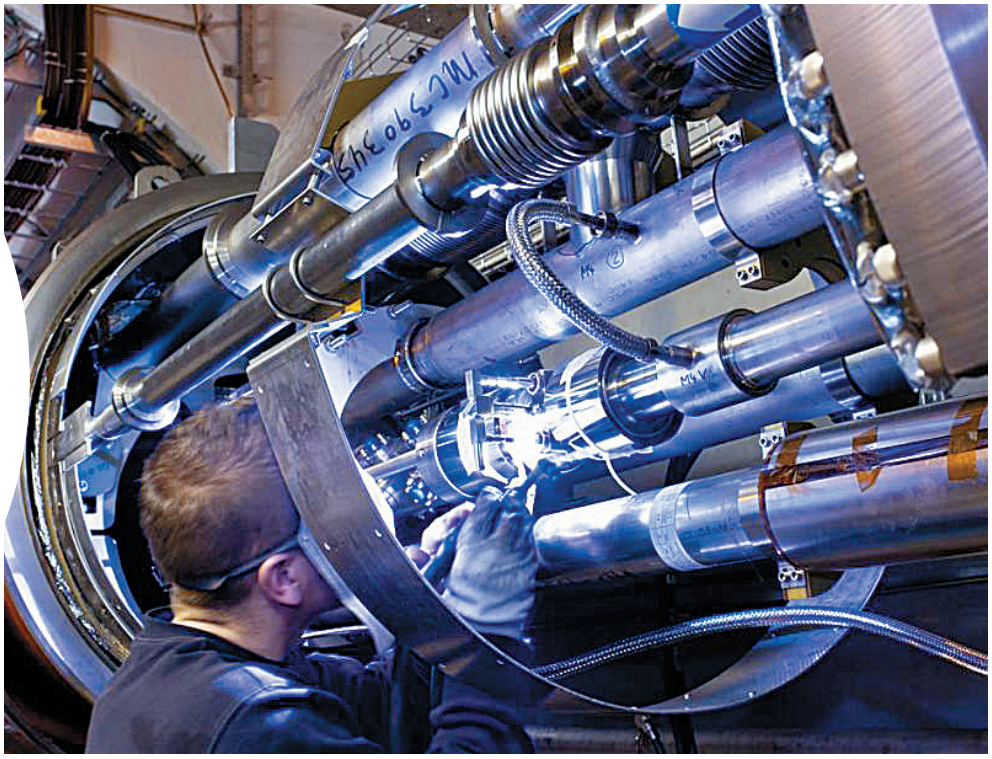
Dünyanın en büyük parçacık fiziği araştırma laboratuvarı olan CERN'de, araştırmacı kadrosunda çalışan fizikçilerden 10 kat daha fazla mühendis ve teknisyen çalışıyor. Bunun nedeni, CERN'de yapılan araştırmaların, atomik boyutlardan devasa boyutlara kadar teknolojinin sınırlarını zorlayan mühendislik çalışmaları gerektiriyor olması. Aslında sözü geçen bu araştırmalar fizikçi-mühendis-teknisyen üçlüsünün işbirliği sayesinde gerçekleşiyor.



Temel bilimlerin ışığında

Teknolojinin **sınırlarını zorlayan** mühendisler

Bir fikrin üretilmesi ile uygulamaya konulması arasında dağlar kadar fark vardır. Örneğin, İkinci Dünya Savaşı'nda Alman denizaltılarını bulmak için İngiliz denizcilik bakanlığına sunulan önerilerden biri de, denizin suyunu çekip denizaltıların saklanmasına engel olmaktı. Bu fikrin uygulanmasının olanak dışı olduğu açıktı. Yine aynı dönemde ortaya atılan, kütle farkları gramın trilyon kere trilyonda biri olan iki uranyum izotopunu ayrıştırarak denetlenebilir bir nükleer reaktör yapmak fikri ise ancak devasa bir proje halinde uygulanabilmişti.

Evreni kavrayışımızı artırmak için tasarlanan deneyler, yani parçacık fiziği deneyleri, mühendislerin önüne son derece zorlu hedefler koyuyor. Yapılan parçacık fiziği deneylerinde kullanılan düzeneklerin her biri, birer mühendislik harikası olarak ortaya çıkıyor. Bu özel tasarım düzeneklerde kullanılan teknolojiler ise zaman içinde geniş kullanım alanları bularak günlük hayatımızın birer parçası haline geliyor.

Dünyanın en büyük parçacık fiziği araştırma laboratuvarı olan CERN'de, araştırmacı kadrosunda çalışan fizikçilerden 10 kat daha fazla mühendis ve teknisyen çalışıyor. Bunun nedeni, CERN'de yapılan araştırmaların, atomik boyutlardan devasa boyutlara kadar teknolojinin sınırlarını zorlayan mühendislik çalışmaları gerektiriyor olması. Aslında sözü geçen bu araştırmalar fizikçi-mühendis-teknisyen üçlüsünün işbirliği sayesinde gerçekleşiyor. Mühendisler, fizikçilerin araştırmalarını yapabilmek için ihtiyaç duydukları makineleri üretir, teknisyenler ise bu sistemlerin düzgün çalıştırılmasını sağlayarak gerektiğinde bakım ve tamirini yapar. Mühendisler ve teknisyenler böyle bir atmosferde kazandıkları tecrübeyle uzmanlık alanlarının endüstriyel uygulamalarında da önemli kapıları aralar.

Örneğin parçacık hızlandırıcılarının kurulması için tüneller kazılması ve çok büyük altyapı projelerinin oluşturulması inşaat mühendisleri sayesinde olur. Elektrik, elektronik, kontrol, bilgisayar, malzeme, makine ve diğer alanlardaki mühendisler ve teknisyenler ise son derece karmaşık bileşenlerin tasarlanması, üretilmesi ve kurulmasında rol oynarlar.

Dr. Ali BOZBEY
TOBB ETÜ Elektrik Elektronik Bölümü
Dr. Serkant Ali ÇETİN
Doğuş Üniversitesi Fizik Bölümü
Dr. Gökhan ÜNEL
Univ. Calif. Irvine, Fizik ve Astronomi Bölümü / CERN



▲ Yerin 100 metre altında ATLAS algıcı için hazırlanan mağaranın algıç kurulmadan önceki hali.

HANGİ BİLEŞENLERDEN BAHSEDİYORUZ?

Parçacıkların hızlandırıcının içinde itilebilmeleri için doğru şekilde ve büyüklükte imal edilmesi gereken radyofrekans kovukları, dairesel hızlandırıcılardaki kıvrımlarda parçacık demetlerini yönlendirecek ve onları odaklayacak özel üretim elektromıknatıslar, mıknatıslardaki tellerin dirençsiz bir şekilde, yani enerji kaybı olmadan elektriği taşıyabilmeleri için mutlak sıfıra yakın sıcaklıkta süperiletken halde bulunmalarını sağlayan devasa soğutma sistemleri, parçacık demetlerinin hızlandırıcı içinde rahatça dolaşabilmelerini sağlayabilmek için vakum sistemleri...

Sadece parçacık hızlandırıcıları değil, parçacık algıçları da birçok mühendislik çözümleri gerektirmektedir. Algıç sistemlerinin bileşenleri ve alt sistemleri, uyum içinde çalışmaları için birleştirilmeden önce ayrı ayrı tasarlanır, üretilir ve testlerden geçirilir. Kilometrelerce kablolama, binlerce elektriksel ve elektronik bileşen, parçacık algıçları mühendisliğin son derece karmaşık bir başarısı olarak karşımıza çıkartır.

İşte bu sebeplerden dolayı CERN gibi temel bilim araştırmalarının yürütüldüğü laboratuvarlarda mühendisler yaşamsal önem taşır. Deneysel fiziğin sınırlarını zorlayarak doğa hakkında yeni bilgilere ulaşabilmemiz onların inşa ettikleri en ileri düzeydeki makine ve sistemlerle mümkün olur. Gelin bu sistemlerden sadece birkaçını biraz daha yakından inceleyelim. İnceleyeceğimiz sistemler CERN'de şu anda faaliyet gösteren Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) için kurulmuş bazı örneklerdir. CERN'de geleceğin teknolojileri ve sistemleri de yine mühendisler tarafından geliştirilmeye devam ediliyor.

SOĞUBİLİM

Soğubilim (kriyojeni), adından da anlaşılacağı gibi, çok düşük sıcaklıkların üretimi ve etkileriyle ilgilenen bir fizik alanıdır. Bu alandaki en büyük yapı ise, CERN'deki



▼ CMS deneyinin mağarasında bazı verileri kontrol eden mühendisleri.


© CERN

BHÇ'nin soğutma düzeneğidir. BHÇ'de kullanılan mıknatısların tümü elektromıknatıstır, yani tellerden geçen elektrik akımıyla manyetik alan oluşturulur. Bu mıknatıslar -271,3 ^{0}C'de çalışır. Bu da uzaydaki ortalama ısıdan 0,8 ^{0}C daha soğuk anlamına gelir. BHÇ'nin soğubilim düzeneği, bu kadar düşük bir sıcaklık sağlamak için 40MW elektrik ve 120 ton helyuma ihtiyaç duyar. "Mutlak sıfır" denilen -273,15 ^{0}C değer ise maddeyi oluşturan moleküllerin daha fazla soğutulamadıkları seviyedir. Kütle enerjisi daha da soğuğa gitmeye izin vermez. Aslında -273,15 ^{0}C gerçek anlamda sıfır derece olarak adlandırılmalıdır. Bunun yapıldığı ve soğubilim için daha uygun olan bu birim sistemi Kelvin'dir (K). Örneğin suyun donma sıcaklığı olan 0 ^{0}C, Kelvin cinsinden 273,15 K olarak yazılır.

NEDEN BU KADAR SOĞUK BİR ORTAMA İHTİYAÇ VAR?

BHÇ mıknatıslarından son derece yüksek bir performans bekleniyor. Proton demetlerini çevresi 27 kilometre olan BHÇ halkasında yörüngede tutmak için yaklaşık 8 Tesla şiddetinde manyetik alan gerekir. Bu kadar yüksek bir manyetik alanı sağlamak için elektromıknatısların sarmal tellerinden yaklaşık 12000 amperlik elektrik akımı geçirmek gerekiyor. İşte tam bu noktada sarmalların ısınmasını engellemek ve mümkün olabildiğince küçük boyutlarda üretilmesine imkân sağlamak için süperiletken malzemelerin kullanılması tek çözüm. Süperiletkenlik hakkında daha ayrıntılı bilgiyi Ekonomik Forum Dergisi'nin 232. sayısının teknoloji sayfasında yer alan yazımızda bulabilirsiniz.

Soğubilim yapıları BHÇ mıknatıslarında kullanılan niobyum-titanyum (NbTi) tellerin süperiletken halde davranmaları için gereken sıcaklığa inilmesini sağlar. Bu süperiletken mıknatıslar kapalı sıvı helyum devrelerinde 1,9 K (-271,3 ^{0}C) sıcaklıkta bulundurulur.

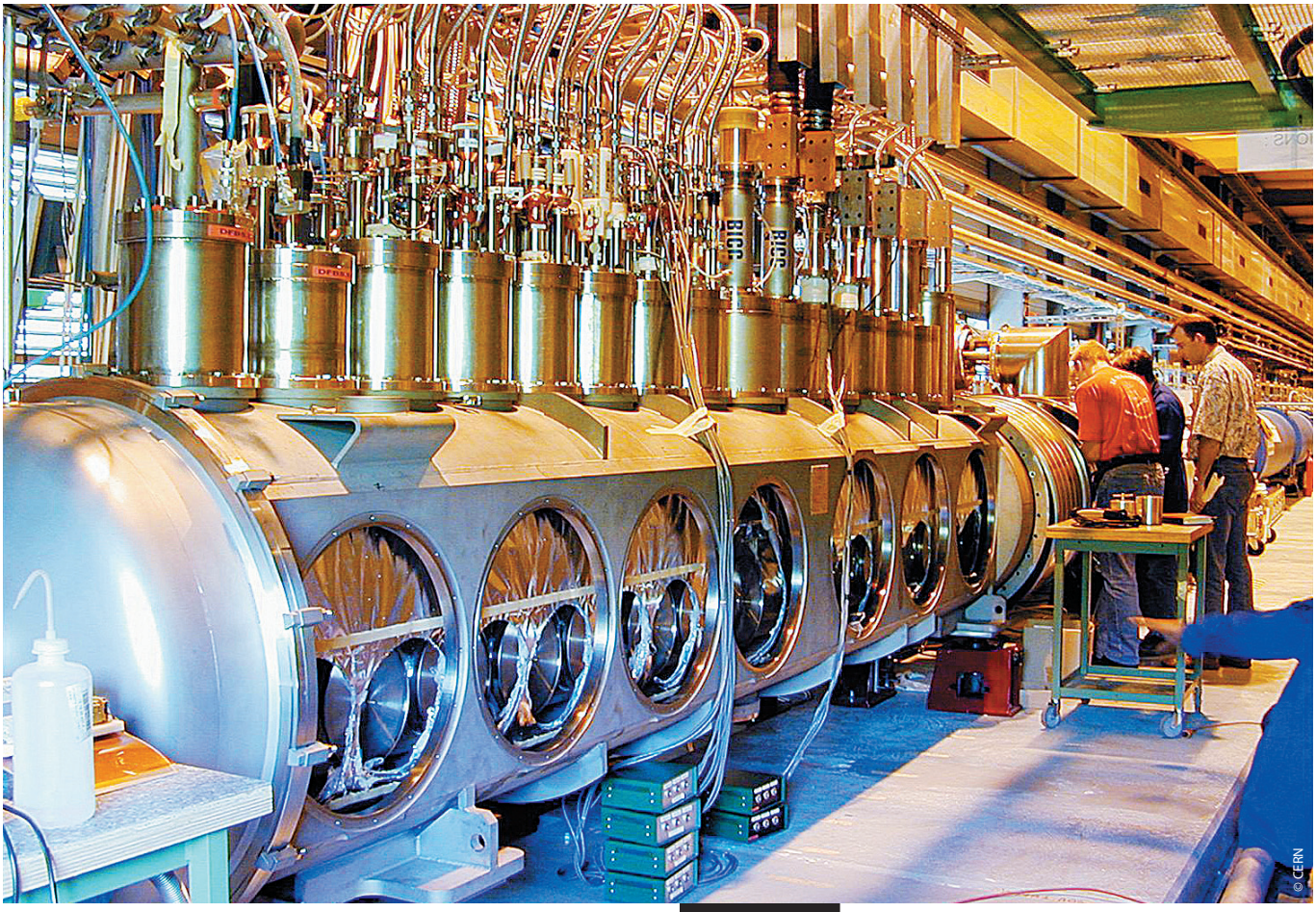
Soğubilim yöntemler, genelde yukarıda anlatıldığı gibi süperiletken mıknatısları soğutmak için kullanılır. Ancak parçacık algıçlarında da argon veya kripton gibi ağır gazları sıvı halde tutarak kalorimetrelerde parçacıkları algılayabilmek için kullanılır.

BU KADAR DÜŞÜK SICAKLIKLARA NASIL ULAŞILIYOR?

Yine CERN BHÇ mıknatıslarının soğutma düzeneğini ele alırsak, beş "soğubilimsel ada"nın soğutucu akışkanların dağıtımı ve kilovatlarca soğutma gücünü kilometreler boyunca iletmek için kullanıldığını görüyoruz. Bütün soğutma sürecinin tamamlanması haftalar alır ve bu süreç üç aşamadan oluşur. İlk aşamada soğutma düzeneğindeki ısı değiştiricilerinde 10000 ton sıvı nitrojen kullanılarak, helyum 80 K sıcaklığa kadar soğutulur. Helyum daha sonra ikinci aşamada kullanılan türbinler aracılığıyla 4,5 K sıcaklığa indirilerek mıknatısların soğuk kütlesine katılır. Mıknatıslar helyumla doldurulduktan sonra üçüncü ve son aşamada ise kullanılan 1,8 K'lik soğutma birimleriyle 1,9 K değerine kadar soğutulur. BHÇ'nin soğubilim düzeneği toplamda 36000 ton mıknatıs kütlesini soğutur.


© CERN

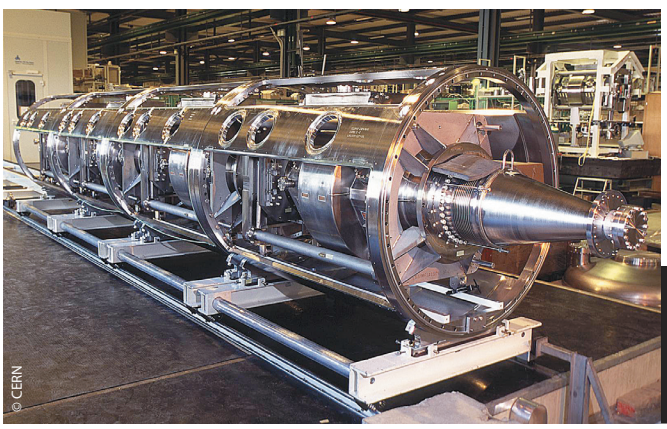
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda kullanılan soğubilim yapının bileşenleri.



▲ Büyük Hadron Çarpıştırıcısı soğubilimsel kriyojenik deneme tesisi.

BU İNANILMAZ SOĞUKLUK İÇİN NEDEN HELYUM KULLANILIYOR?

Helyumun bazı özellikleri sayesinde uzun mesafeler boyunca bileşenlerin soğuk tutulması sağlanabiliyor. Atmosfer basıncında gaz durumunda olan helyum, 4,2 K'e kadar soğutulduğunda sıvı haline geçiyor. Ancak daha da soğutulup 2,17 K'in altına indirildiğinde akışkan yapısı süperakışkan oluyor. Süperakışkan helyumun birçok olağanüstü özelliği var. Bu özelliklerden biri de, yüksek ısıl iletkenliği. Süperakışkan helyum, son derece yüksek verimliliğe sahip bir ısı iletkenidir. Helyum BHÇ çalışırken kapalı devre dolaştırılır ve 27 kilometre boyunca gereken 1,9 K soğuğu sağlar. Bu özellikler helyumu BHÇ'nin büyük ölçekli süperiletken yapıları için mükemmel bir soğutucu yapmaktadır.



◀ Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın süperiletken RF kovuklarının vakum kutusuna yerleştirilmiş hali.

VAKUM

Parçacık hızlandırıcılarındaki yüksek vakum ihtiyacının nedeni parçacık demetlerinin hızlandırıcı içerisinde dolaşırken gaz molekülleriyle çarpışmasını engellemektir. Bunun için BHÇ'de gezegenler arası boşluk kadar yüksek vakum ortamı oluşturulmaktadır. BHÇ'deki vakum ihtyacı sadece parçacık demetlerinin dolaştığı boruların içinde değil, aynı zamanda soğubilimsel olarak soğutulan mıknatıslarla radyofrekans kovuklarının ve helyum dağıtım hatlarının ısıl yalıtımında da ortaya çıkmaktadır.

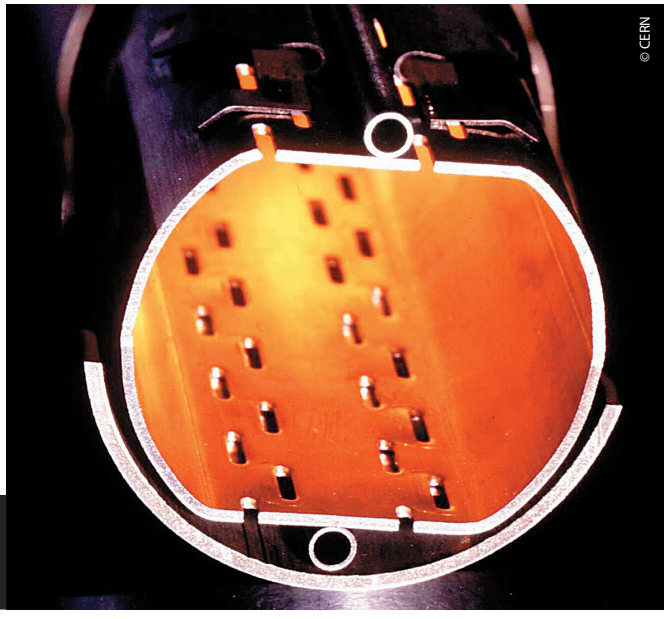
BHÇ'de toplam 104 kilometrelik bir boru şebekesine vakum uygulanmaktadır ve bu dünyadaki en büyük vakum hattıdır. Toplam uzunluğun 50 kilometrelik kısmı ısıl yalıtım için gereklidir ve 15000 metreküplük bir hacimde 10^{-6} mbar mertebesinde bir basınca ulaşılır (1 bar basınç



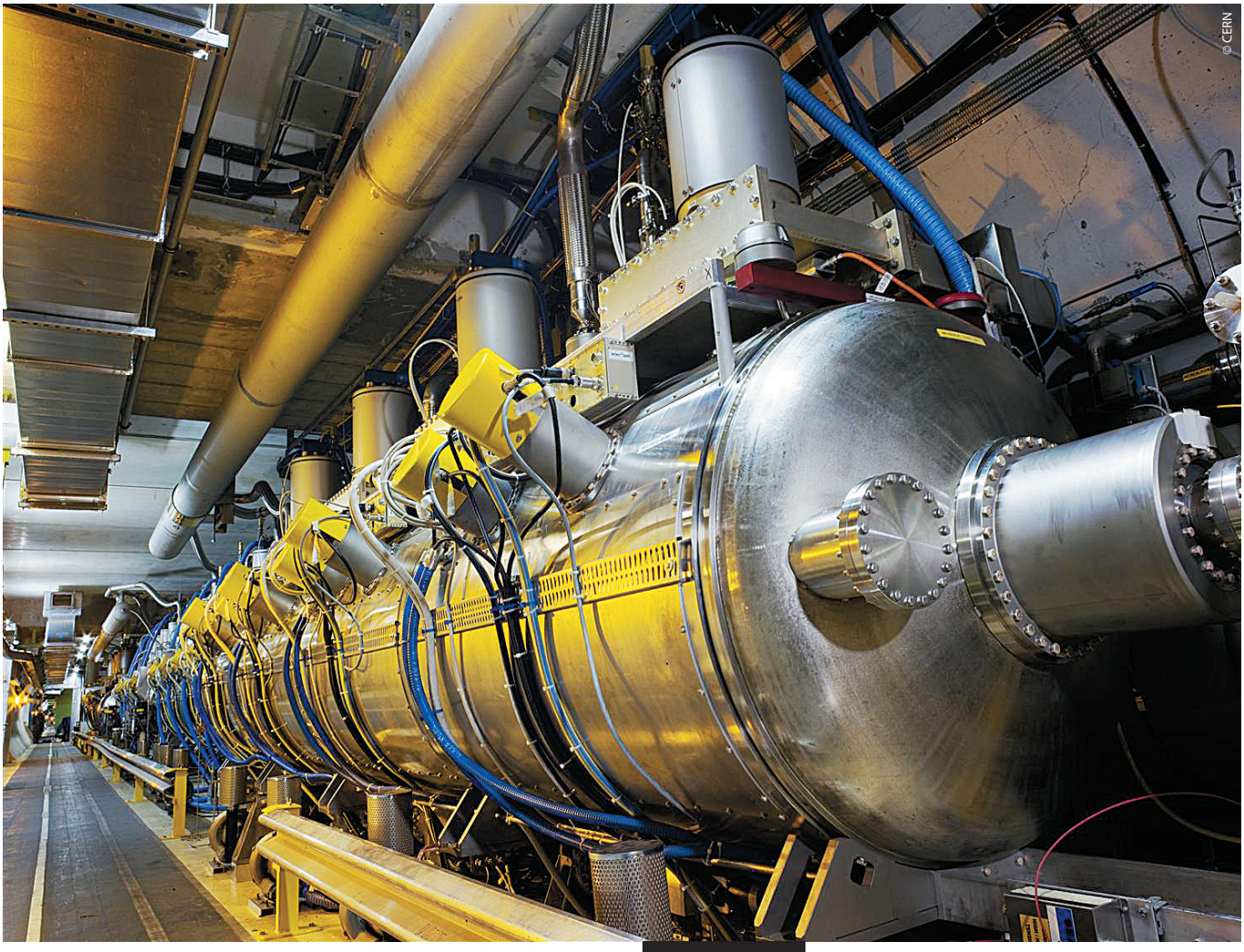
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı tünelindeki dönemeçli kısımlarda bulunan mıknatıslar kurulum aşamasında.

deniz seviyesinde 0 ^{0}C sıcaklıktaki atmosfer basıncına denktir). Geriye kalan 54 kilometre ise parçacık demetlerinin dolaştığı boru hattının toplam uzunluğudur (çevresi 27 kilometre olan BHÇ'de parçacıklar paralel iki boruda, zıt yönlerde hızlandırılırlar). Bu borulardaki vakum değeri ise 10^{-10} mbar ile 10^{-11} mbar arasında bir basınca denk gelir ki, bu değer ay yüzeyindeki vakumdan dahi azdır. İhtiyaç duyulan bu ultrayüksek vakum 1,9 K sıcaklıktaki 48 kilometre dönemeçli kısım ve oda sıcaklığındaki 6 kilometre düz kısımda farklı tekniklerle sağlanır. Dönemeçli kısımlardaki ultrayüksek vakum 9000 metreküp gazın soğubilimsel pompalanmasıyla sağlanır. Işınların dolaştığı borular son derece düşük sıcaklıklara indirildiğinde gaz yoğuşarak boru yüzeyine tutunur. İki haftalık pompalama sonucunda bu borulardaki basınç 10-10^{-10} mbar'ın altına düşürülür. Oda sıcaklığındaki düz boru kısımlarında ise iki farklı tasarım etkindir. İlk olarak bu boruların iç yüzeyleri buharlaşmayan bir gaz tutucu tabakayla kaplanır. İnce bir titanyum-zirkonyum-vanadyum alaşımından oluşan bu tabaka CERN'de geliştirilerek endüstriyel kullanıma da sunulmuştur. Bu yüzey tarafından tutulamayan metan ve soy gazlar ise 780 adet iyon pompasıyla boşaltılır. Oda sıcaklığındaki kısımlarda uygulanabilen bir diğer yöntem ise fırınlamadır. Fırınlamada borular dışarıdan ısıtılarak içerideki vakumun kalitesi artırılır. Bu işlem belirli aralıklarla tekrarlanarak vakumun hedeflenen düşük basınçlarda kalması sağlanır.

Bu teknolojiler temel bilim araştırmaları için geliştirilmiş olsalar da günlük hayatı etkileyecek kullanım alanları da bulmuşlardır; örneğin ısı toplayıcı güneş panellerin performansında ultrayüksek vakum teknolojisi sayesinde oldukça büyük bir ilerleme sağlandı. Böylece panellerdeki ısıl ve optik kayıplar daha önce ulaşılması mümkün olmayan düşük seviyelere indirilebildi.



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda parçacık demetlerinin geçtiği boruların kesiti.



▲ Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndaki RF kovukları.

RADYOFREKANS KOVUKLAR

Radyofrekans (RF) kovuk, içerisinde elektromanyetik alanlar olan metal bir odacıktır. Bu kovuklar ip üzerinde dizili boncuklar gibi art arda konur. Bu benzetmede ip ise parçacık ışınlarının geçtiği borulardır. RF kovuklar elektromanyetik dalgaların rezonans halinde artabilmeleri için özel bir şekil ve boyuta sahiptir. Yüklü parçacıkların kovuklarda oluşan bu elektromanyetik alandan geçerken hissettikleri kuvvet, onlara enerji vererek hızlandırıcı içinde ileriye doğru itilmelerini sağlar.

RADYOFREKANS NE DEMEK?

Yüklü parçacıklar ilerlerken, kovuklardaki elektromanyetik alanın yönünün de parçacıklara yolları boyunca enerji verecek şekilde değişmesi gerekir, yani eloktromanyetik alanın yönü bazen iten bazense çeken olacak şekilde salınım halinde değişir. Parçacıkların neredeyse ışık hızıyla gittikleri, kovukların ise metre mertebesinde boyutlara sahip oldukları düşünülürse, sözü geçen salınımın frekansının, tam da radyofrekans aralığına denk geldiği görülür. Örneğin BHÇ'de kullanılan frekans 400 MHz'dir.

BHÇ proton demetlerinin hızlandırarak onları dört büyük algıcın içinde çarpıştırır: ALICE, ATLAS, CMS ve LHCb algıçları. Protonlar, enerjilerini artırmak için kovuklardan defalarca geçerler, en yüksek enerjiye 15 dakikada ulaşılır ve bu süre boyunca proton bohçaları hızlandırıcı kovuklarından 1 milyon kez geçer. BHÇ'de 16 RF kovuk vardır ve bunlar soğubirim denen silindir biçiminde dört soğutucu içinde bulunur. Soğubirimler kovukların süperiletken halde bulunmalarını sağlar. Bu sayede elektrik direnciyle enerji kaybetmez. BHÇ'deki RF kovuklarını yüksek güçlü klistronlar (elektron demetiyle RF güç üreten tüpler) besler. 400 MHz'lik modülasyonla yüksek güçlü elektron demetlerinden elde edilen güç, dalga kılavuzlarıyla RF kovuklara iletilir. Klistronlar, savunmada radarların güç kaynağı olarak da kullanılır.

Kaynakça

- *"About CERN: Engineering", http://home.web.cern.ch/about/engineering*
- *"Keşif Işıldakları: Parçacık Fiziği Gereçleri", http://www.interactions.org/beacons/tr/node/126*