



ÇARPIŞTIRICIDA GELECEK KUŞAK

Yüksek enerji parçacık fiziğinin karmaşık dünyasını daha iyi araştırabilmek için bilim insanları daha güçlü bir elektron-pozitron çarpıştırıcısı yapmak zorundalar.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) atomaltı parçacık araştırmalarının erimini şimdiye dek ulaşılamamış enerji ölçeklerine eritirdiğinde, fizikte yepyeni bir çağ açılacak. Ama araştırmacılar daha LHC'nin Fransa İsviçre sınırı altındaki dev hızlandırıcı halkasında ilk yüksek enerjili çarpışmaları başlatmadan bile bir sonraki büyük parçacık hızlandırıcısının tasarım ve hazırlıklarına başlamış bulunuyorlar. Ve parçacık fizik camiasının üzerinde anlaşmaya vardığı seçenek, Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı (International Linear Collider - ILC) adlı bir tesis. Bu, elektron ve pozitronları ışık hızına çok yakın hızlarda çarpıştıracak olan 30 km uzunluğunda bir "makine" (Pozitron, elektronun aynı kütleye, ama ters elektrik yüküne sahip olan antimadde karşılığı.)

Daha önceki elektrn-pozitron çarpıştırıcılarının çok üzerinde olan gücüyle ILC, fizikçilerin LHC'nin ortaya çıkarabileceği olağanüstü bulguları çok daha ayrıntılı biçimde inceleyebilmelerini sağlayacak. LHC, aslında herbiri şiddetli çekirdek kuvvetini taşıyan parçacıklar olan gluonların birbirine bağladığı üç kuarktan oluşan bir bileşik parçacık olan protonların çarpışmalarını incelemek üzere tasarlan-

mış. Proton içindeki kuark ve gluonlar da birbirleriyle sürekli etkileşim içinde bulduklarından bir proton-proton çarpışması oldukça döküntülü saçıntılı bir olaydır. Araştırmacılar, çarpışma anında tek tek her kuarkın enerjisinden emin olamazlar ve bu belirsizlik, çarpışmada ortaya çıkan parçacıkların yeni parçacıkların özelliklerinin belirlenmesini güçleştirir. Buna karşılık elektron ve pozitron bileşik değil, temel parçacıklar olduklarından, bir elektron-pozitron çarpıştırıcısıyla çalışan fizikçiler her çarpışmanın enerjisini büyük bir kesinlikle belirleyebilirler. Bu yetenek ILC'yi, yeni keşfedilen parçacıkların kütleleri ve öteki özelliklerini büyük bir duyarlılıkla ölçmek için son derece yararlı bir araç yapacak.

Dünyanın her tarafındaki 300 laboratuvar ve üniversiteden 1600 bilim insanı ve mühendis şu anda ILC'nin tasarımı ve üreteceği parçacık çarpışmalarını inceleyecek olan detektörlerin geliştirilmesi üzerinde çalışıyor. 2007 yılı Şubatında tasarım ekibinin makine için biçtiği tahmini maliyet, detektörlerin işletim maliyetleri hariç 6,7 milyar dolar. Bu arada ILC'nin kuruluş yeri için üç adayın (İsviçre-Fransa sınırındaki Avrupa parçacık fiziği laboratuvarı CERN, ABD'nin Illinois eyaletindeki Fermilab ve Japonya dağları) maliyet karşılaştırılmaları da yapıldı. ILC'nin fiyat etiketi yüksek görünse de, LHC ve füzyon deney reaktörü ITER'in faturalarıyla karşılaştırılabilir düzeyde. Ve her şey yolunda giderse, ILC 2020'li yıllarda parçacık fiziğinin ileri karakollarına güçlü bir ışık tutmaya başlayabilir.

Bir Çarpıştırıcının Doğuşu

2005 yılının Ağustosunda dünyanın her yerinden gelen 600 fizikçi ABD'deki Snowmass kasabasında toplanarak ILC'nin planlanması için düğmeye bastılar. Ama aslında projenin gerçek başlangıcı CERN'in Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı'nın (LEP) 1989 yılında devreye girmesi sayılabilir. LEP, elektron ve pozitronları çevre uzunluğu 27 kilometre olan bir depolama halkası içinde (ışık hızının hemen yakınına) hızlandırıp kafa kafaya çarpıştırıyor ve 180 milyar elektronvolt (GeV) düzeyinde çarpışma enerjileri elde ediyordu. Ancak, LEP'in kendi türünden büyük çarpıştırıcı olduğu da açıktı. Çünkü elektron ve pozitronları trilyon elektronvolt ölçeği (teraölçeğe) düzeyindeki enerjilere hızlandırmak için yüzlerce kilometre çevreli, ve göze almamaz fiyat etiketli hızlandırıcılar gerekecekti.

LEP'teki (ve onun yerini alan LHC'deki) gibi, içinde parçacıkların sürekli dolaşabilecekleri bir depolama halkası çözümü karşısındaki en büyük engel, senkrotron ışınımı denen olgu. Elektron ve pozitronlar gibi görece hafif parçacıklar halka içinde yol alırken yolları, halkadaki elektrik yüklü parçacıkları yönlendiren çok sayıdaki mıknatısça büküldüğünden, enerji yayıyorlar. Bu enerji kayıpları parçacıkları ivmelendirme işlemini giderek daha güçleştirdiğinden, böyle bir çarpıştırıcıyı yapmanın maliyeti çarpışma enerjisinin karesiyle doğrudan orantılı. Yani LEP'te erişilen enerji düzeyini iki katına çıkaracak bir makinenin maliyeti, LEP'inkinin 4 katı olur. (Buna karşılık

proton gibi daha ağır parçacıkları imelendiren çarpıştırıcılarda enerji kayıpları o kadar fazla olmadığından, LEP halkası için kazılmış olan tünel şimdi LHC için kullanılabilir.

Daha hesaplı bir çözüm, çarpacıkları bir halka yerine düz bir hatta hızlandırdığı için senkrotron ışınımı kayıplarından kurtulan bir doğrusal hızlandırıcı. ILC tasarımında biri elektronlar, biri de pozitronlar için olan, her biri 11,3 km uzunlukta iki hızlandırıcı birbirlerine nişan almış durumda ve çarpışma noktası da ortada bulunuyor. Doğrusal hızlandırıcılarda elektron ve pozitronların, bir halka hızlandırıcıda olduğu gibi her turda hızının giderek artırılması yerine, her atımda duran durumdan çarpışma enerjileri düzeyine hızlandırılması gerekiyor. Daha yüksek çarpışma enerjileri elde edebilmek için daha uzun doğrusal hızlandırıcılar yapmak yeterli. Tesisin maliyeti, çarpışma enerjisiyle doğrudan orantılı olduğu için (halka hızlandırıcılarda olduğu gibi karesiyle değil) doğrusal hızlandırıcılara, TeV ölçeğinde depolama halkalarına (halka biçimli hızlandırıcılarının bir başka adı) kıyasla önemli bir avantaj sağlıyor.

LEP'in Avrupa'da inşasına başlandığı aynı tarihlerde ABD Enerji Bakanlığı da Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi'nde (SLAC) rakip bir makine kuruyordu. Doğrusal hızlandırıcı konsepti ilkelere bir ispatı olarak lanse edilen bu makine 3 km uzunluğunda bir doğrusal hızlandırıcıyla elektron ve pozitron kümelerini bir arada hızlandırıyor ve yaklaşık 50 GeV enerji düzeylerine çıkartıyordu. Karışık kümeler daha sonra mıknatıslarla ayırılıyor ve geri döndürülerek kafa kafa çarpışmaları sağlanıyordu. 1989-1998 yılları arasında görev yapan SLAC makinesi tek bir doğrusal hızlandırıcı kullandığı için gerçek bir doğrusal çarpıştırıcı sayılmasa da, bu tesis ILC'nin yolunu açtı.

TeV ölçeğinde doğrusal bir çarpıştırıcı için 1980'lerin sonunda ve 90'ların başında ciddi bir planlama sürecine girildi ve ortaya çok sayıda rakip öneri atıldı. Araştırmacılar bu önerileri daha sonraki yıllarda geliştirirken, bir yandan da önerilen doğrusal çarpıştırıcının maliyetinin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması konusuna odaklandılar. Sonunda 2004 yılı Ağustosunda 12 bağımsız uzmandan kurulu

bir panel, rakip teknolojileri değerlendirdikten sonra TESLA grubunca geliştirilen tasarımın kabulünü önerdi. TESLA, Almanya'nın Hamburg kentindeki DESY araştırma merkezinin koordinatörlüğünde, 40'tan fazla kurumdan gelen bilim insanlarının oluşturduğu bir çalışma grubu. Bu tasarımda elektron ve pozitronlar, kovuk (cavity) denen uzun bir dizi vakum kabından geçecekler. Niobyum metalinden yapılmış bu kovuklar süperiletken olabilirler; yani çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulduklarında elektriği hiçbir direnç göstermeden geçirirler. Bu olgu, kovukların içinde radyo frekanslarında saniyede 1 milyar kez salınacak güçlü bir elektrik alanı yaratacak. Bu salınan elektrik alanı da parçacıkları çarpışma noktasına doğru imelendirecek.

Bu süperiletken radyo frekansı (SCRF) tasarımının temel bileşeni, 2 kelvine (-271 °C) kadar soğutulan 9 hücreden oluşan 1 metre uzunluğunda bir kovuk. Bu kovuklardan sekiz ya da dokuz tanesi uç uca eklenerek cryomodule (kryomodül okunur) denen bir tank içinde bulunan süpersoğuk sıvı helyum içinde tutulacak. ILC'nin iki doğrusal hızlandırıcısının her birinde yaklaşık 900 cryomodül olması gerekiyor. Bu da, ILC'de toplam 16.000 kovuk bulunması anlamına geliyor. DESY'deki araştırmacılar şimdiye kadar 10 prototip cryomodule geliştirmiş bulunuyorlar. Bunların beşi, DESY'de yüksek enerjili elektronlar kullanan FLASH adlı bir lazere monte edildi. SCRF teknolojisi, yakında DESY'de hizmete girecek Avrupa X-Işını Serbest Elektron Lazeri'nde de kullanılacak. Bu tesiste 101 cryomodule yan yana bağlanarak, serbest elektronları 17,5 GeV (mil-

yar elektronvolt) enerji düzeyine kadar imelendirecek.

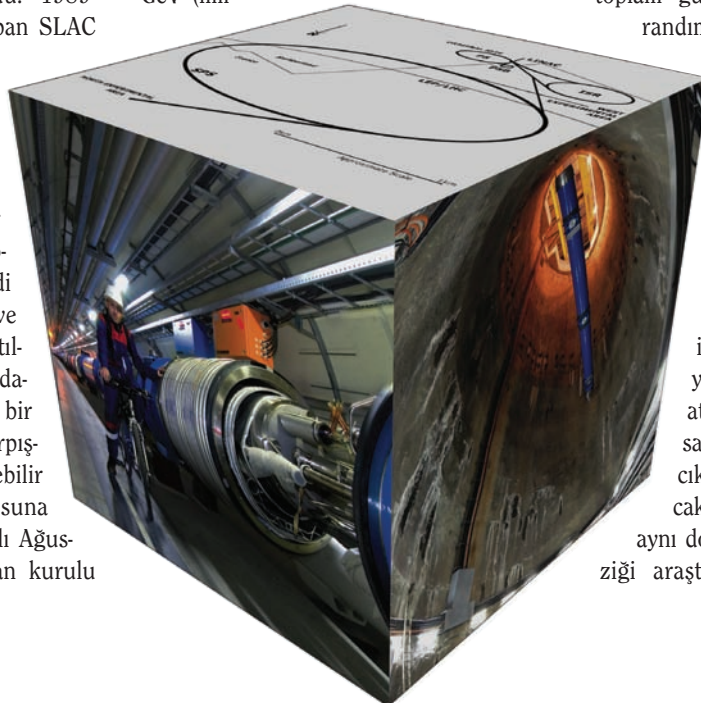
Kovukların daha güçlü bir elektrik alanı üretebilmeleri durumunda ILC'nin doğrusal hızlandırıcıları daha kısa, ve dolayısıyla daha ucuz olabilecekleri için tasarım ekibi SCRF sisteminin performansını, parçacıkların enerjisini kat ettikleri her bir metrede 35 milyon elektronvolt (MeV) artıracak kadar iyileştirmeye uğraşılıyor. Prototip kovuklardan birçoğu daha şimdiden bu hedefin ötesine geçmiş durumda. Ancak bu aygıtların kitlesel üretimi, güç bir sınav olmayı sürdürüyor. Bunların yüksek performansta iş görmesinin koşulu, kovukların iç yüzeylerinin son derece temiz ve hatasız olması. Bu nedenle kovukların hazırlanması ve bunların cryomodule dizileri içine yerleştirilmesinin, temiz-oda ortamlarında yapılması gerekiyor.

Kısaca ILC

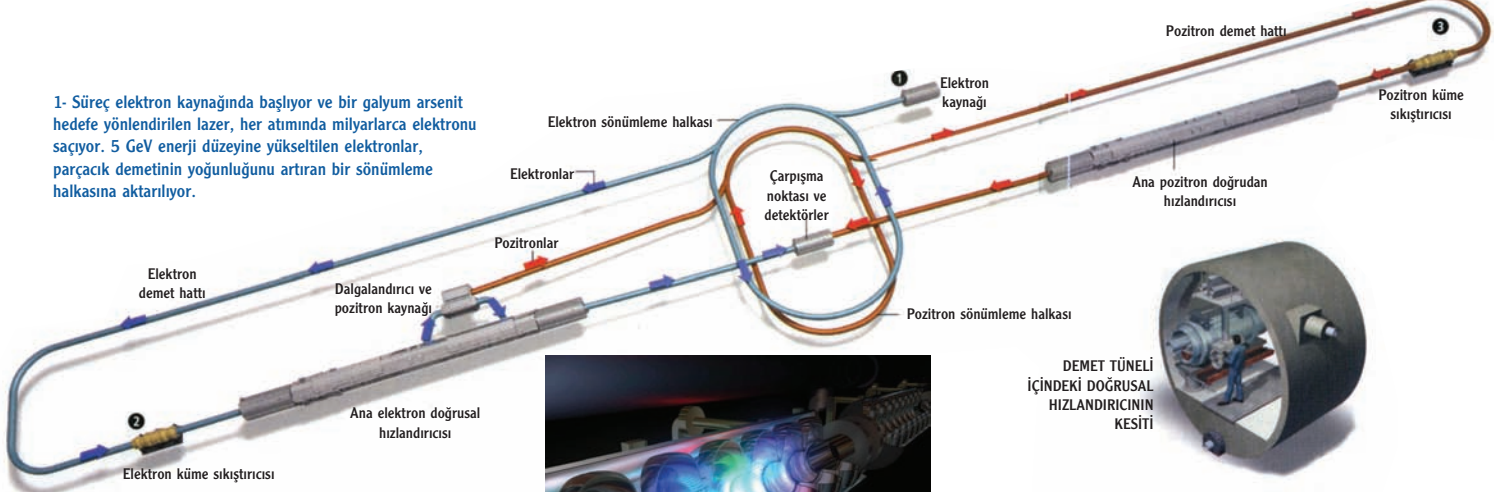
ILC tasarım ekibi, daha şimdiden çarpıştırıcının temel parametrelerini belirlemiş bulunuyor. Makine 31 km uzunlukta olacak. Bu uzunluğun büyük kısmını 500 GeV enerji düzeyinde elektron pozitron çarpışmaları üretecek olan iki süperiletken doğrusal hızlandırıcı alacak. (250 GeV enerjide bir elektron, ters yönden gelen 250 GeV enerjide bir pozitrona çarpacak ve kütle merkezi 500 GeV enerjide çarpışma meydana gelecek.)

Saniyede beş kez tekrarlanmak üzere ILC, bir milisaniye uzunluğunda bir atımla 3000 elektron-pozitron kümesi ortaya çıkaracak, hızlandıracak ve çarpıştıracak. Bu, her demet için yaklaşık 10 megawatt toplam güç demek. Makinenin toplam randımanı (yani elektrik gücünün demet gücüne çevrilen kısmı) %20 olacak. Bu da iki doğrusal hızlandırıcının, parçaları hızlandırmak için yaklaşık 100 megawatt toplamında elektrik gücüne gereksinim duyacağı anlamına geliyor.

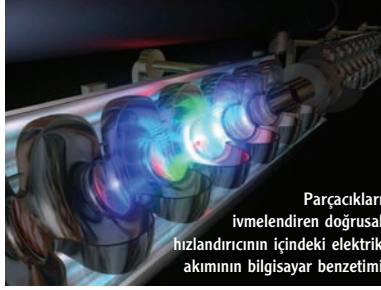
Elektron demetini üretmek için bir lazer, galyum arsenitten yapılmış bir hedefe ateşlenerek her atımda milyarlarca elektronun saçılmasına yol açacak. Bu parçacıkların spinleri kutuplanmış olacak, yani spin eksenlerinin tümü, aynı doğrultuya bakacak. Parçacık fiziği araştırmalarından birçoğunda bu



1- Süreç elektron kaynağında başlıyor ve bir galyum arsenit hedefe yönlendirilen lazer, her atımında milyarlarca elektronu saçıyor. 5 GeV enerji düzeyine yükseltile elektronlar, parçacık demetinin yoğunluğunu artıran bir sönümleme halkasına aktarılıyor.



2- Elektronlar parçacık kümelerini sıkıştırıp 15 GeV enerji düzeyine hızlandırıp bir küme sıkıştırıcısına giriyor. Oradan da parçacıkları 250 GeV enerjiye hızlandıran doğrusal hızlandırıcılardan birine giriyor. Elektron kümeleri hızlandırıcı içinde kısa bir ara yolculukla dalgalandırıcı denen özel bir mıknatısa gönderiliyor. Bu mıknatıs, elektronların enerjilerinin bir kısmını gamma ışınlarına çeviriyor. Gamma ışınları daha sonra dönen bir hedefe çarpılarak elektron-positron çiftleri oluşturuluyor. Pozitronlar yakalanıp 5 GeV enerji düzeyine hızlandırılıyor ve başka bir sönümleme halkasına gönderiliyor.



3- Pozitronlar ILC'nin öteki tarafına ulaşıp orada sıkıştırılıyor ve öteki doğrusal hızlandırıcı tarafından 250 GeV'e hızlandırılıyor. Manyetik lensler birbirine doğru ilerleyen elektron ve pozitron demetlerini odaklıyor ve çarpışma noktasındaki detektörler yüksek enerjili çarpışmalardan fırlayan parçacıkları inceliyor.

spin kutuplanması önemli. Elektronlar kısa bir SCRF doğrusal hızlandırıcıda 5 GeV enerji düzeyine hızlandırılacak ve daha sonra tesisin merkezinde bulunan 6,7 kilometre uzunluğunda bir depolama halkasına sokulacak. Elektronlar halka içinde dolanıp senkrotron ışınımı yayarken, parçacık kümeleri sıkıştırılacak, yani hacimleri küçülecek ve (elektrik) yük yoğunlukları artacak; böylece parçacık demetinin şiddeti yükselecek.

Elektron kümeleri 200 milisaniye sonra sıkıştırma halkasından çıktıklarında herbiri yaklaşık 9 mm uzunluğunda ve en ince insan saçından daha ince olacaklar. ILC daha sonra ivmelenmesini ve bunun ardından detektör içinde kendisine karşılık gelen pozitron kümesiyle çarpışmasını optimize etmek için her bir elektron kümesini 0,3 mm boyuta sıkıştırarak. Sıkıştırma sırasında kümelerin enerjisi 15 GeV düzeyine yükseltilecek ve bunun ardından 11,3 km uzunluğundaki SCRF doğrusal hızlandırıcılardan birine enjekte edilip 250 GeV enerji düzeyine ivmelendirilecekler. Ama doğrusal hızlandırıcının ortasına gelindiğinde, parçacıklar henüz 150 GeV enerjideyken, elektron kümeleri kısa bir süre için yollarından saparak pozitron kümelerini üretecekler. Elektronlar dalgalandırıcı (undulator) adlı özel bir mıknatısın içine saptırılınca enerjilerinin bir kısmını gama ışınları olarak yayacaklar. Gama fotonları da dakikada 1000 kez dönen, titanyum alaşımından yapılmış bir hedef üzerine odaklanacaklar ve darbeler büyük miktarda elektron-positron çiftleri üretecek. Pozitronlar, mıknatıslarla yakalanıp 5 GeV enerji düzeyine kadar hızlandırıldıktan sonra bir başka sıkıştırma halkasına sokulacak ve sonunda ILC'nin öteki tarafında bulunan ikinci ana SCRF doğrusal hızlandırıcısına gön-

derilecek. Elektron ve pozitronlar 250 GeV düzeyine hızlandırılıp hızla çarpışma noktasına yaklaşırken, bir dizi manyetik "mercek", yüksek enerjili kümeleri 640 nanometre genişliğinde ve 6 nanometre yükseklikte düz şerit demetler haline getirilecek. Çarpışmalardan sonra kümeler etkileşim bölgesinden çıkartılarak, "demet çöplüğü"ne gönderilecek ve burada çarpacakları bir hedef parçacıkları soğurarak enerjilerini azaltacak.

ILC'nin her alt sistemi teknolojinin sınırlarını zorlarken, ortaya zorlu mühendislik sınavları çıkaracak.

Çarpıştırıcının sıkıştırma halkaları, bilinen elektron depolama halkalarında şimdiye kadar elde edilebilenden kat kat yüksek demet kalitesi sağlamak zorunda. Dahası, demet kalitesi sıkıştırma, hızlandırma ve odaklama evrelerinde de korunmalı. Çarpıştırıcının ayrıca gelişkin taşı sistemlerine, uç teknolojide demet ayar süreçlerine ve parçalarının son derece duyarlı biçimde konumlandırılmasına gereksinimi olacak. Pozitron üretecek sistemin yapımı ve nanometre ölçekli demetleri çarpışma noktasına nişanlamak da öyle kolayca gerçekleştirilebilecek işlerden değil.

Öte yandan, ILC içindeki çarpışmaların analizini yapacak detektörlerin geliştirilmesi de ayrı bir sorun. Örneğin, Higgs bozonuyla öteki parçacıklar arasındaki etkileşimin şiddetlerini belirleyebilmek için detektörlerin yüklü parçacıkların momentumlarını ve ortaya çıkış noktalarını, daha önceki makinelerde erişilebilenden kat kat üzerinde bir duyarlılıkla ölçmeleri gerekiyor. Biliminsanları halen araştırmacılara ILC'nin ortaya çıkaracağı zengin fiziği devşirme olanağı sağlayacak yeni izleme ve kalorimetre sistemleri üzerinde yoğunlaşmış durumdadır.

Bundan Sonrası...

ILC ekibinin çarpıştırıcı için önerilen tasarımlardan biri üzerinde karar kılınmış olmasına karşın, önümüzde daha çok uzun bir planlama süreci var. Gelecek birkaç yıl içinde, bir yandan LHC yapacağı proton-proton çarpışmalarının sonuçlarını toplayıp incelerken, bir yandan da ILC tasarımının makul bir maliyetle mümkün en iyi performansı sağlayacak biçimde inceden inceye geliştirilmesi gerekecek. ILC'nin nerede kurulacağı henüz bilinmiyor. Yer seçimi, büyük ölçüde hükümetlerin projeye yatırmaya razı olacağı paranın miktarına göre belirlenecek. Bu arada Avrupa, ABD ve Japonya'daki olası ILC yerleşkeleri de incelenecek. Önerilen yerlerin jeolojileri, topoğrafyaları, yerel standart ve kurallar arasındaki farklılıklar, farklı inşaat yaklaşımları ve maliyet hesapları gerektirecek. Sonuçta, ILC tasarımının ayrıntılarından birçoğu, çarpıştırıcının nerede kurulacağına bağlı olacak.

Yine de planlamada gelinmiş olan aşama LHC'deki bilimsel bulgular üzerinde daha ince araştırmalar gerektiren hedefleri ortaya koyar koymaz ILC'nin son hızla işe girişmesini olanaklı kılıyor. Teknik tasarım çalışmalarına paralel olarak, bir yandan da farklı hedeflere sahip fizikçi gruplarının herbirine söz hakkı verecek yönetim modelleri üzerinde çalışmalar yürütülüyor.

Bu iddialı projenin ortaya atılışı, geliştirilmesi ve tasarımı nasıl ki gerçek bir küresel işbirliği örneği olmuşsa, yapımı ve yönetiminin de tümüyle uluslararası olması gerekiyor.

Barish, B., Walker, N., Yamamoto, H., "Building the Next-Generation Collider", Scientific American, Şubat 2008
Çeviri: Raşit Gürdilek