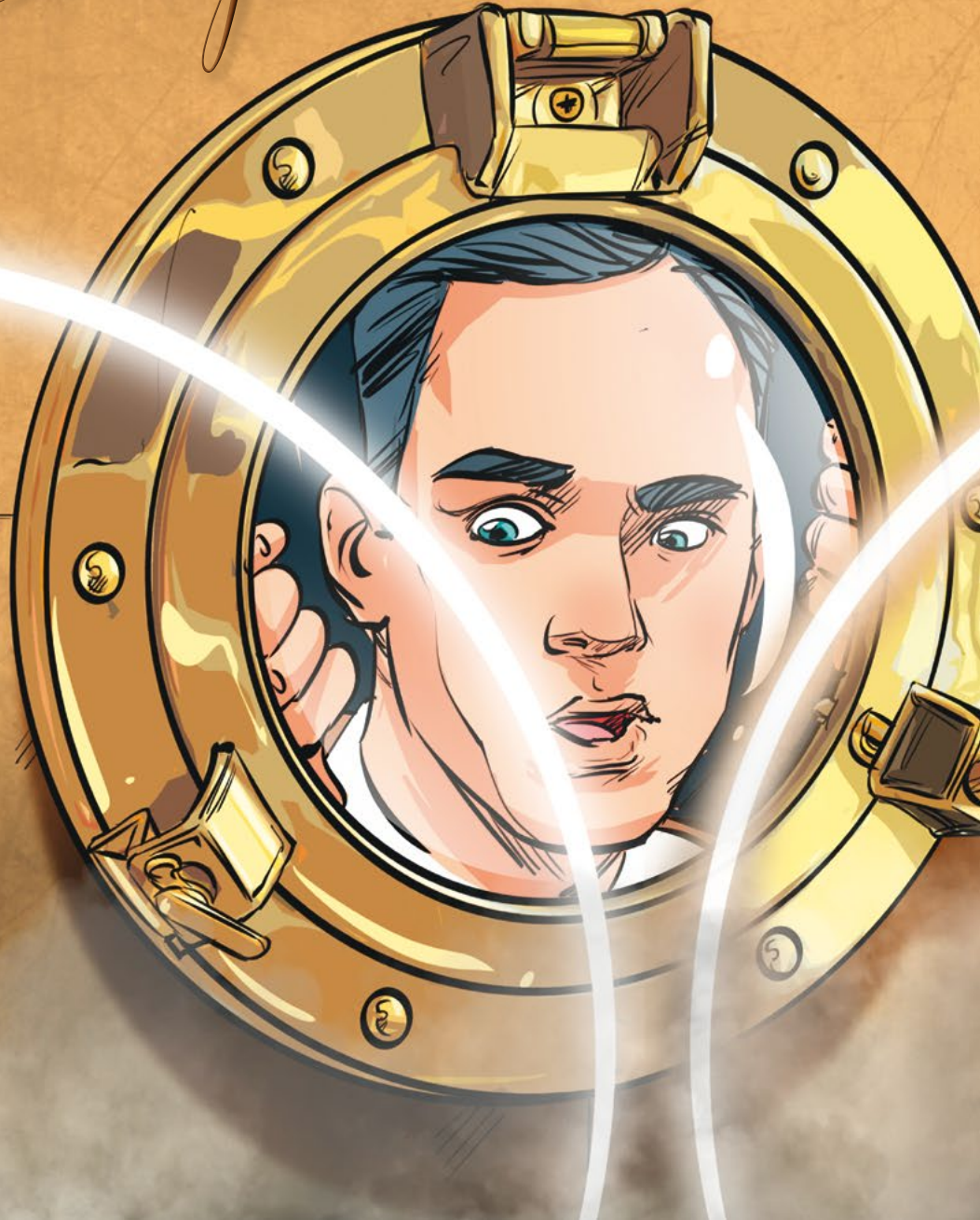


Atomaltı Dünyanın Doğuşu 3



1930'lu yılların başında Los Angeles'ta Carl Anderson, atmosferimizi aşarak dış uzaydan gelen kozmik parçacıkları inceliyordu. Yüksek enerjili bu parçacıkları incelemek için buharla doldurulmuş odacıklar kullanıyordu. Buhar tabakasından geçen kozmik ışınlar geçtikleri yol boyunca iz bırakır. Odacıkların etrafına güçlü mıknatıslar koyarak manyetik alan oluşturunca da elektrik yükü olan parçacıklar kavisli izler bırakır. Kavisin eğimine bakarak yüklü parçacıkların kütleleri hakkında fikir sahibi olunabilir.

Anderson bir gün çok şaşırtıcı bir şey fark etti. Bazı parçacıklar elektronun bıraktığı izin aynısını bırakıyordu, tek farkla: Onların kavisleri zıt yönlüydü. Bu da pozitif yüklü bir elektron anlamına geliyordu.

Fizikçiler bunu yorumlamakta gecikmedi. Kimilerinin deli muamelesi yaptığı Dirac haklıydı. Gerçekten de anti-madde diye bir şey vardı ve Anderson'un gözlemlediği şey de anti-elektrondur. Saf matematikten yola çıkarak geliştirdiği yöntem, yıllar sonra Dirac'ı haklı çıkarmıştı. Ardından peş peşe anti-parçacıkların keşfi geldi. Kuantum mekaniği kaldığı yerden yoluna devam etmeliydi ve gözler bayrağı Dirac'tan devralacak yeni fizikçiler arıyordu.

Dirac'ın denklemi elektrik yüklü parçacıkların nasıl davranacağı hakkında olağanüstü başarılı öngörülerde bulunmuştu. Ancak yüklü parçacıkların birbirleriyle karşılaştıklarında doğanın onları ne yapmaya zorladığını anlatmıyordu. Parçacıkların *birbirleriyle etkileşimini* açıklayan daha gelişmiş bir kurama ihtiyaç vardı.

Yeni kahraman yine California'dan çıkacaktı. Richard Feynman isimli son derece sosyal, gösterişli ve eğlenmeyi seven bu genç adam, çıtayı Dirac'ın ötesine taşımaya kararlıydı. Elektronların, fotonların ve diğer tüm parçacıkların elektromanyetik kuvvetle ilişkisini çözmeye odaklanmıştı. Bu hedef o zamanki kütleçekimi dışında bilinen tüm fiziği tek çatı altında toplamak demektir. Çağdaşlarının kuantum elektrodinamiği (KED) adını verdiği bu kuram ile do-

ğadaki inanılmaz çeşitliliği, kimyasal tepkimelerdeki zenginliği, cisimlerin şekillerini, renkleri, ışığı, maddenin fiziksel hallerini tam olarak anlamak mümkün olacaktı ve bu elektrik yükü, foton ve elektromanyetik etkileşim sabiti gibi sayısı bir elin parmaklarının sayısını geçmeyen kavramla yapılabilecekti.

KED, elektromanyetik alan ile maddenin nasıl etkileştiğini açıklayan bir kuramdır. Elektromanyetik alan olarak bildiğimiz şey aslında fotonların taşınmasına aracılık ettiği fiziksel etkileşimdir. Örneğin iki elektron, aralarında foton alışverişi yaparak etkileşime girer. Bizim bu kuvvet taşıyıcı fotonları gözlemleme imkânımız yok, ancak kuram bunun üzerine kurulu. Kuramın öngörülerine deneysel veriler öyle örtüşür ki, aradaki uyumsuzluk on milyarda birdir. Bu tıpkı Dünya'nın çapını sadece bir milimetre hatayla ölçmek gibidir.

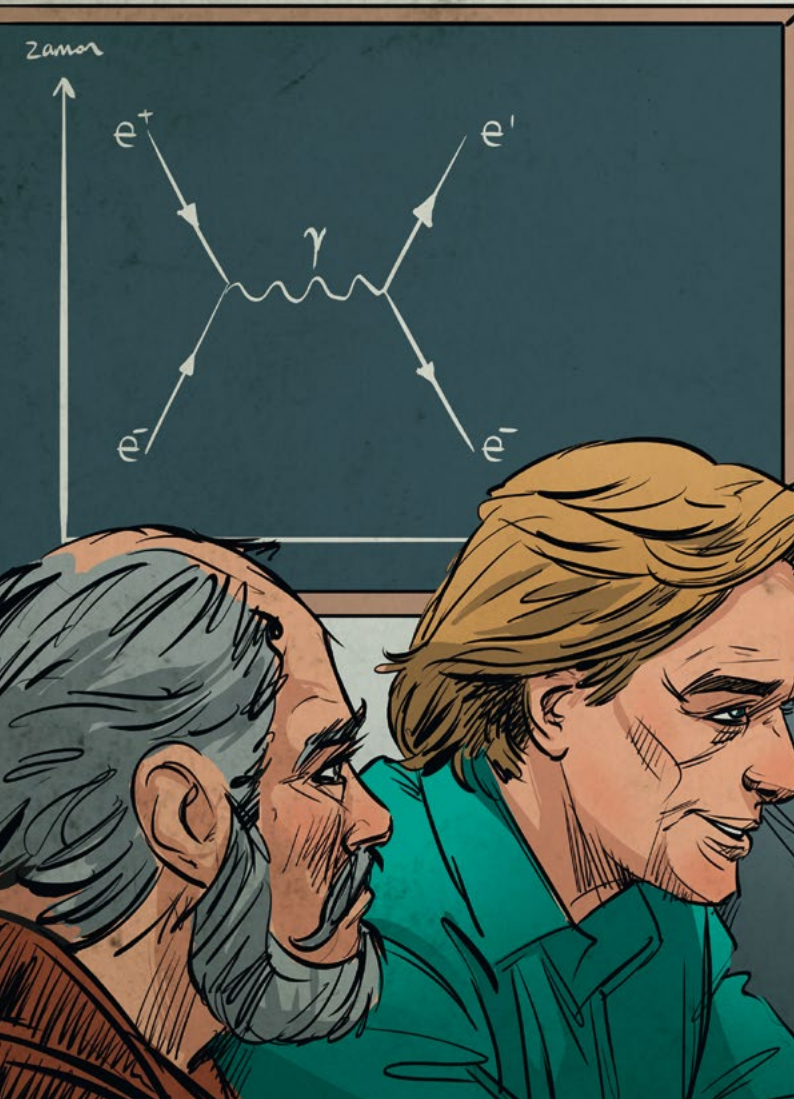
Peki KED ne söylüyordu? Ona geçmeden önce bizzat Feynman'ın kullandığı şu cümleye kulak kabartmak gerek: "Öğrencilerim bu kuramı anlamıyor. Çünkü ben de anlamıyorum. Kimse anlamıyor." Bu sözlerle aslında Feynman, kuantum fiziğinin bizim algılarımıza ters gelen doğasına işaret ediyordu. Sonuçta bizim anlayışımız, duyu organlarımızın şekillendirdiği makroskopik dünyada geçerli kuralları içerir. Ancak yine de anlamaya çalışmak eğlenceli olacaktır.

Öncelikle, uzay boşluğunun gerçekten “boş” olduğu düşüncesini unutmak zorundayız. Örneğin içi boş, kapalı bir kutunun içindeki tüm hava moleküllerini çıkarırsak, kutunun içinde kalan şeye mutlak boşluk ya da vakum deriz. KED, işte bu vakumun boşluktan ibaret olmadığını, sürekli var olup yok olan parçacıkların doldurduğu çok dinamik bir şey olduğunu söyler. Daha açık bir ifadeyle, KED o vakumun “ortalama olarak” boş olduğunu söyler. Cüzdanınızda 10 TL olduğunu düşünün. Aynı zamanda 10 TL de borcunuz olduğunu. Sonuçta bir miktar paraya sahipmişsiniz gibi görünse de, ödemeniz gereken bir de borç var. Ortalamada aslında hiç paranız yoktur.

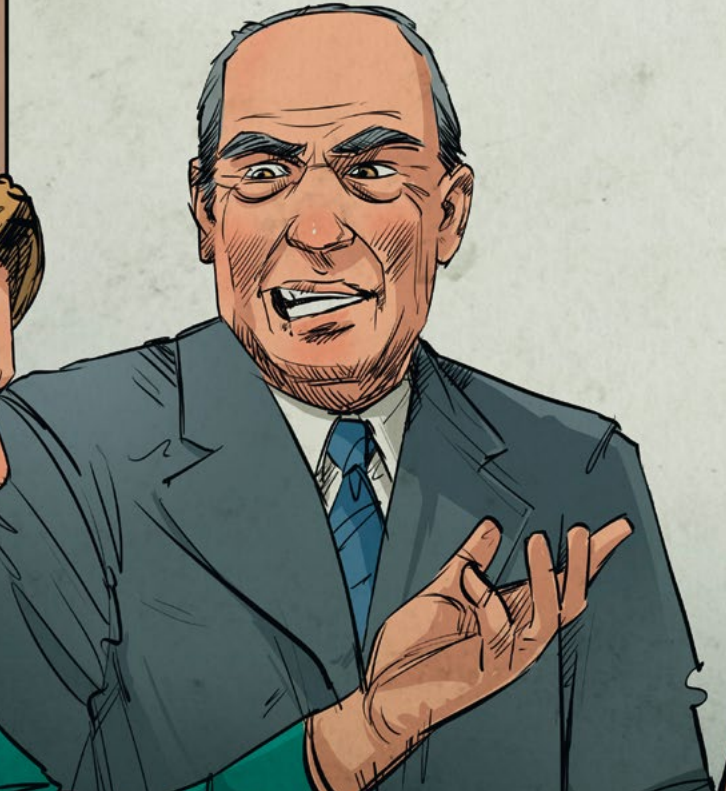
Benzer bir durum boşluk için de söz konusudur. Boşluk çok kısa bir süre için, tam anlamıyla “gelecekte” enerji ödünç alır, yine çok çabuk bir şekilde geri ödemek kaydıyla. Bu enerji, birbirlerini yok edecek

bir parçacık ve anti-parçacık çiftinin yaratılmasında kullanılır. Sonuçta çok çok kısa bir süre zarfında hiç yoktan bir parçacık çifti yaratılır ve bu çift kendini yok ederek tekrar enerjiye dönüşür. Özetle, boşluk dediğimiz şey sürekli parçacıkların yaratılıp yok olduğu, fokur fokur kaynayan bir kazana benzer. Bu olay öyle kısa sürelerde gerçekleşir ki, biz hiçbir şeyin farkına varamayız. Ancak zamanı aşırı yavaşlatmanın imkânı olsaydı, evreni inanılmaz aktif bir parçacık çorbası şeklinde görürdük. Göremediğimiz tüm bu olayların aktörü olan parçacıklara sanal parçacıklar diyoruz. Ama aslında onlar evrenin gerçekliğinin ta kendisi. Dahası, bizim algıladığımız her şey, o gerçeklikten arda kalan bir tür kalıntı.

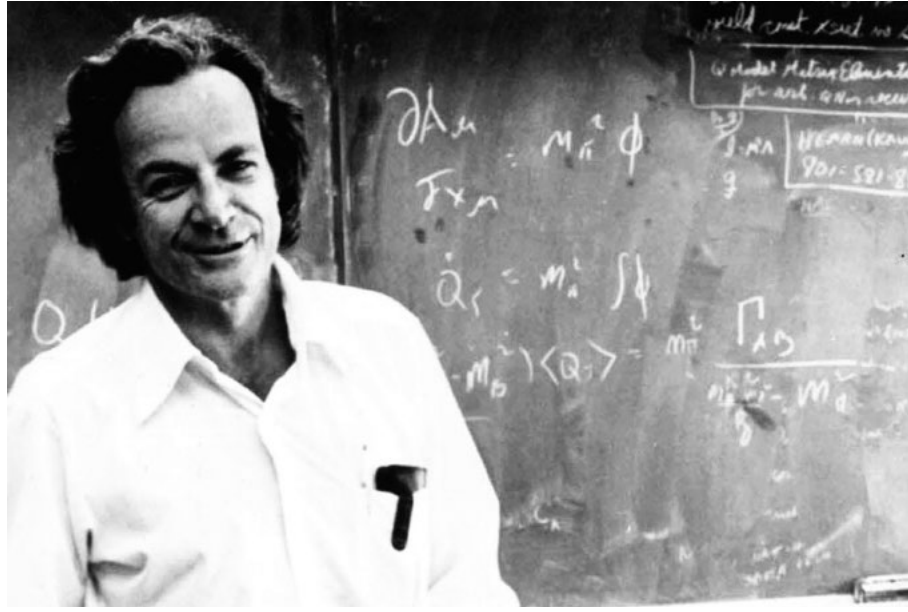
Evet, boşluk hiçbir şeyin olmadığı, hiçbir olayın gerçekleşmediği bir yer değildir. Tam aksine, boşluk olaylar ve parçacıklarla, fizikçilerin deyimiyle “kuantum köpüğüyle” doludur.



Modern fizikte, doğadaki bütün etkileşimleri Feynman diyagramları ile göstermek mümkün. Bu çizimler, parçacıkların birbirleriyle ve vakumla hangi kuvvet taşıyıcı parçacıklar aracılığıyla ve nasıl etkileşime girdiğini görsel olarak anlamamıza yardımcı olur.



1940'lı yıllarda Feynman çalışmalarına başladığında kuantum elektrodinamiği projesi tam bir keşmekeşe dönüşmüştü. Matematiksel çözümler bir sonuca ulaşmaz olmuş, anlamsız sonsuzluklarla dolu garip denklemler her yeri sarmıştı. Tam bu noktada Feynman çok muzipçe bir şey yaptı. Seleflerinin atomaltı dünyayı anlamak için olanca hırslarıyla sımsıkı sarıldığı matematiksel tasvirlere sırtını döndü. Onun yerine çok temel bir takım şekiller kullanmayı tercih etti. Tüm atomaltı etkileşim süreçlerini komik denecek kadar basit diyagramlarla anlatmayı başarmıştı. Yeni yöntemini açıklamak için sabırsızlanıyordu. ABD'de düzenlenen önemli bir bilimsel konferansı gözüne kestirdi. Katılımcılar arasında Niels Bohr ve Paul Dirac da vardı. Konferans başlarda fizikçilerin, kuantum elektrodinamiğinin kendilerini sürüklediği dehşet verici matematiksel kaostan dert yanmasıyla geçti.



Richard Feynman

Çizimlerde her bir düğüm noktası ve her bir çizgi, matematiksel bir ifadeye eşdeğerdir. Böylece bütün etkileşimler matematiksel denklemlerle kolayca tasvir edilir. Denklemlerin çözümleri ile parçacıkların kütleleri, bozunma sabitleri, etkileşim sabitleri gibi bütün temel fiziksel özelliklerini öngörmek mümkündür.

Sıra Feynman'a geldi ve Feynman basit şekilleriyle fiziksel süreçlerin nasıl tasvir edilebildiğini açıkladı. Kısa bir şaşkınlıktan sonra kopan gümbürtü ise bu genç adamı hiç etkilemişe benzemiyordu. Fizikçileri kızdıran şey, Feynman'ın kuramlarının acayıplığı değildi, zira fizikçiler bu yıllarda tuhafıklara şerbetliydi. Onları kızdıran, Feynman'ın sanal parçacıkları ve rol oynadıkları süreçleri basit resimlerle görselleştirmeye kalkmasıydı. Bunca yılın ardından saf matematiğin onca başarısını düpedüz alaya almaktı bu. Özellikle Bohr'un ne büyük hayal kırıklığına ve öfkeye kapıldığını tahmin etmek zor değildi. Çünkü hayatını, parçacıklara ait hiçbir şeyin görselleştirilemeyeceğini anlatmakla geçirmişti.

Sert tepkiler üzerine Feynman, şekillerinin sadece denklemleri sembolize ettiğini, bunları atomaltı süreçleri daha anlaşılır kılmak için kullandığını açıklamaya çalıştı. Lâkin muhatapları onu kuantum mekaniğinin ruhunu anlamamış olan heyecanlı bir genç olarak küçümsemeyi tercih etti. Ancak Feynman Julian Schwinger isimli başka bir gencin bir hayli dikkatini çekmeyi başarmıştı. Feynman'ın diyagramları ve Schwinger'in matematik cambazlığı sayesinde yepyeni bir cephe açılmış oldu.

Sonraki yıllarda Feynman'ın şekillerinin ne büyük rahatlık sağladığı daha da netleşti. Matematiksel denklemlerde çıkan sonsuz ifadeleri halının altına süpürmenin bir yolu bulunmuştu. Fizikçiler renormalizasyon denilen yöntemle denklemlerdeki fiziksel karşılığı olmayan sonsuzluklardan kurtulabildi. Kuramsal fizikte artık her şey çok güzeldi. Tüm atomaltı süreçler anlaşılmalı, tüm parçacıklar tanımlanmış, etkileşimlerin sırları çözülmüştü!

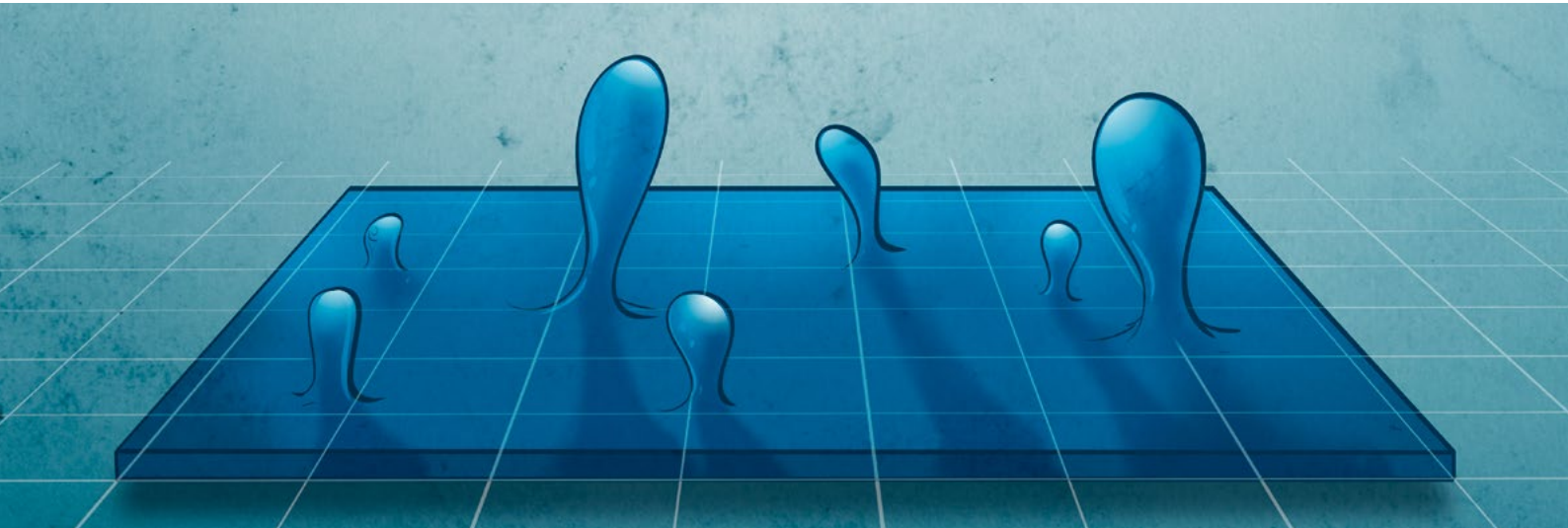


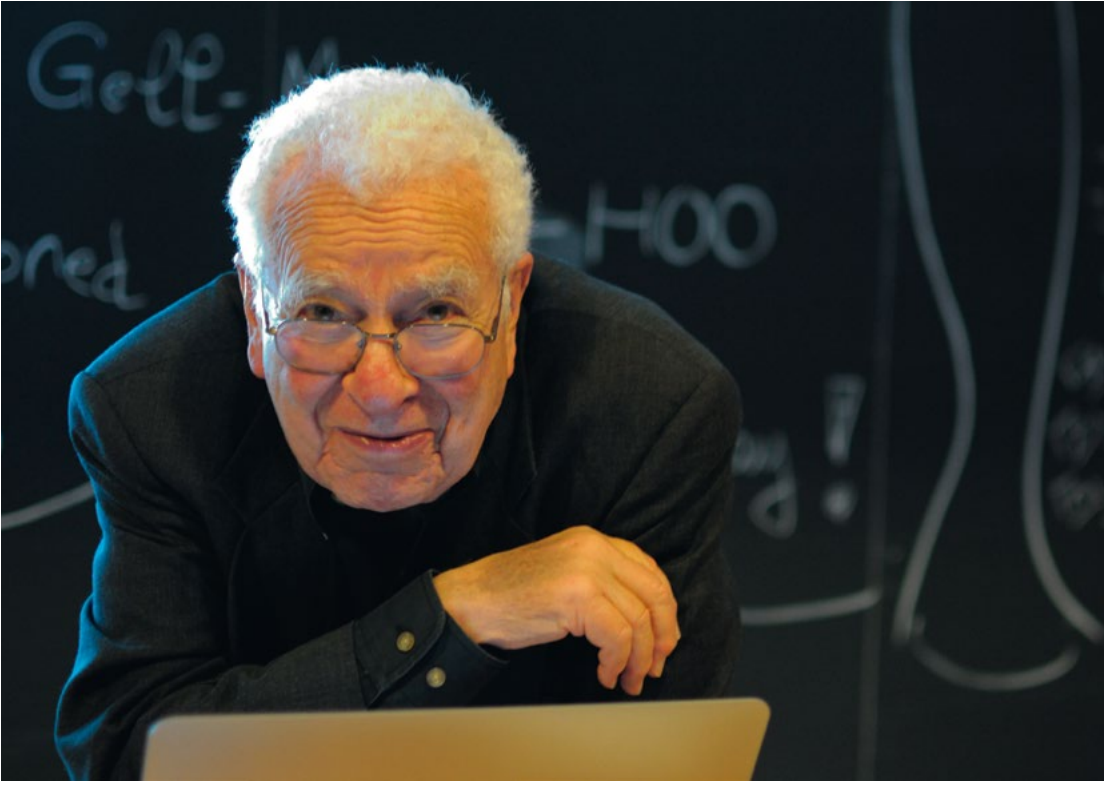
Ancak laboratuvarlardan kötü haberlerin gelmesi çok sürmedi. Bir süredir, nereden geldiği anlaşılmayan bir sürü yeni parçacık türemeye başlamıştı. Hemen hemen her gün bir laboratuvar da yeni bir parçacığın keşfedildiği duyulur oldu. Nötrinolar, pionlar, kaonlar, lamdalar, deltalar... Hiçbir kurama uymayan bu parçacıklardan biri olan muon ilk keşfedildiğinde Nobel Ödüllü fizikçi Rabi'nin öyle canı sıkılmıştı ki "kim ısmarladı şimdi bunu" diye isyan etmişti. İşler artık altından kalkılmaz bir hal almaya başlamıştı. Atomaltı dünyanın esrari her aydınlanır gibi olduğunda yepyeni bilinmezlikler ortaya çıkveriyordu.

1960'lara geldiğinde yeni bir devrime ihtiyaç vardı. Aranılan isim Feynman'ın Caltech'teki odasına komşu bir odada çalışıyordu: Murray Gell-Mann. Gell-Mann kontrolden çıkan parçacıklar dünyasına bir düzen getirebilmek için yeni bir matematik arayışına girdi. Aradığı yöntemi, matematiğin tozlu raflarında buldu. Fizikçilerin matematiksel bir araç olarak o güne kadar kullanmadığı grup teorisini temel aldı. Bir takım sayıları temsil eden örüntüler şeklinde gruplar oluşturdu. Bilinen bütün parçacıkları içeren organize bir sistem kurmaya çalıştı. Başardı da. "Sekiz katmanlı yol" dediği bir sistem oluşturdu. Her keşfedilen parçacık spinleri, elektrik yükleri gibi fiziksel özellikleriyle bu sistem içinde bir sınıflandırmada yer bulabilirdi. Parçacıklardan oluşan bu sirk çok kalabalıktı, yine de zapt edilmiş olmaları onca keşmekeşten sonra yeterince mutluluk vericiydi. Ama Gell-Mann, nedense birden bütün bu parçacıkların aslında daha derinde bulunan başka bir gerçekliğin yansıması olabileceğini düşündü. Evet, proton, nötron ve elektronlar atomları oluşturuyordu; yeni keşfedilen parçacıklar da bu parçacık listesini epeyce kalabalıklaştırmıştı. Peki ya bunları da oluşturan daha temel parçacıklar varsa?

Gell-Mann proton, nötron ve diğer parçacıkların "kuark" adını verdiği daha temel parçacıklardan oluştuğunu düşündü. Farklı "çeşnilerdeki" kuarklar bir araya gelerek farklı onlarca parçacığın açığa çıkmasını sağlıyordu. Gell-Mann kuark kuramını 1964'te oluşturduğunda, çok şık bir matematiksel altyapıyla birlikte her şey eskisi gibi az ve öz görünüyordu. Üç kuarkın bir araya gelmesiyle proton, nötron gibi baryonlar, bir kuark ve anti-kuark çiftinin bir araya gelmesiyle de piyon, kaon gibi mezonlar oluşuyordu. Gell-Mann bu öngörüsünü paylaşmakta acele etmedi. İnsanların tepkisini kestirememişti. Ta ki 1968'de Stanford Linear Hızlandırıcısı'ndaki (SLAC) inanılmaz keşfi duyana kadar.

Hızlandırıcılarda elektrik yüklü parçacıklar ışık hızına çok yakın değerlere kadar hızlandırılır ve bir hedefe doğru yönlendirilir. Hedefle çarpışma sağlandığında atomaltı dünyanın sırları ortaya saçılır. SLAC'ta elektronlar hızlandırılarak hidrojen tankına yönlendirilmişti. Hidrojen atomunun çekirdeği tek bir protondan ibarettir. Protonla çarpıştıktan sonra saçılan yüksek enerjili elektronlar incelenerek çarpışma esnasında gerçekleşen fiziksel olaylar ve çarpışan parçacıkların özellikleri hakkında bilgi elde edildi. Sonuçlar çok ilginçti, çünkü verilere göre, proton bilinenin aksine temel bir parçacık değildi. Daha temel parçacıklardan oluşmuş, kompozit yapılı bir parçacıktı. Onca yıl atomun en son yapıtaşı olduğu düşünülen protonlar ve nötronların, aslında keşfedilmeyi bekleyen karmaşık yapıları vardı. Gell-Mann kuarkın kâşifi olarak tarihe geçti. Evrenin yapıtaşları dediğimiz sınıf tekrar büyük bir sadeliğe kavuştu. Maddeyi oluşturan atomlar kuark ve elektron denilen iki temel parçacıktan oluşuyordu.





Murray Gell-Mann

Günümüzde hâlâ geçerli olan sınıflandırmaya göre proton ve nötron, u ve d kuarklarından oluşur. Yüksek enerji laboratuvarlarında nispeten ağır olan s, c, b ve t kuarkları çok kısa süreliğine yaratılır ve kısa sürede bozunur. Böylece doğada toplam altı kuark çeşni bulunur. Tıpkı elektron, proton gibi parçacıkların elektrik yükü taşıması gibi, her kuark da bir renk yükü taşır. Elektrik yüklü parçacıkların birbirlerine kuvvet uygulamasına benzer şekilde, renk yükü taşıyan kuarklar birbirlerine güçlü etkileşim ile bağlanır. Yine elektromanyetik kuvveti taşıyan fotonlar gibi, gluon adlı taşıyıcı parçacıklar da güçlü etkileşimin iletilmesinde görev alır. Güçlü etkileşimin erimi atom çekirdeği ile sınırlıdır. Ancak etkili olduğu o minicik mesafede inanılmaz bir şiddetle parçacıkları birbirine yapıştırır. Öyle ki, ne doğada ne de laboratuvar ortamında tek başına bir kuark gözlemlemek mümkün olmuştur. Bütün kuarklar ya üçlü gruplar halinde baryon ya da çiftler halinde mezon oluşturacak şekilde birbirlerine bağlıdır.

Kuarklar kimilerine göre gerçekten temel parçacık, kimilerine göre onların bile anlaşılmayı bekleyen daha derin yapıları olabilir. Ancak bunun ötesinde deneysel keşiflere teknolojiniz şimdilik yeterli değil. Daha küçük yapılara ulaşabilmek için daha yüksek enerjili, dolayısıyla daha büyük ve daha pahalı laboratuvarlara gereksinim var.

Atom ve ötesini anlama gayretleri tüm hızıyla devam ediyor. 1900'lü yıllarda başlayan yolculuğun henüz başlarında olduğumuzu bile iddia edebiliriz. Bu süreçte sorular yanıt buldukça, daha büyük sorular doğdu. Parçacıkların çetrefilli dünyasını yorumlamaya yönelik standart bir "dünya görüşü" üzerinde bile hemfikir olunamadı. Farklı yorumlar, bambaşka iddialar, bilim kurgu öykülerini aratmayacak gariplikte yeni kuramlar revaçta. Atomaltı dünya ile bizim gündelik deneyimlerimiz arasındaki ürkütücü uyumsuzluktan bunalan kimi bilim insanları, felsefi konuşmaları bir kenara bırakıp matematiğin bize anlattıklarını kabul etmekle yetinmeyi tercih ediyor. Dirac'a veya Feynman'a atfedilen, fizikçiler arasında meşhur "sus ve hesaplamaya devam et!" motosu, bunun dışı vurumu olsa gerek.

Çizim: Ersan Yağız

Kaynaklar

- Yazıcı, E., "Satranç ve Kuantum Fiziği", *Bilim ve Teknik*, Şubat 2015.
- Anderson, C. D., "The Positive Electron", *Physical Review*, Cilt 43, Sayı 6, s. 491, 1933.
- Al-Khalili, J., "The Illusion of Reality", <http://www.bbc.co.uk/programmes/b007vz5n>
- Yazıcı, E., "Atomaltı Dünyanın Doğuşu 1", *Bilim ve Teknik*, Mart 2015.
- Brown, L. M., Rigden, J. S., *Memories of Richard Feynman*, Simon and Schuster, 1993.
- Yazıcı, E., "Atomaltı Dünyanın Doğuşu 2", *Bilim ve Teknik*, Nisan 2015.
- http://tuvalu.santafe.edu/~mgm/Site/Front_Page.html
- Fritsch, H., Gell-Mann, M., *Current algebra-quarks and what else?*, 1993.
- http://books.google.com.tr/books?id=0_FAAQAIAAJ&redir_esc=y