunu, masası, topları, sopası (kendi diliyle ıstakası) ve oyuncusuyla aslında karışık bir sistemdir. Hangi fizik kurallarına göre işlediği bellidir. Bu kurallar klasik fizik kuralla-



rıdır. Yani topların hareket formüllerini çıkarmak mümkündür ama uğraştırıcı olduğunu da hesaba katmak gerekir. Şimdi bilgisayarın nerede devreye girmesi gerektiğini düşünelim. Elimizde bir dizi formül var. Topa vurulurken verilecek hız, vuruş açısı gibi değişkenler bizim hesaplarımızdaki başlama noktasını oluşturacaklardır ve bütün ilk koşulları bu formüllerdeki yerlerine koyup hesaplamak gerekir. Olabilecek ilk koşulların değişik kombinasyonları o kadar çoktur ki, herbiri için oturup bu formülleri hesaplamaya çalışmak çok zaman alır. İşte bu aşamada bilgisayar-

lar devreye girer. Bilgisayarların var oluşunun en temel sebebi bu gibi tek-düze işleri kolayca yapabilmektir.

Bilardo Oynamayı Sever misiniz?

Simülasyonun temel işlevini verebilmek ve de okuyucuyu asıl konu olan deneysel parçacık fiziği simülasyonuna hazırlamak için, güzel bir örnek olan bilardo oyununun simülasyonunu genişletelim. Parçacık fiziğindeki parçacıklar ile bilardo topları arasında benzerlik kurulabilir ama unutmamak gerekir ki, parçacık fiziğindeki parçacıklar hem çok küçüktür, yani klasik fizik kuralları kullanılmaz, hem de ışık hızına yakın hızlarda hareket eden parçacıklardır. Daha önce sıralamıştık ama şimdi daha detaylı olarak bilardooyu ele alalım. Bu üç topa oynanan (ikisi beyaz biri kırmızı) bilardo oyunu olsun. Dengeli bir bilardo masamız, ısıtılmış bantlar, bir bilardo oyuncusu, üç top, kaliteli bir çuha ve bilardo masası dersek sanırım düzeneği tamamiyle saymış oluruz. Bilardo tebeşirini de bilerek yok saydığımızı söyleyelim. Varsayalım bu oyunun simülasyonunu yapmak istiyoruz. Aslında bunlar zaten var çünkü bilgisayar oyunu olarak oynadığımız bilardo oyunlarının herbiri bir simülasyon programı. Önce bilardo masasının bilgisayarda tanımlanmasından başlamalıyız. Tabanı yerden belli bir yükseklikte ve yere paralel olmalı. Üzerindeki toplar hep bu yükseklikte kalmalıdır. Sonra masanın bir yüzey alanı olmalı ve



ğın, detektörde kullanılan ışık güçlendiricili kameralar, 20 fotonu görebilecek güçtedirler. Fotonlar ışık taneçikleridir ve evlerimizde kullandığımız lambalardan her saniye trilyonlarca foton çıkar.

Otomatik Analiz Mikroskobu

CHORUS nötrino deneyinde olduğu gibi çok fazla miktarda emülsiyon kullanılan deneylerde klasik yöntemler ile emülsiyon plakalarını mikroskoplar altında incelenmesi çok uzun ve zahmetli bir iştir. Bu nedenle son yıllarda özellikle parçacık demetlerine dik olarak yerleştirilen ince emülsiyon tabakalarında iz takibi ve etkileşmelerin aranması otomatik yöntemlerle yapılmaktadır. Çoğunlukla bu yöntemde emülsiyon elektronik izleyici detektörler ile birlikte kullanılmaktadır. Bu sayede emülsiyon içinde aranacak bölge elektronik detektörlerden alınan bilgi ile bir miktar küçültülmektedir. İzin başlangıcını bu şekilde belirleyip, geriye izle-

me yöntemi ile aranan etkileşmelere ulaşılmaya çalışılır. Otomatik analiz sistemi bir optik sistemdir ve motorlar ile üç yönde (x,y,z) hareket edebilen bir düzeneğe oluşmaktadır. Bu düzeneğe ayrıca koordinatların okunduğu doğrusal kodlayıcılar kullanılmaktadır. Emülsiyon içindeki izler bu sistemde optik düzeneğe yerleştirilmiş bir kamera (CCD) ile monitöre yansıtılmaktadır. Bir bilgisayar (PC) aracılığı ile sistem otomatik olarak kontrol edilir. Bilgisayar programı ve fare (mouse) yardımı ile motorların hareket, hızları ayarlanır ve koordinat ölçümleri yapılabilir. Mikroskop altına konmuş emülsiyon tabakada izler bir başlangıç noktasından başlayarak, ekranda görüntüye bakılmak suretiyle, derinlemesine aranır ve bir sonraki plakaya geçilerek arama etkileşim noktalarına kadar sürdürülür. Daha hassas aramalarda, örneğin etkileşimden çıkan parçacıkların hemen bozunduğu durumlarda etkileşim bölgesinden başlayarak tekrar taranır. İzlemeyi bir operatör bilgisayar aracılığıyla yapabileceği gibi, özel olarak tasarlanmış işlevci ve yazılımla aradan operatörü de çıkararak, tamamen otomatik şekilde de yapılabilir. Bu şekilde iz takibinde 10-20 kat daha hız kazanmak mümkündür. Operatör ile yarı-otomatik çalışan bir mikroskop, ODTÜ Fizik bölümü bünyesinde kurulmuştur ve 1994-95 yıllarında yapılan deneyden elde edilen emülsiyon plakalarını incelemektedir.



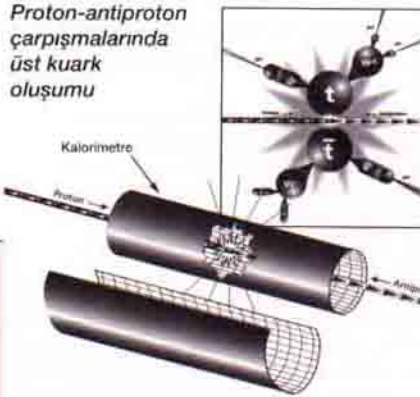
toplar bu alan sınırlarına geldiklerinde, bantlarla çarpışmalılar. Topların yarıçapları tanımlanmalı. Masanın, topaların, çuhanın ve sopaların madde özellikleri tanımlanmalı. Ne kadar sert, ne kadar yumuşak, harekete karşı ne kadar direnci var vs. Sonra içinde bulunulan ortam. Ama işleri fazla karıştırmamak için rüzgârsız, sakın ve oda sıcaklığında bir ortam olsun. İstenilen birçok detay konulabilir ama eğer sisteme önemli bir etkisi yoksa ve problemi yanlış yerlere taşıyorsa, bu detaylardan kaçınmak gerekir çünkü her detay, programı biraz daha karışık hale getirecektir.

İlk iş olarak bilardo düzeneğinin geometrisini ve özelliklerini tanımlayan büyük bir program yazdık diyelim. Bunu, programın başında bir kez çalıştırmak yeterli. Bundan sonraki basamaklar, yukarıdaki tanımları kullanarak, bilardo masasında topları koşturmaya ve çarpıştırmaya çalışmaktır. Sürekli bir döngü kurmak gerekir ve döngünün geometri tanımlamasından sonra çağrılması gerekir. Şimdi döngüde neler yapılması gerektiğini ana hatlarıyla sıralamaya çalışalım. Önce, kolaylık olsun diye, bilardodaki hareket kabiliyetimizi biraz sınırlayalım. Olasılık sayısını azaltmak için, bizim topumuza, sopa

ile yere paralel olarak vurma koşulu getirelim. Kendi tabiri ile pike çekmek de yasak olsun ve topa tam ortasında vuralım. Şimdi geriye iki ana değişken kalıyor; topa verilen hız ve yön. Oyunda sayı yapabilmek için bizim topumuzun önce iki toptan birine, daha sonra öbür topa çarpması gerekiyor. Yine, çeşitli bilardo oyun kurallarından ve tekniklerinden sadece birini ele almış olalım. Bir de bize yardım eden ve bizim dediklerimizi tam yapabilen bir oyuncu olsun. Bunun için özel bir makine geliştirildiğini varsayalım ve bizim verdiğimiz hız ve yön değişkenlerini küçük bir hata ile gerçek masadaki topa uygulayabilsin. Koşulları kısıtladığımız halde olasılıklar hâlâ o kadar çok ki. Bizim vurduğumuz top, yine bizim ilk koşul olarak verdiğimiz parametrelerle ilerlerken (hız ve yön), sürtünme yüzünden yavaş yavaş hız kaybedecek ama ne kadar yavaş. Çuhanın bir noktasındaki sürtünme, bir diğeri ile ufak farklılıklar gösterebilir. Bunu programa, masa tanımı sırasında, veri olarak girmek gerekir. Bir diğer program parametresi, topları ne kadarlık zaman aralıkları ile hareket ettireceğimiz. Başka bir deyişle, topların hareket formüllerini hangi zaman dilimlerinde tekrar he-

saplayacağız? Sonra top masanın bandına gelsin. Bandın o noktasındaki esnekliğini bilip, topun hangi açı ve hız ile geriye yansıtılacağını hesaplamak gerekir. Harekete devam edersek, öbür topa bizim topun yolları kesişiyorsa, öbür topun hız, yön ve ağırlığını göz önünde bulundurarak, çarpışma sonrası nasıl davranacaklarını herbir top için ayrı ayrı hesaplamak gerekir. Ve en sonunda tabii, ikinci top ile çarpıştıktan sonra, üçüncü top ile de çarpıştırmayı mı yapacağız? Bütün bu hesap zincirinin sonunda bir sonuç elde edeceğiz. Cevap evetse, ilk koşul olarak verdiğimiz rakamlar doğru diyebiliriz ama hayır ise programı tekrar yeni ilk koşullarda çalıştırmak gerekiyor. İstedğimiz sonucu elde edinceye kadar. İlk koşul olarak verebileceğimiz değerler o kadar çok ki. Yön olarak 0-360 derecelik açı aralığı, hız olarak da diyelim 0-100 cm/s'lik bir hız aralığı ve birbirleri ile olan kombinasyonları. Bu hesaplar ancak bilgisayar ile yapılabilir. Başta yaptığımız kısıtlamalara rağmen önümüze bir yığın olasılık çıktı. Hiçbir kısıtlama yapmadan, bütün olasılıklarda neler olacağını merak ediyorsak, bilgisayarımızı günlerce çalıştırmamız gerekir.

Bilardo simülasyonumuzu daha somut temellere oturtmak için, simülasyon programından nasıl yararlanabiliriz onları da sıralayalım. Gerçek bir bilardo masası bulup, yukarıda saydığımız parametreleri ölçebiliriz diyelim. Programın davranışlarını, gerçek masanın



Proton-antiproton çarpışmalarında üst kuark oluşumu

Üst (Top) Kuark

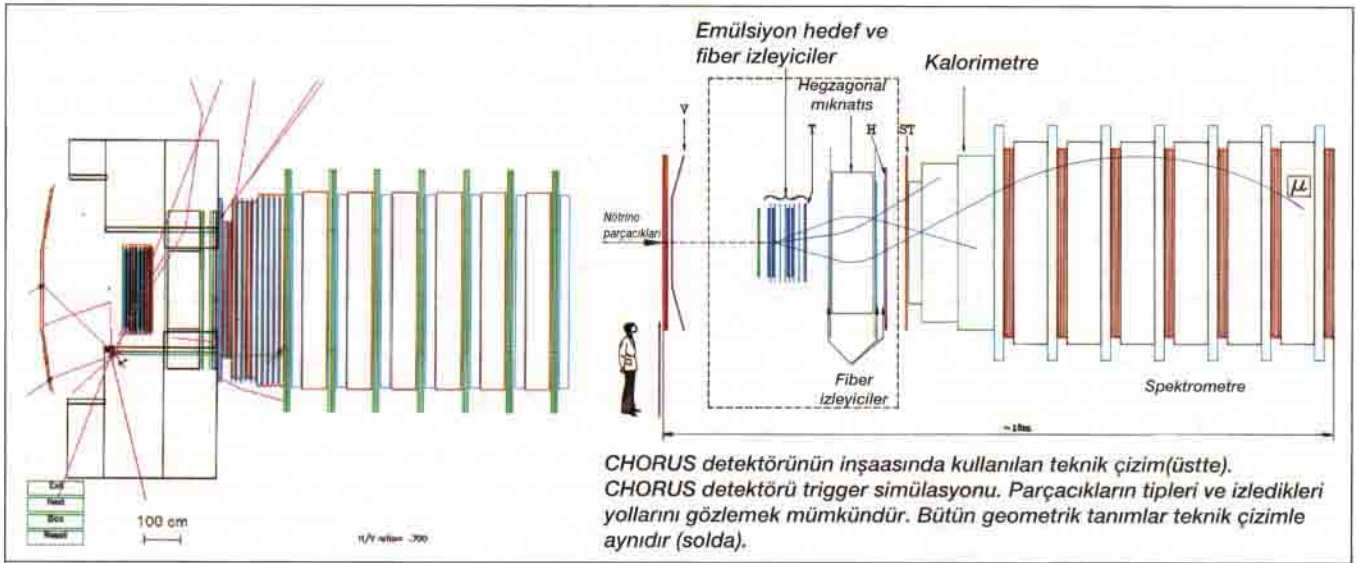
A.B.D'de Fermilab (FNAL) proton-antiproton çarpıştırıcısında, CDF isimli deney grubu Mart 1995'de uzun zamandır gözlenmesi merakla beklenen üst (top) kuarkin gözlemlendiğini dünyaya duyurmuştur. Bu çarpıştırıcıda protonlar TeV düzeyindeki enerjilere kadar hızlandırıldı için bu makineye Tevatron ismi verilmiştir. Protonun durgun kütlesi yaklaşık 1 milyar eV'dir. Standart modeldeki üst kuark ile birlikte aynı ailede bulunan alt (bottom) kuark 18 yıl önce yine aynı laboratuvarında gözlenmişti. Üst kuark standart modeli oluşturan parçacık ailesinde en ağır yapıda olan parçacık olarak ortaya çıkmıştır.

Üst kuarkin varlığı proton ve antiproton demetlerinin yaklaşık 1.8 TeV enerjide merkezden çarpışmasından oluşan parçacıkların detaylı incelenmeleri sonucunda ortaya konulmuştur. Çok ender olarak ortaya çıkan üst kuark bozunmaları yaklaşık trilyon defa çarpıştıran proton-antiprotondan ancak 50 defa görülebilmektedir.

Tevatron'da 0.9 TeV enerjili proton ve 0.9 TeV enerjili antiproton çarpışmasından üst-anti üst

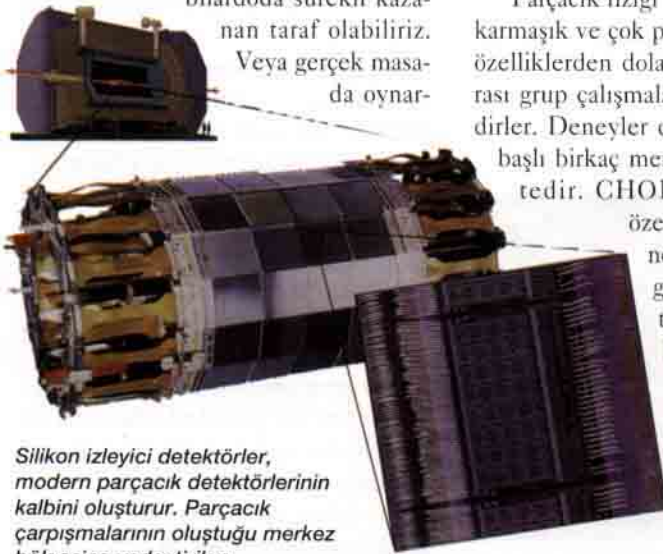
kuark çiftinin oluştuğu varsayılmıştır. Üst ya da anti üst kuark bozunarak W bozon ve alt kuarka dönüşür. Durağan olmayan bu parçacıklarda bozunarak başka parçacıklara ve hadron demetlerine (jetlere) dönüşürler. Bozunum sonucunda oluşan parçacıkların üst-anti üst kuark çiftinden geldiğini anlamak bu gözlemin en zor kısmıdır. Yüksek enerjili hadron çarpışmalarında ortaya çıkan en tipik olay jet oluşumudur. Jetler yüksek enerjili birçok parçacığın çarpışan parçacıkların yönüyle dik açılarda dar bir koni içinde saçılmalarıdır. Üst kuark bozunumundan oluşan W bozonları %70'e yakın bir olasılıkla kuark ve anti kuarklara bozunurlar. W bozonları %30 oranında da bir yüklü parçacık (elektron, muon ya da tau) ve yüksüz nötrinoya bozunurlar. Bu bozunum gözlemsel olarak kuark ve anti-kuarklara olan bozu-

rumdan daha seçkin bir yapı oluşturur. Üst kuark bozunumundan W bozonlar ile birlikte ortaya çıkan diğer parçacık da alt kuarklardır. Çok kısa ömürlü olan bu parçacıklar da hadron demetleri (jetler) ya da yüklü bir parçacık, nötrino ve hadron demetlerine (jetlere) bozunurlar. Alt kuarkların bu ikinci bozunum şekli W bozonlar için de söylediğimiz gibi, açık şekilde gözlenebilen en azından bir yüklü parçacığın oluşu nedeni ile tamamen kuark-anti kuark demetlerine bozunumdan gözlemsel olarak daha seçkin bir yapı gösterir. Sonuç olarak özellikle bu seçkin yapıdaki bozunumlar seçilerek, yapılan detaylı analizler sonucunda bu bozunum ürünlerinin üst ve anti üst kuark bozunumlarından geldiği ve bu bozunumların yaklaşık 175 GeV durgun enerjideki üst kuark parçacıklardan oluştuğu gösterilmiştir. Şu andaki istatistiksel ve sistematik hatalar bu kütle ölçümündeki hatanın %10'dan az olduğunu göstermektedir. Üst kuarkin bulunuşu standart modelin doğrulanması yolunda çok önemli bir adımdır. Ancak bu parçacıkların çok yüksek kütleli oluşlarının nedenleri hâlâ tartışılmalı ve yeni kuramsal modellerin kurulmasına açıktır.



davranışlarına uydurmaya çalışmamız gerekir. Buna programın kalibrasyonu denir. Çok fazla örnek verilebilir ama basit bir örnek verip gerisini okuyucunun hayal gücüne bırakalım. Bunun için, örneğin gerçek masada topu bir baştan öbür başa yuvarlayıp, hızının nasıl değiştiğini gözlemleyerek, masanın sürtünme katsayısını belirleyip, programımızda da topu benzer parametreler ile hareket ettirip, aynı sonuçları elde edinceye kadar, program sabitlerimizi ayarlayabiliriz veya gerçek topu kenar bandından yansıtip, aynı sonuçları programdan elde etmemiz gerekir. Program sonuçlarını gerçek sonuçlara belli bir hassaslıkta yaklaşıncaya kadar bu örnekleri ve daha karışıklarını deneyip, programımızı ayarlamalıyız.

Programımızı kalibre ettikten sonra, artık istediğimiz birçok şeyi deneyip, doğru kombinasyonları elde edip, bilardoda sürekli kazanan taraf olabiliriz. Veya gerçek masada oynar-



Silikon izleyici detektörler, modern parçacık detektörlerinin kalbini oluşturur. Parçacık çarpışmalarının olduğu merkez bölgesine yerleştirilen bu detektörlerde parçacıklar çok hassas olarak izlenebilmektedir.

ken sayı yapmamız gerektiği halde yapamıyorsak, nedenlerini anlamak için, programımızı kullanıp, gerçek masada verdiğimiz ilk koşulları programa verip, program basamaklarını inceleyerek, sebebi hakkında fikir sahibi olabiliriz. Çünkü yukarıdaki kalibrasyonlardan sonra, belli bir hassaslık düzeyine kadar, programın, gerçek masa gibi davrandığını biliyoruz. Programı daha kolay anlaşılır ve kullanılabilir yapmak için, çeşitli grafik programları ile olan biteni görebilme imkanı da sağlanabilir. Daha akla gelmeyen bir sürü olasılık denenebilir. Bilardo oyun programları da zaten bu türden ama daha genel amaçlı yazılmış programlardır.

Parçacık Fiziği Deneyleri

Parçacık fiziği deneyleri çok büyük, karmaşık ve çok pahalı deneylerdir. Bu özelliklerden dolayı deneyler uluslararası grup çalışmaları ile yürütülmektedirler. Deneyler dünyada sadece belli başlı birkaç merkezde yapılabilmektedir. CHORUS deneyi de bu özelliklere sahip bir deneydir. Uluslararası bir grup tarafından yürütülmektedir ve Türkiye'den de üç grup (ODTÜ, Boğaziçi ve Çukurova Üniversitesi fizik bölümleri) çalışmalara katkıda bulunmaktadır. Deneye yapılan katkılardan bir tanesi CHORUS detektörünün simülasyonunu yaparak, deneyin

maruz kalacağı birim zamandaki toplam etkileşme sayısının hesaplanmasıdır.

Deneylerin tasarımları fizikçiler tarafından yapılır ve detektörlerin büyük ve karmaşık oluşları, tasarımların sağlıklı yapılması açısından, simülasyon kullanımını zorunlu kılar. Bilgisayar simülasyonlarının parçacık fiziğindeki birinci kullanım alanı budur. İkincisi ise deney verilerinin analizi sırasındaki işlemlerdir. Alınan verinin analizi, bunların simülasyondan elde edilen veri ile karşılaştırılmaları sonucu mümkündür.

CHORUS Detektör Simülasyonu

CHORUS deneyinin tasarım aşamasında da, birçok parçacık fiziği deneyinde olduğu gibi, simülasyondan faydalanılmıştır. Şimdi, bilardo örneğini aklımızda tutarak, deney simülasyon aşamalarını sıralayalım.

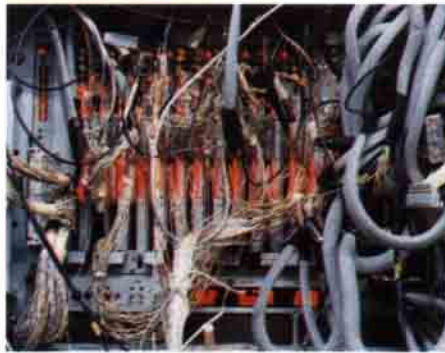
Her parçacık fiziği deneyi, ana amaç olarak, bir veya birkaç tip parçacık etkileşmesini incelemek için kurulmuştur. CHORUS deneyinde bunlar nötrino salınımları ve tau-nötrininin bulunmasıdır. Deneydeki etkileşmelerin nasıl olması gerektiğini söyleyen bir teori vardır. Zaten deneyler bu tip teorileri test etmek için kurulmuşlardır. İlk iş teoriyi kullanarak, size gereken etkileşmeleri bilgisayarla oluşturmaktır. Yine bilardoyu kullanarak örneklileyelim. Bir bilardo teorisi olsa ve bize, eğer topunuzu karşıdaki topa hızla çarptırabilerseniz, çarptığınız topu masa dışına atarsınız dese. Biz de bilardo simülasyon programımızı kullanarak te-

oriyi test etmek istesek ve parametrelerini çıkarmaya çalışsak, önce topumuz, karşı topa götüren bütün yön ve hızların kombinasyonlarını oluşturmamız gerekir. Bunu, içinde iki kolon olan bir bilgisayar dosyası oluşturarak yapabiliriz ve bu dosyanın içeri, bütün kombinasyonları tek tek oluşturan bir başka programla doldurabiliriz. Daha sonra bunları simülasyon programımıza verip, her bir olasılık için programı çalıştırıp, koşulun sağlanıp sağlanmadığını ve hangi koşullarda sağlandığını inceleyebiliriz. Deneyler içinde bilinen fizik kanunlarını kullanarak, bizim deneyin etkileşmelerinin ilk parametrelerini çıkaracak özel ve büyük programlar vardır. Bunlara, parçacık fiziğinde Monte Carlo (MC) üreticileri denir. Çünkü olasılıklar üzerine çalışırlar ve bilgisayar zamanının izin verdiği ölçülerde, bütün değişik olasılıkların parametrelerini çıkarmak mümkündür. CHORUS deneyinde MC programı şöyle çalışır: İlk başta etkileşmesini inceleyeceğimiz nötrino parçacığı gelir, detektör maddesi ile çarpışır ve başka parçacıklar çıkar. Sonuçta oluşan bilgisayar dosyası, bütün oluşan parçacıkların ve ilk parçacığın enerjilerini ve yönlerini (başka bir deyişle momentumlarını) içerir.

Etkileşmelerimizi oluşturduktan sonra, ikinci basamak olarak, etkileşmeleri detektör simülasyon programımıza uygulamamız gerekir. Tabii, önce bu programı yazmış olmalıyız. Aynı bildiğimizdeki gibi, ilk iş olarak detektörün geometrisini bilgisayarda tanımlamamız gerekir. Gerçek boyutları ve en ince ayrıntısına kadar. Örneğin, CHORUS'taki hedef bölgesi $74 \times 74 \times 2.57 \text{ cm}^3$ lük bir hacime sahiptir ve detektörde 4 tane vardır. Detektördeki kalorimetrenin elektromanyetik grubu $2.591 \times 2.591 \times 0.16 \text{ m}^3$ hacimlidir ve kalorimetrenin toplam ağırlığı 120 tondur. Kalorimetrenin bu kısımdaki toplam modül (küçük yapı elemanları) sayısı 248 dir ve boyutları $0.04 \times 0.04 \times 2.591 \text{ m}^3$ tür. Herbir modülde de onlarca fiber vardır. Deneyin bütün yapı detayları çok fazladır ve bu detaylar simülasyon programına, detektörün o bölümünden sorumlu fizikçiler tarafından yazılarak, bir program parçası olarak verilir. Daha sonra herbir detektör parçasının madde yapısı, eğer karışım, plastik gibi, hangi atomlar-

dan ve hangi oranlarda olduğu tanımlanır. Örneğin kalorimetre, kurşun ve özel bir plastikten yapılmıştır. Daha önce de belirttiğimiz gibi, detektörler çok detaylı ve karmaşık olduklarından, bütün bu çalışmalar, gruptaki bilim adamları tarafından ve profesyonelce yapılırlar. Sonuçta ortaya çıkan program çok büyük bir programdır. Bütün bu tanımları yaptıktan sonra, doğruluğu deneyler tarafından ispatlanan, parçacık fiziği bilgilerini kullanarak, parçacıkların bu maddelerle nasıl etkileşeceğini belirleyen program parçalarına gelir sıra. Kullanılan programlar bütün parçacık fiziğinde ortak olarak kullanılan ve yılların bilgi birikimi ve tecrübeleri ile yazılan programlardır. Etkileşme programlarını sizin programa eklerseniz ve gerekli gördüğünüz yerlerde, sizin özellikle incelediğiniz fizik etkileşmelerine göre değiştirirsiniz.

Bir sonraki aşama, yazdığınız simülasyon programını kalibre etmektir. Yani detektör elemanlarınızın değişik tipteki parçacıklara tepkisi, simülasyonda ve detektörde aynı olmalı. Koşulu sağlamak için, detektörün yapı elemanlarını gerçek parçacıklarla test edip, simülasyon parametreleri ile oynayarak, aynı sonuçları elde etmeye çalışırsınız. Bu işlemin sonucunda, bilgisayarınızdaki detektör, belli bir hassaslıkta, gerçek detektörünüz gibi çalışır. Hatta bilgisayarınızdaki detektörün veri şeklini de aynen gerçek detektörün veri şekli ile eşdeğer bir şekilde ayarlırsınız. Böylece verileri analiz etmek için sadece bir program yazmak yeterlidir. Analiz programınızı, hiçbir değişiklik yapmadan iki veriye de uygulayıp, sonuçları hemen karşılaştırarak, etkileşmenin şekli konusunda bir fikir sahibi olabilirsiniz. Hemen söyleyelim, bu analiz programları da çok büyük ve karmaşıktırlar.



CHORUS trigger sisteminin elektronik yapısının küçük bir bölümü. Sistemde bunun benzeri 32 tane modül vardır.

Simülasyonumuz aşağı yukarı hazır diyelim, şimdi gelelim nasıl kullanılacağına. Buna CHORUS deneyinde yapılan bir uygulamayı örnek vererek devam edelim. CHORUS deneyinin tasarımı aşamasında, detektörün belli bir süre içinde ne kadarlık bir parçacık etkileşmesine maruz kalacağını tahmin etmek gerekti. Her detektörde, detektörün araştırma amacı olan etkileşmeleri seçen bir sistem vardır ve buna trigger (tetikleme) sistemi denir. Trigger sisteminin tasarımı sırasında toplam etkileşme sayısı bilinmelidir çünkü trigger sistemi çok hızlı çalışmalıdır ve ne kadar hızlı çalışması gerektiğini hesaplayabilmek için bu değere ihtiyacınız vardır. Olabildiğince hızlı yapmak her zaman en iyisidir ama çok pahalı sistemler olduğu için, koşullara uygun tasarım yapmak zorunludur. CHORUS deneyi simülasyonu, trigger ile ilgili bahsettiğimiz soruyu ve benzeri soruları cevaplamak için kullanıldı. Programın çok fazla etkileşme için çalıştırılması gerektiğinden ve o zaman CHORUS simülasyon paketinin hazırlanmasına yeni başlandığından, sadece bu amaç için, yine tüm detektör tanımları ile ama varsayımlarla biraz daha sadeleştirilmiş yeni bir program yazıldı ve program normalden 100 kat daha hızlı hale getirildi. Buna trigger simülasyonu programı diyelim. Normal bir nötrino etkileşmesini simülasyon programı ile hesaplamak, en hızlı bilgisayarlarla yaklaşık 7 bilgisayar dakikasına mal olmaktadır. Böyle bir programı 250 000 etkileşme için çalıştırmak, yaklaşık 1200 günde bitirilebilir. Tabii, testleri ve yapılan ufak hataları hesaba katmazsak.

Detektörde oluşabilecek birim zamandaki toplam etkileşme sayısını belirlemek için, daha önce bahsettiğimiz şekilde oluşturulan özel etkileşmeler, detektörün büyük bir bölümüne eşit bir şekilde dağıtıldı. $4 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ lük bir hacim düşünülürken, yeterli istatistiği toplamak için 250 000 etkileşmenin gerekliliği göze çarpacaktır. Yeri gelmişken belirtmekte yarar var, simülasyon programını sadece yazmak değil, doğru bir şekilde kullanmak ve programdan gelen sınırlamaları da gözönünde bulundurmak da sağlıklı bir sonuç bulma açısından, çok önemlidir. Kaldığımız yerden devam edersek, değişik yerlerdeki 250 000 etkileşmenin trigger sistemi tarafından nasıl ve hangi

verimlilikte seçildiği incelendi. Bilgiler değerlendirilerek, detektöre gelen bir nötrino demetinden (yaklaşık 10^{13} nötrino), sadece 0.6 nötrino parçacığının etkileşeceği simülasyon programı ile belirlendi. 0.6



CMS detektörünün sanal gerçeklik programıyla elde edilen bir kenti.

rakamının küçüklüğü ve 10^{13} rakamının büyüklüğü dikkatinizi çekmiştir. Sebep, önceden de belirttiğimiz gibi nötrino parçacıklarının kolay kolay etkileşmemesidir. Trilyonlarca parçacıktan sadece 0.6'sı etkileşiyor. Bu yazıyı okurken bile, her saniye, güneşten gelen, trilyonlarca nötrino parçacığı üzerinizden geçiyor ama çok az etkileştiklerinden size hiçbirşey olmuyor. Şaşırtıcı değil mi?

CHORUS trigger sisteminin tasarımı sırasında simülasyondan bulunan 0.6 rakamı kullanıldı. Bu aşamadan iki yıl sonra detektör tasarımı ve inşaatı bitti ve detektör testlerden sonra çalıştırılmaya başlandı. Toplanan gerçek deneysel veri, simülasyon ile yaptığımız tahmini aynen doğruladı. Trigger tasarımı da, bu öngörü ile, doğru yapılmış oldu. 0.6 rakamı her ne kadar basit bir rakam gibi gözükse de, detektörün karışık ve büyük yapısı, bu rakamın tahminini oldukça zorlaştırır. Örneğin detektörün altındaki demir blokların trigger sistemine etkisi sadece 530 kg olarak hesaplanmıştır, oysa blokların gerçek ağırlığı 30 000 kg'dır. Doğru yüzdeyi tahmin ederken yapılacak % 1'lik bir hata bile, bulduğumuz raka-

mın hassasiyetini bozmaya yeterlidir. Çevrede benzeri birçok ağır malzemenin olduğu gözönüne alınırsa, doğru tahmin için, neden dikkatli olunması gerektiği ve neden yaklaşık 250 000 etkileşme için simülasyon programının çalışması gerektiği ortaya çıkacaktır.

Tabii, bulunan trigger sistem parametresi, böyle bir simülasyon programının kullanım şekillerinden sadece biri. Ama her kullanım şeklinde, temel yaklaşım genelde aynıdır. Gerçekte oluşan bir etkileşmeyi yorumlamak, detektör parametrelerini, detektörün inşaatı öncesi tahmin etmek vs. Çünkü simülasyon sonunda bir bilgisayar programına gerektiği anda müdahale edip, istediğiniz anda neler olup bittiğine bakabilirsiniz. Oysa gerçek detektörün çalışması sırasında, bütün olaylar saniyenin milyarda birinde olup bittiğinden, hemen müdahale mümkün değildir. Sadece deney sırasında kaydettiğiniz bilgiler size ipuçunu verir.

Parçacık fiziğinde simülasyonun çok temel ve önemli bir uygulaması da önceden kısaca söylediğimiz, alınan deney verilerinin, simülasyon kullanarak yorumlanmasıdır. Simülasyon programları olmasa, deneyden fizik ile ilgili bir sonuç çıkarmak çok zordur çünkü detektörünüzün, size söylenen teoriye uyan parçacıklara karşı nasıl davranacağını, simülasyon söyleyebilir. Başka bir deyişle, simülasyon parçacık fiziğinde, teorik bilgiyi, deneye aktarmak için kullanılması zorunlu bir araçtır. Aslında deneylerde yapılan, incelediğimiz özel etkileşmenin simülasyon sonuçlarının, deney sonuçlarına uyumunu aramaktır. İki veri birbirine uyuyorsa, size söylenen teori doğru demektir. Simülasyon programınızı iyice hassaslaştırıp, gerçeğe yaklaştırdıysanız, simülasyonla yapılan, deneyi önce bilgisayarda yapmaktır. Çünkü, daha önce söylediğimiz gibi, bilgisayardaki detektör, gerçek detektör gibi davranmaktadır. Şimdi şöyle bir soru akla gelebilir. Eğer deneyi bilgisayarda yapabiliyorsak, neden mil-

yonlarca dolar verip detektör yapalım? Cevap ise simülasyonun temel prensibinde yatıyor; çünkü simülasyonu yapabilmek için bilinen fizik kurallarını ve daha önce test edilen parçacık etkileşme kurallarını kullanırız, oysa dektörler

bilinmeyen yeni etkileşmeleri araştırmak için kurulurlar. Simülasyonda hayal edebileceğiniz her türlü etkileşmeyi oluşturmak mümkün, ama bunların gerçekte var olup olmadıklarını ancak gerçek bir deney söyleyebilir. Başka bir deyişle, bizim yaptığımız teoriyi simülasyon ile deney platformuna taşımak; ama teorinin gerçeği yansıttığını simülasyon ile söyleyemeyiz.

Yazılan simülasyon programları, bilgisayar grafik programları ile desteklenmiştir. Böylece, detektörünüzde oluşan etkileşme sonucu çıkan parçacıkların detektörün neresine çarptığını görebilir, detektörünüzdeki elementleri büyütüp, elementleri doğru yerleştirip yerleştirmede kontrol edebilirsiniz. Kısacası, grafik olarak detektörünüzün içinde dolaşın, istediğiniz açıdan bakabilirsiniz. Böylece olanlara görsel olarak da hakim olabilirsiniz. Yanlarda yer alan bazı resimler bu tip programlardan elde edilmişlerdir.

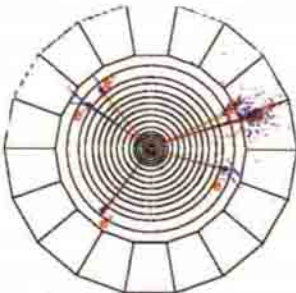
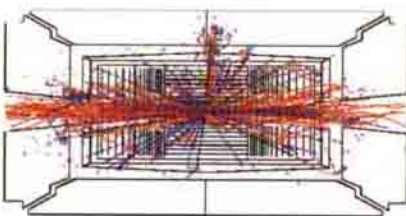
Yeni kuşak detektörlerin tasarımları ise tamamen bilgisayar kontrolindedir. Bütün teknik tasarımlar üç boyutlu olarak bilgisayarlarda yapılır. Sanal Gerçeklik (Virtual Reality) gerekliliği ile olmayan detektörünüzün içinde yürüyüp, merdivenlerden çıkıp, eksikleri veya yanlışları gözleyebilirsiniz. Bu bir lüks değil ihtiyaçtır çünkü yeni kuşak detektörler 1000 kişilik bir fizikçi grubu tarafından tasarlanmaktadır ve bu devasa detektörlerde, kimin neyi nasıl yaptığı ve nasıl yerleştirdiğini kontrol etmek ancak bu şekilde mümkündür. Yeni çalışmalar ile bu teknik tasarımları, simülasyon programına transfer etmek de mümkün olacaktır. Böylece yapılan iş tekrarlanmayacak ve detektörün geometri tanımları, programa aktarılabilir.

Mehmet Zeyrek

Erhan Pesen

ODTÜ Fizik Bölümü

H → ZZ* → 4 elektron



Tasarımı süren yeni kuşak detektörlerden CMS'in simülasyonu

Kaynaklar
<http://www.cern.ch>
<http://chorus.www.cern.ch>
<http://www.fnal.gov>