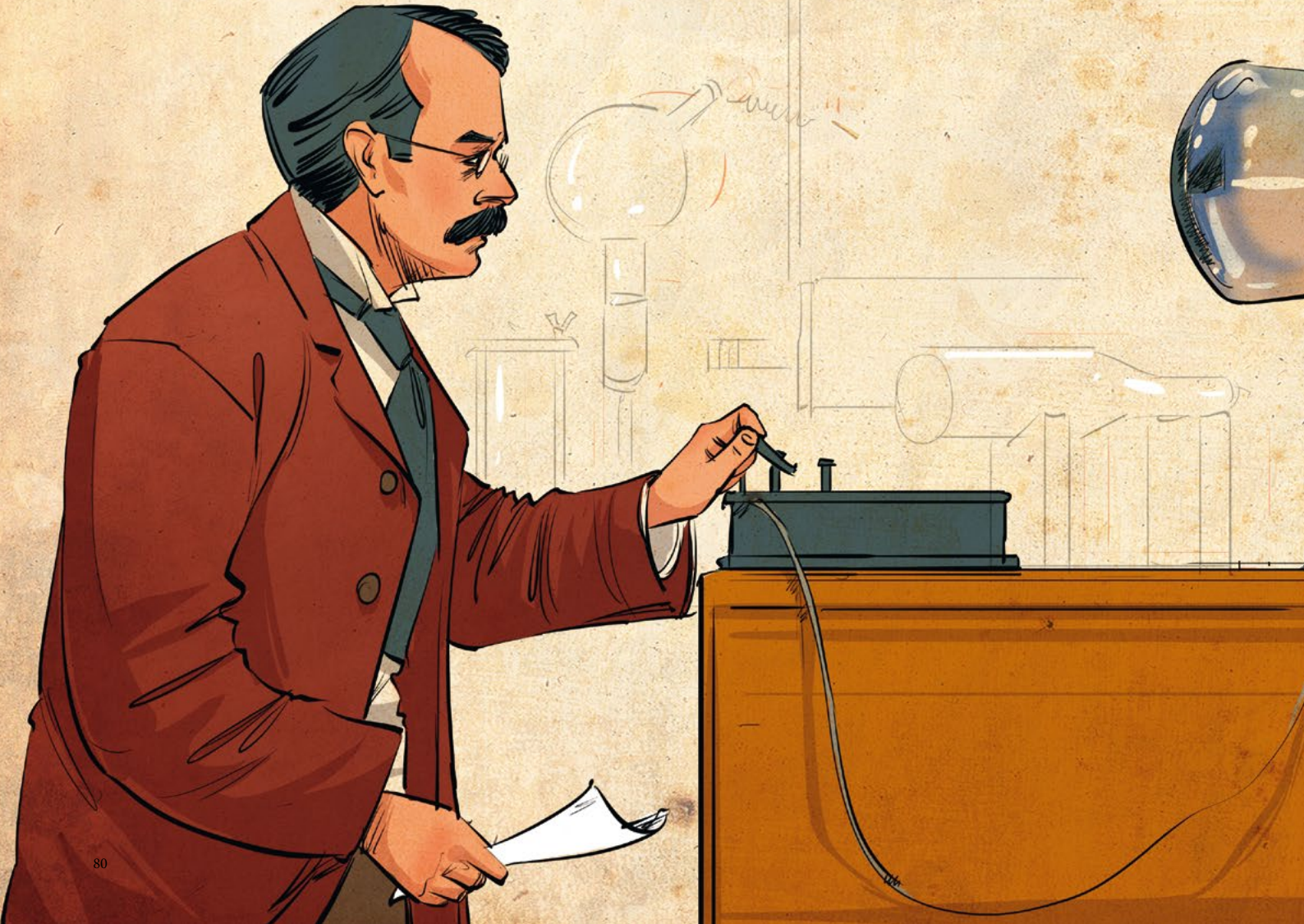


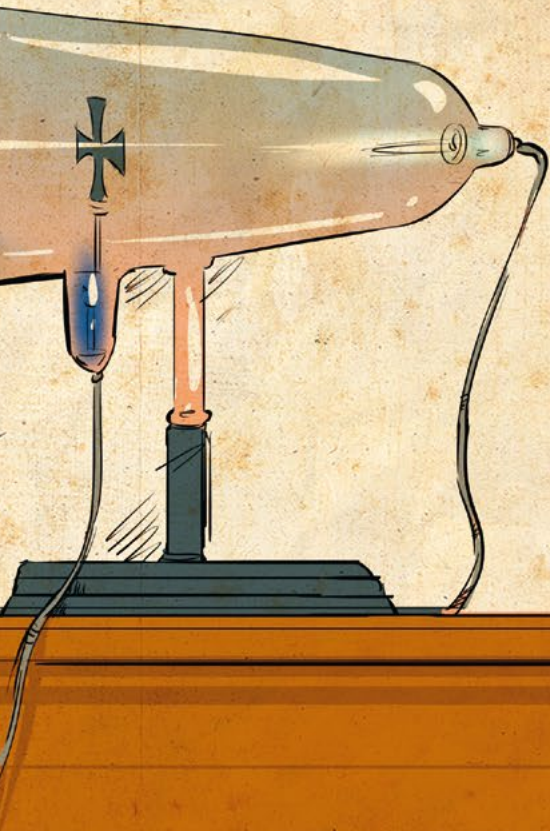
# Atomaltı Dünyanın Doğuşu 4





Bilim tarihine ilgi duyanlar, modern fizik ve teknoloji geçmişimizin biraz da atomaltı parçacıkların tarihi olduğunu bilir. Fiziğin birincil amacı olan maddeyi anlamının yolu, maddeyi oluşturan temel yapı taşlarını ve bunların birbirleriyle etkileşim süreçlerini anlamaktan geçer. Atomaltı parçacıkların sırlarını keşfettikçe, maddeye dair bilgi dağarcığımızı teknolojiye yansıtmayı başardık. Bugün parçacık fiziğinin, diğer deyişle yüksek enerji fiziğinin hâlâ bu denli popüler olmasının nedeni budur. Ancak bir asırdan daha önce durum pek de böyle değildi.

20. yüzyıla girerken fizikçiler maddenin temel parçacıkları hakkında çok az şey biliyordu. Bununla beraber, elektromanyetik alanın anlaşılmasında önemli yol kat edilmişti. Elektrik akımı üzerine harika deneyler kurgulanıyordu. Bu deney düzeneklerinden katot tüpü en ilgi çekici olanlardan biriydi. Yüksek voltaj farkı uygulanan iki metal, vakumlu bir tüpün içine konuyor ve bu iki metal arasında oluşan parlak elektrik akımı inceleniyordu. İngiltere'nin Manchester şehrindeki J. J. Thomson 1899'da bu elektrik akımının aslında parçacıklardan oluştuğundan emin olmuştu ve keşfedilen bu yeni parçacıklara elektron dendi.



O günlerde kimse henüz atomun varlığından bile emin değildi. Işın aslı atomun kendisinden önce atomaltı bir parçacık keşfedilmişti. 1905'te Einstein atomların varlığını Brown hareketine dair matematiksel modeliyle gösterdikten sonra gözler bu minik varlığa çevrildi. 1910'lara gelindiğinde Manchester atom araştırmalarının merkezi konumundaydı. Fizik Bölümü'nün başında Yeni Zelandalı Ernest Rutherford vardı. Rutherford inanılmaz bir tutkuyla kendini atomun neye benzediğini çözmeye adanmıştı. Kurguladığı muhteşem deneylerin içinde öğrencileri haftalar boyu kayboluyordu. Hans Geiger isimli öğrencisi atom çekirdeğinin keşfedildiği meşhur deneyde o kadar çok yorulmuştu ki, sonunda parçacıkları algılayacak bir icatla parçacık fiziğinde çığır açtı. İcat ettiği Geiger sayacı nükleer ışınım parçacıklarını algılayabiliyordu. Geiger detektörü, elektrik yüklü metal bir tüp ve o metal tüpün içindeki zıt yüklü metal bir telden oluşur. Tüpün içi soy gaz ile doludur. Yüksek enerjili bir parçacık tüpten geçerse gaz elementleri iyonize olur. Pozitif yüklü iyonlar negatif yüklü metal tüpe doğru sürüklenirken, gazdan kopan elektron da pozitif yüklü metal tele doğru sürüklenir. Böylece bir elektrik sinyali oluşur ve tüpten yüksek enerjili bir parçacık geçtiğini anlarız.

Geiger sayacı ile yüksek enerjili parçacığın türü, enerjisi veya elektrik yükü hakkında bilgi edinemeyiz. Sadece ne kadar miktarda yüksek enerjili parçacığın ortamda bulunduğuna dair bir fikrimiz olur. 1911'de yine Manchester'dan Charles Wilson adlı bilim insanı daha kapsamlı bir algılayıcı keşfetti. Bulut odası dediği algılayıcının içi aşırı doymuş su buharı ile doluydu. Buhardan yüksek enerjili bir parçacık geçtiğinde buharı iyonize ediyor ve gittiği yol boyunca buğulu bir iz bırakıyordu. Bu izin şekline göre parçacığın türü ve elektrik yükü tespit edilebiliyordu. Buhar odalarıyla muon ve pozitron gibi, kuramsal fiziğin şekillenmesinde çok önemli rolü olan parçacıkları erkenden keşfetmek mümkün oldu. Wilson buhar odası keşfiyle 1927'de Nobel ile ödüllendirildi.



1940'lara kadar kuramsal fizik hayli önemli bir yol kat etmişti. Ancak kuramların sınanması için artık yüksek teknolojiye deney düzenekleri gerekiyordu. Bilim insanları kuramsal fiziğin öngörülerini sınamak için radyoaktif maddeleri ve kozmik ışınları kullanıyordu. Nitekim başta Rutherford ve Curie olmak üzere pek çok deneysel fizikçi radyoaktif maddeler içeren düzeneklerle atomun neye benzediği ve nükleer etkileşimlerin doğası hakkında paha biçilemez bilgilere ulaştı. Atmosfer dışından gelen kozmik ışınlar incelenerek de anti-maddenin varlığı keşfedilmiş, ağır elektron diyebileceğimiz muon parçacığı gibi yeni parçacık aileleri bulunmuştu. Tüm bunlar algılayıcı teknolojisine yoğunlaşmayı bir zorunluluk haline getirdi. Bununla birlikte sadece radyoaktif elementler ve kozmik ışınlarla yetinmek, deneycileri bir hayli sınırlandırıyordu. Çünkü daha yüksek enerjili parçacıkların davranışlarını merak ediyorlardı. Örneğin atom çekirdeğini incelemek istediklerinde, pozitif yüklü alfa parçacıklarını çekirdeğe gönderiyorlar ama çekirdek de pozitif yüklü olduğu için çekirdek ile alfa parçacığını çarpıstıramıyorlardı. Bunun yanı sıra kozmik ışınlardan ya da radyoaktif malzemelerden elde edilen parçacıklar üzerinde kontrol sağlamak mümkün değildi. Araştırılmak istenen parçacığı doğrudan üretmenin bir yolu olmalıydı. Özellikle Rutherford'un başında bulunduğu Cavendish Laboratuvarı tamamen bu konuya odaklanmıştı. 1919'da azot çekirdeğini alfa parçacıkları bombardımanıyla oksijen çekirdeğine dönüştürebilmişlerdi, ama doğal radyoaktif alfa parçacığından çok daha yüksek enerjili parçacıklara gereksinim duyuyorlardı. Sonunda doğal kaynaklara bağımlı olmamanın bir yolunu buldular. Kendi yüksek enerjili parçacıklarını kendileri üreteceklerdi. Bunun için elektrik alan altında hızlanan yüklü iyonlar veya elektron, proton gibi yüklü parçacıklar kullanabilirlerdi.

1932'de John Cockcroft ve Ernest Walton, Cambridge'te protonları 800kV potansiyel içinde hızlandırarak doğrudan lityum atomuna gönderdiler. Sonuçta lityum çekirdeğiyle protonun çarpışmasını sağladılar. Açığa iki adet alfa parçacığı çıkmıştı. Bu, tarihteki başarıya ulaşan ilk hızlandırıcı deneyi oldu. Fizikçiler artık elektrik yüklü parçacıklara bir doğru boyunca elektrik alan uygulayarak parçacıkları istedikleri gibi hızlandırabiliyordu. Bu tip cihazlara doğrusal hızlandırıcı dediler. Fakat çok yüksek enerjilere ulaşmak için çok uzun ve pahalı hızlandırıcılar inşa edilmeliydi. Aynı yıllarda çok uzaklarda, ABD'de genç bir fizikçi de yüklü parçacıkların nasıl hızlandırılabilceğine kafa yoruyordu. Rutherford'un adaşı Ernest Lawrence isimli genç, o günlerde ABD'nin fizik üssü konumunda olan California Üniversitesi Berkeley'de dâhice bir fikir ortaya attı. Yüklü bir parçacığı hızlandırmak için büyük voltajlara gerek yoktu. Yüklü parçacığı tek bir voltaj kaynağından defalarca geçirerek istediği kadar hızlandırabilirdi. Sorun, aynı parçacığın o voltaj kaynağından tekrar tekrar nasıl geçirileceği idi. Bunun için manyetik alan ile yüklü parçacığı dairesel bir alana hapsetmeyi düşündü. Parçacık her dönmesinde, ilerleyeceği yol üzerine yerleştirilen bir voltaj kaynağından geçecek ve giderek hızlanacaktı.



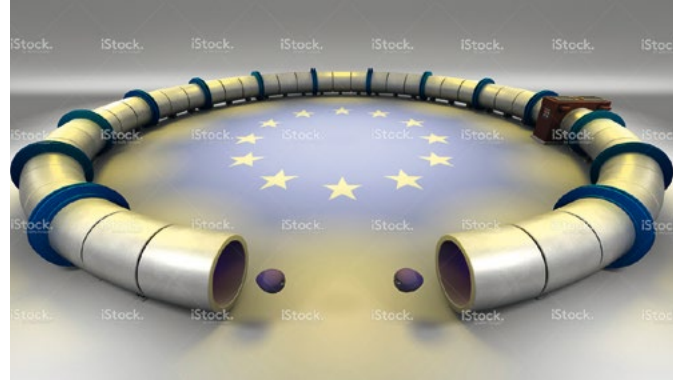
1931'de Lawrence ilk hızlandırıcısını yapmayı başardı. Sadece avuç içi kadar bir yer kaplayan cihaz sadece 1800 Volt ile protonlara 80 bin eV enerji kazandırabilirdi. Siklotron adı verilen bu cihaz içinde parçacıklar sarmal bir yol izliyordu. Her turda elektrik alandan bir kez daha geçerken hızı biraz daha artan parçacığın dönüş yarıçapı artıyor, nihayet cihazdan çıkarken çok hızlanmış oluyordu. Bu buluşuyla Lawrence Nobel Ödülü aldı.



O yıllarda Avrupa'da pek çok ekol oluşmuştu. Berlin'de Planck ve Einstein'ın, Kopenhag'ta Born'un, Manchester ve Cambridge'te Rutherford, Dirac ve daha nicelerinin gayretleriyle modern fizik Avrupa'yı aydınlatıyordu. Fakat 1930'ların sonuna gelindiğinde insanlık tarihinin gördüğü en büyük felaket kapıya dayanmıştı.

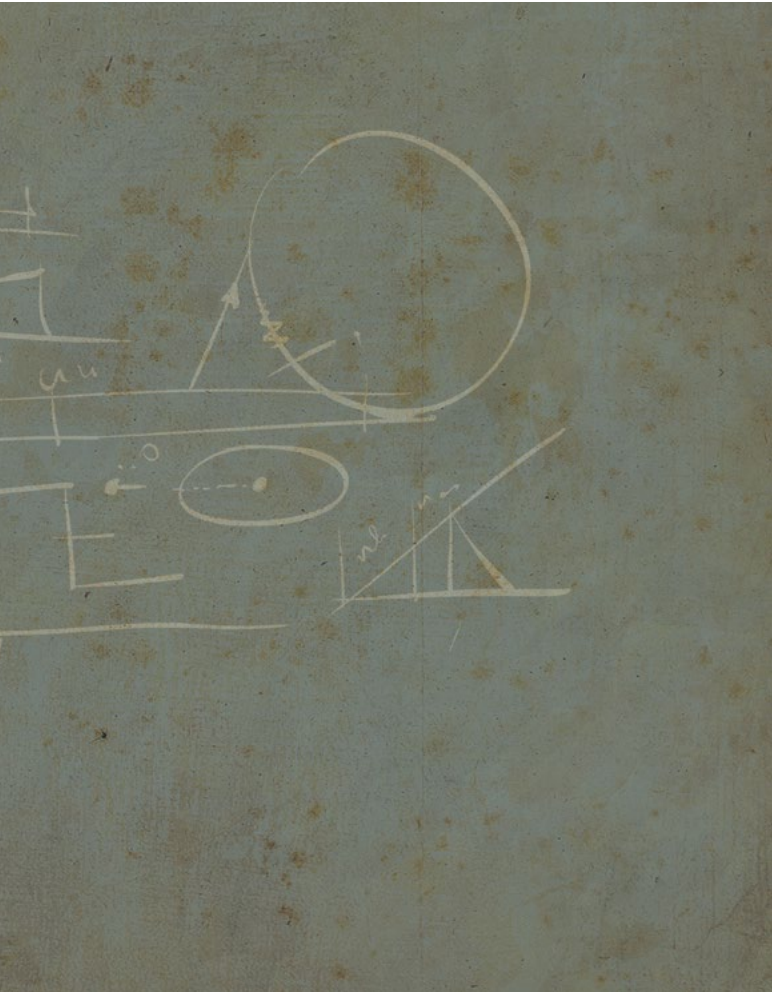
İkinci Dünya Savaşı'nın başlamasıyla Avrupa'da bilim sekteye uğradı. Nazi Almanyası'ndan kaçan bilim insanları başta ABD olmak üzere dünyanın diğer ülkelerine göç etti. Pek çok fizikçiye ev sahipliği yapan ülkeler, İngiltere, Fransa, Avusturya ve Japonya savaşın girdabına kapılmıştı. ABD ana kardan uzakta olmayı avantaja çevirmeyi bilmiş ve burada savaş yıllarında bilimsel faaliyetler hız kesmeden devam etmişti. Savaş sonunda Avrupa'da yeni bir başlangıca ihtiyaç vardı. Fransa'da Raoul Dautry, Pierre Auger ve Lew Kowarski, İtalya'da Edoardo Amaldi ve Danimarka'da Niels Bohr gibi vizyoner bilim insanları Avrupa'nın ortak bir atom araştırmaları merkezine ihtiyaç duyduğunu düşünüyordu. 1951 yılının Aralık ayında UNESCO'nun Paris'te düzenlediği uluslararası bir oturumda Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi'nin kurulmasına yönelik bir ortak görüşe varıldı. İki ay sonra 11 Avrupa ülkesi CERN'in kurulması yönünde ilk anlaşmayı imzaladı. CERN için İsviçre'nin Cenevre kenti seçildi.

Bu arada Sovyetler Birliği'nde ve ABD'de de değişik tipte hızlandırıcılar yapılmış ve teknoloji yarışı görünür bir hal almıştı. CERN'de 1959'da proton senkrotronu devreye girdiğinde protonlar 28 GeV enerjiye ulaşmıştı ve bu değer o gün için ulaşılması çok güç bir rekordu. Rekorun ertesi sabahında CERN'den John Adams elinde boş bir votka şişesiyle basın karşısına çıktı. Sovyetler'in Dubna'daki 10 GeV enerjili hızlandırıcısına gönderme yaparak, şişeye ulaştıkları yeni rekoru gösteren bir resim koydu ve Dubna'ya gönderdi.

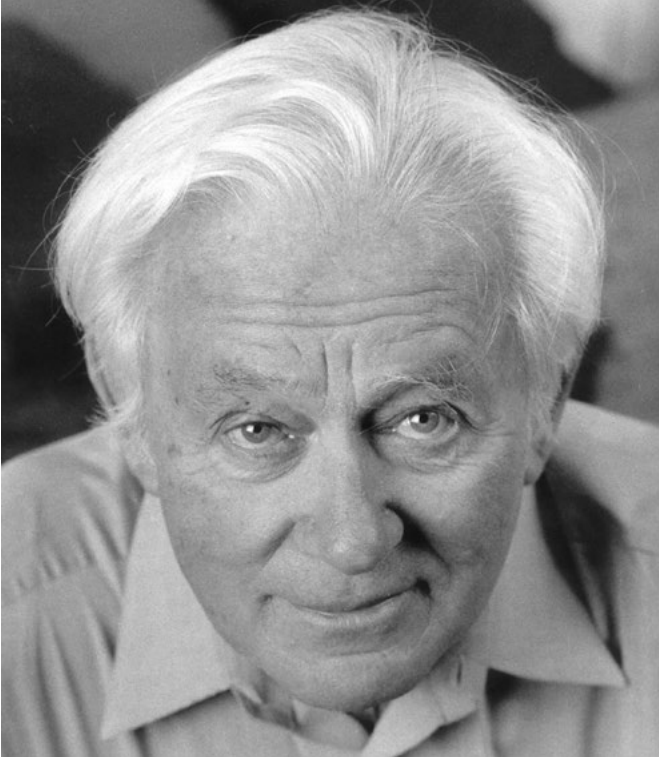


Dirac'ın anti-madde tezi doğrulanalı yıllar olmuştu. 1960'lı yıllarda maddenin temel taşları olan proton, nötron ve elektronun zıt parçacıklara sahip olduğu biliniyordu. Ancak bu anti-parçacıklardan oluşan bir atom hiç gözlenmemişti. 1965'te fizikçiler CERN'de anti-proton, anti-nötron ve anti-elektrondan oluşan bir anti-atom üretmeyi başardı. Aynı yıllarda Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda ABD'liler de anti-atom üretebildi. 1968'de Amerika Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Laboratuvarı'nda ise inanılmaz bir keşfe imza atıldı: O zamana kadar maddenin en temel yapı taşı sanılan proton ve nötronlar aslında temel parçacıklar değildi. Onları oluşturan daha küçük parçacıklar vardı. Artık kuantum renk dinamiği çağı başlamıştı. Atomaltı maddelerin hızlandırıcılarda incelenmesi için çok daha dikkatli ve hassas ölçümler yapılması gerekiyordu. Bulut odasının ardından 1952'de keşfedilen köpük odaları bu ihtiyacı kısmen karşılıyordu. Köpük odalarında, aşırı soğutulmuş sıvı hidrojen odacıklardan geçirilen yüksek enerjili parçacıklar, artlarında bıraktıkları köpükten izlerle kendilerini belli eder. Bulut odasına göre daha hassas sonuçlar elde edilir. Köpük odalarında gözlenen izlerin fotoğrafları çekilir ve daha sonra hesaplamalar için bu fotoğraflar kullanılır.

1960'ların sonunda fizikçiler incelenmesi gereken milyonlarca fotoğrafla boğuşmak zorundaydı. Bu hem çok yavaş ilerleyen hem de çok yorucu bir işti. Hızlandırıcılarda olduğu gibi, algılayıcı teknolojisinde de bir devrime ihtiyaç vardı artık. Beklenen büyük adım 1968'de CERN'deki George Charpak'tan geldi. Charpak, izlerin resimlerini çekmek yerine gaz dolu ince bir tüpün içine yerleştirilmiş bir tel kullandı. Gazı iyonize eden yüksek enerjili parçacık, gaz iyonları sayesinde telde bir elektrik sinyali oluşturuyordu. Bu sinyal bir bilgisayara aktarılıyor ve böylece fotoğraflarla analiz yerine bilgisayarla analiz devri başlamış oluyordu.







Charpak'ın daha sonra kendisine Nobel Ödülü kazandıran yöntemi ile var olan diğer algılayıcılara oranla bin kat daha hassas ölçüm yapılabiliyordu.

Hızlandırıcılarda o güne kadar hızlandırılan protonlar veya elektronlar bir hedefe gönderiliyor ve hedefle çarpışma sonucu açığa çıkan parçacıklar inceleniyordu. 1971'de CERN'de farklı bir yöntem denemeye karar verildi. Bir hedefle çarpıştırmak yerine, protonları kafa kafaya çarpıştırmayı düşündüler. Böylece çarpışma enerjisi iki kat artacaktı. Zıt yönde hızlandırılan iki proton demeti algılayıcıların bulunduğu noktada çarpıştırılmaya başlandı. Aynı yıl süper proton senkrotronu (SPS) inşasına başlandı. Bu proje yerin ortalama 40 metre altında, tam 7 km uzunluğunda dev bir dairesel tünelden oluşuyordu. SPS ile 400 GeV enerjilere ulaşıldı. SPS'te yapılan deneylerde zayıf etkileşimin kaynağı olan ve nükleer tepkimelerden sorumlu olan W ve Z bozonları keşfedildi.

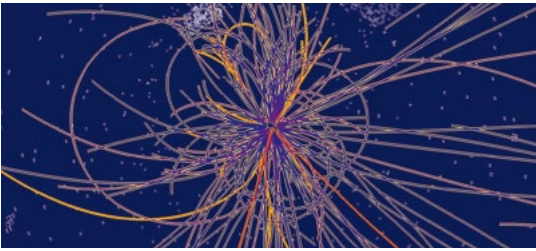
Hızlandırıcılar büyüdükçe ulaşabildikleri enerji artıyor, gün geçtikçe ilerleyen silikon teknolojisi ile depo edilen ve analiz edilebilen veri miktarı da artıyordu. Tüm bunlar iyiye alametti, çünkü kuramsal fiziğin öngördüğü ve keşfedilecek daha çok şey vardı. CERN'deki bilim insanları, dağları büyük bir hırsıyla kazan Tolkien'in madenci cüceleri gibi, yeni şeyler keşfettikçe daha büyük hızlandırıcı tüneller istiyordu. 1988'de 27 km uzunluğundaki büyük elektron-pozitron çarpıştırıcısı (LEP) için tünel kazıldı. Yerin ortalama 100 metre altındaki bu tünel İsviçre Fransa sınırı altında kalıyor. 11 yıl boyunca LEP'te süren deneyler elektrozayıf etkileşimin aydınlatılmasında önemli bir rol oynadı. Aynı tünelde bu sefer protonların çarpıştırılmasına yönelik gerekli düzenlemeler yapılması için 2000 yılında deney sona erdirildi.

Bu süreçte CERN'de üretilen korkunç miktardaki verinin analizini kolaylaştırmak amacıyla bilgi aktarımını hızlandırıcı bir proje geliştirildi. Bu proje daha sonra dünyanın geri kalanıyla paylaşıldı ve bugün internet olarak bildiğimiz teknoloji doğdu. <http://info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html> adresinden yayımlanan ilk internet sayfası, WWW teknolojisi üzerine bilgilendirmeler içeriyordu. İlk sunucu bilgisayar NeXT, CERN'deki Microcosm sergisinde bugün hâlâ sergilenir. Üzerinde elle yazılmış "Bu makine bir sunucudur. SAKIN KAPATMAYIN!" yazısını görmek de mümkün. Avrupada bu gelişmeler olurken, ABD'de de hızlandırıcı teknolojisi hızla ilerliyordu. Özellikle Brookhaven Ulusal Laboratuvarı (BNL) ve Fermi Ulusal Hızlandırıcısı (FermiLab) bünyesinde gerçekleştirilen deneylerde yeni pek çok parçacık keşfedildi.

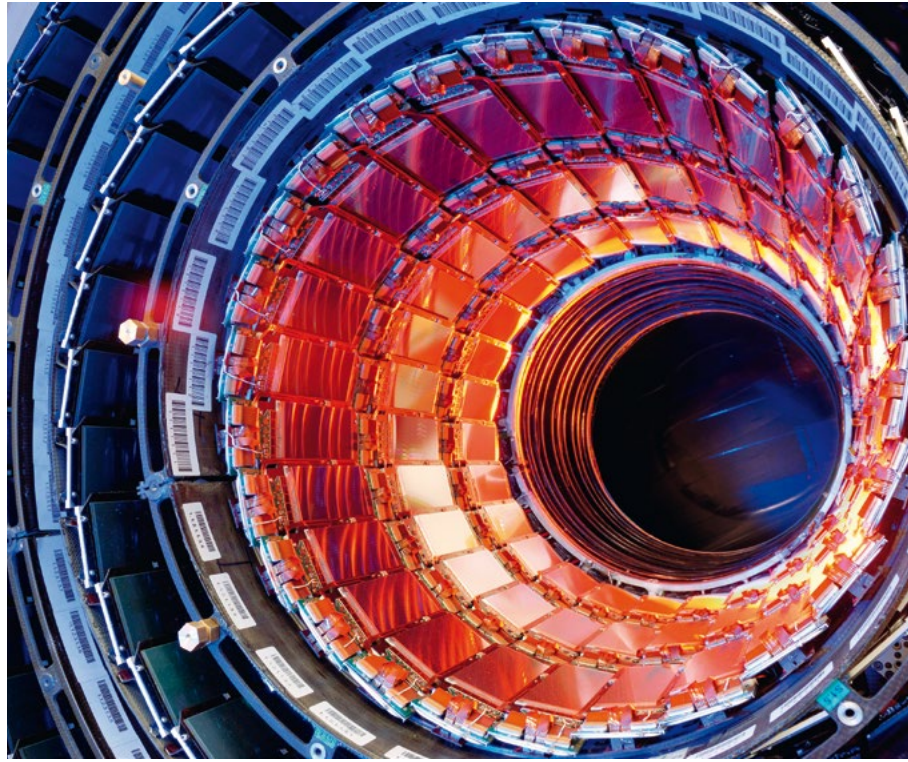
1970'lere gelindiğinde kuramsal fizik dünyası Gell-Mann'ın kuarkları keşfiyle hareketlenmişti. Artık fizikçiler evrendeki dört temel etkileşimden üçünü standart bir model altında toplamıştı. Standart modele göre elektromanyetik, zayıf ve güçlü etkileşimler ayar bozonları olarak adlandırılan parçacıklar tarafından taşınıyordu. Doğada bir takım simetri yasaları hâkimdi ve fizikçiler bu simetri yasalarıyla ayar bozonlarını deneylerden önce kuramsal olarak öngörmeyi başarmıştı. Elektromanyetik ve güçlü etkileşimi taşıyan bozonlar (foton ve gluon) kütsesizdi. Bu sayede fotonlar sonsuz bir erime sahipti ve elektromanyetik etkileşim uzun mesafeler boyunca hissedilebiliyordu. Güçlü etkileşim ise doğasında var olan hapsolme denilen bir özellik yüzünden atom çekirdeği dışında hissedilmiyor, protonları ve nötronları bir arada tutarak çekirdeğin bütünlüğünü koruyordu. Peki ama zayıf etkileşim neden çekirdek dışına çıkmıyordu? 1960'larda kuramsal fizikçiler, uzayı dolduran farklı bir alan yüzünden öngörülen bazı simetrilerin kırılabileceğini, bu sayede ayar bozonlarının bazılarının kütle kazanabileceğini öne sürdü. Eğer zayıf etkileşimi taşıyan bozonlar da kütleli parçacıklar ise, uzun mesafeler boyunca ilerlemeleri zor olacaktı. Bu açıklama ile parçacıklara kütle kazandıran, uzayı dolduran bir alanın varlığı standart modelde kendine yer buldu. Bu alan, modeli geliştiren bilim insanlarından biri olan Peter Higgs'in adı ile anılmaya başlandı. Higgs alanı varsa, bu alanı oluşturan Higgs parçacığı da var olmalıydı. Çünkü fizikte alanların karşılığı olan parçacıklar vardır. Örneğin elektromanyetik alan foton parçacığıyla var olur. Aradan yaklaşık 20 yıl geçtikten sonra zayıf etkileşim taşıyan W ve Z bozonları keşfedildi. Gerçekten de bu bozonlar 80-90 proton ağırlığındaydı. Bu kütlelerle, bozunmadan atom çekirdeğinden büyük mesafeler dışına çıkmaları düşünülemezdi. Benzer bir mekanizmayla fizikçiler elektron ve kuarkların da neden kütleyle sahip olduğunu açıklayabileceklerini fark ettiler. Kısacası, evreni oluşturan parçacıkların kütle sahibi olmasının biricik nedeni, bu Higgs alanıyla etkileşime girmeleriydi.

Sıra onlara kütle kazandıran Higgs parçacığını keşfetmeye gelmişti. Eğer Higgs parçacığı diye bir şey yoksa asırlık fizik kuramlarının gelip dayandığı standart model çok ciddi bir tehli-

ke içinde demektir. Birbirinden bağımsız olarak pek çok kuramsal fizikçi ısrarla Higgs mekanizmasının olması gerektiğini savunmuştu. Kuramsal olarak harika bir çözüm olmasına rağmen, Higgs bozonunu keşfedecek teknolojiye erişmek tam 30 yıl sürdü. 1980'den itibaren öncü hızlandırıcılar Higgs'e odaklandı. Ancak hiçbir enerji aralığında Higgs bozonu olabilecek bir parçacığa rastlanmadı. Belli ki daha yüksek enerjiler, daha hassas algılayıcılar gerekliydi. CERN'deki 27 km uzunluğundaki tünel, bu iş için biçilmiş kaftandı. 2000 yılında revizyona giren tünelin üzerine dört büyük algılayıcı inşa edildi. Tünelde elektron yerine protonlar çarpıştırılacaktı. Bu denli büyük bir tünelde, proton kadar ağır parçacıklar çarpıştırılırsa ulaşılabilecek enerjiler binlerce GeV mertebesinde olacaktı (1GeV enerji~1proton kütlesi). Nihayet 2010'larda Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) hazırды. Hadron, kuarklardan oluşan tüm parçacıkların genel adıdır. Tünelde elektron yerine proton kullanıldığı için bu isim verilmiştir. Tünel üzerindeki algılayıcıların merkezinde çarpışmalar gerçekleşir. Her çarpışma sonucunda yüzlerce alt parçacık doğar ve algılayıcının içine doğru saçılır. Algılayıcılar oluşan yeni parçacıkları kütleleri, elektrik yükleri, momentumları gibi fiziksel özelliklerini ölçerek etiketler. Etiketlenen her bir parçacığın çarpışma sonrası izlediği yol "iz sürücüler" aracılığıyla belirlenir. Böylece hangi parçacıkların hangilerinden bozunduğu, bozunmadan önce ne kadar ömre sahip olduğu gibi bilgiler elde edilir. Kalorimetreler ile parçacıkların taşıdığı enerjiler ölçülür.



Tüm bu bilgileri elde ederken, her algılayıcı kendine has bir mekanizma kullanır. Böylece, farklı yollarla farklı yerlerde yapılan farklı deneylerin sonuçlarını karşılaştırmak mümkün olur. Bu sayede bilimin çok önemli bir gereği olan "tekrarlanabilirlik" ilkesi sağlanır. CERN'de fizikçi sayısının neredeyse 10 katı kadar mühendis ve teknisyen görev almaktadır. Böylesi bir mühendislik harikasını ortaya çıkarmak için çok sayıda teknik elemanın desteği gerekiyor. Aşırı radyasyona maruz kalacak, yıllarca arızalanmadan çalışacak, mikron mertebesinde keskinliğe ve belirliliğe sahip olacak binlerce ton ağırlığındaki cihazlar-



dan bahsediyoruz. Deneyin her aşamasında mühendisler pek çok zorlukla karşılaşır. 27 kilometrelik tünel, evrenin bilinen en soğuk ve en "boş" yeridir. Ayrıca algılayıcıların sahip olduğu korkunç manyetik alan değerlerine ulaşmak için devasa süper iletkenlerin kullanıldığı mıknatıslar inşa edilmiştir.

Çarpışmalardan elde edilen verinin analizi sonucunda 4 Temmuz 2012'de Higgs parçacığı olabilecek bir keşifte bulunuldu. Yeni parçacığın kütlesi 126 proton kadardı. Higgs parçacığının keşfiyle fizikçiler büyük bir rahatlık yaşadı. Ama çözüm bekleyen daha pek çok kuramsal problem var. Örneğin süper simetri denen bir kurama göre tüm parçacıkların farklı spine sahip bir eş parçacığı olmalı. Henüz böyle bir süper simetrik parçacığına rastlanmadı. Evrendeki anti-madde ile madde arasındaki orantısızlık da merak edilen ve çözülmemeyi bekleyen problemlerden biri. Diğer bir sorun ise varlığını bildiğimiz ama ne olduğunu bir türlü göremediğimiz karanlık maddeyle ilgili. Oysaki karanlık maddenin kütlesi bilinen evrenin 4-5 katı daha fazla. Yine bilinmeyen başka bir varlık olan, galaksilerin birbirinden hızlanarak uzaklaşmasından sorumlu karanlık enerji de keşfedilmeyi bekliyor. Bunlar ve daha pek çok problem gelişen hızlandırıcı ve algılayıcı teknolojileriyle yanıtlanmayı bekliyor. Ayrıca yüksek enerji fiziği araştırmaları günlük hayatta, tıpta, bilişim teknolojisinde sayısız yeniliğe kapı aralamaya devam ediyor.