

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

BİR KUANTUM FİZİĞİ ALEGORİSİ

Alice Kuantum Diyarı'nda



Robert Gilmore

Alice
Kuantum Diyarı'nda
Bir Kuantum Fiziği Alegorisi

GÜNCEL YAYINCILIK: 80

Açık Bilim: 1

ISBN 975-8020-73-0

Alice Kuantum Diyarı'nda

Robert Gilmore

•

Kitabın orijinal adı: Alice in Quantumland

•

Kapak: Talip Aktaş

•

Birinci Basım: Aralık - 2000

İkinci Basım: Ağustos - 2006

•

Ofset Hazırlık

Güncel Yayıncılık Ltd.

Baskı ve Cilt: Kayhan Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti.

Davutpaşa Cad. Güven San. Sitesi D Blok No: 155

Topkapı / İst. / Tel: 0 212 576 01 36

© 1995 Springer-Verlag New York, Inc.

© Güncel Yayıncılık Ltd.Şti.

Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında

yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

GÜNCEL YAYINCILIK LTD. ŞTİ.

Çatalçeşme Sok. No: 54/3 Cağaloğlu - İstanbul

Tel: 0 212 511 22 37, Fax: 0 212 522 86 68

e- mail: info@guncelyayincilik.com.tr

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

BİR KUANTUM FİZİĞİ ALEGORİSİ

Alice

Kuantum Diyarı'nda

R o b e r t G i l m o r e

Türkçesi: Filiz Kaynak



Önsöz

Yirminci yüzyılın ilk yarısında evren anlayışımız tümüyle altüst oldu. Eski klasik fizik kuramlarının yerini, dünyaya bakış açımızı değiştiren kuantum mekaniği aldı. Kuantum mekaniği, yalnızca eski Newtoncu mekaniğin ortaya attığı düşüncelerle değil, sağduyumuzla da pek çok açıdan uyumsuzluk içindedir. Yine de, bu kuramların en şaşırtıcı yanı, fiziksel sistemlerin gözlenen davranışını önceden haber vermedeki olağanüstü başarısıdır. Kuantum mekaniğinin bize saçma geldiği anlar olabilir. Fakat doğanın istediği yol budur. Biz de buna uyumak zorundayız.

Bu kitap, kuantum fiziğinin bir alegorisidir. Sözlük anlamıyla alegori, bir konuyu bir başka konunun şekline büründürerek betimleyen bir anlatıdır. Kuantum mekaniğinde nesnelerin davranış biçimi olağan düşünüş tarzımıza aykırı düşebilir. Bu yüzden alışılmış durumlarla benzerlikler kurarız. Benzerlikler aslına tıpatıp uymasa bile, kuantum mekaniğinin açıklamalarını kabul etmemizi kolaylaştırır. Bu tür benzetmeler gerçekliği hiçbir zaman tamı tamına yakalayamazlar, çünkü kuantum süreçleri olağan deneyimlerimizden gerçekten de çok farklıdır.

Alegori, genişletilmiş bir benzerlik ya da benzerlikler serisidir. Bu anlamda, bu kitap *Alice Harikalar Diyarında*'dan çok, *Pilgrim's Progress* ya da *Gulliver'in Seyahatleri*'nin izinden gitmektedir. Ancak yaşadığımız dünyayı incelediğimizde, "Alice" en uygun model gibi görünüyor.

Alice'in yolculuk ettiği Kuantum diyarı, daha çok, kimi zaman Alice'in izleyici olduğu, kimi zaman da değişken elektrik yükü olan bir parçacık gibi hareket ettiği bir izlek parkına benzer. Bu Kuantum Diyarı, *kuantum dünyasının* –yaşadığımız dünyanın– temel özelliklerle

rini gösterir.

Aşağıda tanımlanan “gerçek-dünya” notlarının gerçekliğine karşın, öykünün büyük bölümü kurmacadır; karakterler de hayal ürünü. Anlatı boyunca karşınıza saçma ya da sağduyuyla uyumsuzluk içinde olan pek çok ifade çıkacak. Bunlar genellikle gerçektir.

Bir söylenceye göre, Neils Bohr –daha yeni yeni emeklemeye başladığı yıllarda kuantum mekaniğinin babası sayılırdı– “Kuantum mekaniği üzerine düşünürken kendini kaybetmeyen kişi, kuantum mekaniğini hiç anlamamıştır,” demiştir.

İşin Aslı...

Kuantum mekaniğinin çizdiği dünya tasvirinin ilginç ve çarpıcı olduğu su götürmez, ama bunun doğru olduğuna inanmamız bekleniyor mu gerçekten? İnanmak zorunda olduğumuzu şaşırtıcı biçimde anlıyoruz. Bu savın ne denli önenli olduğunu göstermek için, kitap boyunca kuantum fiziğinin gerçek dünyadaki önemini vurgulayan kısa notlar bulacaksınız. Notlar şuna benzemekte:

Bu notlar, Alice’in her bölümde karşılaştığı kuantum konularının dünyamızla ilişkilendirilmesini özetler. Bunlar, Alice’in serüvenlerinden oluşan öyküyü okurken, göz ardı edebileceğiniz ölçüde arka planda kalmalıdır, ama bu serüvenlerin gerçek önemini kavramak istediğinizde notlar eliniz altında olacaktır.

Ayrıca bölüm sonlarında daha uzun notlar bulacaksınız. Metindeki kimi kilit noktaları açıklığa kavuşturan bu notlar şu şekilde gösterilmişlerdir:

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

Kuantum kuramının dünyayı tanımlayış şekli ilk bakışta saçma gibi görünebilir: İkinci, üçüncü hatta yirmi beşinci bakışta da büyük olasılıkla böyle görünmeye devam eder. Ancak, tek şansımız bu. New-

ton ile hayranlarının eski klasik mekaniği, atomları ve başka küçük sistemleri açıklamakta yetersiz kalır. Kuantum mekaniğinin gözlemle arası pek iyidir. Hesaplamalar genellikle zor ve bıkırtıcı olsa da, yapıldıkları yerde gerçekten görülenlerle tam bir uyum içindedir.

Kuantum mekaniğinin uygulamada göze çarpan sonuçlarını çok güçlü bir biçimde ortaya koymak olanaksız. Bir ölçme işleminin sonucu gelişigüzel ve önceden belirlenemez olmasına karşın, kuantum kuramının öngörülleri birçok ölçme işleminden elde edilen ortalama sonuçlara tam olarak uyar. Geniş ölçekli bir gözlem pek çok atom içereceğinden, atomik ölçek üzerine pek çok gözlem yapılabilir. Kuantum mekaniğini bir noktada yine başarılı buluyoruz: Kuantum mekaniği klasik mekaniğin büyük nesneler hakkında vardığı sonuçlara da kendiliğinden uyum göstermektedir. Oysa tersi doğru değil.

Kuantum kuramı, atomlarla ilgili gözlemlere açıklık kazandırmak için geliştirilmiştir. Doğuşundan bu yana kuantum kuramı atom çekirdeklerine, çekirdekten türeyen, birbirleriyle güçlü bir etkileşim içindeki parçacıklara ve bunları meydana getiren quarkların davranışlarına başarıyla uygulanmaktadır. Kuramın uygulanışı, yüz milyarlaraya varan bir faktöre kadar genişletilmiştir. Bu faktör aracılığıyla eldeki sistemlerin hem boyutları küçülmüş hem de enerjisi artmıştır. İnsan zihnine düştüğünden bu yana, doğruları bularak bir kuram oluşturmak epey uzun bir zaman almıştır. Ama günümüzde kuantum mekaniği, bu alışılmamış sistemlerin kolaylıkla üstesinden gelebilme özelliği gösteriyor.

Şimdiye dek yapılan araştırmalar göz önünde tutulduğunda, kuantum mekaniğinin evrensel bir uygulanabilirliğe sahip olduğu ortaya çıkar. Geniş ölçekli bir çalışmada, kuantum mekaniğinin öngörülleri gelişigüzellik özelliğini yitirerek, büyük nesnelere rahatlıkla uygulanabilen klasik mekaniğin öngörüllerine uyum gösterir. Fakat küçük ölçekli bir çalışmada kuantum kuramının öngörülleri deneyler aracılığıyla doğrulanır. Bu öngörüler dünyanın mantıksız bir biçimde resmi-

ni çiziyormuş gibi görünse de, deneysel kanıtlarla desteklenir.

Dördüncü bölümde anlatıldığı gibi, kuantum mekaniği, bir yandan üzerinde gerçekten gözlem yapıp yapılamayacağı tartışılırken, yapılan bütün deneylere uygunluk gösteren garip bir konumdadır. Galiba dünya düşlediğimizden, hatta düşleyebileceğimizden çok daha garip.

Şimdi Kuantum Diyan'na çıktığı yolculukta Alice'e eşlik edelim.

Robert Gilmore

İçindekiler

1. Bölüm

Kuantum Diyarı'na girerken 11

2. Bölüm

Heisenberg Bankası 25

3. Bölüm

Mekanik Enstitüsü 45

4. Bölüm

Kopenhag Okulu 69

5. Bölüm

Fermi-Bose Akademisi 93

6. Bölüm

Sanal Gerçeklik 115

7. Bölüm

Boşluktaki Atomlar 138

8. Bölüm

Rutberford Şatosu 158

9. Bölüm

Maskeli Parçacık Balosu 178

10. Bölüm

Deneyisel Fizik Eğlence Fuarı 201

Alice sıkılmıştı. Bütün arkadaşları ya tatilde ya da akraba ziyaretindeydi, üstüne üstlük yağmur yağıyordu, bu yüzden eve kapanmış televizyon izliyordu. Bütün öğle vaktini Esperanto'yu tanıtan bir dizinin beşinci bölümünü, bahçıvanlıkla ilgili bir programı ve ücretli bir siyasal yayını izleyerek geçirmişti. Alice'in canı gerçekten de çok sıkılıyordu.

İskemlesinin yanında, yerde duran kitaba ilişti gözü. Okuyup bitirdikten sonra yere attığı *Alice Harikalar Diyarında* adlı kitaptı bu “Televizyonda neden daha çok çizgi film ve ilgi çekici programlar yayınlamadıklarını bir türlü anlayamıyorum,” dedi kendi kendine merakla. “Keşke şu kitaptaki Alice gibi olabilseydim. Canı sıkılıyorken kendini birdenbire ilginç yaratıklar ve tuhaf olaylarla dolu bir ülkede buluyor. Bir yolunu bulup küçülebilsem, sonra da televizyon ekranından içeri süzülebilsem, belki bir yığın büyüleyici şeyle karşılaşabilirim.”

Umutsuzluk içinde ekrana baktı. Başbakanın görüntüsü ekranı kaplamıştı. Alice'e bir şeyler söylüyordu: Elâlem ne derse desin, bir bütün olarak değerlendirildiğinde, şimdi her şey üç yıl önce olduğundan çok daha iyiymiş! Alice, televizyona bakarken, dans eden parlak noktacıklardan oluşan bir sis perdesinin, başbakanın yüzünü yavaşça örttüğünü gördü hayretle. Noktacıklar ekranın içine doğru dalıyor, adeta ona işaret ediyorlardı. "Nedense," dedi Alice, "içimden bir ses, beni çağırıldıklarını söylüyor!" Ayağa fırlayarak televizyona yöneldi.



ama gelişigüzel yere fırlattığı kitaba takılarak boylu boyunca yere kapaklandı.

Tam düşerken şaşkınlık içinde ekranın dev gibi olduğunu gördü ve kendini, bir girdap oluşturarak görüntünün içine hücum eden noktacıklarla birlikte giderken buldu. "Her yanıma kuşatan bu noktacıklar yüzünden hiçbir şey göremiyorum," diye düşündü Alice. "Bu aynı kar fırtınasında kaybolmaya benziyor; kendi ayağımı bile göremiyorum. Keşke azıcık görebilsem. Keşke bir yere varabilsem."

Alice tam da o anda ayağının katı bir şeye çarptığını hissetti ve sert, düz bir zemine basarken buldu kendini. Çevresinde savrulan tüm noktacıklar giderek gözden kaybolurken her yanını bir anda belli belirsiz sayısız nesne sarmaladı.

Kendisine en yakın olanına daha yakından baktı ve hemen hemen beline kadar gelen küçük bir nesneyi inceledi. Olan biteni kestirmek neredeyse olanaksızdı. Çünkü nesne hızla bir o yana bir bu yana zıplayıp duruyordu. Öylesine hızlıydı ki, onu tam olarak görebilmek çok zordu. Nesne sopaya benzer bir şey taşıyordu. Belki de ucu havaya kaldırılmış kapalı bir şemsiye olabilirdi bu. "Merhaba," diyerek kibarca kendini tanıttı Alice. "Adım Alice. Sizin kim olduğunuzu öğrenebilir miyim?"



“Ben bir elektronum,” dedi nesne. “Yukarı spinli elektronum. Beni şuradaki aşağı spinli bir elektron olan arkadaşımından kolaylıkla ayırabilirsin, kendisi benden epey farklı.” Soluklanırken “Yaşasın farklılık!” gibi bir şeyler çıkırdı. Alice’in görebildiği kadarıyla, şemsiyeye benzer ucunun yere doğru olması dışında öteki elektronun hiçbir farkı yoktu. Tabii bunu söylemek çok zordu, çünkü bu şekil de en az önceki kadar hızla bir o yana bir bu yana zıplayıp duruyordu.

Atom düzeyindeki parçacıklar gözle görülebilen nesnelerden farklıdır. Elektronlar çok küçük oldukları gibi, herhangi bir ayırt edici özellikleri de bulunmaz, tamamen birbirlerine benzerler. Elektronların bir dönüş biçimi vardır. Gerçi dönüş yönünü tam olarak söyleyemeyiz. Kendilerine özgü özelliklerinden biri de, tüm elektronların aynı dönüş hızına sahip olmasıdır ve bunun üzerinde, ölçmek istediğiniz dönüş yönünün hiçbir etkisi yoktur. Aralarında gözlenebilecek tek ayırım, dönüş yönlerindeki farklılıktır. Dönüş yönlerine göre elektronlar *yukarı spinli* ve *aşağı spinli* olarak adlandırılırlar.

“Hadi, lütfen,” dedi Alice ilk tanışına. “Bir saniyecik yerinde duramaz mısın? Seni doğru dürüst göremiyorum da.”

“Yeterince durmaktayım,” dedi elektron. “Ama korkarım yeterince yer bulunmamakta. Yine de deneyeceğim.” Bunu söyledikten sonra sıçrama oranını yavaşlattı. Ama yavaşladıkça yanlardan genişlemesi, görüntüsünün iyiden iyiye dağılmasına yol açtı. Artık hiç de hızlı hareket etmemesine karşın öylesine bulanıklaşmış ve odaktan çıkmıştı ki, Alice’in onun neye benzediğini anlaması öncekinden çok daha güçleşmişti. “Elimden bu kadarı geliyor,” dedi soluk soluğa, “yazık ki ne denli yavaş hareket edersem o denli yayılıyorum. Kuantum Diyarı’nda bu hep böyledir: Kapladığın alan küçüldükçe daha hızlı hareket edersin. Kurallar böyle, elimden bir şey gelmez.”

“Gerçekten de burada yavaşlamaya yetecek kadar yer yok,” diye konuşmasını sürdürdü Alice’in arkadaşı. Bir yandan da hızla çevrede tekrar sıçramaya başladı. “Platform o kadar kalabalıklaştı ki, kendimi toparlamam gerekiyor.” Haklıydı, Alice’in bulunduğu mekân, heyecanla danseden küçük şekillerle hıncahınç dolmuştu.

“Ne tuhaf varlıklar,” diye düşündü Alice. “Bir an için durabilselerdi neye benzediklerini görebilirdim, ama sanırım bu olanaksız.” Onları yavaşlatmanın herhangi bir yolu olmadığından Alice başka bir konu hakkında konuşmayı denedi. “Bana ne tür bir platformun üstünde bulunduğumuzu söyleyebilir misiniz acaba?” diye sordu.

“Tren platformu tabii ki,” diye neşeyle yanıtladı elektronlardan biri (hangisinin konuştuğunu anlamak Alice için çok güçtü, çünkü hepsi birbirine benziyordu.) “Dalga trenini gördüğün ekrana götüreceğiz, daha öteye gitmek isterseniz oradan foton ekspresine bineceksiniz.”

“Televizyon ekranından mı söz ediyorsunuz?” diye sordu Alice.

Heisenberg belirsizlik ilkesine göre hiçbir parçacığın hem konum hem de hız olarak tam tanımlanmış değerleri bulunmaz. Bir parçacığın belirli bir konumda sabit duramayacağı anlamına gelir bu. Çünkü sabit bir parçacığın tam tanımlanmış hızı sıfırdır.

“Tabii ki,” diye bağırdı elektronlardan biri. Alice bunun az önce konuşan elektron olmadığına kalıbını basabilirdi, ama bundan emin olmak son derece güçlü. “Hadisene! Tren geldi. Binelim artık.”

Alice platformda art arda dizili duran küçük kompartımanları iyi görebiliyordu. Çok küçüklerdi. Kimi boştu, kiminde bir, kiminde de iki elektron bulunmaktaydı. Boş kompartımanlar hızla dolmaktaydı —neredeyse hepsi dolmuştu— ama Alice kompartımanlara en fazla iki elektron sığabileceğini anladı. Bu kompartımanların yanından geçerlerken, içerdeki ikisi “Yer yok! Yer yok!” diye bağıırıyordu.

“Aslında tren bu kadar kalabalık olunca bir kompartımana ikiden fazla elektron sıkışamaz mı?” diye arkadaşına sordu Alice.

“Hiç olur mu? İki elektrondan fazlası asla birlikte olamaz, kural böyle.”

“Bu durumda sanırım farklı kompartımanlara binmemiz gerekecek,” dedi Alice üzülerek, ama elektron onu yatıştırdı.

“Senin için mesele değil, hiç değil! Dilediğin kompartımana girebilirsin tabii ki.”

“Sebebini kesinlikle anlamış değilim,” diye karşılık verdi Alice. “Kompartıman seni alamayacak kadar doluysa, aynı durum benim için de geçerli olmak zorunda.”

“Hiç de değil! Kompartımanlara yalnızca iki elektron girebilir, *elektronlara* ayrılan yerler hemen hemen dolmuş, ama sen bir elektron değilsin! Trende tek başına gidecek başka bir *Alice* yok, bu yüzden kompartımanların hepsinde bir Alice için yer bulunur.”

Alice kendisine söylenenleri pek anlamış gibi gözükmüyordu. Ama daha kendilerine yer bulamadan trenin kalkmasından da kaygı duyuyordu. Bu yüzden ikinci bir elektronu alabilecek bir kompartı-

Elektronlar tümüyle özdeşdir ve Pauli'nin dışarlama ilkesine uyarlar (5. Bölüm'e bakınız). Bu ilke her bir durumda birden fazla elektronun (ya da farklı spin yönleri varsa, ikiden fazla) bir arada bulunmasını önler.

man aramaya başladı. “Buna ne dersin?” diye sordu yanındakine. “İçinde yalnızca bir elektron olan bir kompartıman var. Buraya girebilir misin?”

“Kesinlikle olmaz!” diye birdenbire bağırdı elektron dehşet içinde. “ Bu da yukarı spinli bir elektron. Kompartımanı bir başka yukarı spinli elektronla paylaşamam. Ne öneri ama! İlkeme tümüyle aykırı.”

“İlkelerime aykırı demek istiyorsun herhalde?” diye sordu Alice.

“Ne diyorsam o, ilkeme aykırı ya da Pauli’nin ilkesine. Bu ilke iki elektronun aynı şeyi yapmasını yasaklar, aynı yerde bulunmak *ve* aynı spini gerçekleştirmek de bunun içinde,” diye öfkeyle yanıtladı.

Alice onu neden kızdığını gerçekten bilmiyordu, ama bir yandan da daha uygun bir kompartıman bulmak için çırpınıyordu. En sonunda içinde *aşağı spinli* bir elektron olan bir kompartıman bulmayı başardı. Alice’in arkadaşı bu kompartımana girmeye çoktan hazır-
dı. Alice, küçük kompartımanın birden nasıl dolduğuna, yine de kendisinin kolaylıkla girebileceği bir yer kaldığına şaşırdı.

Yerlerine oturur oturmaz tren hareket etti. Yolculuk olaysız geçiyordu ve manzaranın da hiçbir ilginç yanı yoktu. Bu yüzden trenin yavaşlamaya başlaması Alice için epey hoşnutluk verici bir durumdu. “Burası ekran olmalı,” diye düşündü Alice. “Acaba burada neler olacak.”

İndikleri ekranda inanılmaz bir telaş vardı. Alice, “Neler oluyor?” diye hayretle sordu. “Herkes neden bu kadar heyecanlı?” Sorularını, çevresini saran havanın içinden yükselen bir anons yanıtladı.

“Ekran fosforu yeni gelen elektronlar tarafından uyarılmıştır. Bu yüzden birazdan foton salınımı başlayacaktır. Foton ekspresinin kalkışına hazır olun.” Alice platform üstünde parlayan bir yığın ışıltılı ışıltılı şeklin arasında ekspresin gelip gelmediğini görebilmek için çevresine bakındı. Kalabalığın tam ortasında sıkışık kalan Alice, bir tek kompartımana doluşan bu kalabalıkla birlikte sürüklenmişti. “Ne Pauli’nin, ne de bir başkasının ilkesine kulak asmıyorlar herhalde,” diye düşündü Alice çevresini iyice doldururlarken. “Ötekilerle aynı yerde



olmak kesinlikle umurlarında değil. Umarım ekspres hemen kalkar. Acaba nerede...”

“... duracağız?” diye sözlerini bitirdi tam da platforma ayak basarken. “Olur şey değil, ne kadar da çabuk bitti! Hatta hiç zaman almadı.” (Alice bunda kesinlikle haklıydı. Bu yolculuk gerçekten de hiç zaman almaz. Çünkü ışık hızında yolculuk eden her şey için zaman fiilen donar.) Alice’in çevresi platformdan hızla çıkmaya çalışan bir yığın elektronla bir kez daha dolmuştu.

“Buraya gel!” diye bağırdı hızla yanından geçen elektronlardan biri. “Bir yerlere varmak istiyorsak istasyondan çıkmalıyız.”

“Affedersiniz,” diye çekinerek sordu Alice, “siz benim az önce konuştuğum elektron musunuz?”

“Evet öyle,” diye yanıtladı elektron dar bir geçide hızla dalarken. Alice platformun ana kapısına kadar elektronlarla birlikte sürüklendi.

“Bundan bıkip usandığımı söylemeliyim,” dedi Alice. “Bu tuhaf yerde tanıdığım tek kişinin de izini kaybettim. Bana neler olduğunu açıklayacak hiç kimse yok.”

Diz hizasından, “Kaygılanma Alice,” diye bir ses yükseldi. “Sana

nereye gidileceğini göstereceğim.” Elektronlardan biriydi bu.

“Adımı nereden biliyorsun?” diye şaşkınlıkla sordu Alice.

“Çok basit. Ben seninle daha önce konuşmuş olan elektronum.”

“Olamazsın!” diye bağırdı Alice. “O elektronu başka bir yöne giderken gördüm. Acaba o daha önce konuştuğum elektron değil miydi?”

“Kesinlikle oydu.”

“O zaman sen aynı elektron değilsin,” dedi Alice makul olarak. “Tanıdığım kişiyle aynı kişi olamazsın.”

“Olabiliriz!” diye yanıtladı elektron. “O aynı elektron. Ben de öyleyim. Hepimiz aynıyız, anlıyor musun, tamı tamına aynı!”

“Çok gülünç,” diye karşı çıktı Alice. “Sen şu anda yanımdasın, ama o başka bir yere doğru gitti, bu yüzden aynı kişi olamazsın. İçinizden biri farklı olmalı.”

“Hiç de değil,” diye bağırdı elektron, daha da hızlanarak zıplarken. “Hepimiz özdeşiz; bizim birbirimizden ayrı olduğumuzu göstermenin hiçbir yolu yok, işte bu yüzden o da, ben de birbirimizin aynısıyız.”

Tam o sırada, Alice’i çevreleyen elektronlar bağırıma başladı: “Ben aynıyım”, “Ben de aynıyım”, “Ben aynı senim”, “Ben de öyle, aynı senim.” Çıkardıkları gürültü korkunçtu, Alice gözlerini yumdu ve gürültü sona erene dek elleriyle kulaklarını kapadı.

Ortalık sessizleştiğinde Alice gözlerini açtı ve ellerini kulaklarından çekti. Çevresinde kümelenmiş elektronlardan hiçbir iz kalmamıştı, tek başına istasyondan çıkıyordu. Çevresine bakındığında kendini her şeyin normal görüldüğü bir caddede buldu. Sola döndü, kaldırımında yürümeye başladı.

Çok fazla ilerlememişti ki, bir kapı önünde kederli kederli ceplerini karıştırarak duran biriyle karşılaştı. Kısa boylu ve solgun biriydi. Yüzünü tam olarak görmek çok güçtü, zaten son zamanlarda Alice’in karşılaştığı herkes için geçerliydi bu, ama Alice onun biraz tavşana benzediğini düşündü. “Aman Tanrım, ne yapacağım, geç kaldım, anahtarlarımı da hiçbir yerde bulamıyorum. Derhal içeri girmem ge-

rek!” Bunu söyledikten sonra geri geri birkaç adım attı ve hızla kapıya doğru koşmaya başladı.

Öylesine hızlı koştu ki, Alice onu tek bir konumda göremedi, ama izlediği yol boyunca kendisini farklı konumlarda gösteren art arda bir dizi görüntüsünü gördü. Görüntüler çıkış noktasından kapıya doğru uzanıyordu, ama Alice’in beklentisinin tersine orada duracaklanna, gözle görülemeyecek kadar küçülerek kapının *içinden* yollarına devam ettiler. Alice bu tuhaf görüntü dizisine tam bir anlam vermek üzereyken, tavşana benzeyen yaratık hızla geri sıçradı ve yine ardında bir dizi görüntüsünü bıraktı. Bu kez görüntüler talihsiz kişinin birdenbire sırt üstü yere yuvarlanmasıyla son buldu. Cesaretini hiç kaybetmemiş gibi, yerden kalkıp yeniden kapıya yöneldi. Yine art arda sıralanan görüntüler kapıya yaklaştıkça küçüldü ve yaratık yine sıçrayarak sırtüstü düştü.

Alice ona doğru koşarken, o birkaç kez daha kapıya atılıp sırtüstü yere düştü. “Dur, dur!” diye bağırdı Alice. “Yapma! Kendine zarar veriyorsun.”

Tavşansı kişi koşmayı bırakıp Alice’e baktı. “Neyin var tatlım? Korkarım bunu yapmak zorundayım. Dışarıda kaldım. Hemen içeri girmem gerekiyor, bütün gücümle bu engeli *delip geçmekten* başka şansım kalmadı.”

Alice çok büyük ve sağlam görünen kapıya baktı. “Üstüne atılarak bu kapıdan geçebileceğini sanmam,” dedi. “Kırmaya mı çalışıyorsun?”

“Hayır, kesinlikle hayır! Güzelim kapımı mahvetmek ister miyim hiç? Yalnızca içinde bir delik açmak istiyorum. Gerçi haksız da değilsin. Buradan geçmeyi başarmamın olasılığı bir hayli düşük, ama yine de deneyeceğim.” Bunu söyler söylemez yine kapıya yüklendi. Alice ondan umudunu keserek yoluna devam etmek üzereyken yaratık yine sırtüstü düştü.

Alice birkaç adım atmışken, onun bu çabalarının şans eseri bir sonuca ulaşip ulaşmadığını görmek için dönüp arkasına bakmaktan

kendini alamadı. Ama yine bir dizi görüntünün hızla kapıya atılıp, yaklaştığında küçüldüğünü gördü. Geri düşmesini bekledi. Önceki-lerde bu hemen olurdu, ama bu kez olmamıştı. Kapı tek başına sapa-sağlam ayakta duruyordu, Alice'in tanışından hiçbir iz yoktu. Böylece geçen birkaç saniyeden sonra Alice, kapının arkasından sürgü ve şın-gırdayan zincirin sesini duydu, hemen ardından kapı açılıverdi. Ali-ce'in az önce ortadan yok olan arkadaşı dışarıya bakıp Alice'e el etti. "Gerçekten şansım varmış!" diye seslendi. "Bu kalınlıkta bir engeli delip geçme olasılığı çok düşüktür, üstelik bunu bu kadar çabuk ger-çekleştirebildiğim için çok, ama çok şanslıyım." Kapıyı sert bir biçim-de tek hamlede kapadı, böylece bu ikisinin karşılaşması son bulmuş oldu, bunun üzerine Alice yoluna devam etti.

Alice az ileride boş bir alana çıktı. Kenardan bir yol geçiyordu. Ötede bir grup inşaat işçisi üst üste yığıldıkları tuğlaların çevresinde toplanmışlardı. Alice onların inşaat işçisi olduklarını düşünmüştü, çünkü küçük bir el arabasından tuğla boşaltıyorlardı. "Hiç olmazsa bu insanlar mantıklı bir uğraş içindeler," dedi içinden. Hemen ardından bir köşeden koşarak gelen başka bir grup, rulo halinde kocaman bir haliya benzer bir şey getirip bu boş alana yaymaya başladı. Tamamen yaydıklarında Alice bunun bir inşaat projesi olduğunu anladı. Alanı neredeyse baştan başa kapladığına bakılırsa, çok büyük bir proje ol-malıydı bu. "Nedense, yapmayı planladıkları binayla aynı boyutta bir proje olduğunu düşünüyorum," dedi Alice. "İyi de proje tüm alanı kaplarsa binayı nasıl dikecekler?"

İnşaat işçileri projeyi tam yerine yerleştirir yerleştirmeden yeniden tuğlaların yanına döndüler. Hepsi birden tuğlaları alıp alıp projenin üs-tüne, hem de gelişigüzel fırlatmaya başladılar. Her şey karmakarışık.

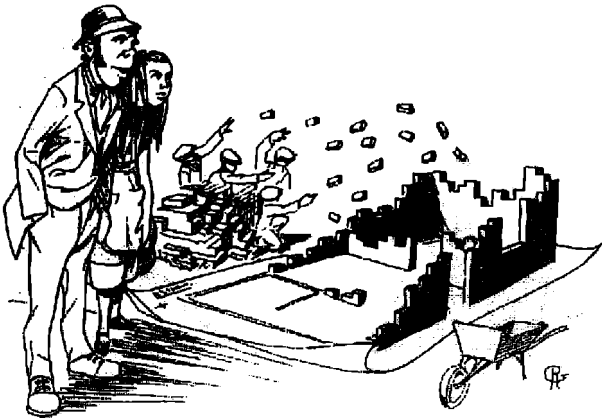
Kuantum kuramı, parçacıkların davranışını olasılık dağılımları olarak betimler, tek tek parçacıkların asıl gözlemi rastgele olur. Olasılıklar, parçacıkların ince bir enerji engelini delerek geç-mesi gibi, klasik mekanikte yasaklanmış süreçleri içerebilir.

Tuğlalar bir o yana, bir bu yana düşüyordu. Alice bunun amaçsızca yapıldığının da farkındaydı. “Ne yapıyorsunuz?” diye kenarda duran bir adama sordu. Adam o sırada hiçbir şey yapmadığı için Alice onun ustabaşı olduğunu düşündü. “Gelişigüzel yığılmış tuğlalardan başka bir şey yapmıyorsunuz. Oysa bina yapıyor olmanız gerekmiyor mu?”

“Çok haklısın tatlım, biz de zaten bunu yapıyoruz,” diye yanıtladı ustabaşı. “Doğru söylüyorum, yani gelişigüzel dalgalanmalar hâlâ modeli gizleyecek kadar büyük, ama bize gereken sonucun olasılık dağılımlarını yere yaydığımız için başarıya ulaşacağız, sen kaygılanma.”

Alice bu iyimserlik gösterisini fazla ikna edici bulmadı, ama yere fırlatışlarını sürdüren tuğlaları sesini çıkarmadan izledi. Şaşkınlık içinde bazı bölgelere ötekilerden daha fazla tuğlanın düştüğünü fark etti, bu arada kapıyla duvarların oluşmaya başlaması da gözünden kaçmadı. Heyecan içinde, odaların, başlangıçtaki kargaşadan sıyrılarak yavaş yavaş biçimlenmelerini izledi. “Harika,” diye bağırdı. “Böyle bir şey nasıl olur?”

“Gerçi sana daha önce anlatmıştım,” diyerek gülümsedi ustabaşı. “İşe başlamadan önce, olasılık dağılımını yere yayarken bizi izlemiştin. Bu dağılım nereye tuğla konulacağını, nereye konulmayacağını açıkça gösterir. Tuğlaları yerleştirmeye başlamadan önce bu işlemi



yapmazsak fırlattığımız tuğlaların nereye gideceğini kestiremeyiz, anlarsın ya,” diye sürdürdü konuşmasını.

“Anladığım filan yok!” diyerek Alice ustabaşının sözünü kesti. “Ben daha önce hep tuğlaların düzgün bir sıra halinde birbiri ardına dizildiğini görmüştüm.”

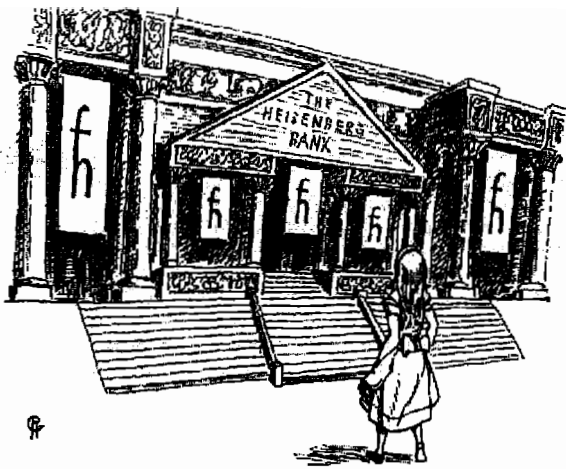
“Tamam, pekâlâ. Kuantum yönteminde böyle yapılmaz. Burada tuğlaların teker teker nereye gideceğini bilemeyiz, yalnızca şu ya da bu yöne gitme olasılığını tahmin edebiliriz. Yani, elinde topu topu üç beş tuğla varsa, bunlar herhangi bir yere gidebilir ve bir model de oluşturmaz. Ama tuğlaların sayısı arttıkça, sadece bir yerlerde olma ihtimali olan tuğlaların o yerlerde olduklarını görürsün. Hem, tuğlaların düşme ihtimallerinin fazla olduğu yerlerde, daha fazla tuğla olur. İşin içine çok sayıda tuğla girdiğinde, her şey yoluna girer, şimdi de aynı durum söz konusu.”

Alice’in bu işe aklı yatmamıştı. Oysa ustabaşı, Alice garipse mesin diye her şeyi kelimesi kelimesine anlatmıştı. Alice, daha fazla soru sormadı. Adamın verdiği yanıtlar kafasını karıştırmaktan başka bir işe yaramıyordu. Alice teşekkür edip yoluna devam etti.

Çok geçmeden, yolu üzerindeki bir pencerede koca harflerle yazılmış şu notu gördü:

Durumunuzdan rahatsız mısınız?
Daha yüksek bir konuma gelmek ister misiniz?
Geçişinizi yalnız 10 ev için yapabilmenize yardım ederiz.
(Öneri Pauli’nin normal dışarlama sınırı dahilindedir.)

“Gerçekten çok cazip bir tekliftir, eminim. Ama neden söz ettiğini hiç anlamadım. Birine soracak olsam da, vereceği yanıt eminim beni şimdi olduğumdan daha kötü hissettirecek,” diye yüksek sesle konuştu Alice umutsuzca. “Şimdiye kadar gördüğüm hiçbir şeyi anlamış değilim. Keşke çevremde olup bitenleri bana doğru dürüst açıklayabilecek biri olsaydı.”



Oradan geçen biri kendisine karşılık verene kadar, yüksek sesle konuştuğunun farkında bile değildi. “Kuantum Diyan’nı anlamak istiyorsan, önce sana kuantum mekaniğini anlatacak birini bulmalısın. Bunun için Mekanik Enstitüsü’ne gitmen gerek.”

“Burada neler olduğunu anlamama yardım edebilecekler mi?” diye heyecanla bağırdı Alice. “Şu penceredeki ilan gibi, gördüğüm her şeyi açıklayabilecekler mi, şu ‘eV’nin ne olduğunu söyleyebilecekler mi?”

“Sanırım Mekanikçiler sana bunların büyük bölümünü açıklayabileceklerdir,” diye yanıtladı bilgilendiricisi, “ama ‘eV’ enerji birimi olduğu için bunu Heisenberg Bankası’na sormakla işe başlasan daha iyi olur. Banka hemen yolun karşısında.”

Alice o yöne baktı ve yolun karşısında, insanı etkilemek için tasarlandığı açıkça belli olan, oldukça resmi cepheli büyük bir bina gördü. Önde uzun taş sütunlardan oluşan bir giriş vardı. Üstüne de büyük harflerle HEISENBERG BANKASI yazılmıştı. Alice, karşıya geçerek, dev kapıya yönelen taş merdivenlerden çıktı ve içeri süzüldü.

Alice kapıdan içeri adımını attığında, kendini, mermer duvarları olan büyük sütunlu bir salonda buldu. Burası daha önceden görmüş olduğu bankalara benziyordu. Kendisine uzak olan duvarın önüne gişe camları diziliydi. Müşterilerin, işlem sıralarını beklerken düzgün bir biçimde sıraya girebilmeleri için ortadaki boş alana taşınabilir şerit korkuluklar yerleştirilmişti. Ancak, o sırada bankada neredeyse hiç müşteri yoktu. Gişelerin arkasındaki memurlar ve kapıdaki görevli dışında, Alice kimseyi göremiyordu.

Bankaya danışması öğütlediğinden kararlı adımlarla ilerideki gişelere doğru yürümeye başladı. "Bir dakika bekler misiniz!" diye seslendi kapıdaki görevli. "Nereye gittiğinizi sanıyorsunuz, küçük hanım? Burada sıra var. Görmüyor musunuz?"

"Affedersiniz," diye yanıtladı Alice, "ama ben sıra falan *göremiyorum*. Burada hiç kimse yok."

"Hiç olmaz mı canım, üstelik bir hayli kalabalık!" dedi görevli itiraz kabul etmezcesine. "Bugün 'hiç kimse'lerin baskınına uğradık. Gerçi biz kendilerine genelde *sanal* deriz. Enerji kredilerini almak için bekleyen bu kadar çok sanal parçacıkla sık sık karşılaştığımı söyleyemem."

Alice'in içini, burada edindiği o tanıdık duygu yine kapladı. Olayların tümüyle anlaşılması pek de çabuk gerçekleşmeyecekti. Gişelere bir göz attığında, salon hâlâ boş görünmesine karşın, gişe memurlarının harıl harıl çalıştığını gördü. Onları izlerken parlak şekillerin, bir

anda, birbiri ardına ortaya çıkıp hızla bankayı terk ettiğine tanık oldu. Gişelerin birinde, bir çift şeklin maddeleştiğini gördü. Bunlardan birinin bir elektron olduğunu fark etti; öteki de ona çok benziyordu, ama ilkinin negatifi gibiydi, daha önce gördüğü elektronların her açıdan tam tersiydi.

“Bu bir pozitron, bir *antielektron*,” diye mırıldandı bir ses Alice’in kulağına. Alice çevresine bakındığında, sert görünümlü, iyi giyimli, genç bir bayanla yüz yüze geldi.

“Siz kimsiniz?” diye sordu.

“Banka Müdüresi,” diye yanıt verdi öteki. “Buradaki tüm sanal parçacıklara enerji kredisi verilmesinden sorumluyum. Çoğu foton, ama bazen, az önce bakmakta olduğunuz elektron ve pozitron çifti gibi birlikte gelerek kredi isteyen parçacık ve antiparçacıklardan oluşan çiftlere de hizmet veriyoruz.”

“Neden ödünç enerji almaya gerek duyuyorlar?” diye sordu Alice. “Hem neden ödünç enerji almadan önce onları göremiyorum?”

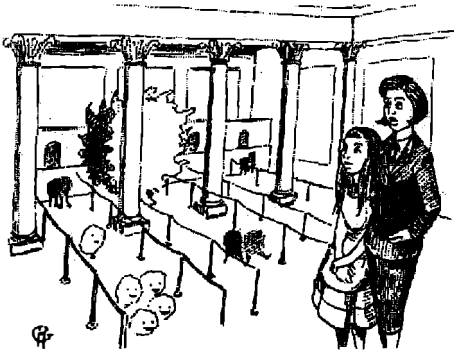
“Pekâlâ, görüyorsun işte” dedi banka Müdüresi: “Bir parçacığın tam anlamıyla var olabilmesi için, yani böylece *serbest* bir parçacık olsun, rahatça hareket edebilsin, normal olarak gözlemlenebilsin vesaire diye, hiç olmazsa asgari bir enerjisi olmak zorundadır. Buna onun *durgun kütle enerjisi* deriz. Buradaki zavallı sanal parçacıkların o kadarlık enerjisi bile yok. Çoğunun hiç enerjisi yok, bu yüzden gerçekten varlık gösteremiyorlar. Neyse ki, bankadan ödünç enerji alabiliyorlar, bu da onların bir süre daha var olmalarını sağlıyor.” Duvardaki bir duyuruyu gösterdi, duyuruda şunlar yazılıydı:

KREDİ KOŞULLARI

$$\Delta E \Delta t = \hbar / 2$$

Geri ödemedeki çabukluğunuza teşekkür ederiz.

“Buna Heisenberg bağıntısı deniyor. Tüm işlemlerimizi buna göre düzenleriz. $\hbar$ ’nin değeri *Planck sabitidir*, elbette bu doğru ola-



rak indirgenen değerdir. Bağıntı bize enerji kredilerimizin takas oranını verir. ΔE ödünç alınan enerji miktarını ve Δt kredinin geçerli olduğu dönemi gösterir.”

“Demek istediğiniz,” dedi Alice, bir yandan müdürenin söylediklerini izlemeye çalışıyordu, “iki farklı tür para arasındaki takas oranına benzediği mi? Yani ne kadar çok zamanları varsa, o kadar çok enerjileri mi oluyor?”

“Hayır, hayır! Tam tersi! *Birbiriyle çarpılan zaman ve enerjidir.* Bunlar da sabittir, yani ne kadar çok enerjileri olursa, bunu saklamalarına yetecek zamanları o kadar *kısalıyor*. Ne demek istediğimi daha iyi anlamak istiyorsanız, az önce 7 numaralı gişeden bir kredi almış olan şu egzotik parçacık ve antiparçacık çiftine bakmanızı öneririm.”

Alice kendisine gösterilen yere baktı ve göz alıcı bir manzarayla karşılaştı. Gişenin önünde daha önce gördüğü elektron ve pozitron gibi, biri ötekinin tam tersi olan bir çift şekil vardı. Ama, bu çift çok süslü ve parlaktı, varlıklarıyla öylesine büyük bir alanı kaplıyorlardı ki, nerdeyse arkalarındaki gişeyi tümüyle kapatmışlardı. Alice bu ikisinin aşırıya kaçan ölçülerinden etkilenmiş, öylece kalakalmıştı. Tam ağzını

Coğu parçacıkta durgun bir kütle vardır. Bu da çok fazla enerjiye eşdeğerdir. Başlangıç enerjisi bulunmayan sanal parçacıklar bile bir kuantum dalgalanması halinde, kendi durgun kütleleri için gereken enerjiyi “ödünç alarak,” kısa bir zaman için varlık gösterebilirler.

açıp bir şeyler söyleyecekken, bu ikisi bulanıklaşıp, ortadan yok oldu.

“Bu benim söylediklerimi örnekliyor,” diye devam etti müdüre soğukkanlılıkla. “Bu çift kendi yaşamı biçimleri için gereken büyük durgun kütlelerini destekleyecek dev bir enerji kredisi aldı. Kredi çok yüklü olduğundan geri ödeme süresi kısa tutulur, bu süre öylesine kısadır ki, daha gişeden ayrılmadan aldıkları krediyi geri ödemek zorunda kalırlar. Bu ağır parçacıklar enerji kredilerini geri ödmeden önce buradan uzaklaşamadıklarından, bunlara *kısa erişimli parçacıklar* denmektedir,” diye ekledi.

“Öyleyse, zaman ile enerji arasındaki bağıntı herkes için geçerli mi?” diye sordu Alice, en sonunda kesin bir sonuca ulaşmışçasına.

“Evet öyle! Planck sabiti uygulandığı her yer ve zaman için aynıdır. Buna *evrensel sabit* deniyor. Her yerde aynı olduğu anlamına gelir.”

“Biz bankada enerji alışverişini sağlıyoruz,” diye konuşmasını sürdürdü Müdüre: “Çünkü enerji Kuantum Diyan’nda para yerine geçer. Siz para biriminizi lira ya da dolar diye adlandırırken, biz kullandığımız enerji birimine çoğu zaman *ev* demektediriz. Bir parçacığın yapabileceklerini, sahip olduğu enerji miktarı belirler; ne kadar hızlı gidebileceği, hangi duruma girebileceği, öteki sistemler üstünde ne kadar etkili olabileceği, hepsi sahip olduğu enerjiye bağlıdır.”

“Aslında bütün parçacıklar şu sıradakiler kadar yoksul değil. Birçoğunun kendilerine yetecek kadar enerjisi var. Bu durumda enerjilerini diledikleri kadar ellerinde tutabilirler. Bunları dışarda hareket ederken görebilirsiniz. Bir kütleye sahip olmak isteyen her parçacık var olmak için enerjiye gereksinim duyar.”

Duvarda çerçevelenmiş başka bir duyuruda şu yazılıydı:

**Kütle Enerjidir.
Enerji Küttedir.**

“Bir parçacık kütle istiyorsa bir şekilde bunu destekleyecek enerjiyi bulmak zorunda. Elinde fazladan enerji kalmışsa bunu başka işler-

de kullanabilir. Ama bütün parçacıkların kütleyi önemseydiği söylenemez," diye ekledi. "Kimi serbest ve yumuşak, başıboş parçacıklar var. Bunların durgun kütlesi de yok. Kütle edinmesi gereken öteki parçacıklar gibi bir bağı da yok, bu yüzden çok az enerji bile işlerini yapabilmelerine yeter. Örneğin fotonlar böyledir. Bir fotonun durgun kütlesi yoktur. Bu durumda durgun bir fotonun hiçbir ağırlığı da olmayacaktır. Aslında genellikle durgun fotonlarla pek karşılaşmazsınız; onlar durmaksızın ışık hızında hareket ederler, çünkü ışık fotonlardan oluşur. Işık durgun akan bir ırmak değildir. *Quanta* adını verdiğimiz küçük enerji paketlerinden oluşur, bu yüzden ışık dalga dalga yayılır. Işıktaki bu quantalara –ya da parçacıklara– foton denir. Hemen hemen her şey farklı boyutuyla quantalara dahildir. Kuantum fiziğine adını veren de budur, biliyorsun. Bankadan çıkan şu fotonlara bak. Elektronlar gibi fotonlar da temelde birbirinin aynısıdır, ama bu fotonların çoğunun birbirinden farklı gibi görünmesi göze çarpar. Bunun nedeni her birinin sahip olduğu enerji miktarının farklı olmasıdır. Kimilerinin enerjisi çok az olur. Bak, şimdi kapıdan çıkmakta olan radyo frekans fotonları gibi örneğin."

Alice, ayaklarının çevresinden akarak kapıya doğru hızla yönelen fotonlara baktı. Bu arada fotonlar çıkarlarken Alice'in kulağına parça parça müzikler, teatral sesler ve "perşembeye öğle yemeğinde" gibi bir şey geldi. "Radyo dalgalarının fotonlardan oluştuğunu bilmiyordum," diye itiraf etti Alice. "Ya, evet gerçekten böyle. Üstelik bunlar düşük frekanslı ve azıcık enerji kullanan çok uzun dalga boyu olan fotonlar. Fark edilir bir etkileri olması için, aynı anda birden fazlasına gerek duyulacağından sürü halinde dolaşırlar. Ne kadar arkadaş canlısı küçük adamlar, öyle değil mi?" dedi Alice'in arkadaşı gülümseyerek. "İnsanların görmeye alışık olduğu ışığı oluşturan görünebilir fotonların daha yüksek bir frekansı ve daha çok enerjisi var. Bunların biri bile fark edilir bir etki yaratabilir. İçlerinde gerçekten çok zengin olan ve büyük harcamalarda bulunanlarsa, X-ışını ve gama fotonları. Bunların

her biri kendisini saran büyük miktarda enerjiyi taşıyor ve etkileşime girmeyi seçtiklerinde çevrelerine varlıklarını hissettirebilirler.”

“Kesinlikle çok ilginç,” dedi Alice. Bütün yapmacık değildi: “Ama bu enerji kavramını hâlâ tam olarak kavrayamadım. Enerjinin gerçekte ne *olduğunu* bana açıklayabilir misiniz?”

“Bak şimdi,” diye hoşnutlukla yanıtladı Müdüre, “bu çok mantıklı bir soru. Ne yazık ki yanıtlaması da bir o kadar zor. Büroma gidelim de açıklamaya çalışayım.”

Müdüre Alice’i ana salonun mermer zemininden, hızla, köşedeki kendi halinde ama biraz heybetli bir kapıya doğru götürdü. Geniş ve modern bir büroydu. Müdüre, Alice’e büyük masanın önüne yerleştirilmiş geniş, rahat bir sandalyeye oturması için işaret ederken kendisi de masanın arkasındaki sandalyeye oturdu.

“Şimdi, şöyle,” dedi, “enerji biraz sizin dünyanızdaki paraya benzer, paranın da tam olarak ne olduğunu söylemek pek kolay değil.”

“Galiba çok kolay,” diye yanıtladı Alice. “Para bozukluklardan oluşabilir, cep harçlığım gibi, ya da banknotlardan.”

“Buna *nakit* denir, paranın bir türü, ama para kağıt ya da madeni olmak zorunda değil. Tasarruf hesabında tutuluyor olabilir ya da hisse senedinde ve hatta bir yapıda. Aynı biçimde enerji de birbirinden çok farklı görünen çeşitli şekillere bürünebilir.”

“En bilineni *kinetik enerjidir*,” dedi Müdüre. Bir yandan da sandalyesine kaykıldı ve sesi de kendisine esir olmuş bir izleyici kitlesine uzun bir nutuk atmaya hazırlanan bir konuşmacının ses tonuna büründü.

“Bir parçacığın ya da bu konuyla ilgili herhangi bir nesnenin, hareket halindeyse kinetik enerjisi olacaktır. Kinetik, tam olarak hareket eden anlamına gelir. Başka enerji türleri de var. Tepede duran taşın yerçekim enerjisi nedeniyle düşüş halinde olması gibi, bir *potansiyel enerji* var. Ayrıca elektrik enerjisi ya da kimyasal enerji de olabilir. Bunlar da atomların içindeyken elektronlarda bulunan potansiyel



enerjidir. Daha önce de söz ettiğim gibi, *durgun kütle enerjisi*ni de birçok parçacık sırf var olabilmek için edinmek zorundadır. Böylece bir kütleye kavuşabilirler. Bir enerji türü bir başkasına *dönüştürülebilir*, aynı nakit parayı mevduat hesabına yatırman gibi. Şu yuvarlak pencereden bakarsan bunu sana örnekleyebilirim." Müdüre öne doğru uzanarak masasının üstündeki bir düğmeye bastı ve Alice'in önündeki duvardaki yuvarlak pencere açıldı. Alice pencereden baktığında lunaparklarda bulunan bir hızlı trenle karşılaştı. Tümseklerden birinin tepesine doğru tırmanarak aşağı doğru hızla inmeden önce orada biraz duraklayan bir vagon gördü.

"Gördüğün gibi bu vagon şu anda hareket etmiyor, yani kinetik enerjisi *yok*, ama tepede olduğu için konumunun kendisine sağladığı bir potansiyel enerjisi var. Şimdi, çukura düşmeye başladığından irtifa kaybediyor. Bu yüzden potansiyel enerjisi de azalıyor. Bu enerji kinetik enerjiye dönüşüyor, düştükçe daha da hızlanıyor." Alice, kendisinden epey uzakta, rayların üstünde aşağı doğru gürleyerek inen vagonun içindeki yolcuların heyecanlı çığlıklarını zar zor duyabiliyordu.

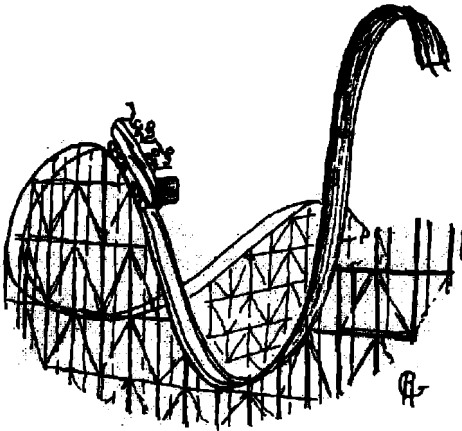
Enerji çok çeşitli şekillerde ortaya çıkar. Bunlar bir parçacığın durgun kütle enerjisi, her nesnenin hareketinin içinde bulunan kinetik enerji ya da potansiyel enerjinin çeşitli türlerinden biri olabilir. Potansiyel enerji türlerinden biri de nesne yere düştükçe azalan yerçekimsel potansiyel enerjidir.

“Raylarda hiç pürüz yoksa ve tekerlekler sürtünme olmaksızın yol alırsa,” diye devam etti öğretmeni soğukkanlılıkla, “vagon aynı yükseklığe yeniden ulaşabilir.” Müdüre hanım yeniden öne uzanarak masanın üstündeki bir şeyi kurcaladı. Hızlı trende yol alan uzaktaki bedenler, rayların izlediği bir sonraki tümseğin ansızın çok daha yüksek bir biçimde dalgalanmasıyla çığlık çığlığa bağıldılar. Vagonlar yavaşlayarak tepeye ulaşmadan önce tümüyle durdu. “Bunu nasıl yaptın?” diye bağırды hayretler içindeki Alice. “Bir bankanın gücünü asla hafife alma,” diye mınıldandı Müdüre. “Şimdi bak ne olacak.”

Vagon, hâlâ heyecanlı ama bir önceki kadar neşeli olmayan çığlıkların eşliğinde, rayların üstünde geriye doğru düşmeye başladı. En alt nokta gelene dek iyice hızlandı, ardından karşı yamaca doğru yavaşlayarak tırmanmaya başladı. Alice’in onu ilk görmüş olduğu noktaya ulaştığında durarak yeniden geriye doğru kaymaya başladı.

“Bu artık durmaksızın böyle sürer gider, vagonun potansiyel enerjisi kinetiğe, kinetik enerjisi potansiyele dönüşür durur. Anladın mı?” Müdüre masasının üstündeki başka bir düğmeye bastı ve pencere, görüntüyü örterek kapandı.

“Klasik Dünya’da enerjinin en açık biçimde görülebildiği yöntem



bu. Enerji bir biçimden ötekine, düzgün ve sürekli bir hareketle dönüşür. Burada, vagonun yamaçtan aşağı yol alırken ani sıçramalar ve maksimum hızın nasıl gittikçe hızlanabildiğini ve herhangi bir nesnenin sahip olabileceği enerji miktarında gözle görülür hiçbir sınırlama olmadığını izledin. Kuantum Diyarı'nda genelde işler daha farklıdır. Birçok durumda bir parçacık sınırlı bir değerler kümesinden yalnızca birine sahip olabilir ve enerjiyi ancak *kuanta* adını verdiğimiz büyük parçacık halinde kabul edebilir ya da geri çevirebilir. Klasik Dünya'da tüm enerji ödemeleri belli bir taksitlendirmeye göre yapılır. Bu da sık ve çok düşük miktarda ödemelerle gerçekleştirilir, ama burada ödemeler toplu olarak yapılmak zorunda."

"Gördüğün gibi, kinetik enerji gösterişe meraklı bir enerji türü. Bir nesne yalnızca hareket ettiği için bu enerjiye sahip olabilir. Kütle ağırlaştıkça sahip olduğu kinetik enerji de artar ve ne kadar hızlı hareket ederse kinetik enerjisi de o kadar artar, ama artış miktarı hareket ettiği yöne bağlı değildir, yalnızca hız önemlidir. Bu yönüyle bir parçacığın nasıl hareket ettiğini bize gösteren bir başka önemli nicelikten de farklılık gösterir. Buna *momentum* adını vermekteyiz. Momentum bir parçacığın direnme gücünün ölçüsüdür. Her parçacık hareketini hareket etmekte olduğu yönde sürdürmede son derece kararlıdır, hiçbir şekilde yön değiştirmek istemez. Bir nesne hızlı ha

Kuantum kuramında konum ve zaman üzerinde olduğu kadar, enerji ve momentum üzerinde durmak da önemlidir. Hatta daha önemlidir, çünkü bir atomun enerjisini ölçmek, yerini belirlemekten daha kolaydır. Enerji, bir anlamda fiziksel dünyadaki paranın eşdeğeri. Enerji klasik anlamıyla "iş yapabilme yeteneği" olarak açıklanabilir, yani parçacıklar, bir durumdan başka bir duruma geçmek gibi şeyler yapabilmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Momentum daha çok hıza benzeyen bir ölçüdür. Enerjinin bir boyutu olduğunda belli bir yöne doğru gidebilir. Ne kadar enerji bulunduğunu söyledikten sonra geriye söylenecek bir şey kalmaz. Sağdan sola ya da soldan sağa aynı hızda hareket eden elektronların kinetik enerjileri aynıdır, ama momentumları karşıttır.

reket ediyorsa onu yavaşlatmak için çok fazla güç gerekir. Ayrıca hareket yönünü değiştirmek için çok fazla güç gerekir; hızı aynı kalabilir... Hareket yönünde yapılan bir değişiklik, parçacığın o değerli kinetik enerjisini kaybetmesine yol açmaz. Çünkü bu yalnızca ne kadar hızlı gittiğine bağlıdır, ama yine de değişmek istemeyecektir. Çünkü bu durumda momentumu da değişecektir. Parçacıklar bu konuda biraz tutucudurlar.”

“Burada söz konusu olan yalnızca *parametre* diye adlandırdıklarımız,” diye coşkuyla devam etti müdüre. “Bir parçacığı tanımlamak için dediğinde doğru parametreleri kullanmak zorundasın. Örneğin, parçacığın bulunduğu yerden söz etmek istiyorsan, konumunu ve zamanını bildirmen gerekir.”

“Konumunu bildirmenin yeterli olacağını düşünmüştüm,” diye itiraz etti Alice. “Konum, parçacığın nerede olduğunu göstermez mi?”

“Hayır, kesinlikle hayır. Parçacığın konumunu olduğu kadar zamanını da bildirmek zorundasın. Bir şeyin şu anda nerede olduğunu ya da yarın nerede olacağını bilmek istiyorsan, geçen hafta bulunduğu bir konumdan söz etmemin bir yararı olmaz. Konumu *ve* zamanı bilmek zorundasın. Çünkü çevremizdeki her şey hareket etmeye eğilimlidir. Bir parçacığın ne *yaptığını* bilmek için momentumunu ve

Enerjinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Kinetik enerji doğrudan harekete bağlıdır: Hareket halindeki bir güllenin enerjisi hareketsiz olanda bulunmaz. Her nesnenin durgun kütle enerjisi büyüktür. Newtoncu mekanik durgun kütle enerjisi üzerinde durmaya gerek duymuyordu. Çünkü durgun kütle enerjisi asla değişmezdi. Bu yüzden herhangi bir enerji aktarımını etkilemezdi. Kuantum işlemlerindeyse, parçacıkların kütleleri sık sık değişir ve durgun kütle enerjisindeki bu değişim başka biçimlere aktarılabilir. Örneğin, bir maddenin küçük bir bölümünde durgun kütlelerin yüzde birin çok altında açığa çıkarılması nükleer silahlarda ortaya çıkar. Parçacık fiziğinde incelenen birçok işlemle karşılaştırıldığında, her bir parçacıkta büyük bir enerji değişimine yol açmaz bu. Ama bu enerji, çok sayıda parçacık tarafından günümüz dünyasında açığa çıkarıldığında, hasar gücü çok yüksek olur.

enerjisini söylemen gerektiği gibi, bir parçacığın nerede olduğunu bilmek için hem konumunu hem de zamanını bildirmen gerekir.”

“Kuantum diyarında parametrelerin birbirleriyle bağlantısı vardır. Bir şeyin *nerede* oluşunu anlamaya çalışıyorsan, bu durumda onun üstünde etkili olan momentumunu, yani ne kadar hızlı hareket ettiğini öğrenmelisin. Bu sana bankada gösterdiğim Heisenberg bağıntısının bir başka biçimi.”

“Ah!” diye bağırdı Alice, önceki karşılaşmalarından birini anımsayarak. “Daha önce gördüğüm elektronu, hareket etmediğinde bulanık görmeye başlıyordum. Nedeni bu muymuş?”

“Kuşkusuz evet. Belirsizlik bağıntıları tüm parçacıkları bu şekilde etkiler. Her zaman biraz belirsizlik içindedirler, asla tam olarak neye benzediklerini anlayamazsın.”

“Ne yapmam gerektiğini biliyorum! Bunu açıklamak için sana Belirsizlik Muhasebecisi’ni getireceğim,” diye bağırdı müdüre. “Kendisinin görevi, hesapları dengede tutmak, bu sayede kuantum dalgalanmaları hakkında kaygılanmasına gerek kalmıyor.” Zarif parmaklarından birini uzatarak masasının üstünde kusursuzca yerleştirilmiş dügmelerden birine bastı.

Kısa bir duraksamadan sonra odayı çevreleyen duvarlara düzenli aralıklarla dizilmiş kapılardan biri açıldı, içeri bir adam girdi. Adam, yüzündeki sersemlemiş ifade ve kontrol edemediği sinirli seğirme dışında, aynı *A Christmas Carol* adlı kitabın resinli bir baskısındaki Ebenezer Scrooge’a benziyordu. Elindeki hayli şişkince defterin üstünde kıvrım kıvrım kabarıklıklar vardı. İçindekiler sanki yerinde duramıyordu.

“Galiba başardım,” diye bağırdı zafer kazanmışçasına. Öylesine şiddetli sarsıldı ki, nerdeyse defteri düşürecekti. “Sonunda hesapları dengede tutmayı başardım! Artakalan kuantum dalgalanmaları dışında, tabii,” diye ekledi. Az önceki coşkusunu biraz yitirmişti.

“Çok güzel,” diye dalgın dalgın yanıtladı müdüre. “Şimdi, bu küçük kıza, Alice’i alıp kendisine bir sistemin enerjisindeki kuantum be-

lirsizliğini ve dalgalanmalarını, bunlarla ilgili konuları açıklar mısınız?” Müdüre Alice’e el sallayarak masasına geri döndü ve masasının üstündeki düğmelerle karmaşık şeyler yapmaya başladı. Muhasebeci, başka bir şey olmasına fırsat vermeden, Alice’i hızla dışarı çıkardı.

Alice ile muhasebeci, içinde çevresi büyük defterlerle kaplanmış, uzun, antika bir masayla yerlerde bir yığın kağıdın bulunduğu daha küçük ve sıkışık bir büroya geçtiler. Alice açık defterlerden birine baktı. Daha önce karşılaştığı muhasebe defterlerine benzer biçimde, sayfanın üstünü sütunlar dolusu şekil doldurmuştu. Tek fark, bu defterin üstündeki şekillerin sürekli bir değişim içinde olmalarıydı.

“Tamam,” dedi karşısındaki daha çok Viktorya döneminden kalmış gibi görünen adam. “Belirsizliği öğrenmek istiyorsunuz, değil mi genç bayan?”

“Evet, lütfen. Size fazla sorun çıkarmayacaksa,” diye kibarca yanıtladı Alice.

“Pekâlâ,” diye başladı adam, masasına yerleşerek. Daha da vakarlı durmak için aristokratlara özgü biçimde parmaklarını birbirine geçirdi, ama bunun iyi bir fikir olduğu söylenemezdi. Çünkü bunu yapar yapmaz şiddetle sarsıldı, birbirine karışan parmaklarını çözmek zorunda kaldı.

“Pekâlâ,” diye yineledi. Bu kez ellerini ceplerinin derinliklerine kadar sokarak güvenlik önlemlerini artırdı. “İlk olarak, enerjinin *korunmakta* olduğunu aklınızdan çıkarmayın, yani, her zaman aynı miktarda bulunur. Biçim değiştirebilir, ama *toplam* enerji miktarı her zaman aynı kalır. En azından uzun bir süre için geçerlidir bu,” diye ek-

Kuantum sistemlerinde ortaya çıkan, enerjiyle zamanın ve konumla momentumun oluşturduğu garip karışımı betimlerken, Heisenberg’in *belirsizlik* bağıntılarından söz etmek yerindedir. Bu tür bir betimlemenin yaratacağı tehlike, doğanın esas itibarıyla belirsiz olduğu, yani, hiçbir şeyin tam anlamıyla önceden belirlenemeyeceği, her şeyin geçerli olduğunu öngören bir inancı desteklemesidir. Her şeyin geçerliliği *doğru değildir!*



ledi isteklice ve iç çekerek, hüzünlü gözleri uzaklara bakıldı.

"Bu durumda kısa dönemler için geçerliliği yok mu?" diye sordu Alice. Konuşmayı sürdürebilmek için kendini bir şeyler yapmak zorunda hissetmişti.

"Hayır, tam olarak böyle değil. Aslında, dönem yeterince kısaysa hiç değil. Bankanın dışındaki ilanda Heisenberg bağıntısını görmüş müydünüz?"

"Evet. Enerji kredilerinin koşullarıyla ilgili olduğu söylenmişti."

"Bir bakıma öyle, ama kredi olarak verilecek enerjinin nereden geldiği hakkında bir fikriniz var mı?"

"Bankadan elbette."

"Neler söylüyorsunuz, hayır!" dedi Muhasebeci. Dehşete kapılmış gibiydi. "Kesinlikle değil! Bankanın kendi stoklarından enerji ödünç verebilmesi harika olurdu!"

"Hayır," diye ekledi hınzırca, çevresine dikkatle bakınmayı da ihmal etmedi. "Bunu bilenlerin sayısı sınırlı, enerji bankadan gelmiyor. Aslında, hemen hemen hiçbir yerden *gelmiyor*. Bu bir kuantum dalgalan-

ması. Herhangi bir sistemde var olan enerji miktarının mutlak bir tanımı bulunmaz, ama iniş çıkışlarla çeşitlilik gösterir ve bu enerjiyi ölçme süresi ne denli kısalsa, değişkenliği, muhtemelen o denli artar.”

“Bu açıdan bakılırsa enerjinin tam anlamıyla paraya benzediği söylenemez. Para kısa vadede iyi korunabilir. Birtakım amaçlarını gerçekleştirebilmek için para gerekiyorsa bunu bir yerlerden elde etmelisin, değil mi? Banka hesabından çekebilirsin ya da birinden ödünç alabilirsin, hatta çalabilirsin!”

“Asla!” dedi Alice öfkeyle, ama Muhasebeci ona aldırmaksızın konuşmasını sürdürdü.

“Nereden bulduğunun hiç önemi yok, para bir yerlerden gelmek zorunda. Sendeki çoğaldıkça bir başkasındaki azalacak. Ne olursa olsun kısa vadede ortaya çıkacak olan budur.”

“Ama uzun vadede işler değişir; paran iyice bollaşır. Ama çevrendeki para miktarı da arttıkça artar. Herkesin çok parası olur. Ne var ki, bu parayla satın alabilecekleri eskisinden azdır. Enerjiyse bunun tam tersidir. Uzun vadede korunduğunda, toplam miktar aynı kalır ve enflasyonla karşı karşıya kalmazsın. Her yıl, bir atomu bir durumdan ötekine aktarmak için ortalama aynı miktarda enerjiye gereksinim duyarsın. Kısa vadede enerji korunmaz. Bir parçacık, amacı doğrultusunda kendisine gereken enerjiyi *nereden geldiğine* bakmaksızın alır; kuantum dalgalanması olarak ortaya çıkar. Bu dalgalanmalar belirsizlik bağıntısının bir sonucudur: Sahip olacağın enerji miktarı *belirsizdir*, zamanın ne denli kısalsa, elde edeceğin enerji miktarı da o denli belirsizleşir.”

“Fazlasıyla karmaşık görünüyor,” dedi Alice.

“Bana açıklamak zorunda değilsin!” diye vurgulu bir biçimde yanıtladı beraberindeki. “İşte bu! Durmaksızın değişen hesapları dengede tutmaya çalışan bir muhasebeci olsaydın kendini nasıl hissederdin?”

“Korkunç,” diye bağırды Alice acıyarak. “Bu işin üstesinden nasıl geliyorsun?”

“Genellikle, hesapları tutarken olabildiğince uzun bir süreye yaymaya çalışıyorum. Bunun yardımı birazcık olsun dokunuyor. Anlarsın ya, ne kadar uzun zaman harcarsam, dalgalanmalar o kadar küçülmekte. Ne yazık ki insanlar buna katlanamayıp bana hesapları tutturmayı sonsuza kadar sürdürme planları yapıp yapmadığımı soruyor. Oysa bu işi başarabilmenin tek yolu bu, anlarsın ya!” dedi içtenlikle. “Ne denli uzatırsam, enerji dalgalanmaları o denli küçülüyor, bu yüzden *sonsuz*a kadar uzatsaydım, o zaman hiçbir dalgalanma *olmazdı* ve hesaplarım tam çıkardı,” diye bağırdı zafer kazanmışçasına. “Ne yazık ki, beni kendi halime bırakmayacaklar. Herkes öyle telaşlı ki, sürekli bir durumdan ötekine geçmek için yanıp tutuşuyor.”

“Sormak istediğim konulardan biri de bu işte,” diye anımsadı Alice. “Sürekli duyduğum bütün bu durumlar ne anlama geliyor? Bunu da açıklayabilir misiniz acaba?”

“Bunu benden daha iyi anlatabilecek olanlar var. Bu konu Kuantum Mekaniğinin alanına girdiğinden, Mekanik Enstitüsü’ne gidip onlara sormalısınız.”

“Bunu daha önceden de söylemişlerdi,” dedi Alice. “Sorabileceğim en uygun yerse, oraya nasıl gidebilirim, bana tarif eder misiniz?”

“Korkarım, nasıl gidileceğini tam olarak *tarif edemem*. Burada işler böyle yürümez. Ama, oraya gitme *olasılığınızı* artırabilecek bir şeyler yapabilirim.”

Odasının kendisine uzak, tozlu bir perdeyle kaplı duvarına döndü.

Enerji bir biçimden ötekine geçebilir, bir sistemdeki toplam enerji sabittir (kendisini çevreleyenlerle enerji alışverişi içinde olmadığı sürece elbette). Klasik mekanikte kesinlikle doğrudur bu. Uzun vadede kuantum sistemleri için de aynı şey geçerlidir, ama kısa vadede enerjinin değeri değişir. Dalgalanma sözcüğü, fiziksel sonuçlarla karşılaşıldığından, belirsizlik sözcüğünden daha uygundur. Atomların çekirdeğindeki alfa bozunması boyunca engel katmanın delinmesi bu sonuçlardan biridir; alfa çözünmesi 8. Bölümde karşımıza çıkacak. Engel katmanının delinmesiyle 1. Bölümde karşılaşmıştık.

Muhasebecinin, perdeyi bir hamlede kenara çekmesiyle Alice, duvarda sıralanmış kapıları gördü. “Bunların her biri nereye açılıyor?” diye sordu. “İçlerinden biri şu sözünü ettiğiniz enstitüye götürür mü beni?”

“*Her biri* sizi enstitü de dahil, hemen hemen her yere götürebilir. Ama burada asıl önemli olan nokta *hepsinin* de *büyük* olasılıkla sizi enstitünün kapısına götürmesidir.”

“Anlayamadım,” diye sızlandı Alice, kendisine fazlasıyla bildik gelen o artan şaşkınlık duygusuna kapılarak. “Farkı ne? Her birinin hemen hemen her yere götürebilmesi, hepsinin hemen hemen her yere götürebilmesiyle aynı anlama gelir.”

“Hiç de değil! Tümüyle farklı. Herhangi *bir* kapıdan girdiğinizde kendinizi hemen hemen her yerde bulabilirsiniz, ama *hepsine* birden aynı anda girerseniz büyük olasılıkla olmak istediğiniz yerde, girişim saçaklarının tepesinde, yolunuz sona erecek.”

“Ne kadar saçma!” diye bağırdı Alice. “Bütün kapılardan aynı anda giremem. Bir anda ancak tek kapıdan girilebilir, anlarsınız ya!”

“Ama bu farklı! Elbette sizi tek kapıdan içeri girerken *görürsem*, o kapıdan içeri gireceksinizdir, başka kapıdan değil. Ama sizi *göremezsem*, bu durumda herhangi bir kapıdan girmiş olma olasılığınız büyük olur. Bu şartlar altında şu kural uygulanacaktır.”

Eliyle, masasının önündeki duvara takılmış, asla gözünden kaçmayacak olan kocaman, çarpıcı bir duyuruya işaret etti. Şunlar yazılıydı:

**Yasaklanmamış her şey
zorunludur!**

“İşte buradaki en temel kurallardan biri! Birden fazla şey yapma olanağı varsa, yalnızca içlerinden birini yapmak yeterli değil, hepsini yapmalısınız. Böylece sık sık karar vermek zorunda kalmazsınız. İşte, dışarı çıkacaksanız bütün kapılardan çıkın ve çıktıktan sonra da aynı anda her yöne doğru gidin. Ne denli kolay olduğunu ve doğru yere ne kadar çabuk ulaşacağınızı göreceksiniz.”

“Çok gülünç!” diye karşı çıktı Alice. “Aynı anda birden fazla kapıdan çıkmam olanaksız!”

“Denemeden bunu nasıl söyleyebilirsiniz? Hiç iki şeyi aynı anda yapmadınız mı?”

“Elbette yaptım” dedi Alice. “Ödevimi yaparken televizyon izledim, ama bu aynı şey değil. Aynı anda iki yöne birden hiç gitmedim.”

“O halde denemenizi öneririm,” diye yanıtladı Muhasebeci, epey kırılmıştı. “Denemeden neyi yapıp neyi yapamayacağınızı bilemezsiniz. İlerlemeyi durduran işte hep bu olumsuz düşünüş biçimidir. Burada herhangi bir yere varmak istiyorsanız aynı anda yapabileceğiniz *her şeyi* yapmalısınız. Sonunda ulaşacağınız noktanın ne olacağı konusunda kaygılanmamalısınız. Girişim bunun bir çaresine bakacaktır!”

“Ne demek istiyorsunuz? Girişim de ne?” diye bağırdı Alice.

“Açıklayacak zamanım yok. Mekanikçiler bunu size anlatır. Şimdi çıkın, oraya vardığınızda onlar size açıklar.”

“Feci!” diye düşündü Alice kendi kendine. “Konuştuğum herkes beni başka bir yere gönderip, gönderdiği yere ulaştığımda bana açıklama yapılacağına dair söz veriyor. Keşke her şeyi bir anda kusursuzca anlatabilecek biri çıksa karşıma! Aynı anda birkaç yoldan nasıl gidebileceğimi bilmediğime eminim. Bu bana son derece olanaksız görünüyor, ama denersem, muhasebeci kesinlikle burada başarabileceğimi söylüyor.”

Alice bir kapıyı açtı ve dışarı adım attı.

Alice Birçok Yolda İlerlerken

Alice sol taraftaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, dar ve ağaçlıklı üç yola açılan taş döşeli, küçük bir meydanda buldu. Sol taraftaki yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, yüksek kaldırımlı bir alanın ucunda olduğunu gördü. Tam ortada, alt katlarda penceresi bulunmayan, uzun, koyu renkli bir yapı yükseliyordu. Yapının son derece korkunç

bir görüntüsü vardı.



Alice sol taraftaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, dar ve ağaçlıklı üç yola açılan taş döşeli, küçük bir meydanda buldu. Sağ taraftaki yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, kasvetle yere doğru eğilmiş ağaçların arasından yılan gibi süzülen, aralardan otların fırladığı çakıl taşlarıyla döşeli yolları olan bir parka geldi. Uzun demir parmaklıklarla çevrelenmiş parkın görüntüsünü ıslak ve soğuk bir sis tabakası iyice bulanıklaştırmıştı.



Alice sol taraftaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, dar ve ağaçlıklı üç yola açılan taş döşeli, küçük bir meydanda buldu. Ortadaki yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, yıkık dökük bir yapının önünde uzanan bir başka küçük meydanla karşılaştı.



Alice sağ taraftaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, iki kola ayrılan dar ve ağaçlıklı bir yolda buldu. Sol taraftaki yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, yüksek kaldırımlı bir alanın ucunda olduğunu gördü. Tam ortada, alt katlarda penceresi bulunmayan uzun, koyu renkli bir yapı yükseliyordu. Yapının son derece korkunç bir görüntüsü ve Alice'in içinde burada olmaması gerektiğine ilişkin belirgin bir duygu vardı.

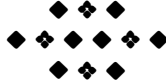


Alice sağ taraftaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, iki kola ay-

rılan, dar ve ağaçlıklı bir yolda buldu. Sağ taraftaki yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, kasvetle yere doğru eğilmiş ağaçların arasından yılan gibi süzülen, aralardan otların fırladığı çakıl taşlarıyla döşeli yollar olan bir parka geldi. Uzun, demir parmaklıklarla çevrelenmiş parkın görüntüsünü ıslak ve soğuk bir sis tabakası iyice bulanıklaştırmıştı. İçinde orada olmaması gerektiğine ilişkin çok güçlü bir duygu uyanmıştı.



Alice sağ taraftaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, iki kola ayrılan, dar ve ağaçlıklı bir yolda buldu. Ana yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, yıkık dökük bir yapının önünde uzanan bir başka küçük meydanla karşılaştı. Burası sanki bulunması gereken yerdi.



Alice ortadaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, arkalarındaki ağaçlıklı yollara açılan üç ana kapılı bir duvarla karşı karşıya buldu. Sol taraftaki yolu izledi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, yüksek kaldırımlı bir alanın ucunda olduğunu gördü. Tam ortada alt katlarda penceresi bulunmayan uzun, koyu renkli bir yapı yükseliyordu. Yapının son derece korkunç bir görüntüsü vardı. Alice'in içindeki, orada olmaması gerektiğine ilişkin duygu bu kez çok daha güçlüydü.



Alice ortadaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, arkalarındaki ağaçlıklı yollara açılan üç ana kapılı bir duvarla karşı karşıya buldu. Sağ taraftaki yolu izlemedi, çünkü yol kendisine tümüyle yanlış gözüktü.



Alice ortadaki kapıdan adımını atar atmaz, kendini, arkalarındaki ağaçlıklı yollara açılan üç ana kapılı bir duvarla karşı karşıya buldu. Ortadaki yola açılan kapıdan girdi. Fazla uzaklaşmamıştı ki, yıkık dökük bir yapının önünde uzanan bir başka küçük meydanla karşılaştı. Artık tam da burada olması gerektiğine hiç kuşkusu kalmamıştı.



Alice yapıyı daha yakından inceledi. Rengi solmuş bir levhanın üstündeki “Mekanik Enstitüsü” yazısını seçebiliyordu. İşte burası tam da gelmek istediği yerd!

Farklı yolları izleyen parçacıklar, genliklerin bir üst üste konumu (toplamı) olarak var olurlar. Olası her yol parçacıkların davranışları için bir genliğe ya da seçme hakkına katkıda bulunur ve genlikler birlikteken var olur. Farklı genlikler birleşerek iç içe geçebilir. Böylece kimi bölgelerde eklenerek, parçacıkların oralarda bulunduklarını saptama olasılığını artırır. Bir başka yerde, birbirlerinin egemenliğine son vererek parçacıkların bulunduğu yeri saptama olasılığını azaltırlar. Genlikler ve girişim konuları önümüzdeki bölümde ele alınacaktır.

3. BÖLÜM

Mekanik Enstitüsü

Alice karşısındaki binayı inceliyordu. Gösterişsiz, fazlasıyla yıpranmış, tuğla bir bina. Alice'in önünde, burasının "Mekanik Enstitüsü" olduğunu belirten levha duruyordu. Levhanın yanı başında ahşap bir kapı vardı. Üstüne de şu yazı ilâştirilmişti: "Vurma, Gir!" Alice, kapıdaki uyarıyı dikkate alarak kapıyı yokladı. Kilitli olmadığını anlayınca içeri girdi.

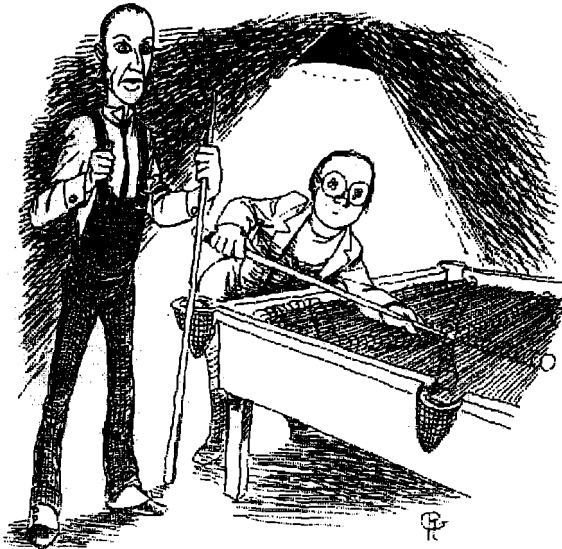
İçeride kendini geniş, karanlık bir odada buldu. Odanın ortasında ışıltılı aydınlık bir alan vardı. Yalnızca bu sınırlı alanın içindeki ayrıntıları tam olarak sıralamak olanaklıydı. Bu alanın dışında hiçbir şeyin net bir biçimde ayırt edilemediği karanlık, sınırsızca uzanıyordu. Işıltılı havuzunun içinde, çevresinde iki kişinin hareket ettiği bir bilyardo masası vardı. Alice onlara doğru yürüdü, yaklaştığında onlar da kendisine baktılar. Hayli tuhaf bir çiftti. Biri uzun boylu ve zayıftı. Sert, uzun yakalı kollu bir gömlek, daracık bir boyunbağı ve Alice'i epey şâşırtan bir bahçıvan pantolonu giymişti. Kartal gibi bir yüzü ve uzun favorileri vardı. Alice'e öylesine delici ve yoğun bir bakış attı ki, Alice'de, adamın gördüğü her şeyi en ince ayrıntısına kadar net bir biçimde ayırtabileceği duygusunu uyandırdı. Arkadaşıysa daha kısa ve gençti. Büyük, metal çerçeveli gözlüklerle süslenmiş yuvarlak bir yüzü vardı. Gözlüklerinin arkasındaki gözlerini görmek çok güçtü: nereye baktığını, hatta gözlerinin tam olarak nerede olduğunu bile söylemek olanaksız gibiydi. Beyaz bir laboratuvar önlüğü giymişti. Düğmeleri açık

önlüğün içinden üzerinde atoma benzer bir resim bulunan tişörtü görünüyordu. Yıkana yıkana solduğu için resmin tam olarak ne olduğunu kestirmek pek kolay değildi.

“Affedersiniz, acaba burası Mekanik Enstitüsü mü?” diye sordu Ali-ce. Bu soruyu yalnızca konuşmaya başlamak için yöneltmişti. Kapiya ilıştırılmış nottan böyle bir tutum takınması gerektiğinin farkındaydı.

“Evet, güzel kızım,” dedi uzun boylu ve daha etkileyici bir görünüşü olanı. “Bendeniz, Klasik Dünya’dan gelen bir Klasik Mekanikçiyim. Bir Kuantum Mekanikçisi olan meslektaşımı ziyarete geldim. Sorunun neyse, eminim bizim aramızdayken sana yardımcı olabiliriz. Oyunumuzu bitirene kadar bekleyebilirsen elbette.”

Her ikisi de bardo masasına döndü. Klasik Mekanikçi titiz bir yol izliyordu, bir derecelik bir kırılmayı bile göz önüne alarak tüm açları değerlendiriyordu. En sonunda, üstünde düşünüp taşındığı vuruşunu yaptı. Top öne fırladı, görülmemiş güzellikte sıçrayışlarla kırmızı topla çarpıştı ve kırmızı topu bir deliğin tam ortasına gönderdi. “İşte bu kadar,” diye sevinçle bağırıyordu Klasikçi topu delikten çıkarırken. “Bu iş böy-



le yapılır, bilirsin. Dikkatli ve tam bir gözlemi izleyen titiz bir eylem. Yapacağın işlerde bu yolu izleyerek istediğin sonuca ulaşabilirsin.”

Arkadaşı karşılık vermeden masadaki yerini aldı ve istekasıyla gelişigüzel bir vuruş yaptı. Bir önceki deneyiminden sonra, Alice topun aynı anda her yöne çarpmasını pek de şaşkınlıkla karşılamadı, hatta masada topun çarpmadığını söyleyebileceği neredeyse tek bir yer bile kalmamıştı, üstelik topun tam yerini bile asla söyleyemezdi. Oyuncu göz açıp kapayıncaya kadar kısa bir zaman içinde masada ilerleyerek deliklerden birinin içine bir göz attı ve uzanıp kırmızı bir top çıkardı.

“Kusuruma bakmayın, ama” dedi Alice, “sanki oyunu çok farklı oynuyor gibisiniz.”

“Epey farklı,” diye yanıtladı Klasik Mekanikçi. “Onun vuruşlarından nefret ederim. Her şeyin çok dikkatli ve titiz bir biçimde yapılmasından, ortaya çıkabilecek her tür ayrıntının tasarlanmasından hoşlanırım ben. Bu arada,” diye ekledi, “sanırım buraya bizim bilardo oynayışımızı izlemek için gelmedin, şimdi ne öğrenmek istediğini söyleyebilirsin.”

Alice, Kuantum Diyarı’na geldiğinden bu yana tüm yaşadıklarını sayıp döktü ve kafasının ne denli karıştığından, her şeyin ne kadar tuhaf ve belirsiz olduğundan söz etti. “Bu binaya nasıl oldu da geldim, bunu bile bilmiyorum,” diyerek bitirdi konuşmasını. “Girişim beni doğru yere ulaştırır demişlerdi, ama ne olup bittiğini anlamadım gitti.”

“Şimdi bak,” diye başladı Klasik Mekanikçi, kendini ikisi adına konuşmakla yetkili kılmış gibi görünüyordu. “Ben de her şeyi anlayabildiğimi söyleyemem. Daha önce de belirttiğim gibi, her şeyin keskin çizgilerle ortaya çıkarılmasından yanayım. Akla uygun bir biçimde tepki etkiyi izlemeli, her şey tüm açıklığıyla öngörülebilir olmalı. Doğrusunu istersen, burada olup bitenler bana da pek mantıklı gelmiyor,” diye gizlice Alice’e fısıldadı. “Klasik Dünya’dan buraya gelişim yalnızca ziyaret amaçlı. Klasik Dünya, her şeyin mekanik duyarlılıkla yapıldığı harika bir yer. Tepki fevkalade öngörülebilir bir biçimde et-

kiyi izliyor, böylece her şey anlam kazanıyor. Ne olacağı önceden görülebiliyor. Daha da önemlisi, bütün trenler zamanında kalkıyor,” diye aklına gelmişken ekledi.

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

“Çok etkileyici,” dedi Alice nazikçe. “Bu denli iyi düzenlenmişse, her şeyi bilgisayarlar yapıyordur herhalde.”

“Aslında değil,” diye yanıtladı Klasik Mekanikçi. “Bilgisayarları hemen hiç kullanmıyoruz. Hatta elektronik aletler Klasik Dünya’da pek de işe yaramaz. Biz daha çok buharlı makineleri kullanıyoruz. Kuantum Diyarı’nda kendimi yabancı hissediyorum. Buradaki arkadaşım kuantum koşullarına çok rahat ayak uydurabiliyor.”

“Yine de,” diye devam etti, gizliliği daha da artırarak, “girişimin ne olduğunu sana açıklayabilirim. Bu klasik mekanikte de gerçekleşmekte. Beni izlersen sana nasıl çalıştığını gösterebilirim.”

Alice’i bir kapıdan dışarı çıkardı, kısa bir koridoru geçerek başka bir odaya girdiler. Burası her yere eşit dağılan net bir ışıkla iyi aydınlatılmış bir odaydı ve ışığın kaynağı belli değildi. Odanın duvarlarını çevreleyen ahşap bir basamağın üstünde durdular. Odanın ortasındaki yanardöner, grimsi bir maddeyle kaplanmış zemin katı gibi görünmüyordu. İçinde gelişigüzel ışık patlamaları olan bu zemin daha çok ekranında görüntü olmayan bir televizyonu andırıyordu.

Alice’in rehberi durumu açıkladı. “Burası düşünme odası. Almanca buna *Gedanken* odası denir. Bilirsin, beyefendilerin gittiği kulüplerde çalışma odası ve okuma odası bulunur. İşte bizim de düşünme odamız var. Burada insanın düşünceleri maddeleşebilir. Böylece herkes bu düşünceleri görebilir. Bu da *düşünce deneyleri* yapmamızı sağlıyor. Düşünce deneyleri çeşitli fiziksel durumlarda ne olacağını görmemize yardım ediyor, ayrıca gerçek deneylerden çok daha ucuz olduklarını da söylemem gerek.”

“Nasıl çalışıyor?” diye sordu Alice. “Bir şey üstünde düşündüğü-

nüzde hemen görünüyor mu?”

“Çok doğru. Üstelik yapman gereken tek şey bu.”

“Deneyebilir miyim, lütfen?” diye sordu Alice.

“Elbette, madem istiyorsun.”

Alice, bakışlarını kıpır kıpır kıpırdayan yüzeye doğru yönelterek yoğun bir biçimde düşündü. Şaşkınlık ve sevinç içinde, daha önce üstünde hiçbir şey belirmeyen bölgede şimdi bir grup tüylü tavşan zıplayıp duruyordu.

“Çok sevimli,” diye söylemeden edemedi mekanikçi. “Ama bu, girişimi açıklamak için yeterli değil.” Elinin bir hareketiyle, bütün tavşanlar yok oldu. Yalnızca gözden kaçan bir tanesi zeminin bir köşesinde kaldı.

“Girişim,” diye başladı emredercesine, “dalgalarla ortaya çıkan bir şeydir. Fiziksel sistemlerde dalgaların her çeşidiyle karşılaşabilirsin, ama şimdi su dalgalarını düşünmek işimizi kolaylaştıracak.” Sertçe yere baktı, yer Alice’in gözleri önünde suya dönüştü, suyun yüzeyinde küçük ve yumuşak dalgalar belirdi. Köşedeki tavşan, üstüne bastığı yerin suyla dolmasıyla birlikte çıkardığı bir “glup” sesiyle suyun içine gömüldü. Çabucak kendini yüzeye çıkararak diğer ikisine baktı. Arından silkelenerek hüznünlü gözlerini ıslak tüyelerine çevirdi ve gözden kayboldu.

“Artık dalga istiyoruz,” diye konuşmasını sürdürdü Klasik Mekanikçi. Mutsuz tavşanı hiç önemsememişti. Alice tüm yardımseverliğiyle yere doğru düşündü ve suyun yüzeyinde uzun, kıvrımlı bir dalga belirdi. Dalga sürüklenerek bir uçtaki kumsalda son buldu.

“Hayır, bu çeşit bir dalga değil istediğimiz. Bu tür büyük dalgalar fazlasıyla karmaşıktır. Suya bir taş atıldığında çevresinde oluşanlar gibi yumuşak dalgacıklar gerekiyor.” O bunları söylerken suyun ortasından dairesel dalgacıklar çıkmaya başladı.

“Ama aynı yöne hareket eden *düzlem dalgalar* üstüne düşünmeliyiz.” Dairesel dalgacıklar, sulu bir tarla gibi uzun, birbirine koşut çizgi-

lere dönuştü. Hepsi de bir uçtan ötekine doğru hareket ediyordu.

“Şimdi ortaya bir engel koyalım.” Tam ortada alçak bir engel belirdi, zemini ikiye böldü. Engele doğru akan dalgalar şapırdarak çarptılar, ama engeli aşmaları olanaksızdı. Engelin öte yanı ise durgun ve sakindi.

“Şimdi engele bir delik açalım. Böylece dalgalar öte yana geçebilsin.” Çitin merkez noktasının soluna düşen bir yerde küçük ve düzgün bir delik açıldı. Dalgacıklar bu küçük boşluğa çarpıp geçerek, arkadaki sakin bölgede dairesel dalgacıklar oluşturmaya başladı.

“Şimdi, bakalım engelde iki delik açtığımızda neler oluyor?” diye bağırdı mekanikçi. Hemen ardından merkez noktanın hem sağında hem de solunda iki delik açıldı. Her ikisinden de dairesel dalgacıklar çıkıyordu. Alice, dalgacıkların, geçerlerken, suyun kimi bölgelerinde, yalnızca bir delik olduğundan çok daha fazla dalga çıkardıklarını, buna karşın suyun öteki bölümlerinde çok az bir hareketlenme olduğunu, hatta yer yer hiç kıpırdamadığını gördü.

“Hareketi dondurursak ne olup bittiğini anlayabilirsin. Düşünce deneyinde bunu yapabiliriz.” Sudaki tüm hareket durdu, sanki tüm alan buza dönmüşçesine, dalgacıklar oldukları yerde donakalmıştı.

“Şimdi en düşük ve en yüksek genliklerin olduğu bölgeleri işaretleyelim,” diye kararlı bir biçimde devam etti Klasik Mekanikçi. “Genlik suyun yüzey seviyesinde durgunken sahip olduğu hareket miktarıdır.” Birden ortaya çıkan iki flüorışıl oku, yüzeyin üzerindeki boşlukta asılı kaldı. Elma yeşili rengindeki ok çalkalanmanın en yoğunlaştığı bölgeye yönelmişti. Soluk kırmızı renkte olanıysa neredeyse hiç çalkalanmayan bir noktaya yönelmişti.

“Bir geçişin tek bir delikte yarattığı etkiyi incelediğimizde ne olduğunu daha iyi anlayacaksın,” dedi Klasik Mekanikçi, gittikçe artan bir heyecanla. Çitteki deliklerden biri yok oldu, geriye yalnızca öteki delikten yayılan dairesel dalgacıklar kaldı, onlar da camdanmışçasına oldukları yerde donakaldılar. “Şimdi bu deliği öteki deliğin olduğu ye-

re kaydıralım.” Söyledikleri gerçekleştiğinde, Alice iki konum arasında pek bir fark göremedi. Deliğin konumu değişmişti ve delikten yayılan dairesel dalgacıklar çok yavaş hareket etmekteydi, ama sanki hiçbir şey değişmemişti. “Üzgünüm, bana göstermeye çalıştığınız şeyi anlayamıyorum,” dedi. “Her iki durumda da benim için değişen bir şey yok.”

“Bir konumdan ötekine hızlı geçişler yapmak farkı görmeni sağlayacak.” Şimdi çitin üstündeki delik, bir sağa bir sola hızla hareket etmeye başladı.

“Yeşil okun altındaki dalga biçimlerine bak,” diye bağırdı mekanikçi, adamın bu heyecanı Alice’e fazlasıyla gereksiz görünmüştü. Yine de kendisinden istenileni yaptı ve gösterilen noktada her iki durumda da suyun üstünde bir kabarıklık oluştu. “Çitteki boşlukların her biri şu gördüğün noktada en yüksek konumuna ulaşan bir dalga üretiyor, bu yüzden her iki delik de açıldığında dalga burada iki katı yüksekliğe ulaşıyor ve suyun toplam yükselişi ve inişi tek bir deliğin ortaya çıkardığından fazla oluyor. Buna *yapıcı* girişim adı verilir.”

“Şimdi kırmızı okun altındaki dalga biçimlerine bak.” Alice, gösterilen noktada boşluklardan birinin su yüzeyinde bir kabarıklık ve ötekinin de bir çukurlaşma yarattığını gördü. “Gördüğün gibi, bu konumdayken deliklerden birinin yarattığı dalga yükseliyor ve öteki deliğin dalgası alçalıyor. Böylece ikisi aynı anda ortaya çıktığında biri ötekini yok ediyor. Bu yüzden toplam etkiyi elde edemiyorsun. Buna *yıkıcı* girişim denir.”

“Girişimi tam anlamıyla dalgalandıran şey işte bu kadar. İki dalga üst üste binerek birleştiğinde, genlikleri, yani yükselip alçalmalarını sağlayan miktarlar da birleşir. Bazı bölgelerde iç içe geçmiş dalgalar aynı yöne doğru hareket ederler, bu yüzden çalkalanma arttıkça artar ve ortaya daha büyük bir etki çıkar. Öteki konumlarda dalgalar farklı yönlerde hareket ederler ve birbirlerini yok ederler.”

“Sanırım anlayabiliyorum,” dedi Alice. “Bana, bankadaki kapıların

Girişim, klasik anlamda dalgaların sahip olduğu bir özelliktir. Bu durum, genlikler ya da çalkalanmalar farklı kaynaklardan çıkarak bir araya geldiklerinde ortaya çıkar, çünkü kimi bölgelerde birleşirken kimi bölgelerde birbirlerini yok edebilirler. Sırasıyla ya yoğun ya da düşük eylemselliği olan bölgelerde son bulur bu. Buna benzer bir etkiyi, iki tekne tarafından bırakılan dümən sularının birbirleriyle kesiştiklerinde ortaya çıkan dalga biçiminde görebilirsiniz. Girişim etkileri, bir binanın yol açtığı yansımaların doğrudan gelen sinyale karışmasıyla kesintiye uğrayan zayıf televizyon alıcısında da kendini gösterir. Girişim, uzun ve bindirmeli dağılımlara gereksinim duyar. Klasik anlamdaysa, parçacıklar tek bir konumda bulunur ve birbiriyle kesişmez.

da bu engeldeki deliklere benzer bir davranışı olduğunu ve gitmem gereken yerde çok büyük bir etki oluşmasına yol açarak, öteki konumlarda birbirlerini yok ettiklerini söylemek istiyorsunuz. Bunun sorunuma nasıl bir çözüm getirebileceğini anlayamadım. Sudaki dalgaları kullanarak girişim nedeniyle bir bölgede dalgalar fazlalaşırken, bir diğerinde azaldığını gösterdiniz, ama aynı anda tek bir yerde olmama karşın, dalgalar tüm alana yayılmıştı.”

“Çok doğru!” diye bağırdı Klasik Mekanikçi zafer kazanmışçasına. “Sorun da bu. Söylediğin gibi, sen tek bir yerde durmaktasın. Bir dalgadan çok parçacığa benziyorsun, parçacıklar da akla uygun klasik bir dünyada çok daha farklı hareket ederler. Bir dalga geniş bir alana yayılır ve her konumda yalnızca küçük bir bölümünü gözleyebilirsin. Girişim nedeniyle farklı konumlarda farklı boyutlar ortaya çıkar, ama nereye bakarsan bak, bu bütünün yalnızca küçük bir parçası olur. Öte yandan bir parçacık, belli bir noktada bulunur. Farklı konumlara bakarsan, parçacığı ya bir bütün olarak görürsün ya da parçacık o konumda bulunmamaktadır. Klasik mekanikte girişim etkilerini gösteren parçacıklar söz konusu bile olamaz. Bunu şöyle gösterebiliriz.”

Gedanken odasının zeminine dönerek dikkatle baktı. Yüzeydeki su, çelik bir zırhın kapladığı pürüzsüz bir alana dönüştü, alanın çevresinde de arkasına saklanmalarına yetecek yükseklikte zırhlı engeller oluştu. Zemin ortasında, az önce alçak engelin suyu ortadan kes-

tiği yerde, şimdi, sol tarafında dar bir yarık olan yüksek zırlı bir duvar bulunmaktaydı. "Yine aynı deneyi izleyeceğiz, ama bu kez hızlı parçacıkların davranışını görebilmek için biraz değişiklik yaptım. Tabanca mermilerine benzeyen bu nesneleri kullanacağız."

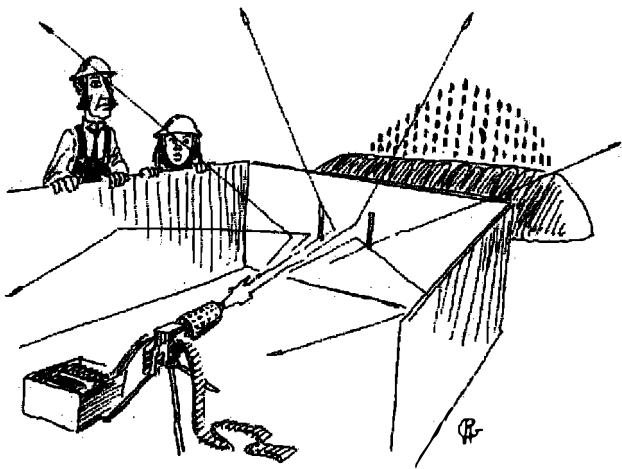
Mekanikçinin odanın öteki ucuna doğru el kol hareketleri yapmasıyla yanında kutularca cephane yığılı çirkin bir makineli tüfek belirdi. "Makineli tüfeğin altlığı sabit değil. Bu yüzden aynı noktayı vurmayacak. Kimi kurşunlar duvardaki yarığa çarpıp içinden geçecek, son yaptığımız düşünce deneyindeki dalgalar gibi hareket edecek. Elbette kurşunların çoğu çelik duvara çarparak geri sıçrayacak. Ah, unutmadan," diye birdenbire ekledi: "Seken kurşunlardan korunmak için başımıza bunları taksak iyi olur." İki çelik başlık çıkartarak birini Alice'e uzattı.

"Gerçekten bunlar gerekiyor mu?" diye sordu Alice. "Bu yalnızca bir düşünce deneyiye, kurşunlar da düşüncede kalır, zarar veremez."

"Doğru, belki dediğin gibi. Ama bir kurşunun isabet edebileceğini *düşünüyor* olabilirsin. Bu da epey can sıkıcı, bilirsin."

Alice başlığı taktı. Başlığın varlığını hissetmiyordu ve bir işe yarayacağını da sanmıyordu. Ama daha fazla ısrar etmenin de bir anlamı yoktu. Dimdik ayakta duran Mekanikçinin elinin emredici bir hareketiyle tüfek gürültülü bir biçimde ateş etmeye başladı. Kurşunlar gelişigüzel akıyordu; çoğu zırlı yüzeye isabet ederek her yöne vınıyordu, ama içlerinden birkaçı engelin içindeki yarıklardan girerek karşıdaki duvara çarpıyordu. Alice, kurşunların bu duvara çarpıp çarpmaz durarak, yavaşça havaya yönelip, tam da duvara çarptığı noktanın üstünde, boşlukta asılı kalmasını görünce şaşırıp kalmıştı.

"Görebileceğin gibi, su dalgası karşı duvarı olduğu gibi kapladığı halde, kurşun bu duvara yalnızca tek bir noktadan çarpacaktır. Oysa, bu deneyde kurşunun perdedeki yarığın tam karşısına gelen duvara çarpma *olasılığı*, yarığın kenarına çarpıp sıçrayarak geriye doğru uzun bir yol katetmesinden çok daha fazladır. Biraz beklersek duvar-



daki farklı noktalarda olasılığın nasıl çeşitleneceğini görebiliriz.” Dakikalar geçip hava vınlayan kurşunlarla doldukça, duvarın üstünde asılı kalan kurşunların sayısı da durmaksızın artıyordu. Tüm bunları izlerken, Alice kurşunlarda gözle görülür bir doğrultunun oluştuğunun farkına varmıştı.

“Duvar boyunca yarıktan geçen kurşunların nasıl bir dağılım gösterdiğinin farkında mısınız?” dedi Mekanikçi, bu sırada da silahın sesi kesildi. “Birçoğu içinden geçtikleri deliğin tam karşısında durdu ve deliğin her iki yanındaki kurşunların sayısı da azaldı. Şimdi yarık sağa doğru kaydığında olacaklara dikkatle bak.” Elinin bir hareketiyle, havada asılı duran kurşunlar yere düştü ve silah yeniden ateş etmeye başladı. Gösterinin tüm gürültüsüne ve rahatsız ediciliğine karşın, Alice’in görebildiği kadarıyla sonuç bir öncekinin aynısıydı. Açıkçası bu bir düş kırıklığı yaratmıştı.

“Görebileceğin gibi,” dedi Mekanikçi, yersiz bir kendine güvenle, “dağılım bir öncekinin benzeri, ama hafif bir sağa kayma var, çünkü merkez şimdi yarığın yeni konumunun tam karşısına kayd.” Alice

hiçbir fark göremiyordu, ama Mekanikçinin söylediklerini doğru kabul etmeye hazırdı.

“Şimdi,” diye sürdürdü konuşmasını Mekanikçi heyecanla, “bak her *iki* yarık da açık olduğunda neler olacak.” Alice’in görebildiği kadarıyla en ufak bir değişiklik bile olmamıştı. Yalnızca iki yarık da açık olduğu için daha fazla kurşun duvara çarpıyordu. Bu kez kendi düşüncesini söylemeye karar verdi. “Üzgünüm, ama bana her seferinde aynı geliyor,” dedi özür dilercesine.

“Çok doğru!” diye karşılık verdi Mekanikçi büyük bir hoşnutlukla. “Senin de gözlemlediğin gibi, yalnızca dağılım merkezi iki yarığın ortasında merkezlendi. Sol taraftaki yarıktan geçecek kurşunlar için bir dağılım olasılığı elde ettik. Sağ taraftakinden geçecek olanlar için de bir başka dağılım olasılığı elde ettik. Her iki yarık da açıldığında, kurşunlar herhangi birinden geçebilirler. Her iki yarıktan tek başına elde ettiğimiz olasılıkların toplamı, toplam dağılımı ortaya çıkarır, çünkü kurşunların bu iki yarığın *birinden* geçmiş olmaları gerekiyor. Her *ikisinden* de geçmiş olamazlar,” diye ekledi Klasik Mekanikçi, o sırada odaya giren Kuantum Mekanikçisine dönerek.

“Böyle söylüyorsun ama,” diye yanıtladı meslektaşı, “nasıl bu kadar emin olabilirsin? *Gedanken* deneyinde elektronları kullanınca neler olacağını gör bakalım.”

Sıra kendisine gelen Kuantum Mekanikçisi elini odanın zeminine doğru salladı. El kol hareketleri arkadaşınıninkiler kadar kararlı değildi, ama aynı ölçüde etkili görünüyordu. Silah ve zırhlı duvarlar yok oldu. Zemin Alice’in ilk başta gördüğü yanardöner maddeye dönüşmüştü. Ama orta yerinde iki yarık bulunan az önceki duvar hâlâ duruyor, zeminin ortasında boylu boyunca uzanıyordu. Zeminin en uzak köşesinde yeşilimsi ışıklar saçan geniş bir ekran vardı. “Bu flüoşıl ekranı” diye Alice’in kulağına fısıldadı Mekanikçi. “Elektron çarptığında parlak bir ışık çıkacak. Böylece nerede olduklarını bulabileceğiz.”

Makineli tüfeğin daha önceden yerleştirildiği zeminin karşı ucun-

da başka bir silah daha vardı. Bu sirk gösterilerinde zaman zaman kullanılan toplara benzer. Küçük odunsu bir nesneydi. "Bu da ne?" diye sordu Alice.

"*Elektron tabancası* tabii ki." Alice daha bir dikkatle baktığında topun ağzına doğru uzanan küçük basamaklar ve ateşlenmeyi bekleyen bir dizi elektron gördü. Onları son gördüğünden çok daha küçük gibiydiler. "Ama elbette," dedi kendi kendine, "bunlar yalnızca *düşünce* elektronları."

Alice elektronlara baktığında hepsinin dönüp kendisine el sallamasına çok şaşırdı. "Beni nereden tanıyorlar acaba?" diye sordu kendi kendine. "Galiba *hepsi* daha önce karşılaştığım elektronlar!"

"Ateş!" diye emir verdi Kuantum Mekanikçisi ve tüm elektronlar hızla merdivenleri tırmanarak düzenli bir biçimde topun ağzından akmaya başladılar. Alice uçarlarken onları ayırt edemiyordu, ama her birinin ekrana çarptığı noktadan çıkan parlak ışığı görebiliyordu. Işık yok olduğunda geriye ekranın seviyesini yükselten küçük parlak bir yıldız bırakıyordu ve elektronun düştüğü konumda bir belirleyici görevini üstleniyordu.

Daha önce makinelili tüfekte yapılan deneyde olduğu gibi, elektron silahı da elektronları durmaksızın ateşliyordu ve minik parlak yıldız yığınları gözle görülür bir dağılım oluşturmaya başladı. Başlangıçta, Alice neler gördüğünden pek emin olamamıştı, ama küçük yıldızların sayısı arttıkça dağılımlarının kurşunların oluşturduğu dağılımdan epey farklı olduğu iyice ortaya çıkmıştı.

Merkezdeki en yüksek sayıdan yanlara doğru yavaş ve düzenli bir azalmanın yerine, yıldızlar, çok az parlak işaretin bulunduğu yerler arasında kara boşluklar olan bantlar halinde düzenlenmişti. Alice bunu bir bakıma, aralarında durgun alanlar olan yüksek eylemlilik bölgelerinin bulunduğu su dalgalarında gördüğü duruma benzetti. Şimdi aradaki alanlarda çok azının bulunduğu, birçok elektronun saptandığı bölgeler vardı. Dolayısıyla Kuantum Mekanikçisi şunları söyledi-

ğinde Alice hiç şaşırmadı. “İşte orada açık bir girişim etkisi görmekte-
sin. Su dalgalarında, yüzeyde daha büyük ve daha küçük devinim böl-
geleri vardı. Şimdi her elektron yalnızca bir konumda saptanacaktır.
Ama bir elektronu saptama *olasılığı* bir konumdan ötekine değişir. Da-
ha önce gördüğün farklı dalga yoğunlukları dağılımının yerini, bir ola-
sılık dağılımı alır. Bir ya da iki elektron söz konusu olduğunda bu tür
bir dağılım açık değildir, ama birçok elektron gördüğünde, yüksek ola-
sılık bölgelerinde onları daha çok bulursun. Yalnızca bir yarık söz ko-
nusu olduğunda, tıpkı mermilerin ya da su dalgalarının yalnızca bir ya-
rık varken yaptıkları gibi, dağılımın her iki yana doğru düzenli bir bi-
çimde azaldığını görürüz. Bu durumdaysa, iki açık yarık olduğunda, iki
yarığın genliklerinin giriştiklerini ve olasılık dağılımında apaçık zirveler
ve uçurumlar ürettiklerini görüyoruz. Elektronların davranışı arkadaş-
mın mermilerinden oldukça farklıdır.”

“Anlayamıyorum,” dedi Alice. Bu kendisine hayatında söylediği
tek şeymiş gibi geldi. “Geçen o denli çok elektron var ki, bir delikten
geçen elektronlar her nasılsa ötekinden geçenlerle girişiyor mu de-
mek istiyorsunuz?”

“Hayır, söylemeye çalıştığım o değil. Hiç değil. Şimdi herhangi bir
anda uçuşta olan tek bir elektron olduğunda ne olacağını görecek-
sin.” Ellerini çırpıp, “Pekâlâ! Bir daha yapalım ama bu kez yavaşça,” di-
ye bağırdı. Elektronlar harekete koyuldu ya da kesin olarak söylemek
gerekirse, bir tanesi topa tırmandı ve atıldı. Ötekiler oldukları yerde
oturmaya devam ettiler. Biraz sonra başka bir elektron tırmandı ve
kendi yoluna ateşlendi. Bu bir süre devam etti ve Alice aynı yığınlar
ve boşluklar düzeneğinin ortaya çıkmaya başladığını gördü. Bu yığın-
lar ve boşluklar daha önceki kadar net değildi. Çünkü elektronların
varışlarındaki düşük oran, yığınlarda çok fazla bulunmadığı anlamına
geliyordu. Fakat düzenek yeterince açıldı. “İşte, her anda yalnızca bir
elektron varken bile girişim etkisinin nasıl aynı ölçüde iyi çalıştığını
görüyorsun. Bir elektron kendi başına da girişim gösterebilir. Başka

Kuantum davranışının gözlemlendiği en güçlü deneysel kanıt girişim görüngüsü tarafından verilir. Gözlenen bir sonuç birkaç yolla ortaya çıkabildiğinde, gerçekte her olası yol için bir genlik bulunacaktır. Ayrıca bu genlikler bir şekilde bir araya getirildiklerinde toplanabilir ya da çıkarılabilirler ve toplam olasılık dağılımı, ayırıcı en yüksek ve en düşük noktaları gösterir: Birbirini izleyen yeğin ve boş şeritler. Bu etki uygulamada beklendiği her yerde görülür. Girişimin bir biçimi atomlarda ortaya çıkan farklı enerji durumlarını ortaya çıkarır. Yalnızca potansiyelin içine “düzgünce uyan” durumlar olasılıktaki güçlü en yüksek noktayı vererek olumlu bir biçimde girişim yapar. Öteki tüm durumlar kendilerini iptal eder ve dolayısıyla yok olurlar.

bir deyişle, her iki yarıktan geçip kendiyle girişim yapabilir.”

“Ama bu aptalca,” diye bağırdı Alice. “Bir elektron her iki yarıktan da geçemez. Klasik Mekanikçi'nin de söylediği gibi, bu mantıklı değil, o kadar.” Engele yanaştı ve elektronların yarıklardan geçtikten sonra nereye gittiklerini görmek için daha yakından baktı. Ne yazık ki ışık cılızdı ve elektronlar o denli hızlı hareket ediyordu ki, hangisinin hangi delikten geçtiğini asla anlayamadı. “Çok gülünç,” diye düşündü Alice. “Daha fazla ışığa ihtiyacım var.” “Düşünme odasında” olduğunu unutmuştu ve dirseğinin dibinde bir tezgâha oturtulmuş yoğun bir araba farı ortaya çıktığında afalladı. Işığı hemen iki yarığa yöneltti ve elektron geçtiğinde bir deliğin ya da ötekinin yanında görülebilir bir parıltı olduğunu keyifle izledi. “İşte,” diye haykırdı. “Yarıklardan geçerken elektronları görebiliyorum ve tam tamına olması gerektiğini söylediğim gibi oluyor. Her biri yalnızca bir yarıktan geçiyor.”

“Aha,” diye anlamlı anlamlı yanıtladı Kuantum Mekanikçisi. “Girişim desenine neler olduğunu görmek için baktın mı peki?” Alice yeniden uzaktaki ekrana baktı ve şimdi küçük yıldızların dağılımının, tıpkı klasik mermilerde olduğu gibi, ortadaki bir doruktan düzenli bir biçimde düştüğünü görünce hayretler içinde kaldı. Bu pek adil değildi.

“Her zaman böyle olur; yapabileceğin bir şey yok,” dedi Kuantum Mekanikçisi yatıştırıcı bir ses tonuyla. “Elektronların hangi delikten



geçtiğini gösteren bir gözlemin yoksa, o zaman iki deliğin etkileri arasında girişim ortaya çıkar. Elektronları gerçekten gözlemlersen, o zaman her ikisinde değil, aslında bir yerde ya da ötekinde *olduklarını* bulursun, *ama* bu durumda onlar da yalnızca bir delikten geçtiklerinde kendilerinden bekleyeceğin gibi davranırlar ve girişim olmaz. Sorun, rahatsız etmeden elektronları gözlemlemenin hiçbir yolu olmasıdır, çünkü o ışığı üzerlerine tutman ve gözlem yapma eyleminin kendisi, elektronları bir hareket doğrultusu seçmeye zorlar. Elektronun hangi delikten geçtiğini not alıp almaman bir önem taşımaz. Bunu sana *anlatabilecek* herhangi bir gözlem, elektronları rahatsız eder ve girişimi durdurur. Girişim etkileri yalnızca elektronun hangi yarıktan geçtiğini bilebilmenin hiçbir yolu olmadığı zaman gerçekleşir. Bilip bilmemen fark etmez.”

“Anlayacağın, girişim gerçekleştiğinde her elektron iki yarıktan da geçiyor gibi görünür. Bunu denetlemek istediğinde, elektronların yalnızca bir yarıktan geçtiğini görürsün ama, o zaman da girişim orta-

dan kaybolur. Kazanamazsın.”

Alice bunun üzerinde biraz düşündü. “Son derece saçma,” diye karar kıldı.

“Kuşkusuz öyle,” diye yanıtladı Mekanikçi, epey kibirli bir gülümsemeyle. “Bir hayli saçma olduğunu kabul ediyorum, ama doğa her nasılsa böyle işlediğinden onunla uzlaşmalıyız. Tümleyicilik, söylediğim bu.”

“*Tümleyicilikle* ne demek istediğinizi lütfen bana anlatır mısınız?”

“Elbette! Tümleyicilikle bilinemeyecek bazı şeyler olduğunu söylemek istiyorum, en azından hepsi aynı anda gerçekleşmez.”

“Tümleyicilik o anlama gelmez,” diye karşı çıktı Alice.

“Ben kullandığımda gelir,” dedi Mekanikçi. “Sözcükler benim seçtiğim anlamı taşır. Kim hükmediyor meselesi. Hepsi bu. Tümleyicilik, söylediğim bu.”

“Bunu daha önce söylediniz,” diye belirtti Alice, son iddiası bütünüyle ikna edememişti onu.

“Hayır, söylemedim,” dedi Mekanikçi. “Bu kez bir parçacık konusunda, nerede olduğu ve aynı zamanda ne kadar hızlı ilerlediği gibi, soramayacağın bazı sorular olduğu anlamına geliyor. Aslında bir elektronun belli bir konumu *alması* konusunda konuşmak anlamlı bile olmayabilir.”

“Bir sözcük için epey anlamı var,” dedi Alice aksice.

“Evet öyle,” dedi Mekanikçi, “ama ben bir sözcüğe bunun gibi fazla iş yaptırdığımda her zaman bedelini öderim. Korkarım elektronla-

Kuantum mekaniğinde parçacık dalgaya, dalga ise parçacığa benzer. Aynı şeydirler. Gerek elektronlar gerekse ışık, girişim etkileri gösterir. Ama saptandıklarında, tek tek kuantalar olarak saptanırlar ve her biri bir yerde gözlenir. Bir parçacığın gidebileceği farklı yollar arasındaki girişim, maksimum ve minimum değerleri ifade edilmiş bir olasılık dağılımı verir ve burada bir parçacığın başka bir yerde değil de, belli bir konumda saptanması daha *olasıdır*.

ra ne olduğunu gerçekten açıklayamam. Bir açıklama genellikle hak kında bilgi sahibi olduğun şeyleri anlamlandırmak için gerekir. Kuantum fiziği de bunu yapamaz. Saçmalıyormuş gibi görünür, ama işe yarar. Belki de hiç kimsenin Kuantum Mekaniği'ni gerçekten anlamadığını söylemek daha güvenli olur, bu yüzden *açıklayamam*, ama olayları nasıl *betimlediğimizi* anlatabilirim. Arkadaki odaya gelin, elimden geldiği kadar anlatayım.”

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

Zemini önceki parlak görüntüsüne yeniden kavuşan *Gedanken* odasından çıktılar ve koridoru inip oraya buraya koltukların yerleştirildiği bir başka odaya girdiler. Koltuklara kurulduklarında Kuantum Mekanikçisi sözüne kaldığı yerden devam etti. “Elektronların iki yarıktan geçmesi gibi bir durum konusunda konuştuğumuzda bunu bir *genlikle* tanımlayabiliriz. O baktığın dalgalar gibi bir şeydir bu. Gerçekten de bazen *dalga işlevi* olarak da anılır. Genlik her iki yarıktan da geçebilir ve olasılık gibi her zaman pozitif değildir. Elde edebileceğin en düşük olasılık sıfırdır, ama genlik negatif ya da pozitif olabilir. Bu yüzden farklı yolların kısımları, yine su dalgaları gibi, farklı hatların girişini iptal edebilir ya da artırabilir ve ortaya çıkarabilir.”

“Peki parçacıklar nerede?” diye sordu Alice, “gerçekte hangi yarıktan geçerler?”

“Genlik gerçekten bu konuda bir şey söylemez. Bununla birlikte genliğin *karesini* alırsan, yani her zaman pozitif bir şey verecek biçimde onu kendisiyle çarparsan, o zaman bir *olasılık dağılımı* verir. Herhangi bir konum seçtiğinde bu sana bir parçacığı gözlemlediğinde onu o konumda göreceğin olasılığı anlatır.”

“Anlatabileceği tek şey bu mu?” diye haykırdı Alice. “Pek tatmin edici gelmediğini söylemeliyim. Herhangi bir şeyin nerede olacağını asla bilemeyeceksin.”

“Evet, bu yeterince doğru. Tek *bir* parçacığın nerede bulunacağı-



nı asla bilemezsin, sıfır olasılıklı bir konumda bulunması hariç tabii. Öte yandan çok sayıda parçacık varsa, olasılığın yüksek olduğu yerde daha fazla, düşük olduğu yerde çok daha az bulunacağından pekâlâ emin olabilirsin. Eğer *çok* sayıda parçacık varsa, kaçının nerede son bulacağını epey doğru bir biçimde söyleyebilirsin. Bize söz ettiğin inşaatçılar için durum böyleydi. Çok sayıda tuğla kullandıklarından, ne elde edeceklerini biliyorlardı. Gerçekten çok olan sayılar için toplam güvenilirlik çok iyidir.”

Bölüm sonundaki 3. nota bakınız

“Gözlemlenene dek her parçacığın ne yaptığını bilmenin hiç yolu yok,” diye yalnızca bu noktayı açıklığa kavuşturmak için yineledi Alice.

“Hayır, hiç yolu yok. Gerçekten gözlemlediğin şeyin birkaç farklı yoldan gelmiş olması olası ise, o zaman her olası yol için bir genlik olur ve toplam genlik bütün bunlar toplanarak verilir. Bir *durumlar bindirmesi* olur. Parçacık, bir anlamda, yapması olanaklı olan her şeyi yapıyordur. Sorun yalnızca parçacığın ne yaptığını bilmemen değil. Girişim, farklı olasılıkların bir arada bulunduğunu ve birbirlerini etkilediklerini gösterir. Her nasılsa hepsi aynı ölçüde gerçektir. Yasaklanmamış her şey zorunludur.”

“Ah, onu bankadaki bir tabelada gördüm. Bana çok haşın gelmişti.”

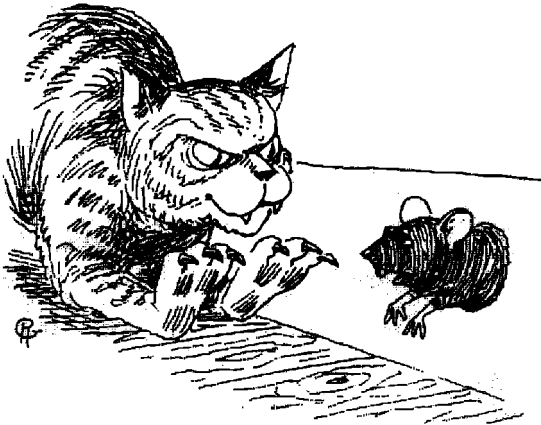
“Buna inansan iyi olur! Buradaki temel kurallardan biridir. Ortaya çıkabilecek birden fazla şey varsa, hepsi olur. Örneğin şu kediye bak!”

“Ne kedisi?” dedi Alice şaşkınlıkla çevresine bakınırken.

“Şurada, Schrödinger’in Kedisi’ne tabii ki. İlgilenmemiz için bize bıraktı.”

Alice, Mekanikçi’nin gösterdiği köşeye baktı ve köşedeki bir sepette uyuyan kocaman bir tekir gördü. Kedi, adını duyup da uyanmış gibi kalkıp gerindi. Ya da daha doğrusu, hem yaptı hem yapmadı. Alice sepette sırtını kavislemiş duran kedinin hafiften puslu endamının yanı sıra, halen dipte yatmakta olan onun aynısı bir başka kedi daha gördü. Çok katı, hareketsizdi ve biraz olağandışı bir konumda yatıyordu. Görüntüsünden, Alice ölü olduğuna yemin edebilirdi.

“Schrödinger, talihsiz bir kedinin kutuya kapatıldığı bir *Gedanken* deneyi uydurdu. Kutuya bir şişe zehirli gaz ve bir radyoaktif madde numunesi bozunacak olduğunda şişeyi kıracak bir düzenekte de koydu. Böyle bir bozunma kesinlikle bir kuantum işlemdir. Madde bozunabilir de bozunmayabilir de. Bu yüzden, kuantum fiziği kurallarına göre, bazılarında bozunma olacağı, bazılarında ise olmayacağı bir durumlar bindirmesi elde edersin. Kuşkusuz çöküşün gerçekleştiği du-



rumlarda kedi öldü, bu yüzden de kimisi ölü, kimisi sağ olan bir kedi durumları bindirmesi elde ederdin. Kutu açıldığında bir kedi gözlerdin ve bu andan itibaren ya ölü ya da sağ olurdu. Schrödinger'in ortaya attığı soru şuydu, 'Kutu açılmadan önce kedinin durumu neydi?'

"Peki ya kutu açıldığında ne olmuştu?" diye sordu Alice.

"Şey, doğrusu herkessoruyu tartışmaya o denli gömülmüştü ki, kutuyu açan olmadı, kedinin böyle bırakılmış olmasının nedeni de bu."

Alice, kedinin bir yönünün harıl harıl yalandığı sepeti yakından gözetledi. "Bana oldukça canlı görünüyor," dedi. Daha bu sözcükler dudağından dökülmeden, kedi tümüyle kaskatı kesildi ve ölü versiyon ortadan kayboldu. Canlı olan keyifli bir mınıltıyla kutudan fırladı ve duvardan henüz çıkmış bir fareye hırsızlama yanaşmaya koyuldu. Alice ortalıkta görünür bir delik olmadığını fark etti. Fare fırt diye katı duvardan çıkmıştı. Kuantum Mekanikçisi bakışlarının yönünü izledi. "Ah evet, bu bir engel delme örneği: Başımıza çok sık gelir. Klasik mekaniğe göre bir parçacığın asla geçemeyeceği bir bölge olduğunda genlik o sınırdan pat diye durmak zorunda değildir; her ne kadar o bölgenin içinde hızla ölse de. Bölge çok dar ise o zaman yine de öteki tarafta kalan küçük bir genlik vardır ve bu görünüşe göre geçilmez bir engele girmiş bir parçacığın öte tarafta bulunabilmesi için küçük bir olasılık verir. Çok sık olur bu."

Alice o ana kadar gördükleri üzerinde kafa yormaktaydı, zorlandığını fark etti. "Kendi başına yapamıyorsa, ben nasıl olup da bir gözlem yapıp kedinin durumunu sabitleştirebildim. Bir gözlemin gerçekten ne zaman yapılacağını ve bunu kimin yapabileceğini belirleyen nedir?"

"İşte bu iyi bir soru," diye yanıtladı Kuantum Mekanikçisi, "ama alt tarafı biz de mekanikçiyiz, bu tür şeyler için pek kaygılanmayız. Yalnızca işimizi yaparız ve uygulamada işe yarayacağını bildiğimiz yöntemler kullanırız. Seninle *ölçme sorununu* tartışacak birini istiyorsan, daha akademik birinin yanına gitmen gerek. Sana Kopenhag Okulu'ndaki bir derse girmeni öneririm."

“Oraya nasıl gidebilirim?” dedi Alice, yine başka bir yerlere sürüklenmeye boyun eğerek. Yanıt olarak Mekanikçi onu koridora götürdü ve bir kapı daha açtı. Bu içinden gelmiş olduğu geçide değil de bir ormana açılıyordu.

Notlar

1. Kuantum Mekaniği sıklıkla klasik ya da Newtoncu mekanikle karşılaştırılır. Yirminci yüzyıldan önce geliştirilen Newtoncu mekanik, Galileo'nun, Newton'un, bu iki bilim adamından önce yaşayanların ve onların çağdaşlarının eserlerinin aslına dayanır. Hareketli nesneleri ayrıntılarıyla betimleyen Newtoncu mekanik, gözle görülebilir, büyük nesneler söz konusu olduğunda çok iyi işler. Gezegenlerin hareketi uzun zamanlar boyunca ve yüksek bir doğrulukla öngörülebilir. Gezegenlerin yörüngesine oturtulan yapay cisimler ve çeşitli keşif görevleri nedeniyle uzaya fırlatılan uydularda da neredeyse aynı ölçüde işe yarar: Konumları yıllar öncesinden tahmin edilebilir. Ayrıca düşen elmalar için de çok güzel işler. Düşen bir elmanın durumunda onu çevreleyen havadan önemli bir direnç gelecektir. Klasik mekanikçi bunu elmadan sıçrayan sayısız hava molekülünün çarpışması olarak tanımlar. Hava moleküllerini sorduğunuzda size küçük atom grupları oldukları söyleniyor; atomları sorduğunuzdaysa sıkıcı bir sessizlik...

Klasik Mekanik, dünyanın doğasını atomlar ölçeğinde betimlemede tam anlamıyla başarısızdı. Küçük nesnelerin doğası, büyüklüğünün bize görüldüğü durumundan bir şekilde farklı olmalıdır. Bu biçimde düşündüğünüzde şunu sormanız gerekir: Neye göre küçük ya da büyük? Bu yeni davranışın görünür olduğu büyüklüğü belirleyecek bir ölçü, temel bir sabit olmalıdır. Nesnelerin davranışının gözlemlenmesinde, bu kesin ve evrensel bir değişimdir.

Güneşteki ve yıldızlardaki atomlar, yanı başımızdaki bir masada duran bir lambanıninkine benzeyen bir tayfla ışık çıkarır. Kuantum davranışının başlangıcı yalnızca yakın çevremizde oluvermiş bir şey değildir; işin içinde doğanın temel özelliklerinden biri vardır. Kuantum mekaniği denklemlerinin çoğunda bulunan evrensel sabit $\hbar$ bunu ortaya koyar. Bu $\hbar$ sabiti tarafından tanımlanan ölçekte dünya *tanelidir*. Bu ölçekte enerji ve zaman, konum ve momentum bir arada bulanıklaştırılır. İnsan algısı ölçeğinde $\hbar$ 'nin çok küçük olduğunu ve birçok kuantum etkisinin hiç açık olmadığını söylemeye gerek yok.

2. Heisenberg belirsizlik bağıntısının bize anlattığı şey, nesnelere yanlış biçimde baktığımızdır. Aynı anda bir parçacığın hem konumunu hem de momentumunu *ölçebilmemiz* gerektiği yönünde bir önyargımız var. Oysa bunu ölçemediğimizi görürüz. Bizim parçacıklar üzerinde böyle bir ölçme yapabilmemiz parçacıkların doğasında yoktur ve kuram bize yanlış sorular sorduğumuzu söyler. Neils Bohr aynı anda kesin olarak tanımlanamayacak kavramlar olduğu gerçeğini ifade etmek için *tümleyicilik* sözcüğünü kullandı: Adalet ve meşruluk, duygu ve akılcılık gibi kavram çiftleri.

Görünüşe göre, bir parçacığın konumu ve momentumu ya da belirli bir andaki tam enerjisi konusunda konuşabilmemiz *gerekir* yönündeki inancımızda köklü bir yanlışlık var. Bu kadar farklı iki nitelik konusunda aynı anda konuşmanın neden anlamlı olması gerektiği açık değil. Ama açılmış gibi görünüyor.

3. Kuantum mekaniği gerçekten, alışlagelmiş klasik anlamda belirli parçacıklarla ilgili değildir; onun yerine *durumlar* ve *genliklerden* söz edilir. Bir genliğin *karesini* alırsanız (yani kendisiyle çarparsanız) o zaman bir gözlem ya da ölçme yaparken çeşitli so-

nuçlar elde etme *olasılığını* size verecek bir olasılık dağılımı elde edersiniz. Herhangi bir ölçmede elde ettiğiniz asıl değer oldukça rastlantısal ve öngörülemez gibidir. Bu yüzden de daha önce doğanın kararsız kaldığı ve her şeyin olabilirliği yönündeki anırtırma doğru olmalıdır, değil mi?

Doğrusu hayır. Birçok ölçme yaptığınızda *ortalama* sonuç doğru olarak öngörülebilir. Müşterek-bahisçiler her yarışta hangi atın kazanacağını bilmezler, ama günün sonunda kazançlı çıkmayı güvenle beklerler. Oldukça küçük sayılarla uğraşmak zorunda olmalarına karşın, bu durumda ortalama çok güvenilir değildir. Büyük sürpriz kayıplar beklemeyiz. Kumarbazların sayısı minik bir maddede zerresinde bulacağınız 1, 000, 000,000, 000, 000, 000, 000, 000 ya da daha fazla atom yerine yalnızca birkaç bin kişi olacaktır. Bir sayıdan çok, yinelenen bir duvar kağıdı desenine benzer bu, ama yadsınamayacak kadar büyüktür. Bu denli çok sayıda atom üzerinde yapılan bir ölçmeden beklenecek bütün istatistiksel dalgalanmalar, her bir atom için sonuç oldukça rastlantısal olabilse de, göz ardı edilebilir.

Kuantum mekaniğinin genlikleri çok doğru bir biçimde hesaplanıp deneylerle karşılaştırılabilir. Çok sık alıntılanan bir sonuç, elektronun manyetik momentini için olandır. Elektronlar topaç gibi döner ve ayrıca elektriksel özellikleri vardır: Küçük mıknatıslı çubuklar gibi davranırlar. Manyetik güç ve elektron dönüşü birbirleriyle ilişkilidir ve oranları uygun birimler kullanılarak hesaplanabilir.

Klasik bir hesaplama 1 sonucunu verir
(bir elektrondaki elektrik yükünün dağılımı
konusunda oldukça keyfi varsayımlarla birlikte)
Kuantum hesabı 2.0023193048 (± 8) sonucunu
verir (hata küsuratın son hanesindedir.)

Bir ölçme 2.0023193048 (± 4) sonucunu vermiştir.

Bu iyi bir uzlaşma. Böyle iyi uzlaşma içinde olan bir değeri rastlantısal olarak bulma olasılığı, bir oku rastgele fırlatıp nişan tahtasındaki boğa gözünü —nişan tahtası en az ay kadar uzaktayken—vurma olasılığına benzer. Bu özel sonuç sıklıkla kuantum kuramının başarısının bir örneği olarak verilir. Başka süreçlerin genliklerini de aynı derece de doğru olarak hesaplamak olasıdır ama bu kesinlikte *ölçebileceğiniz* çok az nitelik vardır.

Alice ormana girdi ve yolun çatallaştığı yere gelene kadar ağaçlar arasında dolanan bir patika boyunca yürüdü. Kavşakta bir tabela vardı. Ne var ki bunun pek bir yardımı dokunmadı. Sağ tarafı gösteren kolda "A" harfi, sol kolda ise "B" harfi vardı, başka da bir şey yoktu. "Şunu belirtmeliyim ki," diye bıkkınlıkla bağırdı Alice, "bu gerçekten hayatımda gördüğüm en işe yaramaz tabela!" Patikaların nereye götürebileceğine ilişkin bir ipucu olup olmadığını anlamak için bakındı ve tam bu sırada Schrödinger'in birkaç metre ilerideki ağacın dalına tünemiş kedisini görünce afalladı.

"Ah! Kedi," diye ürkekçe seslendi. "Lütfen, hangi yöne gitmem gerektiğini söyler misin?"

"Büyük ölçüde nereye gitmek istediğine bağlı," dedi Kedi.

"Nereye gitmek istediğimden pek emin değilim," dedi Alice.

"O halde hangi yöne gideceğinin bir önemi yok," diye araya girdi Kedi.

"Ama bu iki yük arasında bir seçim yapmalıyım," dedi Alice.

"Yanıldığın nokta da orası," diye eğlendi Kedi. "Karar vermek zorunda değilsin, bütün yollar senin. Bunu şimdiye değin öğrenmişsin. Bana gelince genellikle dokuz farklı işi aynı anda yaparım. Kediler gizlenmediklerinde her tarafı kolaçan edebilirler. Gözlemlerden söz açmışken," dedi aceleyle, "sanırım gözlenmek üzer..." Tam bu sırada Kedi ortadan kayboldu.



"Ne tuhaf bir kedi," diye düşündü Alice, "ne tuhaf sözler. Mekanikçi'nin söz ettiği o durumların bindirmesini kastediyor olmalı. Kırımca bankadan ayrıldığı zamanki gibi bir şey olmalı. Her nasılsa o zaman birçok farklı yönde gitmeyi başardım, bu yüzden galiba yine denemem gerekecek."



Durum: Alice (A1)

Alice tabelanın bulunduğu yerden sağa döndü ve dolambaçlı yol boyunca geçtiği ağaçlara bakınarak ilerledi. Henüz pek uzağa yürümemişti ki, yolun çatallandığı bir başka yere geldi: Bu kez tabelanın "1" ve "2" yazılı iki kolu vardı. Alice sağa döndü ve yoluna devam etti.

O yürürken ağaçlar seyrelip yitti ve Alice kendini dik ve kayalık bir yolu arşınlarken buldu. Yürüdükçe yol daha da dikleşiyordu ve sonunda kendini ıssız bir dağın eteklerini tırmanırken buldu. Yol onu bir uçurumun kıyısındaki kayalık yamaca getirdi. Alice'in yürüyüşü dimdik yamaçların arasında kalan küçük bir çayırıkta sona erdi. Şimdi Alice'in gözlerinin önünde esneyen bir ağız vardı. Yamaçtaki ağızdan dibe doğru bir geçit uzanıyordu.

Geçit çok karanlıktı, ama Alice şaşkınlıkla kendini sürünerek inerken buldu. Geçidin çeperleri ve zemini pürüzsüzdü, belli belirsiz görünen uzak bir parlıtya doğru yumuşakça iniyordu. Alice yürüdükçe ışık daha da parlaklaşıp kızardı ve tünel giderek ısındı. Buhar desteleri yanından uçuşarak geçerken, uyuklayan devasa bir hayvanın horultusuna benzer bir ses duydu.

Tünelin sonunda Alice büyük bir mahzene geldi. Karanlık olmakla birlikte mahzenin genişliği belli belirsiz anlaşılabiliyordu. Ne var ki Alice'in ayağının hemen dibinden bir sıcaklık yükseliyordu. Altın kırmızısı kocaman bir ejderha upuzun kuyruğunu etrafına dolamış mışıl mışıl uyuyordu. Kızıl ışığın altında kızıla boyanmış altın, gümüş işlemeli değerli taşlar ve harikulade işlenmiş nesneler yığını ejderhanın yattığı yerin altına serilmişti.



Durum: Alice (A2)

Alice tabeladan sağa döndü ve dolambaçlı yol boyunca geçtiği ağaçlara bakınarak ilerledi. Henüz çok ilerlememişti ki, yol yeniden çatallaştı; bu kez tabelanın "1" ve "2" yazılı iki kolu vardı. Alice sola döndü ve yoluna devam etti.

Yürürken yere baktı ve yolun bir orman patikasından sarı tuğlalarla döşeli dar bir yola dönüştüğünü gördü. Orman geniş bir çayıra açılana dek ağaçların arasından giden bu yolu izledi. Çayır çok genişti, Alice'in görebildiği yere kadar uzanıyordu ve parlak gelinciklerle kap-

lıydı. Sarı tuğla yol, çayırın ortasından geçip uzak bir kentin kapılarına varıyordu. Alice bulunduğu yerden, kentin duvarlarının parlak yeşil renkte ve kapılarının zümrütlerle bezeli olduğunu gördü.



Durum: Alice (B1)

Alice tabeladan sola döndü ve dolambaçlı yolda ilerledi. Henüz kayda değer bir şey görünmüyordu. Bir köşeyi döndü ve yolun çatallaştığı başka bir yere geldi; bu kez tabelanın **1** ve **2** yazılı iki kolu vardı. Alice sağa döndü ve yoluna devam etti.

Ağaçların altındaki çalılar sıklaştı. Artık yolun kendisi yan yana dizilmiş ağaçlar arasından kıvınlırken açıkça görünse de, yolun az ötesini görmek zorlaşmıştı. Alice köşenin birinden dönünce ansızın bir açıklığa geldi. Dimdik yükselen çatısı ve bir yanında küçük bir çan kulesiyle ortada bir yapı duruyordu. Kapının üzerindeki taş levhaya "Kopenhag Okulu" sözcükleri kazınmıştı.

"Söyledikleri yer burası olsa gerek," dedi Alice kendi kendine. "Bir okula gitmek isteyip istemediğimden emin değilim ama! Okullarda yeterince zaman geçirdim. Ama belki buradaki okul alışık olduğumdan çok farklıdır. Gidip göreyim." Kapıyı çalmadan açtı ve içeri girdi.



Durum: Alice (B2)

Alice tabeladan sola döndü ve dolambaçlı yol boyunca ilerledi. Henüz kayda değer bir şey görünmüyordu. Bir köşeyi döndü ve yolun çatallaştığı başka bir yere geldi: Bu kez tabelanın **1** ve **2** yazılı iki kolu vardı. Alice sola döndü ve yoluna devam etti.

Biraz ileride yol yükselmeye başladı ve Alice küçük bir tepenin yamacını tırmandı. Tepenin zirvesinde kentin üstünden tüm yönlere bakarak birkaç dakika durdu. Gerçekten tuhaf bir kentti. Bir yandan



bir yana uzanan küçük ırmaklar vardı ve aralarındaki yerler bir ırmaktan ötekine uzanan birkaç çitle kareler halinde bölünmüştü.

“Ne acayip, aynı satranç tahtası gibi bölümlenmiş,” dedi sonunda.



“Ah, içeri gel kuzum,” dedi yumuşakça bir ses ve Alice gözlendiğini anladı. Kapıdan girdi ve sınıfın dört bir yanına bakındı. Çevresinde yüksek pencereler bulunan kocaman bir odaydı. Odanın ortasında sıralar vardı. Bir uçta bir karatahta ve Üstat'ın arkasında durduğu büyükçe bir masa vardı.

“Tıpkı sıradan bir okul gibi,” diye düşündü Alice, dönüp sınıftaki öğrencilere bakarken. Bununla birlikte sıraların çocuklar tarafından değil, odanın önlerinde kümelenmiş birçok ilginç varlıklar karması tarafından işgal edildiğini gördü. Upuzun saçları ve pullu balık kuyruğuyla bir deniz kızı vardı. Daha yakından bakıldığında tenekeden ya-

pılmış gibi görünen üniformalı bir asker ve önünde kibrit çöpleriyle dolu bir kap bulunan pasaklı küçük bir kız vardı. Acınacak kadar çirkin bir ördek yavrusu vardı. Bir de, her nedense don atlet içinde, kralar gibi duran, mağrur bir adam...

“Acaba?” diye düşündü Alice. Bir kez daha bakınca onu zengin süslemeli giysiler, kalın ve sarkık bir cüppe içinde hayal etti. Ama bir kez daha baktığında görebildiği tek şey, iç çamaşırları içinde oldukça görkemli duran bir adamdı.

“Merhaba, tatlım” dedi, kalın kaşlı, kibar görünümlü babacan Üstat. “Tartışmamıza katılmak için mi geldin?”

“Korkarım buraya nasıl geldiğimi bilmiyorum,” dedi Alice.

“Daha demin birkaç farklı yerde gibiydim ve neden ötekilerden birinde değil de burada olduğumdan emin değilim.”

“Burada bulunduğunu gözlemledik de ondan tabii ki. Kuantum durumlarının bir bindirmesi içindeydin ama bir kez burada gözlemlendin mi, doğal olarak buradaydın. Öteki herhangi bir yerde gözlemlenmediğin açık.”

“Peki olsaydı ne olurdu?” diye merakla sordu Alice.

“O zaman durumlar takımın ötekiyle çıkışırdı. Burada değil de kuşkusuz o gözlemlendiğin yerde olurdun.”

“Bunun nasıl olabileceğini gerçekten anlamıyorum,” dedi Alice. Kafası yine oldukça karışmıştı. “Gözlemlenip gözlemlenmemenin ne önemi var? Beni kim görüyor olursa olsun şurada ya da burada bulunmam gerekir, öyle değil mi?”

Kuantum mekaniğinin “ortodoks” tablosu *Kopenhag yorumu*-dur (Hans Christian Andersen’den değil, Danimarkalı fizikçi Neils Bohr’un ardından bu adı almıştır) Farklı şeylerin gerçekleşebildiği bir sistemde her biri için bir *genlik* bulunur ve sistemin tümel durumu bütün bu genliklerin bir toplamı ya da bindirmesi tarafından ortaya konur.

Bir gözlem yapıldığında bu genliklerden birine karşılık gelen bir değer bulunur ve öteki genlikler, *genliklerin indirgenmesi* denilen bir süreçte, ortadan kaybolur.

“Kesinlikle hayır! Hem gözlemlemediğin bir sistemde neler gerçekleştiğini anlatamazsın. Yapıyor olabileceği bir dolu şey olabilir ve bakmadığın sürece bunlardan herhangi birini yapıyor ya da yapmıyor olduğunun bir olasılığını verebilirsin. Aslında sistem yapıyor olabileceği şeylerin tümüne karşılık gelen bir durumlar karışımı içinde olacaktır. Onun ne yaptığını görmek için bakacağın ana kadar bir durum olacaktır bu. Kuşkusuz o andan itibaren bir olasılık seçilir ve sistem yalnızca onu yapıyor olur.”

“Peki yaptığı bütün öteki şeylere daha sonra ne olur?” diye sordu Alice. “Yalnızca ortadan mı kaybolurlar?”

“Yapmış *olduğu* şeylerden daha fazla yapıyor *olabildiği* şeyler vardır ama, evet” dedi Üstat ona gülümseyerek. “Meseleyi çakmışsın. Öteki bütün durumlar yalnızca ortadan kaybolur, *Belki Diyarı, Hiç Olmamış Diyarı*’na dönüşür. Bu noktada bütün öteki durumlar gerçekliklerini yitirir. Yalnızca düş ve fantezilere dönüşürler diye düşünebilirsin ve gözlenen durum gerçek olandır. Buna *kuantum durumlarının indirgenmesi* denir. Yakında buna alışırsın.”

“Bu, bir şeye bakarken göreceğin şeyi seçebileceğin anlamına mı geliyor?” diye sordu Alice. Pek inanmamıştı.

“Ah, hayır, konuda seçim yoktur. *Muhtemelen* görebileceğin şey çeşitli kuantum durumları için bulunan olasılıklar tarafından belirlenir. Gerçekten *gördüğün* şey rastgele bir seçimin ürünüdür. Olacakları sen seçemezsin: Kuantum genlikleri yalnızca farklı sonuçların olasılığını verir, ama ne *olacağını* belirlemezler. Bütünüyle şans meselesidir ve ancak bir gözlem yapıldığında sabitlenir.” Söylediği her şeyi yakalayabilmek için Alice’in kendini zorlaması gerekiyor idiyse de, Üstat bunu çok içten bir şekilde söyledi.

“Bir gözlemin yapılması çok önemli gibi o halde,” diye kendince eğlendi Alice. “Ama kim bir gözlem yapabilir ki? Bir girişim deneyinde yarıklardan geçtikleri ve her iki yarıktan da geçiyor gibi göründükleri için elektronların kendi kendilerini gözlemleyemeyecekleri açık.

Ya da her iki yank için genliklerin mevcut olduğunu mu söylemeliydim?” Son zamanlarda çok sık duyduğu konuşma biçimini araklayarak kendini düzeltti. “Besbelli ki, demin durumların bir bindirmesi içindeyken kendimi doğru dürüst gözlemlemedim.

“Aslında,” dedi Alice ansızın, şimşek gibi bir düşünceyle çarpılarak, “madem Kuantum Mekaniği yapabileceğin her şeyi yapman gerektiğini söylüyor o zaman kuşkusuz yaptığınız herhangi bir ölçmenin *bütün* olası sonuçlarını gözlemlemeniz gerekir. Eğer kuantum bindirmesi ilkeniz her yerde geçerliyse, o halde ölçüm yapmanın bir yolu yok demektir! Yapmaya çalıştığınız herhangi bir ölçmenin birden fazla olası sonucu olabilir. Bu sonuçlardan *herhangi* birini gözlemleyebilirsiniz ve kurallarınıza göre, onlardan herhangi birini gözlemleyebiliyorsanız, *tümünü* gözlemlemek zorundasınız. Ölçmenizin sonuçlarının hepsi bu söz ettiğiniz durumların bindirmesinin yeni bir versiyonu içinde olacaktır. Gerçekte gözleyebileceğiniz hiçbir şey olmayacaktır ya da daha doğrusu, gözünüzden kaçan hiçbir şey olmayacaktır.”

Bu yeni düşünceyle sürüklenen Alice, nefes almak için durdu ve odadaki herkesin kendisine ilgiyle baktığını gördü. Durduğunda hepsi biraz huzursuzlandı.

“Kuşkusuz çok önemli bir noktaya parmak bastın,” dedi Üstat zarıfçe. “Yani, *ölçme sorunu* dedikleri şey... Bu da sınıfta tartışmakta olduğumuz konunun ta kendisi.”

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

Üstat devam etti: “Bunun gerçek bir sorun olduğunu hatırlamak önemli. Gördüğün iki yanklı girişim deneyindeki gibi, bir ya da iki elektronlu sistemler için betimlediğimiz bir genlikler karışımı olmak zorundadır, çünkü genlikler arasında girişim vardır. Bu, elektronun bir durumda olabileceğini, ama bunun hangi durum olduğunu her nasılsa bilemeyeceğimizi söylemenin bir başka yolu değildir. Bu durum hiçbir girişim ortaya koyamaz. Bu yüzden bir anlamda her elekt-

ronun *bütün* durumlar içinde bulunduğunu kabullenmek zorunda kalırız. Bence, hiçbir zaman bulamayacağınız için elektronun gerçekten ne yapıyor olduğunu sormak uygun olmaz. Sınamak istediğinizde sistemi değiştirirsiniz, böylelikle de farklı bir şey inceliyor olursunuz.

“Senin de belirttiğin gibi, burada bir sorun var gibi görünüyor. Atomlar ve az sayıda parçacık içeren sistemler, yapma olasılığına sahip oldukları her şeyi hep yapar ve hiçbir zaman karar almazlar. Öte yandan biz, hep ya bir şeyi ya da ötekini yaparız ve herhangi bir durumda birden fazla sonuç gözlemlemeyiz. Her bir öğrenci ölçme sorunu konusunda birer konuşma hazırladı. Bütün durumların aynı anda var olabilmesini sağlayan kuantum davranışının hangi noktada sona erdiğini tartışıyorlar. Böylelikle benzersiz gözlemlerin yapılmasını bekleyebiliriz. Oturup sunuşları dinlemek istersin sanırım.” Bu, Alice için iyi bir fırsat gibi görüldüğünden sıralardan birine oturdu ve beklentili gözlerle önüne yaslandı.

“İlk konuşma,” diye bildirdi Üstat, dingin sesi beklentili öğrencilerden yükselen uğultulu yorumları bastırıyordu, “İmparatorдан geliyor.” Alice’in odaya ilk girdiğinde fark ettiği incelikli, kırmızı çamaşırlar içindeki görkemli beyefendi ayağa kalktı ve sınıfın önüne yürüdü.

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

İmparator’un Kuramı (Aklın Maddeye Üstünlüğü)

“Bizim hipotezimiz,” diye odanın dört bir yanına kibirli bir bakış fırlatarak başladı, “her şeyin zihinde olduğudur.”

“Kuantum sistemlerinin uyduğu yasalar,” diye sürdürdü, “fiziksel durumların genliklerle betimlenmesi ve birden fazla koşul bulunduğu bu genliklerin bindirmesi. Bu yasalar dünyadaki her maddesel şey için geçerlidir. ‘Her maddesel şey’ diyoruz, çünkü savımız böyle bir bindirmenin bilinçli zihin tarafından yaşanmadığıdır. Fiziksel dünya her aşamada kuantum davranışı tarafından yönetilir ve büyük ya da



küçük olsun bütünüyle maddesel olan herhangi bir sistem olmuş olabileceği ya da olabilecek her şey için bir genlik bulunan, bir durumlar bileşimi içindedir. Bu sonsuzluk dek böyle sürecektir. Yalnızca, durum bilinçli bir zihnin egemen iradesinin huzuruna geldiği zaman bir seçim yapılır.

“Çünkü zihin kuantum dünyasının yasalarının dışındaki, ya da bizim durumumuz söz konusu olduğunda yukarıdaki bir şeydir. Biz yapabileceğimiz her şeyi yapma gerekliliğine bağlı değiliz; bunun yerine seçim yapma özgürlüğüne sahibiz. Bir şeyi gözlemlediğimiz zaman o şey gözlemlenmiştir; gözlemlemiş olduğumuzu o da bilir, evren onu gözlemlediğimizi bilir ve ondan sonra da onu gözlemlediğimiz durumda kalır. Dünyaya benzersiz ve belirli bir biçim yükleyen şey bizim gözlemimizin ta kendisidir. Göreceğimizi seçme hakkımız olmayabilir, ama o anda gözlemlediğimiz şey benzersiz biçimde gerçek olur.”

Durdu ve bir kumandan edasıyla yine dört bir yana bakındı. Alice, imparatorun mor iç çamaşırlarına karşın, buyurgan sunumundan tuhaf bir biçimde etkilendiğini hissetti. “Örneğin muhteşem yeni imparatorluk elbisemize baktığımızda, elbette kusursuz bir biçimde giyinmiş olduğumuzu gözlemliyoruz.” Kendisini tepeden tırnağa süzdü ve

ansızın baştan aşağı zengin giysilere büründü. Paltosu ve yeleği ince süslemelerle bezenmişti ve üzerinde kakım kürküyle bezeli uzun bir kadife cübbe vardı. “Şimdi dikkatimizi giysilerimizden çektiğimizde, şimdi göründüklerinden daha az maddesel gerçekliğe sahip olabileceklerini söylemek akla uygun olur, ama tabii ki eğer böyle olsaydı. Oysa şimdi, onları gözlemlediğimizden, herkes tarafından ince kesimli oldukları görülüyor. Gerçekten de öyleler.”

İmparator yeniden kafasını kaldırdı ve sınıfa baktı. Alice, imparatorun giysiler üzerindeki gözlemleri, giydiklerinin her ne kadar zengin yanlarını ortaya koyduysa da, bakışlarını çevirir çevirmez bir kez daha dumanlı görünümelerini yavaş yavaş edindiklerini ve incelikle monogramlanmış iç çamaşırlarının belirmeye başladığını görünce afalladı.

“İşte bu tezimiz. Bütün maddesel dünya gerçekten kuantum mekaniğinin yasaları tarafından yönetilmekte, ama insan zihni maddesel dünyanın dışındadır ve bu yüzden de sınırlandırılmamıştır. Nesneleri benzersiz biçimde görme yetisine sahibiz. Ne göreceğimizi biz seçmeyiz, ama gördüklerimiz dünyadaki gerçeklik durumuna gelir, en azından onu gözlemlediğimiz an için. Gözlemimizi bitirir bitirmez elbette dünya kendi alışılmış karışık durumlar dizisine girmeye başlayabilir.”

Durdu ve kendinden hoşnut bir tavır takındı. “Bu ilginç konuşma için teşekkürler,” dedi Üstat, “gerçekten çok, çok ilginçti. Sorusu olan var mı?”

Alice kendisinin bir sorusu olduğunu fark etti. Galiba okul atmosferi onu etkilemişti. Elini kaldırdı. “Evet,” dedi Üstat onu göstererek. “Sormak istediğin nedir?”

“Anlamadığım bir şey var,” dedi Alice. (Bu tamamen doğru değildi, çünkü anlamadığı çok şey vardı ve sayısı can sıkıcı bir orana artıyordu, ama özellikle sormak istediği bir şey vardı.) “Diyorsunuz ki dünya alışılmış biçimiyle bu tuhaf farklı durumlar karışımının içindedir, ama rastlantı eseri ona bilinçli bir zihin olarak baktığınızda tek bir benzersiz duruma indirgenir. Sanırım bu yolla herhangi bir insan bir

şeyin gerçek olmasını sağlayabilir, o halde *öteki* insanların zihinlerine ne olur?"

"Ne demek istediğinizi anladığımızı söyleyemeyiz," dedi İmparator alaycı bir tutumla, ama bu noktada Üstat araya girdi.

"Belki ben genç bayanın sorusunu açabilirim. Daha önce iki yarıktan geçen elektronlar konusunda konuşuyorduk. Yarıkların birinden ya da ötekinden geçmekte olan bir elektronun fotoğrafını çektiğimi varsayın. Söylediklerinizden anladığım kadarıyla bu durumda, fotoğraf elektronu iki yarıktan birinde göstermesi olası olduğundan, her ikisinde de bulunduğunu göstermesi gerektiğini söylerdiniz. Fotografik levhanın bilinçli bir zihni yoktur ve dalga işlevini indirgeyemeyeceğinden, filmin üzerinde iki farklı görüntünün bir bindirmesi bulunacaktır. Şimdi, tabii ki hiçbirine bakmadan, bu fotoğrafın birkaç kopyasını yaptığımı varsayın. O zaman her baskının yine her biri elektronların geçmiş olabileceği farklı yarıklara karşılık gelen bir farklı görüntüler karışımına sahip olacaklarını söyler miydiniz?"

"Evet," dedi İmparator dikkatle. "Biz bunun böyle gerçekleşeceğini inanıyoruz."

"Durum böyle olduğunda ve baskıların hepsi farklı insanlara postalandığında, mektubunu açıp resme ilk bakacak kişi karışımdan bir görüntünün gerçek olmasına neden olur ve ötekilerin hepsi ortadan kaybolur." İmparator yine temkinli bir biçimde onayladı. "Ama bu durumda öteki insanların aldıkları fotoğrafların her biri bu kişiler kilometrelerce birbirinden uzakta olan kentlerde bile yaşasa, aynı görüntüye dönüşmek zorunda kalırdı. Deneyimlerimizden öğrendiğimiz gibi bir fotoğrafın kopyaları gerçekten de aslındakiyle aynı görüntüyü gösterir ve eğer bu durumda bir kopyaya bakan kişi bir olasılığın benzersiz biçimde gerçek olmasına neden olmuşsa, görünüşe göre, birincisiyle uyuşmak zorunda olduklarından bu öteki bütün kopyaları da etkilemiştir. Böylelikle bir kentte herhangi bir kopyaya bakan bir kişi dünyanın dört bir yanındaki tüm öteki kopyaların ansızın aynı şeyi

gösterecek şekilde değişmelerine neden olur. Zarfı ilk açan kişinin öteki insanlara gönderilen resimlerdeki görüntülerin onlar açmadan önce belirlemesini içeren tuhaf bir yarışa dönüşür. Sanırım genç banyanın söylemek istediği buydu,” diye bitirdi.

“Böyle bir düşünce doğal olarak bizim savunumuzda bir sorun yaratmaz,” dedi İmparator, “çünkü biz onu incelemeden kimse böyle bir fotoğrafa bakmayı üzerine vazife edinemez. Öte yandan, böyle bir durumun alt tabakalardaki insanlar arasında oluşabileceğini görüyoruz ve o zaman durum gerçekten anlattığınız gibi olur.”

Alice görünüşte gülünç savın kabul ettirilişine o denli şaşırmıştı ki, imparatorun yerine dönüşünü ve küçük denizkızının gelişini fark etmedi bile. Ayakları olmadığından denizkızı sınıfın önünde durmakta zorlandı. Bu yüzden kuyruğunu önünde sallayarak Üstat'ın masasına oturdu. Denizkızı konuşmaya başlayınca Alice'in dikkati yine gelişmelere odaklandı.

Küçük Denizkızı'nın Kuramı (Çoğul Dünyalar)

“Bildiğiniz gibi,” diyerek ıslak ve ezgisel bir sesle başladı, “ben iki dünyaya ait bir yaratığıyım. Denizlerde yaşarım. Karada da aynı derecede rahatımdır. Ama hepimizin yaşadığı dünyalarla karşılaştırıldığında bu hiçbir şeydir, çünkü hepimiz çoğul –çoktan da çok– dünyaların yurttaşlarıyız.

“Bir önceki konuşmacı bize kuantum yasalarının, içinde yaşayan insanların zihinleri dışında bütün dünya için geçerli olduğunu söyledi. Ben ise tüm dünya için, her şey için geçerli olduklarını söylüyorum. Durumların bindirmesi düşüncesinin hiçbir sınırı bulunmamaktadır. Bir gözlemci kuantum durumlarının bir bindirmesine baktığı zaman, var olan durumların seçimine uygun olan bütün etkileri görmesini beklersiniz. Gerçekten gerçekleşen şudur; bir gözlemci bütün sonuçları görür ya da daha doğrusu gözlemci de farklı durumların bir



bindirmesi içindedir ve gözlemcinin her durumu asıl karışımındaki durumların bir tanesine karşılık gelen sonucu görür. Her durum yalnızca, bu özel durumu görme eylemi içindeki gözlemciyi kapsayacak biçimde genişler.

"Bize *görünen* biçimi bu değildir, ama bunun nedeni gözlemcinin farklı durumlarının birbirlerinden habersiz olmasıdır. Bir elektron iki yarıklı bir bölmeden geçtiğinde sağa ya da sola doğru içinden geçebilir. Gerçekleştiğini gözlemlediğiniz şey bütünüyle rastlantısaldır. Elektronun sola gittiğini görebilirsiniz, ama aynı zamanda elektronun sağa gittiğini görmüş olan başka bir *siz* de olacak. Elektronu gözlemlediğiniz noktada, her bir olası sonucu görecektir iki kişiye ayrılırsınız. Bu iki versiyon bir daha bir araya gelmezse her biri ötekinin varlığından bütünüyle habersiz kalır. Dünya biraz farklı versiyonlarınızı içinde bulunduran iki dünyaya ayrılmış olur. Kuşkusuz bu farklı versiyonlarınız daha sonra başka insanlarla konuşacaktı. O zaman da onların da farklı versiyonlarını gereksinirsiniz ve sonunda ortaya bütün evrenin ayrılması çıkar. Bu durum da ikiye ayrılır, ama daha karmaşık bir gözlem söz konusu olduğunda daha çok sayıda versiyonlara bölünecektir."

“Ama herhalde bu çok sık olur,” deyiverdi Alice. Denizkızı’nın konuşmasını kesmeden edememişti.

“Hep olur,” diye sakince yanıtladı denizkızı. “Farklı sonuçlar verebilecek bir ölçmenin yapılabildiği her durumda, bütün olası sonuçlar gözlemlenecek ve dünya uygun sayıda versiyona bölünecektir.

“Bölünmüş dünyalar çoğunlukla aynı duracak ve asla birbirlerinin farkına varmadan uzaklaşacaktır, ama bazen bir noktada bir araya gelecek ve girişim etkileri ortaya çıkacaktır. Bir arada var olabileceklerini ve olduklarını gösteren de, farklı durumlar arasındaki bu girişim etkileridir.”

Denizkızı sustu ve omuzlarından yan yana, aynı aynı salınan uzun saçlarının sayısız telini tarayarak oraya kuruldu.

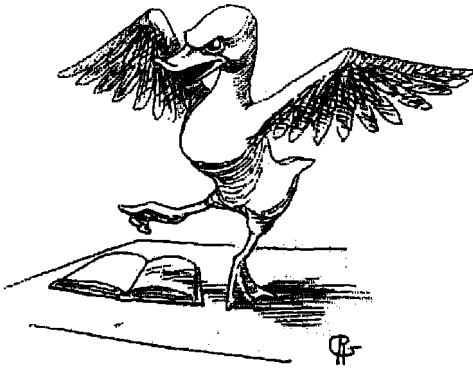
“Bu da demektir ki, pek çok evren var. Dünyanın tüm kumsallarındaki kum taneleri kadar olmalı,” diye çıkıştı Alice.

“Ah! Ondan da çok olmalı, ondan da çok,” diye baştan savma bir yanıt verdi denizkızı. “Çok daha fazla,” diye hülyalı bir biçimde devam etti, “çok daha, çok, çok...”

“Bu kuram,” diye araya girdi Üstat, “varsayımlar konusunda oldukça tutumlu olma avantajına sahip, ama evrenler konusunda çok müsrif.” Sıradaki konuşmacıyı çağırarak devam etti. Bu çirkin ördek yavrusuydu ve daha iyi görülebilmesi için üstadın masasının tepesine çıkması gerekiyordu.

Çirkin Ördek Yavrusu’nun Kuramı (Her Şey Karışık)

Ördek yavrusu konuşmasına başladığında Alice onun çok çirkin olmanın yanı sıra çok aksi de göründüğünü gözlemledi. Konuşması o denli vak vak ve takırtıyla doluydu ki ne dediğini anlaması oldukça zordu. Anlayabildiği kadarıyla farklı durumların bindirmesini yalnızca, birkaç elektron ya da atom bulunduran oldukça küçük sistemler için geçerli olduğunu söylüyordu. Girişim yüzünden sistemlerin çoğu zaman



karışık durumlar barındırdığını savlamanın yeterli olduğunu, tek ve benzersiz bir durumun girecek başka bir şey bulamayacağını söyledi.

Birçok parçacık içeren nesnelerde ne tür bir girişimin gerçekleşeceğini aslında bilemeyeceğimizi iddia ederek konuşmasını sürdürdü. İnsanlar girişimin, dolayısıyla durumlar bindirmesinin birkaç parçacıklı gruplarda ortaya çıkabileceğini bilirler. Bu nedenle aynıısının ördek yavruları gibi karmaşık şeyler için de geçerli olması gerektiğini düşünürler. Ördek yavrusu buna inanmış olsaydı, kandırılmış olurdu.

Bir ördek yavrusu birçok vak vaklayan atom içerir, diye devam etti: Daha herhangi bir eklenmiş durum girişemeden, aynı aynı durumlardaki atomların hepsi öteki durumlardaki uygun atomla birleşir. O denli çok atom var ki, bu vak vaklama değil belki de. Bütün etkiler vasatlaşır ve herhangi bir sonuç göremezsiniz. O halde nasıl, diye sordu, ördek yavrularının bir durumlar bindirmesi içinde olduğunu bu kadar kesinlikle vak vaklarsınız. Bu kadar vak vak zekiyseniz bana bir yanıt verin. Bütün bu durumlar bindirmesi iyi, güzel ve bir anlığına birkaç parçacık için vak vaklayıcı ama ördek yavrularında işe yaramıyor.

Ne zaman bir şey gördüğünü ve ne zaman görmediğini vak vak derecede iyi bildiğini söyleyerek devam etti Çirkin Ördek Yavrusu. Hiçbir vak vaklayan durumlar bindirmesi içinde olmadığını biliyordu, kader-siz yalnızca bir tek durumdaydı. Bu yüzden değiştiği zaman, diye azim-

le devam etti, gerçekten belirli bir durumdan öteki durumlarla birleşmek gibi bir durum söz konusu değildi. Hiçbir şey vak vaklayıp onunla girişmeyecekti, diye bitirdi konuşmasını. Tam bu noktada vak vaklaması o denli arttı ki, Alice artık konuşmasını izleyemiyordu ve öfkeden masadan düşüp gözden kaybolduğunda gerçekten şaşırmadı.

Bir duraksama ve sessizlik çöktü. Sıranın arkasından yükselen zarif bir boyun ve onu izleyen kar beyaz tüylü bir gövdeyle son buldu. Bu bir kuğuydu.

“Ne kadar güzel!” diye bağırdı Alice. “Doğunabilir miyim?”

Kuğu öfkeyle tısladı ve kanatlarını tehdit edercesine çırttı. Alice, değişimi gerçekten tersinmez olsa da, bunun mizacını pek etkilememiş olduğuna karar verdi.

Bu sırada sınıfın arkalarında bir çalkalanma oldu ve Alice birinin, “Durdurun bu komediyi, hepiniz yanılıyorsunuz!” diye bağırdığını duydu. Baktı ve uzun boylu bir şahsın sıraların arasından hiddetle indiğini gördü. Klasik Mekanikçi'ydi bu. İlerleyişini Alice'in daha önce kafelerde gördüğüne çok benzeyen, taşıdığı bir kumar makinesi büyük ölçüde köstekliyordu. (Buna benzer makineler barlarda daha çok bulunabilirlerdi ama Alice bunları oralarda görebilecek yaşta değildi henüz.)

Klasik Mekanikçi'nin Kuramı (Çember içinde Çember)

Klasik Mekanikçi sınıfın önüne yürüdü ve makinesini Üstat'ın masasına oturttu. Eğik bir masa biçimindeki makinenin üzerinde “elektron yakalayıcı” yazılıydı ve tepesinde içinden parçacıkların ateşleneceği iki yarık ve dibinde sırayla “Kazançlı” ve “Kazançsız” yazılı bir dişi cep vardı. Parlak bir biçimde boyalı olsa da, masanın yüzeyi Alice'in daha önce kumar makinelerinde gördüğü o tümsek ve paletlerden tuhaf bir biçimde yoksun gibiydi.

“Hepiniz kendinizi aldatıyorsunuz,” diye kendinden emin bir bi-



çimde konuştu Klasik Mekanikçi. "Bu makineye dikkatlice baktım. Makinenin temelde normal iki yarıklı elektron girişim düzeneği var. Gerçekte neler olup bittiğini gördüğüme inanıyorum."

O cıfcaflı süslemeleri bir yana, Alice bunun Mekanikçi'nin *Gedanken* odasında gördüğü deneyin küçük bir versiyonu olduğunu anlayabilirdi. Klasik Mekanikçi, iki yarıktan elektron akışını ateşleyerek, makinenin nasıl çalıştığını hemencecik gösterdi. Alice, masanın dibinde varışları kaydedilene kadar elektronların gerçekten nerede olduğunu açıkça göremese de, bunlar var olan tek yank olduklarından, en azından oradan geliyor olmaları gerektiğini varsaydı. Beklediği gibi elektronlar daha şimdiden yığınlar halinde kümelandiler ve yığınlar arasında çok az elektronun saptandığı boşluklar açıldı. Alice, girişim desenindeki boşlukların neredeyse tümüyle "kazançlı" yazılı cephelere karşılık geldiğini görünce şaşırdı.

"Girişimin üretilişini görüyorsunuz. Size kalsa, elektronların her biri, her nasılsa iki yarıktan geçiyor, böylece iki yarığın genliklerinin bir araya gelmesi gördüğümüz girişim desenini üretiyordur. Bense siz, elektronların kusursuzca algılanabilecek bir biçimde, aslında yal-

nızca bir yarıktan geçtiğini söylüyorum. Girişimin nedeni *saklı değişkenlerdir.*”

Bu noktada olanları Alice tam olarak anlamakta zorlandı. Sonradan çıkarsayabildiği en iyi şey Klasik Mekanikçi'nin kumar masasından daha önce sanki orada olmayan bir toz kılıfını çektiği idi. Nasıl oluyorsa masanın yüzeyinin şimdi iki yarıktan başlayan bir derin tümsekler ve oluklar deseniyle örtüldüğünü gördü. “Saklı değişkenlere bakın!” diye bağırdı Mekanikçi.

“Çok da iyi saklanmamışlar,” dedi Alice, şimdi ortada duran karmaşık yüzeye eleştirel gözlerle bakarak.

“Benim savım,” diye başladı Klasik Mekanikçi, Alice'in sözünü açıkça duymazdan gelerek. “Elektronlar ve öteki parçacıkların kusursuz biçimde mantıklı ve gerçekten klasik mekaniğe uygun davrandıklarıdır, tıpkı Klasik Dünya'da alışkın olduğum parçacıklar gibi. Oradaki tek fark, parçacıklar üzerinde etkili olan olağan güçlerin yanı sıra, parçacıkların özel bir kuantum gücü ya da *pilot dalga* tarafından etkilenmeleridir. Bu sizin girişimin nedeni olarak yorumladığınız tuhaf etkilere neden olur. Buradaki elektronlu makineyle yaptığım gösteride her bir elektron gerçekten yarıklardan birinden geçer. Sonra da saygıdeğer ve öngörülebilir bir biçimde masa üzerinde ilerler. Dizilişteki herhangi bir rastgelelik elektronların her nasılsa başta sahip oldukları yön ve hızlardan kaynaklanır. Elektronlar burada kuantum potansiyelinde gördüğünüz çukurlardan geçtiklerinde, tıpkı tramvay raylarına takılmış bir bisiklet tekerleği gibi, kuantum gücü onları saptar ve böylece elektronların çoğu kümeler içinde son bulur. Bu, sizin o sözde girişim etkinizi ortaya çıkarır.”

“Peki,” dedi Üstat, “besbelli ki çok ilginç bir kuram –gerçekten çok ilginç. Öte yandan, söylememin sizce bir sakıncası yoksa, elektron davranışıyla ilgili zorlukları kendi *kuantum potansiyelinizin* bazı kendine özgü davranışları pahasına ortadan kaldırdınız galiba.”

“Kuantum gücünüz girişimden kaynaklandığını söylediğimiz etki-

leri yaratmak zorunda olduğundan, bir hayli farklı yerlerde gerçekleşen şeylerden etkilenmek zorundadır. Masanızda üçüncü bir yankı açılacak olsa, o zaman, parçacıkların hiçbiri o delikten geçmemiş bile olsa, parçacıklar üzerindeki kuantum güçleri değişir. Üç delik için var olacak girişim, iki deliklininkinden farklı olacağından bunu yapmak zorundadır ve sizin gücünüz, ortaya çıktıklarını bildiğimiz bütün bu girişim etkilerini yeniden üretmelidir. Ayrıca kuantum potansiyelimiz ya da güçleri ağıңыз gerçekten çok karmaşık olmalıdır. Bu kuramda normal kuantum kuramında ortaya çıkan dalga işlevlerinin indirgenmesi gibi bir şey yok, bu yüzden de potansiyeliniz —her zaman— gerçekleşebilecek her şeyin tüm olasılıklarından etkilenmek zorundadır. Bu bakımdan Çoğul Dünya kuramına benziyor. Kuramınızda gözlemlenen şeyin pilot dalganız tarafından etkilendiklerinde parçacıkların nasıl yolculuk etmekte olduklarına bağlı olduğunu söylüyorsunuz. Ama pilot dalganın kendisi gerçekleşmiş olabilecek tüm olası şeylerin bilgisini saklı tutacaktır ve bunu ortadan kaldırmanın yolu yoktur. Çoğul kısmı, çoğu zaman hiçbir parçacığı etkilemeyebilse de, dalganızın son derece karışık olması gerekirdi. Çoğul Dünyalar kuramındaki *bütün* dünyaların toplamı gibi.

“Kuramınızdaki pilot dalga, parçacıkların yaptıklarını etkiliyor, ama bireysel parçacıkların gerçek hareket biçiminin dalga üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bu yalnızca parçacıkların ne yapmış *olabileceklerine* bağlıdır. Parçacıklar ile pilot dalga arasında hiçbir etki-tepki simetrisi yoktur. Sizin gibi bir Klasik Mekanikçi’nin bundan endişe etmemesi gerekir. Newton’un etki ve tepkinin her zaman eşit olduğuna ilişkin yasasına karşı çıkmak istemezsiniz herhalde, değil mi?”

Bu noktada, Klasik Mekanikçi’yi odaya kadar izleyip arka planda sessiz kalmış olan Kuantum Mekanikçisi öne atıldı ve meslektaşını kolundan yakaladı. “Haydi gel,” dedi, “kuşkusuz Newton’un Yasalarının kusurunu ortaya çıkaracak Klasik Sapkınlıkla suçlanmak istemezsin. Elektronların ne yapıyor ya da yapmıyor olabileceklerine ilişkin

Olçme sorununa verilen çeşitli “yanıtlar” vardır ama hiçbiri evrensel olarak kabul görmüş değildir.

Uygulamada kuantum mekaniği normal olarak, büyüklükleri ve dolayısıyla da herhangi bir fiziksel sistem için çeşitli olasılıkları çözümlmek, sonra da bunları, tek bir sistem için neler olacağını kafaya takmadan, basit atomik sistemlerin büyük *birleşimlerinin* davranışını tahmin etmek için kullanılır. Birleşimler konusundaki sonuçlar, yine ölçmelerin nasıl yapılmış olabileceği konusunda kafa yormadan, ölçümlerle karşılaştırılabilir.

Bu soruna karşı verilen pratik tepki “gözlerini kapat ve hesapl”dır. Kuantum Mekaniği’ni yorumlamak zor olabilir ama iyi işlediğini inkâr eden de yokur.

bütün bu akademik tartışmalar bizim gibiler için değil. Bizler Mekanikçiyiz. Bir Mekanikçi olarak derdim, kuantum yasalarının çalışması ve iyi çalışmasıdır. Bir süreç için var olan genlikleri hesapladığımda, bu bana olabilecekleri anlatır, farklı sonuçların olasılıklarını verir ve bunu doğru ve güvenilir bir biçimde yapar. Bakmadığım zaman, elektronların ne yaptıklarını kafama takmak benim işim değil. Yeter ki baktığımda muhtemelen ne yapıyor olduklarını anlatabileyim. İnsanların benden istediği budur.”

Yola gelen meslektaşını bir kenara çekti ve Alice’e dönüp sordu. “Gözlemciler ve ölçümler konusunda bilmek istediğin kadarını öğrendin mi?”

“Şey...” diye başladı Alice, “doğrusunu isterseniz, buraya gelmeden öncekinden daha karmaşık duygular içindeyim.”

“Peki,” diyerek vurgulu bir biçimde araya girdi Kuantum Mekanikçisi. “Ben de çok düşündüm. Sen istediğin kadarını öğrendin. Benimle gel ve kuantum kuramının sonuçlarından bazılarını gör. Sana Kuantum Diyarı’nın bazı özelliklerini göstereyim.”

Notlar

1. “Ölçme sorunu,” tek bir olasılık seçiminin ve öteki bütün genliklerin indirgenmesinin öteki kuantum davranışlarına benzemi-

yor oluşudur ve nasıl ortaya çıkabildiği pek açık değildir. Sorun en basit şu biçimde ifade edilir: *Herhangi bir şeyi* gerçekten nasıl ölçebilirsiniz? Kuantum Mekaniğinin geleneksel görüşü, birden fazla olasılık bulunduğu, her biri için bir genliğin bulunacağı ve sistemin genel genliğinin hepsinin toplamı ya da bindirmesi olduğudur. Örneğin bir parçacığın içinden geçebileceği birden fazla yarık varsa, o zaman, sistemin genel genliği her bir yarık için bir genlik taşır ve tek tek genlikler arasında girişim ortaya çıkabilir. Sistem kendi haline bırakıldığında genlikler düzenli ve öngörülebilir bir biçimde değişecektir. Ölçülen niteliğin olası farklı değerlerine karşılık gelen bir büyüklükler toplamına sahip bir sistem üzerinde, ölçme yaptığınızda kuram büyük olasılıkla, bu değerlerden birini ya da ötekini gözlemleyeceğinizi söyler. Ölçmenin hemen ardından değer artık bilinen bir niteliktir (çünkü onu henüz ölçmüşsünüzdür), bu yüzden öz durumların toplamı (101. Sayfadaki kutuya bakınız) henüz ölçmüş olduğunuz gerçek değer için var olan tek bir taneye indirgenir.

2. Kuantum Mekaniği'ndeki bir ölçmenin alışlagelmiş tanımı, bir ölçme sürecinin kuantum kuramının geri kalanıyla çatışıyor görünmesi gibi bir sakınca taşır. Eğer, görüldüğü gibi, kuantum kuramı atomları hakkındaki doğru kuramsa ve eğer bütün dünya atomlardan oluşmuşsa, bu durumda, tahminen bütün dünyaya ve içindeki her şeye uygulanması gerekir. Bu ölçme aletlerini de içerir. Bir kuantum sisteminin çeşitli değerler verebilmesi halinde, genliği her olası değere karşılık gelen durumların toplamıdır. Ölçme aygıtının kendisi bir kuantum sistemiye ve *ölçebileceği* çeşitli değerler varsa, bunlardan yalnızca birini seçme hakkı yoktur. Ölçme aygıtı, ölçmüş *olabileceği* bütün olası sonuçlar için genliklerin toplamı olan ve hiçbir tekil gözlemin yapılamadığı bir durum içinde olmalıdır.

Yukarıdan çıkaracağınız sonuç, ya
(a) gerçekte asla hiçbir şeyi ölçemeyiz,
ya da,

(b) kuantum kuramı bütünüyle bir saçmalıktır,
olur.

Bu sonuçlardan hiçbiri (b sonucu çekici gibi görünse de) gerçekten savunulabilir değil. Nesneleri gerçekten gözlemlediğimizi pekâlâ *biliyoruz*, ama şunu inkâr edemeyiz: Bütün gözlemleri başarıyla dile getirmede Kuantum Kuramının bileği bükülememiştir. Bu başarı oranını hiçbir alternatif kuram yakalayamamıştır. Kuantum kuramını elimizin tersiyle itemeyiz.

Fermi-Bose Akademisi

Alice ile Kuantum Mekanikçisi bir patika boyunca ilerliyordu, okul gerilerde kalmıştı. Yürürlerken patika genişliyor ve yavaş yavaş dümdüz bir yola dönüşüyordu.

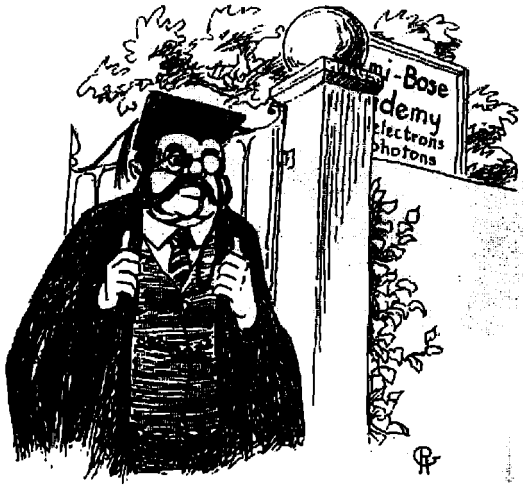
“Sanırım şimdilik bana göstermiş olduğunuz en tuhaf şey,” dedi Alice: “Yalnızca bir elektron varken bu girişim etkilerini elde ediş yolunuzdu. Demek ki, birçok ya da tek bir elektron bulunmasının bir fark yaratmadığı doğru?”

“İster birçok ister tek bir elektron bulunsun, girişimi gözlemleyebilirsin, bu kuşkusuz doğru. Bununla birlikte hiçbir fark olmayacağını söyleyemezsin. Yalnızca birçok elektron bulunduğunda görebileceğin bazı etkiler vardır. Pauli ilkesini düşün örneğin...”

“Ah, evet bunu duymuştum,” diye araya girdi Alice. “Buraya ilk geldiğimde elektronların bundan söz ettiğini duymuştum. Lütfen bana ne olduğunu anlatır mısın?”

“Hepsi aynı olan—her yönden bütünüyle aynı—birçok parçacık bulunduğu anda uygulanan bir kuraldır. Bu konuda daha fazlasını öğrenmek istiyorsan hazır geçerken şuraya bir uğrasak fena olmaz. Çoğul parçacık davranışı konusunda çok deneyimlidirler.”

Bu sözler üzerine Alice, çevresine bakındı ve konuşa konuşa, yolun bir yanı boyunca uzanan yüksek bir taş duvara gelmiş olduklarını gördü. Hemen karşılarında geniş bir kapı vardı. Kocaman taş sütunlar arasında her birinin ortasına işlenmiş birer hanedan arması bulunan etkileyici demir dökme kapılar ardına kadar açıktı. Kapının sağ



tarafında, tam tepede Alice tahta bir tabela gördü. Şunlar yazılıydı:

Fermi-Bose Akademisi
Elektronlar ve Fotonlar için

Kapının ortasında uzun akademisyen cüppesi ve kepiyle görüntüsü daha da ağırlaşan fazlasıyla endamlı ve azametli bir kişi duruyordu. Ablak kırmızı yüzünü kalın bir bıyık ve favoriler, etrafıca süslemişti. Tek gözünde siyah bir kurdeleyle tutturulmuş gözlük vardı.

“İşte Müdür,” diye fısıldadı Mekanikçi, Alice’in kendisine en yakın kulağına.

“Mührü Süleyman mı yani?” diye biraz vahşice karşılık verdi Alice. Karşılarına çıkan ani görüntüye bakılırsa, gafil avlanmıştı.

“Hayır, hayır,” diye fısıldadı Mekanikçi, “Akademi’nin Müdürü. Ayrıca ‘Mührü Süleyman’ değil ‘Mührü Pauli’ dir akademinin mühürdarlık mührü, buysa müdürü.” Alice, sorduğuna soracağına bin pişmandı.

Yolun karşısına geçip bu azametli şahsa yöneldiler. “Afedersiniz beyefendi,” diye girdi söze Mekanikçi. “Bu genç arkadaşımı çoğul parçacıklı sistemler konusunda bilgilendirebilir miydiniz acaba?”

“Tabii, tabii,” diye gürledi Müdür. “Şükürler olsun burada parça-

cık eksikimiz yok. Size çevreyi göstermekten mutluluk duyarım.”

Uzun cübbesini dalgalandırarak döndü ve Akademiye doğru yol gösterdi. Yokuşu çıkarlarken Alice çalılıklar arasında oradan oraya kaçışan küçük nesneler gördü. Bir noktada bu nesnelerden biri çalının üzerine çıkıp nanik yaptı. En azından Alice öyle yaptığını düşündü. Her zamanki gibi ayrıntıların farkına varmak çok zordu. “Onu görmezlikten gel,” diye homurdandı Müdür. “Minör Elektronun teki işte.”

Akademinin, az da olsa Tudor dönemini yansıtan eski vakur binasına vardılar. Müdür duraksamadan onları ana kapıdan içeri aldı, tonozlu bir salondan geçirip geniş oymalı bir merdivenden çıkardı. Binada dolanırlarken onlar yaklaştıkça yan koridorlarda koşturup düşen, odadan odaya kaçışan ve tırazanın arkasına gizlenen küçük nesneler gördü. “Onu görmezlikten gel,” diye yineledi Müdür. “Topu topu bir Minör Elektron. Parçacıklar her zaman parçacıktır.”

“Ama yokuşta gördüğümüz Minör Elektron bu olamaz,” diye çıkıştı Alice. “Kuşkusuz her iki yerdeki tek bir parçacık olamaz. Yoksa çift yarıklı deneyimizdeki her iki delikten bir elektronun geçmeyi başarması gibi bir durumdan mı söz ediyoruz?” diye Kuantum Mekanikçisi’ne sordu.

“Hayır, öyle değil. Burada gerçekten birçok elektron var. Ama bütün elektronların bütünüyle aynı olduğunu görmüyor musun? Hep aynı bunlar. Onları birbirinden ayırmanın imkanı yok. O yüzden doğal olarak *hepsi* Minör Elektron.”

“Doğru!” diye vurgulu bir biçimde onayladı Müdür, onları çalışma odasına götürürken. “Doğrusunu isterseniz bu da bir sorun. Anlatayım. Öğretmenlerin ikiz öğrencilerini ayırt etmede ne denli zorlanabileceklerini bilirsiniz. Doğrusu benim tümüyle aynı yüzlerce parçacığım var. Bunun yoklamayı bir kabusla çevirdiğini söyleyebilirim.”

“Elektronlar o denli kötü değil,” diye devam etti sözüne. “Yalnızca onları sayıp doğru toplama ulaşıp ulaşmadığımıza bakarız. En azından elektron *sayısı* sınırlı olduğundan kaç tane bulunması gerektiği-

ni biliriz, ama fotonlarda bu bile işe yaramaz. Anlayacağınız fotonlar boson olduklarından sınırlı değiller. Otuzluk bir sınıfta başladık diyelim. Dersin sonunda elliye hatta daha fazlasına ulaşabilir ya da sayı yirminin altına inebilir. Tahmin etmesi çok zor. Bütün bunlar personelin işini çok zorlaştırıyor.”

Alice bu sözlerdeki yeni bir sözcüğün farkına vardı. “Şunu açıklayabilir miydiniz?” diye umutla sordu. “Lütfen, ‘boson’ nedir, anlatırmısınız?”

Müdür daha da kızardı ve Mekanikçi’ye döndü: “En iyisi siz genç bayanı yeni öğrenciler için verilen Simetri Olguları dersine götürün. O zaman bosonlar ve fermionlarla ilgili her şey açıklığa kavuşur.”

“Haklısınız,” diye yanıtladı Mekanikçi. “Hadi gel Alice! İnşallah yolu çıkarırım.”

Bir koridordan geçip dersin tam başlamak üzere olduğu bir sınıfa girdiler.

“Sessizlik lütfen,” dedi öğretmen. “Şimdi bildiğiniz gibi siz elektronlar ve siz fotonlar birbirinizin tıpkısısınız. İçinizden herhangi iki taneniz yer değiştirdiğinde, kimse farkına varamaz demektir. Herhangi bir gözlemci yer değiştirmiş olabileceğinizi fark *edebildiği* sürece, kuşkusuz bir dereceye kadar öylesinizdir. Hepiniz ortak bir dalga işlevinizin –ya da genliğinizin– olduğunu, bu genliğin de yapıp *edebileceğinizi* her şeyin bir bindirmesi olacağını biliyorsunuz. Neler yapıp edebileceğinizi anlamamanın bir yolu olmadığı zaman, bildiğiniz gibi, hepsini yapıyorsunuzdur ya da en azından her biri için bir *genliğe* sahipsinizdir. Bu nedenle, anlayacağınız, içinizden herhangi bir grup içindeki iki tanenin ne zaman yer değiştirdiğini anlamamız olanaksızdır. Bu da toplam dalga işlevinizin farklı bir çiftin devredilmiş olduğu tüm genliklerin bir bindirmesi olacağı anlamına gelir. Umarım hepiniz bunu not ettiniz.

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

“Herhangi bir gözlem yapma olasılığı dalga işlevinizin *karesiyle* verilir. Yani dalga işleviniz kendisiyle çarpılacak. Bütünüyle aynı olduğunuzdan içinizden iki tanesi yer değiştirdiğinde hiçbir gözlenebilir farklılık ortaya çıkmaz, dolayısıyla da dalga işlevinizin karesi değişmez. Hiçbir değişiklik olamazmış gibi görünüyor olabilir. Bana neyin değişebileceğini söyleyebilecek var mı?”

Elektronlardan biri elini kaldırdı ya da en azından Alice öyle sandı. Tam olarak göremiyordu. “İşaret değişebilir efendim.”

“Çok iyi, harika bir yanıt. Bu denli güzel yanıtladığın için sana bir not verirdim, ama ne yazık ki seni ötekilerden ayıramıyorum. Evet bildiğiniz gibi genlikleriniz pozitif olmak zorunda değil. Pozitif de olabilir, negatif de. Böylece girişimi gerçekleştirdiğinizde iki genlik birbirlerini geçersiz kılabilir. Demek ki, genliklerinizin karesinin değişmeyeceği iki durum var. İki taneniz yer değiştirdiğinde genlikler hiçbir biçimde değişmeyebilir. Böyle bir durumda parçacıklar bosondur, tıpkı siz fotonlar gibi. Bununla birlikte, bir olasılık daha var. İki taneniz yer değiştirdiğinde genlik *tersinebilir*. Pozitif ile negatif arasında değişir. Bu durumda kare hâlâ pozitifdir ve genliği çarpmak kendi başına aslında hiçbir değişimle sonuçlanmayan, *iki* tersinme ortaya koyduğundan, olasılık dağılımı değişmez. Örneğin, siz elektronlar gibi fermionlarda da gerçekleşen budur. Bütün parçacıklar bu iki sınıftan birine aittir; ya fermion ya da bosondurlar.

“Şimdi, özellikle olasılık dağılımı değişmez olarak kaldığından, genliklerimizin tersinip tersinmemesi pek önemli değil diye düşünebilirsiniz. Ama bu özellikle fermionlar için, gerçekten çok önemlidir. Sorun şu; içinizden iki taneniz tam anlamıyla aynı durumdaysa –yani, aynı yerde aynı şeyi yapıyorsa– o zaman parçacık alıp verdiğinizde, bu yalnızca gözlemlenemeyen bir değişim olmaz; bu gerçekte *değişim bile değildir*. Bu durumda, ne olasılık dağılımı ne de genlik değişebilir. Bu, bosonlar için sorun değildir. Fakat her zaman genliklerini tersinmek zorunda olan fermionlar için böyle bir duruma izin veril-

mez. Bu tür parçacıklar için Pauli dışarlama ilkesi geçerlidir. Yani iki özdeş fermion aynı şeyi yapamaz. Hepsi farklı bir durumda olmak zorundadır.”

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

“Söylediğim gibi, bosonlar için bu bir sorun değil. İki tanesi yer değiştirdiğinde genlikleri değişmek zorunda olmadığından aynı durumda bulunabilirler. Aslında daha da ileri gidebilirim; yalnızca aynı durumda olabilmekle kalmazlar, aynı durumda olmayı kesinlikle *isterler*. Normal olarak elinizde bir farklı durumlar bindirmesi olduğunda ve gözlem olasılığını vermesi için genliğin karesini aldığınızda *ka* nışimdaki bireysel durumların ayrı ayrı karesi alınır ve bunlar aynı biçimde tümel olasılığa katkıda bulunur. Elinizde aynı durumda bulunan iki boson varsa o zaman ikisinin karesini aldığınızda elde edeceğiniz dörttür. İkisi de birin iki katı olarak değil, dört katı olarak katkıda bulunmuş olur. Aynı durumda olan üç parçacık daha da fazla katkıda bulunur. Olasılık bir tek durumda olan çok sayıda boson olduğunda daha yüksek olur, bu yüzden, mümkünse, aynı duruma girme eğilimindedirler. Buna, *Bose yoğunlaşması* adı verilir.

“İşte fermionlar ile bosonlar arasındaki fark da burada. Fermionlar bireycidir, iki tanesi asla tam anlamıyla aynı şeyi yapmaz, öte yandan bosonlar çok dost canlısıdır. Her biri ötekilerle tam anlamıyla aynı şeyi yapar. Çete halinde dolanmaya bayılırlar. İleride göreceğiniz gibi, dünyanın doğasını belirleyen şey, siz iki tür parçacıklar arasındaki davranış ve etkileşimdir. Sizler birçok yönden dünyanın hükümdarlarısınız.”

Bu noktada Kuantum Mekanikçisi Alice’i sınıftan çıkardı. “Muradı na erdin,” dedi. “Pauli ilkesi işte bu. Aynı tip iki fermionun hiçbir zaman aynı şeyi yapamayacağını söyler, bu yüzden her bir durumda bir ve yalnızca bir tane fermion bulunur. Bu ilke, hangi tipte olursa olsun bütün fermionlar için geçerlidir; ama bosonlar için değil. Pauli ilke-

sinden çıkardığımız bir sonuca göre, fermionların sayısı sınırlı olmak zorundadır. Fermionlar rastlantısal bir biçimde ortaya çıkıp yok olmazlar.”

“Bence de,” dedi Alice. “Yoksa gülünç olurdu.”

“Bunu söyleyebileceğini sanmam, bilirsin, bosonlar ortaya çıkıp kayboluyor. Sayıları sınırlı değil. Diyebilirsin ki, madem tek bir durumda bir ve yalnız tek bir fermion olur, o halde fermionların sayısı sabittir. Çünkü belli sayıdaki durum, o durumları alabilecek belli sayıda fermion olduğu anlamını taşır. Bu düşünce, her durumda istediğin kadar bulunabilecekleri için bosonlarda geçerli değildir. Uygulamada boson sayısı sabit değildir.”

“Şu pencereden bir baksan,” dedi ansızın, tam önünden geçerlerken, “fermionlar ile bosonlar arasındaki farkı çok iyi görebilirsin.”

Alice pencereden baktı ve akademinin sahasında talim yapan bir elektron ve foton grubu gördü. Fotonlar aralarında hiçbir fark olmaksızın harfi harfine aynı anda dönenip tersinerek iyi talim yapıyorlardı. Elektron grubunun davranışı ise, talim çavuşunu besbelli çileden çıkarıyordu. Bazısı ileri doğru hareket ediyordu, ama hepsinin hızı farklıydı. Kimisi sola çark ederken kimisi sağa çark ediyordu. Hatta geriye doğru yürüyenler bile vardı. Birkaçı sığıyor, amuda kalkıyordu ve biri sırtüstü yatmış gökyüzünü süzüyordu.

“O elektron temel durumunda,” dedi Mekanikçi, Alice’in omuzları üstünden bakarak. “Galiba öteki elektronlar da onun yerinde olmak isterlerdi. Ama gördüğün gibi yalnız birine izin var. Ötekinin dönüş yönü zıt değilse tabii –bu onlar arasında yeterli bir farklılık yaratırdı.

“Fermionlar ile bosonlar arasındaki farkı burada açıkça görebilirsin. Fotonlar boson olduklarından aynı şeyi yapmak onlar için kolay. Gerçekte birbirlerinin aynısı olmayı isterler. Bu yüzden uygun adım yürümekte çok iyidirler. Öte yandan, elektronlar fermion olduklarından, Pauli dışarlama ilkesi onlardan iki tanesinin aynı durumda bulunmasını engeller. Birbirlerinden farklı davranmak zorundadırlar.”

“Sık sık elektronların durumlarda bulunmasından söz ediyorsun,” dedi Alice. “Lütfen bana bir durumun ne olduğunu açıkla mısın?”

“Yine,” diye yanıtladı Mekanikçi, “senin için en iyisi buradaki sınıflardan birine oturmak. Genel olarak fiziksel dünyayı yöneten şey elektronlar ile fotonlar arasındaki etkileşim olduğundan, akademi dünya liderlerini eğitmektedir. Dünyayı yöneteceklerse, tabii ki durumu idare etme konusunda ders almaları gerek. Hadi gel, birini görelim.”

Mekanikçi, Alice’i akademinin arkasındaki büyük, basık bir binaya götürdü. İçeri girdiklerinde Alice buranın bir tür ışık olduğunu gördü. Bir dolu elektron farklı sıralarda bir şeyler yapıyordu. Alice, bir sıranın kenarlarını harıl harıl çitlerle çevirmeye çalışan bir grubu izlemek için yanaştı. Sıranın üzerinde türlü türlü yapılar olduğunu gördü. Öğrenciler çevredeki çitleri oynattıklarında bütün yapılar değişiyordu.

“Ne yapıyorlar?” diye arkadaşına sordu Alice.

“Durumlar için sınır koşullarını kuruyorlar. Durumlar büyük ölçüde onları içlerine kapatan sınırlar tarafından denetlenir. Genellikle yapabileceğini yaptığın yönetir ve kısıtlamalar olası durumları belirlemeye yarar. Tıpkı bir orgdan elde edebileceğin sesler gibi. Belli uzunluktaki bir orgdan sınırlı sayıda nota elde edebilirsin. Orgun uzunluğunu değiştirdiğinde notaları da değiştirmiş olursun. Kuantum Durumları sistemin sahip olduğu büyüklük ya da dalga işlevi tarafından ortaya konur. Bu da bir orgdaki ses dalgasına çok benzer.

“Çoktan keşfettiğin gibi genellikle bir elektronun gerçekten ne yapıyor olduğunu söyleyemezsin, çünkü onu gözlemlediğinde denetlemek için belirli bir genliği seçersin ve genlikleri yalnızca ona indirgersin. Elindeki elektron konusunda gerçekten emin olabileceğin tek an, o elektronun tek bir genliğe sahip olduğu ve gözleminin yalnızca tek bir değer verebildiği zamandır; genliklerin üst üste geldiği zaman değil. Bu durumda yaptığın ölçmede bu değeri bulma olasılığın yüzde yüzdür ve herhangi bir başka sonuç olasılığı sıfırdır—yani bundan bir sonuç elde edilemez. Böyle bir durumda genliğin gözleminin sonu-

Bir durum, fiziksel bir sistemin içinde bulunduğu durumu anlatır. Kuantum kuramının temel kavramıdır. Başka bir deyişle, gerçek dünyanın olabilecek en iyi tasviridir. Genel olarak bir durumun genliği herhangi bir gözlemin türlü olası sonuçların olasılığı verir. Bazı durumlar için belli bir ölçmenin tek bir olası sonucu olabilir. Bir sistem durağan denen durumlardan birinde olduğunda o niteliğin ölçümü bir ve yalnızca bir olası sonuç verir. Yinelenecek ölçümleri her zaman aynı sonucu verecektir. *Durağan durum* ismi ya da sıklıkla Almanca "*eigenstate*" sözcüğüne karşılık olarak kullandığımız *öz durum* buradan gelir.

cundakine indirgenmesi hiç fark yaratmamış olur, çünkü zaten öyle bir durumdasındır. Gözlemlemek durumu değiştirmez, buna *durağan durum* denir. Bu sınıftaki elektronlar durağan durumlar kurmakta."

Alice elektronların üzerinde çalıştıkları durumlara bakarak masanın etrafında dolandı. Bunlar, toplam sekiz olan bir dizi kutu gibi görünüyordu. Çok büyük bir tane, biraz daha küçük bir tane ve aynı boyutlarda altı tane küçük kutu. Masanın bir köşesini döndü ve durumların bütünüyle değiştiğini görünce oldukça şaşırdı. Şimdi düğün pastası katlarını andıran bir dolu tezgah görüntüsüne bürünmüşlerdi. Ötekilerden çok daha geniş iki tane; aynı genişlikte, ama kaideleri giderek yükselen dört tane; iki tane de küçük vardı. Çabucak masanın başka bir köşesine yürüdü. Şimdi bir sürü kanca tutturulmuş kocaman bir levhanın masanın ortasını kapladığını gördü. Üçlü iki sıra, alta ve üstte ayrık tekli kancalar vardı. "Tanrım neler oluyor böyle?" diye sordu arkadaşına. "Farklı yönlerden baktığımda durumları bambaşka görüyorum."

"Tabii görürsün," oldu Kuantum Mekanikçisi'nin yanıtı. "Durumların farklı *temsillerini* görüyorsun. Bir durumun doğası onu nasıl gözlemlediğine bağlıdır. Bir durağan durumun kendi varlığı bile her zaman belli bir sonuç verdiği gözleme dayanır, ama bir durum yapabileceğin *bütün* gözlemler için belirli sonuçlar veremez. Örneğin Heisenberg bağıntıları bir elektronun konumunu ve momentumunu aynı anda görmeni engeller, bu yüzden bir gözlem için sabit olan bir du-

Aynı durağan durumu paylaşamayacak bazı nicelikler vardır: Konum ve momentum bunun iki örneğidir. Bir parçacığın konumu için belirli bir değer veren bir öz durum varsa o zaman momentumunun ölçümü bir sonuç verebilir. Bu ise Heisenberg belirsizlik bağıntılarına yol açar. Konumun farklı değerlerine karşılık gelen bir durumlar karışımı varsa, o zaman konumun ölçümü uygun değerlerden herhangi birini verebilir. Şimdi momentum değerleri yayılımı indirgenmiş olsa bile, konum "belirsiz" olmuştur. Bu yayılımın nedeni yetersiz ölçme teknikleri değildir: Fiziksel durumun doğasında vardır. Verili bir durumun doğasında bulunan bir fiziksel niteliğin belirsiz değeri engel delme, çekirdekteki ağır parçacıkların değişimi, elektriksel etkileşim içindeki fotonlar ve hatta genel olarak sanal parçacıkların varlığı gibi etkilere izin verir. Sanal parçacıklar ve parçacık değişimi konuları 6. ve 8. Bölümlerde ele alınacaktır.

rum başka bir tanesi için olmayacaktır. Durumları betimlemek için kullandığın gözlemlere onun temsili denir.

"Bir durumun doğası onun nasıl gözlemlediğine bağlı olarak çok farklı olabilir. Gerçekten farklı durumların kimliği bile değişebilir. Bir temsilde gördüğün durumlar bir başka temsildekinin aynısı olmayabilir. Şimdi farkına varmış olabileceğin gibi sabit kalması zorunlu olan tek şey durumların *sayısıdır*. Elektronlardan birini her bir duruma yerleştirirsen o zaman tek tek durumlar değişmiş olabilse bile, onları içerecek aynı sayıda durum elde etmen gerekir her zaman."

"Bu bana çok belirsiz geliyor," diye sızlandı Alice: "Sanki orada gerçekten ne olduğundan asla emin olamazmışsın gibi."

"Doğru," diye neşeyle yanıtladı Mekanikçi. "Farkına varmamış mıydın? *Gözlemler* konusunda çok rahat bir biçimde konuşabiliriz, ama orada gerçekten ne olduğu bir başka sorun.

"Neyse, hadi gel akademinin akşam toplantısının zamanı geldi. Çok ilginç bulacaksın."

Mekanikçi onu yine ara binaya götürdü, giriş salonundan geçirip yüksek tonozlu bir tavanı olan kocaman bir odaya getirdi. Kiremit kaplı görkemli zemin, bir uçtan bir uca, birbirlerine sıkıca kenetlen-

miş bir elektron kalabalığıyla kaplanmıştı. Başlarının üzerinde salonun kenarını çevreleyen süslü geniş bir balkon vardı ve Alice, balkonda alelacele çıkışa doğru koşturan birkaç elektronun belirsiz uzak hatlarını seçebildi. Zeminin yalnızca girdikleri kapıya yakın olan bölümünde ufak bir boşluk vardı ve onları izlemiş olan bir elektron zıpkın gibi oraya sıçradı ve hemen ardından zıncı diye durdu. Yoğun kalabalık her yönden baskı yaptığından daha ileriye gitmek olanaksızdı.

Bölüm sonundaki 3. nota bakınız

“Burası niye bu kadar kalabalık?” diye haykırdı Alice. Önündeki görüntünün boyutları onu boğmaktaydı. “Bu değerlik seviyesidir,” diye yanıtladı yardımsever elektronlardan biri. “Değerlik seviyesindeki bütün yerler doludur. Çünkü değerlik seviyesi her zaman elektronlarla doludur. Gördüğün gibi hareket edilecek yer olmadığı için kıpırdayamıyoruz bile.”

“Korkunç!” diye haykırdı Alice. “Bu kadar kalabalıkta çıkmak için karşıya nasıl geçebiliyorsunuz?” “Geçemiyoruz,” dedi elektron neşeli bir boyun eğişle. “Ama sen istersen yapabilirsin. Bu zeminde herhangi bir yere gidebilirsin, çünkü burada başka Alice yok. Bu nedenle girebileceğin bir dolu Alice durumu var. Hiçbir Pauli dışarlama sorunuyla karşılaşmazsın.” Bu Alice’e daha da tuhaf göründü. Ama sıkıca kenetlenmiş kalabalığın arasından ite kaka yolunu bulmaya çalıştı ve tıpkı daha önce demiryolu kompartımanına girmeye çalışırken olduğu gibi, her nasılsa hiçbir sorun çıkmadan elektronların aralarından dolaşabildiğini gördü.

Alice elektron kalabalığının arasından salonun uzak bir köşesindeki yüksek bir platforma yöneldi. Üzerinde her zamanki gibi kepi ve cüppesiyle azametli müdür duruyordu. Alice yakınlaştıkça, müdürün yumuşak sesinin tıklım tıklım kalabalığın doluştuğu odaya yayıldığını duydu.

“Bugün hepinizin çok yoğun bir gün yaşadığını biliyorum, ama

dünyada ne denli önemli bir rol almaya hazır olmanız gerektiğini size hatırlatmamın gereksiz olduğuna inanıyorum. Siz elektronlar her biriniz uygun durumlardaki yerlerinizi alarak bildiğimiz her şeyin dokusunu oluşturunuz. Bazılarınız atomların içine bağlı olacak ve kimyasal süreçlerin tüm ayrıntılarını denetleyerek çeşitli seviyelerinizde işinizin başında olmak zorunda kalacaksınız. Bazılarınız bir kristal madde içindeki yerlerini alacak. Orada belli herhangi bir atoma bağlı olmaksızın görelî bir özgürlüğe sahip olacak, Pauli ilkesinin ve yoldaş elektronların izin verdiği oranda istediğiniz gibi dolanabileceksiniz. Bir iletim bandında bulunabilirsiniz ve orada özgürce hareket edebilirsiniz, o zaman göreviniz bir elektrik akımının parçası olarak elektrik yüklerinizi taşıyıp kaçışmak olacaktır. Öte yandan, bir katı madde içindeki değerlik bandında bulunabilirsiniz. Belki de girebileceğiniz boş yerler olmayacağı için kendinizi kapana kısılmış hissedersiniz. Sakın umutsuzluğa kapılmayın. Her elektron en üst enerji seviyelerinde bulunamaz ve ayrıca en alt seviyelerin de dolmak zorunda olduğunu unutmayın.”

Bölüm sonundaki 4. nota bakınız

“Size gelince ey fotonlar! Sizler harekete geçiricisiniz, sizler sarsıcısınız. Elektronlar kendi başlarına bırakıldıklarında, kendi uygun durumlarında saf bir bahtiyarlıkla durur, asla bir şey yapmazlar. Elektronlarla etkileşime girip durumlar arasındaki geçişleri, her şeyin olmasını sağlayan değişimleri ortaya çıkarmak sizin işiniz.”

Müdürün söylevinin bu noktasında Alice elektron kalabalığının ortasında kaçışan parlak biçimli fotonların ve odanın farklı kısımlarından gelen seyrek parıltıların farkına vardı. Neler olduğunu anlamak için şöyle bir döndü. Etrafını sıkıca saran elektronlardan, uzağı görmesi zordu.

“Çok feci,” diye haykırmaktan kendini alamadı Alice. Çevrelerindeki baskı nedeniyle oldukları yere çakılmış tutsak görüntülere bakı-

yordu. "Birileri kımıldayamaz mı, hiç yolu yok mu?"

"Yalnızca daha üst bir seviyeye uyarırsak," diye yanıtladı bir ses. Alice kimin konuştuğunu göremedi. "Ama gerçekten önemli değil," diye düşündü. "Hepsi aynı olduğundan sanırım her zamanki gibi ay-nısı konuşmuştur." Tam bu sırada yakında bir parıltı görüldü ve Alice kalabalığın içinden bir fotonun koşturup bir elektrona çarptığını gör-dü. Elektron havalandı ve balkona indi, oradan da sinirli sinirli çıkışa doğru koşturmaya başladı.

Alice uzaklaşan elektrona bakmaya o denli dalmıştı ki, kendisine doğru hızla yol alan bir fotonu görmedi bile. Bir ışık parıltısından son-ra havaya yükseldiğini hissetti. Çevresine bakındığında kendisinin de şimdi balkonda durup aşağıdaki elektron yığınınına baktığını gördü. "Elektronun üst seviyeye uyarmakla kastettiği bu olsa gerek. Bana pek o kadar uyarıcı gelmedi, ama en azından burada daha fazla yer var." Balkonun kenarından aşağıya doğru baktı ve ara sıra ortaya çı-kan küçük parıltılar gördü. Bunların her birini havalanıp balkona tü-nedikten sonra derhal çıkışa doğru yollanan bir elektron izledi. Bun-lardan biri balkonda tam Alice'in yanına kondu.

Aşağıya bakındı ve o elektronun demin durduğu yerde küçük,



elektron biçimli bir boşluk gördü. Döşemenin rengi, tüm yüzeyi kaplayan sıkıca kenetlenmiş elektronların oluşturduğu arka planla tam bir karşıtlık yarattığından boşluk kolaylıkla görülebiliyordu. Alice oraya bakarken, bir elektron demin yaratılmış olan boşluğun yakınına şık bir hareketle kondu, ama ondan sonra hareket edemedi. Öte yandan, bu elektronun durmuş olduğu yerde şimdi bir boşluk vardı ve sonradan katılmış bir elektron oraya yerleşti. “Ne tuhaf şey!” diye düşündü Alice. “Elektronları görmeye artık alıştım, ama hiç elektronun varlığını bu denli açık görebilmeyi ummuyordum doğrusu.” Alice ilgiyle izliyordu, asıl boşluğu oluşturarak yükselmiş elektronun hareketi, öteki yönde, yani Alice’in başlangıçta girdiği geniş kapıya doğru düzenli olarak ilerleyen elektron biçimli boşluğun hareketiyle dengeleniyordu.

Bölüm sonundaki 5. nota bakınız

Hem elektron hem de boşluk gözden kaybolduğunda, Alice de balkondan çıkışa doğru yürüdü. Müdürün konuşmasını yeterince dinlediğini düşündü. Küçük kapıdan geçti ve kendini uzun bir koridorda buldu. Kapının yanı başında Kuantum Mekanikçisi onu beklemekteydi. “Hoşuna gitti mi?” diye sordu.

“Çok güzeldi, teşekkürler,” dedi Alice kibarca. Kendisinden bunun beklendiğini hissetti. “Müdürün söylevini duymak çok ilginçti.”

“Böyle diyorsun,” diye söze girdi Mekanikçi. “Ama kuşkusuz bir kez iletkenlik seviyesine uyarıldılar mı, iletimi gerçekleştiren aslında elektronlardır. Bilirsin, bütün elektronların elektrik yükü vardır, bu durumda, dolandıklarında elektrik akımına yol açarlar. Taşıdıkları yük, her nasılsa negatiftir, bu yüzden akım elektronların hareket yönüne karşı ilerler, ama bu ikincil bir konu. Herhangi bir elektronun ulaşabileceği tüm durumlar değerlik seviyesinde olduğu gibi çoktan elektronlarla dolmuşsa o zaman hareket olamaz ve ortaya bir elektriksel yalıtıcı çıkar. O durumda tüm elektronlar ve yükleri sabit konumda bulunduğu için elektrik akımı olmaz. Şimdiki durumda, bir

akımı ancak elektronlar kolaylıkla hareket edebilecekleri bolca yer olan boş iletkenlik seviyesine uyarıldığında elde edebilirsiniz. Bu durumda hem elektronlar hem de geride bıraktıkları boşluklar tarafından oluşturulan bir akım ortaya çıkar.”

“Ama *boşluk* nasıl akım yaratır?” diye karşı çıktı Alice. “Boşluk olmayan bir şeydir.”

“Öncelikle bütün elektronlar alttaki değerlik seviyesinde bulunduklarında, hareket edemeyeceklerine ve akım olamayacağına katılıyorsun, değil mi?” diye sordu Mekanikçi. “Akım düpedüz aynıdır, adeta ortalıkta hiç negatif yüklü elektron yokmuş gibi.”

“Evet,” diye yanıtladı Alice. Bu yeterince akla yatkın görünüyordu.

“O halde bir elektron *eksik* olduğunda akımın *hiç* elektron yokmuş gibi değil, bir elektron eksikmiş gibi görüneceğine de katılmalısın. Değerlik seviyesindeki boşluk bir pozitif yük gibi işler. Kapağı doğru olan boşluk hareketinin aslında karşı yönde birer adım atan birçok elektrondan kaynaklandığını gördün. Bu yüzden kapıdan uzaklaşan negatif yüklü elektronların oluşturduğu akımla kapağı doğru ilerleyen bir pozitif yükün vereceği akım aynıdır. Söylediğim gibi fotonlar hem iletkenlik bandına gönderdikleri elektronlardan hem de onların geride bıraktığı boşluklardan akım elde ederler.”

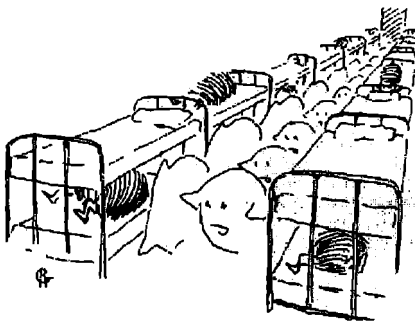
“Fotonlar elektronların başına bela oluyor galiba,” dedi Alice konuyu değiştirmeye karar vererek.

“Oldukça hiperaktif oldukları açık. Ama fotonlar doğal olarak çok canlıdır. Müdürün dediği gibi parçacıklar her zaman parçacıktır. Şimdi bazılarının yatakhaneindeki elektronları ayıladığını sanıyorum.”

“Afedersiniz,” dedi Alice. “Ama *paylamak* mı demek istiyorsunuz? Haşarı öğrenciler için bu sözcüğün kullanıldığını biliyorum.”

“Hayır, kesinlikle *aylamak*. Gel kendin gör.”

Koridorun sonundaki kapağı yürüdüler, Mekanikçi kapağı açtı. İçeri girdiler. Mekanikçi arkalarından kapağı kapattı. Şimdi her iki yanına ranzalar dizilmiş uzun bir odadaydılar. Alice tepedeki birçok ranzanın



elektronlar tarafından işgal edilmiş olduğunu ve alttaki ranzanın çoğunlukla boş olduğunu gördü. "Onları bazen alttakilerde değil de tepe ranzalarda bulursun," dedi Mekanikçi. "Buna *nüfus ters çevrimi* denir. Yalnızca bunlar böyle olduklarında aylanmak uygulanabilir olur."

Çok geçmemişt ki, yalnız bir foton koşarak odaya daldı. Ranzalardan birine atıldı ve o yükseltili konuma yerleşmiş elektrona sokuldu. Bir gümbürtüyle elektron alttaki ranzaya çekül gibi indi ve Alice şimdi odada birlikte kaçışan *iki* foton olduğunu görünce gözlerine inanamadı. Kusursuz bir birliktelikle hareket ettiklerinden neredeyse tek bir tane gibi görünüyordardı. "Bir *uyarılmış emisyon* örneği," diye Alice'in kulağına mırıldandı Mekanikçi. "Foton elektronun alt seviyeye geçmesinde etkili oldu ve salınan enerji başka bir foton yarattı. Şimdi yalnızca izle ve aylanmanın nasıl geliştiğini gör."

İki foton odada aşağı yukarı kaçışıyorlardı. Biri bir elektrona çarpıştı ve ardından üç foton ve alt seviyede bir elektron daha olmuş oldu. Alice izlerken fotonlar daha fazla elektronla etkileşime girerek daha fazla foton ürettiler. Alice ara sıra bir fotonun alt ranzaya düşmüş bir elektrona çarpıştığını farketti. Bu sırada elektron daha yüksekteki ranzaya sıçradı ve foton ortadan kayboldu, ama her şeyden önce, başlangıçta alt ranzalarda çok az elektron olduğundan bu sık sık olmuyordu.

Bölüm sonundaki 6. nota bakınız

Derken oda, hepsi aynı anda oradan oraya kaçışan bir aynı fotonlar sürüsüyle tıklım tıklım doldu. Şimdi alt ranzalarda neredeyse üst-

tekiler kadar elektron vardı. Böylece çarpışmalar aynı olasılıkla yeni bir tane yaratmak üzere fotonlardan birinin yitirilmesiyle, bir elektronu bir üst konuma uyatabiliyordu. Foton ırmağı yataktan sonundaki kapıdan koridora sıkıca yapışık bir ışık ışını halinde taşmıştı. Daha koridorun yarısına kadar ilerlememişlerdi ki, onlara doğru yürüyen müdürün muazzam biçimiyle çarpıştılar.

Anında durdu, şöyle bir dikeldi ve kalın kara cüppesini her iki yöne yaydı. Böylece koridoru geçişi kapatan yoğun bir kara cisim oluştu. Fotonlar siyah mürekkebi gibi maddeye çarpıp bütünüyle ortadan kayboluyordu. Müdür, hareketli ve sıkılmış bir görüntüyle kıpkırmızı yüzündeki terleri bir mendille silerek orada bir süre durdu.

"Bu tür davranışları hoş görmeyeceğim," diye homurdandı. "Onları uyarmıştım, böyle davranan bir foton anında söğrölacaktı. Epey hareketli bir iş. Açığa çıkan enerjinin bir yere gitmesi gerekiyor, genellikle de bunun sonu sıcaklık artışı oluyor."

"Affedersiniz," dedi Alice. "Bütün bu fotonların nereye gittiğini anlatır mıydınız?"

"Hiçbir yere gitmediler güzelim. Söğrölacıldılar. Artık yoklar."

"Tanrım ne kadar korkunç," diye bağırdı Alice, ansızın vantuz gibi çekilen bu zavallı minik fotonlara üzülmüştü.

"Dert değil, dert değil. Bu, korunumlu olmayan bir parçacık olmanın parçasıdır. Fotonlar böyledir. Haydan gelen, huya gider. Hep yaratılır, hep yok edilirler. Çok ciddi bir şey değil."



“Foton için aynı şeyi söyleyebileceğimi sanmam,” dedi Alice.

“Doğrusu ondan bile pek emin değilim. *Bize* ne kadar zaman var oluyormuş gibi gözüktüğünün bir foton için pek bir fark yaratacağını sanmıyorum. Zaten ışık *olduklarından*, gördüğün gibi, ışık hızıyla hareket ederler. O hızda ilerleyen bir şey için, zaman tam anlamıyla olduğu yerde durur. Bu yüzden bize ne kadar uzun yaşıyorlarmış gibi görünürlerse görünsünler, onlar için aslında geçen bir zaman yoktur. Bir foton için evrenin tüm tarihi bir parlıtıda geçer. Sanırım asla sıkılmazmış gibi görünmelerinin nedeni bu.

“Toplantıda da söylediğim gibi, fotonların elektronları bir durumdan ötekine uyardı ve aslında temelde durumlarını, kendilerini ortaya çıkaran etkileşimleri yaratmada oynadıkları çok önemli roller vardır. Bunu yapabilmeleri için çok sık yaratılıp yok edilmeleri gerekir; bu işin bir parçasıdır diyebilirsiniz. Öte yandan, etkileşimleri yaratmak daha çok sanal fotonların görevidir. Burada onlarla pek uğraşmıyoruz. Durumlarla ve birinden ötekine nasıl gidildiğiyle ilgileniyorsan Durumlar Komisyoncusu'na gitmen gerekir. Arkadaşın sana yolu gösterir.”

Müdür onlara akademinin dışındaki kapıya kadar eşlik etti. Yoldan aşağı inerlerken Alice, Müdür'e el sallamak için bir kez daha döndü. Müdür, onu ilk gördüğü kapının ortasında dimdik duruyordu.

Notlar

1. Elinizde birçok parçacık varsa, her biri için herhangi bir tür genlik ve bütün parçacık sistemini betimleyecek toplam bir genlik de olacak demektir. Parçacıkların hepsi birbirinden farklıysa, o zaman her birinin içinde bulunduğu durumları bilirsiniz (ya da *bi-lebilirsiniz*). Toplam genlik ayrı ayrı her parçacığın genliklerinin ürünüdür yalnızca.

Parçacıklar birbirinin aynıysa o zaman işler daha da karmaşıklaşır. Elektronlar (ya da fotonlar) bütünüyle aynıdır. Birini ötekenden ayırmanın *hiç yolu* yoktur. Birini gördüğünüzde hepsini görmüş

olursunuz. İşgal ettikleri durumlar arasında iki elektron alınıp verildiğinde, bunu anlayabilmeniz olanaksızdır. Toplam genlik her zamanki gibi, şimdi parçacıkların durumlar arasında değiş tokuş edildiği tüm bu permütasyonları da içeren, ayrıştırılamayan bütün genliklerin toplamıdır.

İki özdeş parçacığın takası, gözlemleyebildiğiniz şeyde bir fark yaratmaz. Bu da genliği kendisiyle çarptığımızda elde edeceğimiz olasılık dağılımında hiçbir fark yaratmadığı anlamına gelir. Bu genliğin kendisinin değişmediği anlamına da gelebilir, genliğin işaret değiştirdiği, örneğin pozitiften negatife geçtiği anlamına da *gelebilir*. Bu, genliği -1 ile çarpmaya eşittir. Olasılık dağılımını elde etmek için genliği kendisiyle çarptığınızda bu -1 faktörü de +1 faktörü vererek kendisiyle çarpılır, bu da olasılıkta hiçbir farklılık yaratmaz. İşaretteki değişim önemsiz bir akademik sorun gibi görünüyor, ama çok şaşırtıcı sonuçlara sahiptir.

2. Bir genliğin yalnızca işaret değiştirmeyeceği gösterilemediği için işaret değiştirdiğinin apaçık bir nedeni yoktur, ama doğa yasaklanmamış her şey zorunludur kuralını izler ve tüm seçeneklerini kabul edermiş gibi görünür. İki tanesi değiş tokuş edildiğinde genliğin işaret değiştirmedeği parçacıklar *vardır*. Bunlara *fermion* denir. Elektronlar bunun bir örneğidir. Ayrıca iki tanesi değiş tokuş edildiğinde genliğin hiç değişmediği parçacıklar da vardır. Bunlara da *boson* denir. Fotonlar bu türdendir.

Bir parçacıklar sistemi için genlik işaretinin, iki tanesi durumlar arasında değiş tokuş edildiğinde, işaret değiştirip değiştirmedeğinin gerçekten bir önemi var mı? Şaşırtıcı ama evet. Gayet önemlidir. Aynı durumda iki fermion bulunmaz. İki boson aynı durumda olsaydı ve onları değiştirseydiniz; o zaman bu gerçekten hiçbir fark yaratmazdı –hiçbir işaret değişikliği oluşturamaz. Fermionlar için bu tür genliklere izin yoktur. Herhangi iki fermi, onun asla aynı du-

rumda bulunamayacağını söyleyen Pauli ilkesine bir örnektir bu. Fermionlar alabildiğine bireycidir; iki tanesi asla oturup uzlaşmaz. Pauli ilkesi son derece önemlidir ve atomların ve bildiğimiz haliyle maddenin varlığı için vazgeçilmezdir. Bosonlar Pauli ilkesiyle yönetilmez. Gerçekte durum tam tersidir.

Her parçacık farklı bir durumdaysa ve parçacıkların olasılık dağılımını hesaplamak için tümel genliğin karesini alıyorsanız, o zaman her parçacık ayrı ayrı aynı miktarda toplam olasılığa katkıda bulunur. Elinizde aynı durumda bulunan iki parçacık varsa ve onun karesini alıyorsanız, yalnızca o iki parçacıktan dört kat fazla katkı elde edersiniz. Her biri nispeten daha fazla katkıda bulunmuştur. Öyleyse aynı durum içinde iki parçacığın bulunma olasılığı her birinin farklı durumlarda bulunmasından *daha* fazladır. Dolayısıyla üç ya da dört parçacığın aynı durum içerisinde bulunma olasılığı daha da fazladır ve bu böyle sürüp gider. Aynı durumda birçok boson bulunma olasılığının artmış olması, boson yoğunlaşması olgusunu ortaya çıkarır: Bosonlar birlikte aynı durum içerisinde olmak *ister*. Bosonlar kolayca yönetilir. Doğal olarak dost canlısıdırlar. Boson yoğunlaşması, örneğin, bir lazerin işleyişinde görülür.

3. Elektronları da içeren elektriksel kuvvetler, 7. Bölümde de ele alındığı gibi, atomları bir arada tutmak için çalışabilir. Ama atomları parçalayacak herhangi bir itime neden olmazlar. O halde, neden atomlar birbirlerine oldukça uzak durur? Katı maddeler neden sıkıştırılamaz? Atomlar neden birbirini çekmez, bu yüzden, örneğin neden bir kurşun bloğu atomik genlikte ağır bir nesne olarak son bulmaz? Bu yine, iki elektronun aynı durum içerisinde bulunamayacağını söyleyen Pauli ilkesinin bir sonucudur.

Belli bir türdeki atomların hepsi aynı olduğundan, her biri aynı durumlar dizisine sahiptir. Bu, her bir atomdaki eşit elektronları, izin verilmeyen aynı duruma koymuş olmaz mı? Aslında atomlar farklı

konumlarında olduklarından, durumlar da biraz farklıdır. Atomlara ağırlık bindirecek olsaydınız, o zaman durumlar aynı *olurdu*. Pauli ilkesi bunu yasaklar. Atomlar, Fermi Basıncı diye bilinen ama gerçekte bir atom içindeki elektronların komşularıyla aynı olmak konusundaki yoğun reddini ifade eden şey tarafından ayrı tutulurlar. Madde, elektronların aşırı bireyciliklerinden dolayı sıkıştırılamaz.

4. Katı bir maddede tek tek atomlardaki elektron durumları katı maddenin bütününe ait olan çok sayıda elektron durumları oluşturmak üzere birleşir. Durumlar, durumların enerji düzeylerinin neredeyse süreklilik oluşturacak kadar birbirine yakın olduğu enerji bantlarına kümelenir. Katı maddenin enerji bantlarında, tek tek atomlardaki daha büyük enerji düzey ayrımlarına karşılık gelen aralıklar vardır. Daha alttaki bantlar, atomlardaki daha alt seviyelerden gelmiş elektronlarla doludur. Bu dolu bantların en yükseğine değerlik bandı denir. Bunun üzerinde bir bant aralığıyla ayrılmış, iletkenlik bandı bulunur. Bu bant ya bütünüyle boştur, ya da çoğunlukla kısmen doludur.

Değerlik bantındaki elektronlar hareket edemez. Her elektron hareketi elektronların bir durumdan ötekine geçişini gerektirir ve elektronların girebileceği hiçbir boş durum yoktur. Bir maddeye baştan başa bir elektrik potansiyeli konulursa, değerlik bantındaki elektronlara bir güç uygulanır, ama elektronlar hareket edemezler. İletkenlik bandında elektron yoksa, madde bir elektrik yalıtıcısı işlevi görür.

5. Dolu değerlik bandındaki bir elektrona fotonlarla bir çarpışma ya da en azından termal enerjinin rastlantısal yoğunlaşması sonucunda yeterince enerji verilirse, elektron bant boşluğundan geçip daha yüksekteki iletkenlik bandına çıkabilir. Bu bantta bir dolu boş durum olduğundan, orada elektron rahatça dolanabilir ve bir

elektrik potansiyeli iletkenliği oluşturur. Ayrıca şimdi elektronun daha önce bulunduğu değerlik seviyede boş bir yer vardır. Bura-ya da başka bir elektron geçebilir ve bu böylece devam eder. Öte-ki yönlerden dolu değerlik bandında bir boşluk, olur ve elektro-nun hareket yönünün tersine ilerler. Bu boşluk tıpkı pozitif yük- l bir parçacık gibi davranır.

Yukarıdaki bölüm, elektronikte kullanılan, silikon gibi yan iletken maddelerin davranışını anlatır. Elektrik akımını iletkenlik seviye- sindeki elektronlar ve değerlik seviyesindeki *boşluklar* taşır.

6. Doğru enerjiye sahip bir foton, bir atomdaki bir elektronla et- kileştiğinde, 6. Bölümde anlatıldığı gibi, bir enerji seviyesinden ötekine geçebilir. Çoğu durumda geçiş, alt seviyeler genellikle do- lu olacağından, daha alttakinden daha üstteki enerji seviyesine doğru olur. Foton, aynı derecede daha sttekinden daha alttaki seviyeye –tabii alt seviye boşsa– geçiş yaratabilir.

Bir maddenin bir st seviyesinde birçok elektron varsa ve alttaki se- viye çoğunlukla boşsa (*nüfus ters dönüşümü* diye bilinen bir du- rum), o zaman bir foton bir elektronun daha üstteki durumdan da- ha alttakine geçmesine neden olabilir. Bu değişim enerji açığa çıka- rır ve geçişe neden olana ek olarak yeni bir foton yaratır. Bu foton da gidip daha fazla elektronu daha alttaki bir duruma drtebilir.

Bir lazerde üretilen ışık, oyuğun her iki ucundaki aynalardan ileri geri yansıtılır, bu da tekrar tekrar maddeden geçtiği her seferde da- ha fazla foton emisyonuna neden olur. Bu ışığın çok azı kusursuz yansıtıcılar olmayan aynalardan geçer ve yoğun dar bir ışın verir: La- zer ışını. Fotonlar, var olan fotonlara doğrudan bir tepki içinde aı- đı ıkarıldıklarından, ışık “uygun adım”da ya da *fazdadır* ve holog- ramlarda görülebileceği gibi, büyük lkte girişim etkileri yarat- mada benzersiz niteliklere sahiptir. (Bütün hologramlar lazer ışığı gerektirmez, ama lazerin yardımı dokunur.)

Kuantum Mekanikçisi Alice'i aldı, yoldan indirdi, dökme demir bir kapıdan geçirip gösterişli bir parka götürdü. Patikanın her iki yanında sıralanmış, çeşit çeşit tomurcuklarla dolu güzelim çiçek tarhları, onlar o sıcak yaz havasında yanı başlarından geçerken çok hoş bir etki bırakıyordu. Gökyüzünde güneş, bu doğal görüntüyü ışıyla boğarcasına parıltıyordu. Patikanın yanında renk renk kelebekler bir parlak çiçekten ötekine atlıyordu. Küçük bir ırmak yamaçtan değirmi çakıllar üzerine dökülüyor, kâh şurada kâh burada küçük şelâleler halinde akıyordu. Alice bütün bunlar ne kadar şirin diye düşündü ve neşyle çevresine bakınırken yolun kesiştiği bir patikadan bir başkasının yaklaştığını gördü.

Yeni gelen besbelli küçücük bir kızdı, ama çok tuhaf bir özelliği vardı. Alice'e benziyordu sanki, ama daha çok şipşak fotoğrafların negatiflerinde ara sıra gördüğü halini andırıyordu. Alice bankada izlediği antielektronları anımsadı. Ayrıca, kızın kendisine doğru gelmesine karşın ters tarafa baktığını ve geri geri yürüdüğünü şaşkınlıkla izledi.

Alice bu garip kızın ilginç görüntüsüne kendini o denli kaptırmıştı ki, birbirlerine ne denli yaklaştıklarının farkına bile varamadı. Daha ne olduğunu anlayamadan çarpıştılar. Kör edici bir ışık bilincini aldı götürdü. Uyanınca kendini öteki kızın geldiği patikadan aşağı yürür buldu. Ardına bakınca o antikızın Alice'in ilk yürüdüğü yoldan geri geri yürüyerek uzaklaştığını gördü. Ama şimdi ona yanı başında dostça geri ge-

ri yürüyen bir başka negatif kişi eşlik ediyordu. Bu ikinci kişi Alice'in bir önceki eşlikçisine, Kuantum Mekanikçisi'ne benziyordu.

Alice çevresine bakındığında, ortalığın en küçük parçasına kadar bütünüyle değiştiğini şaşkınlıkla keşfetti. Sanki her şey tepetaklak olmuştu. Gökte güneş, aşağıdaki görüntünün ışığını kurutarak kapkara bir göz gibi dik dik bakıyordu. Patikanın yanında mat kelebekler bir kara çiçekten ötekine geri geri atlıyor, orasından burasından su püsküren küçümen bir şelâlenin yanında küçük bir ırmak değirmi çakıllar üzerinde yokuş yukarı akıyordu. Alice daha önce böyle bir şey yaşamamıştı.

Bu ilginç görüntüyle öylesine büyülenmişti ki, yine küçük bir kızın ters yönde üzerine doğru hızla ilerlediğini göremedi. Çarpışırken Alice çevresine bakındı. Yine kör edici bir başka ışık belirdi. Şoktan kendini sıyrınca kızın Alice'in daha az önce geldiği yoldan gerileyerek uzaklaştığını gördü. Dahası manzaranın şimdi olağan durumu-



na döndüğünü fark etti. “Garip, çok garip,” diye söylendi Alice. “İlk çarpışma bütün yeşil alanın tersine dönmesini sağlarken ikincisi her şeyi yeniden eski haline döndürdü. Bunun nasıl gerçekleşebildiğini anlamadığıma eminim. Ne denli şiddetli olursa olsun, o hızla çarpışmam güneşi ve ırmağı nasıl etkileyebilir. Anlamsız...” Alice bu taze deneyiminin anlamı konusunda kendisiyle tartışmaya devam etti. Olanlar o denli ilginçti ki, bir yanında duyduğu şiddetli patlamaya hemen hemen hiç dikkat etmedi ve kısa bir süre sonra son derece enerjik bir foton patikanın bir yanından öte yanına hızla geçti.

Patika onu parktan çıkarıp geniş, düz bir alana getirdiğinde Alice henüz bu taze deneyimi konusunda doyurucu bir açıklamaya ulaşmamıştı. Bu alan, ilerde Alice’i karşılayacak olan kullanışlı koca yapıyı saymazsak, tümüyle özelliksiz gibiydi.

Alice yaklaştığında, yapının ön cephesinin ortasına oturtulmuş, baş hizasının biraz üstünde bir tabela oduğunu gördü. Bu tabelanın bir ucunda “Durum Komisyoncusu” öteki ucunda “Sanal Gerçekleyici” yazılıydı. Kocaman, boş ön cephenin ortasında bir kapı ve ilanlarla dolu küçük bir pencere vardı.

Acilen Satılık Hakiki Gençlik Düşürücüler
İyi Periyodik Özellikler.
İstenilen Enerji Bandına yerleştirilmiş Durumlar.
Erken Geçiş için cazip fiyatlar.

Dışarıda kimseyi göremediğinden Alice kapıyı açtı ve içeri girdi. Kapının hemen iç tarafında kısa bir tezgâh ve onun ardında, uzaktan gölgeler içine yükselen raf dizileri gibi görünen şeyler dışında hemen hemen boş kocaman bir oda vardı. Odanın ortasında, elinde telefonla bir masaya kurulmuş bir adam seçilebiliyordu. Adam, Alice’i görür görmez kalktı ve aceleyle ona doğru yürüdü.

Ellerini tezgâhın üzerine koyarak, ağzını kulaklarına vardırarak hoş bir gülümsemeyle Alice’in karşısına geçti: “Buyurun, içeri girin,” dedi Alice’in çoktan içeri girmiş olduğunu unutarak. “Size gösterme



mutluluğuna erebileceğim bir şey var mı? Sanırım ilk durumunuza geçmeyi tasarlıyorsunuz. Size her konuda yardım edebileceğimizden eminim.”

“Doğrusunu isterseniz,” diye başladı Alice, aslında yalan söylemek gibi bir derdi de yoktu. “Gerçekten hiçbir şey aramıyorum. Elektronların ve öteki parçacıkların durumlar arasındaki geçişleri konusunda bilgi verebileceğinizi söylemişlerdi.”

“Evet, kuşkusuz doğru yere gelmişsiniz. Uzun zamandan beri parçacık geçişi işiyle uğraşmaktayız. Lütfedip benimle gelerseniz, size durumu açıklığa kavuşturacak doyurucu açıklamalar sunmaya çalışırım.”

Alice bundan adamın kendisine bir şeyler açıklayacağını anladı ve tezgâhın çevresinden dolanarak raflardan —ya da her ne iseler— birine kadar adamı izledi. Bunlar ya çok uzakta ve çok büyüklerdi ya da Alice ve Durum Komisyoncusu küçülüyordu. Raflara yakınlaştıkça, özellikle de Alice yakınlaştıkça, bunların daha çok uzun apartman bloklarına benzediğini gördü, üzerlerinde şöyle bir yazı vardı:

Periyodik Konaklar

Konakların ön cepheleri öylesine açıktı ki, Alice her katta dolaşan elektronları görebiliyordu.

“İşte sana iyi aralıklı enerji seviyeleri üstüne kurulmuş nitelik durumlarından iyi bir örnek. Her biri en yüksek doluluk seviyesine kadar, izin verilen sayıda elektron tarafından doldurulmuştur. Üzerinde birçok boş durum bulunmakla beraber şimdilik daha alt seviyelerde daha fazla elektrona yer yoktur. Bir elektron bir durum içinde oturan kiracıysa, kuşkusuz başka bir elektrona yer kalmaz. Genellikle kendi haline bırakıldığında bir elektron yerleşmiş olduğu bir durumdan çıkma eğilimi göstermez. Bununla birlikte biraz beklersek zorlanmış bir hareketi görme şansımız olabilir.”

Alice durdu, yapıya baktı ve kısa bir süre sonra bir fotonun öne fırladığını gördü. Şimdi bir hareketlilik vardı ve en alt seviyedeki elektronlardan bir elektron uçarak gözden kayboldu. Alice fotonun nereden geldiğini anlayabilmek için çevresine bakındı. Yakında park etmiş bir kamyon duruyordu. Kamyonun yan tarafına şu slogan yazılmıştı:

Foton Nakliyatı
Geçişleri Kolaylaştırınız.

“Talihim varmış,” dedi Durum Komisyoncusu neşeyle. “Bir foton en alt seviyedeki elektrona enerjisini verdi ve onu en üstteki boş seviyelerden birine yolladı. Temel durumdan çıkışlara pek sık tanıklık edemeyiz. Böylece orada çok cazip bir boşluk bırakıyor. Hemen icabına bakayım!”

Fırlayarak ortadan kayboldu ve az sonra, elinde bir sopaya tutturulmuş bir ilan tahtasıyla geri döndü, sopayı yere sapladı. Duyuru şöyleydi:

Boş Mülk!
Temel Seviyede Cazip Durum.

Levhayı daha yerine yerleştirmemişti ki, ikinci seviyeden bir elektron hafif bir bağırtıyla boş duruma yuvarlanıp indi. Oraya varır varmaz içine yerleşti, sanki uygunsuz hiçbir şey olmamış gibi davrandı. O dü-

şerken Alice bir fotonun fırlayıp çıktığını gördü. Elektron çok uzağa düşmediğinden bu fotonun taşıdığı enerji, asıl elektronu salan fotonun taşıdığı enerjiden çok daha azdı.

Durum Komisyoncusu içini çekti, ilanı getirirken taşıdığı kovadan bir boya fırçası çıkardı ve “temel” sözcüğünün üstünü karalayıp yerine “ikinci” yazmaya girişti. Alice bir başka acı çığlık duyduğunda boya daha kurumamıştı. Üçüncü seviyedeki bir elektron, ikincideki boş yere düşmüştü. Durum Komisyoncusu sövüp saydı ve tabelayı “üçüncü” olarak değiştirdi. Fırçayı kovaya tükürürcesine fırlattı ve binaya alevlenmiş gözlerle dik dik baktı.

Şimdi de bir başka keskin çığlık. Bir üst seviyeden üçüncü seviyeye bir elektron düşmüştü. Komisyoncu ilanı sopasından kopardı, yere fırlattı ve üstünde tepinmeye başladı.

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

“Affedersiniz,” dedi Alice, bu hırs gösterisini kesip kesmemekte kararsızdı. “Elektronlar, kendi haline bırakıldıklarında, bulundukları durumlarda sonsuza dek kalır dediğinizi sanmıştım. Ama bunlar kendiliklerinden düşüyorlar sanki.”

“Öyle görünebilir,” diye yanıtladı Durum Komisyoncusu, anlık si-



nir nöbetinin başka yöne çekilmiş olmasında hoşnuttu. "Aslında bütün bu elektron geçişleri fotonlarca başlatılıyor, ama onları görmedin, çünkü onlar *sanal* fotonlar. Sanal fotonlar elektronların etkilşimlerinde önemli görevler üstlenir. Kendiliğindenmiş gibi görünen bu durumlar arası geçişleri başlatmakla kalmazlar, ayrıca başlangıç bizzat durumları yaratmada yardımcı olurlar. Görüyorsun ya, elektronun durduğu yerde kalmasını sağlayan parçacıklar, elektror yerinden eden gücün de ta kendisi.

"Sana sanal parçacıkları anlatmadan önce normal parçacıklara, yani sanal *olmayanlara* bakmalıyız. Herkes bunları gerçek parçacık diye bilir. Ayırıcı özellikleri kendi özel kütleleriyle sahip olabilecek enerji ile momentum arasındaki katı ilişkidir. Yani şurada gördüğün ilanın anlattığı şey."

Komisyoncu binanın ön tarafına tutturulmuş yeşil bir flüorışıl kâğıda basılı küçük bir etiketi gösterdi. Etiket üzerinde şunlar yazılıydı

Gerçek parçacıklar Kütle Kabuğu üzerinde çalışır.

"Buralarda ilanların pek sevildiği belli," diye düşündü Alice. "Şuradaki epey anlamlı gözüküyor, gerçi ne demeye geldiğini anlamış d

Elektronlar uyarılmış emilme ve uyarılmış salınım yaratarak iki yönlü geçişler yapacak biçimde fotonlarca harekete geçirilebilir. Daha yüksek bir enerji durumuna uyarılmış elektronlar eninde sonunda yeniden, eğer varsa, daha düşük bir duruma düşer; görünürde tek bir foton bulunmasa bile. Buna *kendiliğinden bozunma* denir. Kuantum Mekaniği'ne göre her geçişin bir başlatıcısı vardır, kendiliğinden geçiş olmaz. Görünüşte kendiliğinden gibi görünen düşüslere aslında fotonlar neden olur, ama gerçek fotonlar değil. Bunlar, sanal fotonlarca, yani boşluktaki düzensiz kuantum dalgalanmalarınca uyarılır.

Her elektrik yükünün çevresinde bir sanal foton bulutu vardır. Sanal foton bulutlarının öteki yüklü parçacıklarla etkileşimi, bir elektrik alanı oluşturur. Sanal fotonlar elektrik alanını oluşturduklarından her zaman bir atomun içinde mevcuttur ve elektron durumlarının bu görünüşte kendiliğinden bozunmalarına yol açabilir.

değilim.”

“Kütle kabuğu,” diye devam etti Durum Komisyoncusu Alice’in düşüncelerini okurcasına, “enerji ve momentumun gerçek parçacıklar için gereken katı yoldan ilişkilendirildiği bölgedir. Bu, geleneksel darkafalı parçacıkların izlediği dar ve düz bir patikadır.

“Topluluk içinde bir güç olmak ve eşyaları itebilmek istiyorsanız momentumu aktarabilmeniz gerekir. Bir şeyi bulunduğu yerden hareket ettirmek ya da bir şeyin bulunduğu yerden ayrılmasını önlemek istiyorsanız yine momentum aktarmanız gerekir. Her iki durumda da derdiniz harekettir ve hareket momentumdur. Bir hareketi başlatmak ya da durdurmak istemeniz pek bir fark yaratmaz. Nesneleri yoldan saptıran ve şeylerin değişmesine neden olan, işte momentum içindeki değişimlerdir ve bu yüzden parçacıkların belirli bir yolu izlemelerini sağlayan şey de momentum denetimidir.

“Kütle kabuğu üzerinde, elinizdeki kütleyle uygun kinetik enerjiyi sağlamadan momentum elde edemezsiniz. Durgun kütlelerinde bir dolu enerji bulunan gerçek anlamda ağır bir parçacığın, kendine belli miktarda momentum sağlamak için daha hafif bir parçacığın gerekeceği ölçüde kinetik enerjiye ihtiyacı yoktur. Bütün gerçek parçacıklar momentum edinmek için gerekli olan enerji miktarına sahip olmak zorundadır. Bu durgun kütlesi olmayan fotonlar için bile geçerlidir.”

Komisyoncu cebine uzandı ve hukuk belgelerini andıran birkaç kağıt çıkardı. “Koşullar kesin. Gerçek parçacıklar bunlara boyun eğdikleri sürece özgür ve herhangi bir enerji borcundan muaf olurlar. İstedikleri gibi dolanabilir, istedikleri uzaklıklara gidebilirler. Gelip gitmekte özgürdürler. ‘Yasaklanmamış şey zorunludur’ kuralını görmüşsündür,” dedi.

“Evet gördüm,” diye yanıtladı Alice, bilgisini dillendirmeye meraklı, “Heisenberg Bankası’nda gördüm. Ayrıca Müdür bana momentumu anlattı ve...”

“Bir kura! daha var,” diye devam etti Durum Komisyoncusu coş-

kuyla ve Alice'in yanıtını dinlemek için duraksamaksızın. "Yasaklanmış olanın tez elden yapılması daha doğrudur.' Sanal parçacıklar bu kurala uyar. Sanal parçacıklar genellikle kibar ve klasik cemiyette tartışılmaz. Ama dünyada oynadıkları çok önemli roller vardır. Sanal parçacıklar klasik yasaların düpedüz yasaktır dediği biçimlerde davranır."

"Nasıl olur?" dedi Alice biraz safça. "Bir şeye izin verilmiyorsa kuşkusuz hiçbir parçacık bunu yapma olanağı bulamaz."

Komisyoncu, Alice'i duyunca sorusunu yanıtladı. "Buna izin veren şey kuantum dalgalanmalarıdır," dedi. "Bankaya gittiğine göre parçacıkların kısa bir süre için enerji ödünç alabileceklerini hatırlarsın. Enerji miktarı yükseldikçe zaman kısalır. 'Zor olanı derhal yaparız, ama imkansız olanı yapmak biraz daha uzun zaman alır,' sözünü duymuşsundur. Doğrusu kuantum mekaniğinde imkansız olan biraz daha uzun zaman almaz, ama biraz daha kısa sürer. Sanal parçacıklar kısa dönemli bir serbest deneyde, kendilerinde bulunmayan enerjinin bütün avantajlarından yararlanabilir. Bu, momentum aktarma becerisini de içerir."

"Oldukça kısa bir serbest deney olmalı," dedi Alice düşünceli bir biçimde.

"Ah, evet öyle. Ama gördüğünüz gibi bu hiçbir şey için bir şey, bu yüzden bunu hepsi ister. Onları gördükten sonra sanal parçacıkları daha iyi anlayacaksınız."

"Ama göremem," diye sızlandı Alice. "Sorun da bu."

"Şu anda göremezsiniz," dedi Komisyoncu sert bir dille, "ama *sanal gerçeklik* başlığını taktıktan sonra görebilirsiniz." Gelmiş oldukları yönde yürüyerek hızla uzaklaştı. Alice, "Umarım onu gücendirmemişimdir," diye geçirdi içinden. Biraz sonra elinde kocaman ve bir hayli teknik görünen bir miğferle döndüğünde Alice rahatladı. Başlığın ön tarafını bütünüyle örten şeffaf bir güneşliği ve arkasında prize tutturulmuş uzun bir kablo vardı. Kablo Komisyoncu'nun geldiği yoldan gözden kaybolana kadar yılan gibi kıvrılıp gidiyordu. "İşte" de-

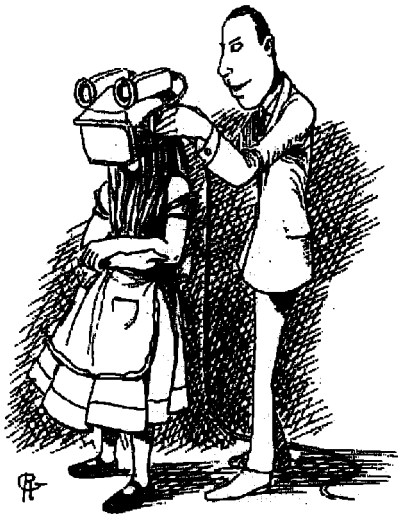
Kuantum kuramında parçacık kavramı klasik fizikteki kadar keskin değildir. Parçacıklar enerjiyi nicelik katsayıları gösterilmiş bir biçimde ayrı paketler içinde taşır ve aktarır. Çoğu durumda onları öteki parçacıklardan ayıran belirli kütleleri vardır ve elektrik yükü gibi öteki niceliklerden belirli miktarlarda taşıyabilirler. Fotonlar sıfır noktasında durgun kütleye sahiptir (bu kesin bir değerdir). Uzun süreli bir var oluşa sahip olan gerçek parçacıklar kütle, enerji ve momentum değerleri arasında katı ilişkilere sahiptir. Parçacıklar yaratılıp yok edilebildiklerinde ve çok geçici bir var oluşa sahip olduklarında bu tür katı kurallara boyun eğmezler. Enerjilerindeki kuantum dalgalanmaları da çok büyük olabilir. Bu özellikle öteki parçacıklar arasında etkileşim sağlamak için değiş tokuş edilen parçacıklar için geçerlidir. Bu tür parçacıkların bütün enerjisi bir kuantum dalgalanmasıdır. Tam anlamıyla yoktan var edilirler. Vakum tamamen boş değildir, ama bu, kısa ömürlü parçacıkların kaynayan kütlesidir.

di Komisyoncu, zafer kazanmışçasına: "Çağdaş teknolojinin bir harikası. Bunu tak ve sanal parçacıkların dünyasını tanı."

Başlık hakkında düşünmek Alice'in biraz canını sıktı. Kocaman ve çok karmaşık bir alete benziyordu. Hatta Alice için biraz uğursuz bir nesneydi. Bununla birlikte, eğer bu, sürekli sözü geçen sanal parçacıkları tanımasına yardımcı olacaktıysa, denemeye hazırdı. Başlığı kafasına taktı. Çok ağırdı. Komisyoncu başlığa uzandı ve Alice'in göremediği bir yerde, kafasının bir tarafında bazı düzenlemeler yaptı. Güneşlikten gelen görüntü parıldayan noktacıklarla bulutlandı ve....



Güneşlikten gelen görüntü berraklaştığında, baştan aşağı değişmişti. Alice yine de elektronları kendi çeşitli seviyelerinde görebiliyordu. Ama elektronlar şimdi yüksek bir bina içindeymiş gibi değil de, birini ötekine bağlayan parlak çizgilerin oluşturduğu bir yumak içinde görünüyordu; adeta koca bir örümceğin parlak ipliklerinden oluşan ağına yakalanmış sinekler gibi. Alice iplere daha dikkatli baktığında, fotonlardan oluştuğunu görebildi. Ne var ki bunlar daha önce akademide gördüğü fotonlardan tamamen farklıydı.



Daha önce gördüğü fotonlar çok hızlı hareket etmişlerdi, ama en azından hareketleri olağandı. Bir konumdan başlayıp kısa bir süre sonra yeni bir konuma geliyorlardı. Konumlarının kesin sınırları hiçbir zaman çizilmese de, ara dönemde iki konum arasındaki bütün noktalardan geçiyorlardı. Alice bundan farklı bir yolculuğu gerçekleştirmenin mümkün olabileceğini hiç düşünmemişti, ama bu sanal fotonlar bunu beceriyor gibiydi. Onlara bakarken hangi yönde hareket ettiklerini ya da gerçekten normal bir biçimde hareket edip etmediklerini anlamakta zorlandığını gördü. Ağ içinde bir fotonun davranışını temsil eden herhangi bir iplik aynı anda, görünüşte birinden ötekine normal bir biçimde hareket etmeden, birleştirdiği elektronların her iki noktasında da bulunuyor gibiydi. Bu bağ biraz sonra yavaşça kayboluyor ve büyük foton ağının başka yerlerinde bütün elektronların elektrik yükünü birleştiren başkaları ortaya çıkıyordu.

Oldukça tuhaf olsa da, bu gerçekten güzel manzaraydı. Bazı fotonlar bir konumdan ötekine, her iki olay arasında, tam anlamıyla hiçbir süre geçmesini gerektirmeden yolculuk etme sanatına erişmiş görünürken, sanal fotonlar akla gelebilecek her yönde hareket etmekteydi.

Alice bu tuhaf manzarayı ilgiyle izlerken, başlık kulağının dibinde vızıldadı, hemen ardından gürültülü bir “klank” sesi çıkardı. Önündeki görüntü titreşti ve başlığı takmadan önceki dünyevi haline döndü. Alice bu büyüleyici tabloyu yitirmenin öfkesiyle acı bir çığlık patlattı. “Üzgünüm,” dedi Komisyoncu, “korkarım mekanizmanın içine yerleştirilmiş bir zaman ayarlayıcı var. Anlıyorsunuz ya, madeni parayla çalışacak biçimde ayarlamıştım.”

Alice, hâlâ Komisyoncu'nun özrüne dikkat edemeyecek kadar az önce gördüğü manzaranın sarhoşluğu içindeydi. Ona neler gördüğünü anlatmaya çalıştı. Bu gizemli dünyada karşılaştığı herkes gibi Komisyoncu da hemen bitmez tükenmez bir açıklamaya girişti.

“Sanal parçacıkların yaptığı, ama gerçek parçacıkların yapamadığı şeylerin bir başka yönünden ibarettir bu. Birazcık engel delmeye benziyor. Bazı engel delme durumlarıyla herhalde karşılaşmışsınızdır.”

“Evet, bana da öyle söylendi,” dedi Alice dikkatlice. “Buraya ilk geldiğimde bir adamın kapıyı delerek geçtiğini gördüm. Adamın dalga işlevinin kapının içine ve öteki tarafa yayıldığı için bunu yapabildiğini söylemişlerdi. Bu sayede adamın kapının arkasından küçük de olsa bir gözlemlenebilme olasılığı oluyormuş.”

“Kesinlikle doğru! Dalga işlevinin o kısmı, arkadaşınızın gerçek bir klasik parçacığı durduracak o engeli delip geçmesine olanak tanıdı. Engeli geçmek için yeterince enerjisi yoktu, bu yüzden kapıyı delerken bir tür sanal ortam içindeydi. Bütünüyle gerçek olan çok az parçacık

Kuantum kuramında parçacıkların, klasik anlamda sürekli dalgalara atfedilen özellikler gösterdikleri bulgulanmıştır. Bunun yanında klasik kuvvet alanlarının parçacıklardan oluştuğu görülmüştür. Herhangi iki parçacık arasındaki elektrik etkileşimine, bunlar arasındaki foton alışverişi neden olmaktadır. Bu fotonların ömürleri kısadır, bu da onların zamandaki yerlerinin iyice sınırlanmış ve bu yüzden de enerjilerinin belirsiz olduğu anlamına gelir. Bunlar, enerji ve momentumları uzun ömürlü bir parçacık için normal olacak değerlerden sapmalar gösterebilen sanal parçacıklardır.

vardır, o da varsa! Parçacıkların hemen hemen hepsi, bazı sanal yönle-
re sahiptir, her ne kadar bazıları ötekilerden daha sanal olsa da. Biraz
önce izlediğiniz değiş tokuş fotonları neredeyse bütünüyle sanaldı.

“Onlardan kaçmayı çok uzun bir süre başaramasalar da sanal par-
çacıkların kurallara boyun eğmediği genel bir kuraldır. Bu onların as-
lında yapmak için yeterince enerjiye sahip olamadıkları şeyleri yap-
abilecekleri anlamına gelir. Örneğin az önce gördükleriniz gibi değiş
tokuş edilen bu sanal parçacıklar öteki parçacıklar arasındaki etkileşimi
üretirler. Gerçek bir klasik parçacığı durduracak engelleri delip
geçebilirler ve bu zaman bariyerinin kendisini de içerir. *Uzayımsı* bir
biçimde hareket edebilirler, oysa gerçek parçacıklar yalnızca *zaman-
sıdır*. Bu gerçek bir parçacık zaman değişirken aynı yerde durabilse
de, konumu değişirken aynı zamanda duramaz demektir. Sanal bir
parçacık her ikisini de yapabilir. İsterse zamanda yanlara doğru hare-
ket edebilir.”

“Gerçekten de çok garip,” dedi Alice. “Gerçek parçacıkların bunu
yapamamasına ve yalnızca geçmişten geleceğe hareket edebilmeleri-
ne hiç şaşırmadım.”

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

“Aslında bu pek de doğru değil,” dedi Komisyoncu özür dilercesi-
ne. “Sizin de düşündüğünüz gibi birçok parçacığın zamanda ileriye
doğru hareket ettiği kesinlikle doğru. Bununla birlikte birçok parça-
cık ara sıra birazcık sanallaşır, çarpışmalar sırasında örneğin; bu yüz-
den gerçek bir parçacığın geri hareketi olasıdır. Bir an sonra bakarsı-
nız saygılı ve itaatkar biçimde zaman da ilerliyor. Hemen sonra bakar-
sınız tepe taklak edilmiş ve geçmişe doğru geriliyor. Bunları söyle-
mem sizi şaşırtabilir, ama bu gerçek bir parçacığın davranış türüdür.”

“Fiiyuu!” diye ansızın cınladı Alice. Komisyoncu’yu titiz açıklama-
sının ortasında oldukça ürkütmüştü. “Bu mutlaka daha önce bana
olan şey. Parktan geçerken bana olanları hayal bile edemezdim, çev-

remde her şey tepetaklak olmuş gibiydi. Oysa şimdi anlıyorum ki, ne kelebekler geri geri gidiyordu, ne de ırmak yukarı akıyordu. Zaman da geriye doğru yolculuk eden bendim."

Alice Komisyoncu'ya olayla ilgili hatırlayabildiği her şeyi anlattı. O da Alice'in yorumuna katıldı. "Bana apaçık bir antiparçacık üretimi örneği gibi geliyor."

"Antiparçacık!" diye bağırdı Alice. "Bunun antiparçacıklarla bir ilişkisi olduğunu bilmiyordum. Onları Heisenberg Bankası'nda gördüğümü anımsıyorum. Ama anlamadığım, şimdiki durumla ne tür bir ilişkisi olabileceği."

"Bana her şey anlaşıldı gibi gelmişti," dedi Komisyoncu. Oysa Alice, çok az şey anlayabilmişti. "Yoksa bir parçacığın zaman içinde geri-lerken buna şahit olan birine bütünüyle tersi bir şey gibi, normal biçimde zamanda ileriye doğru hareket ediyormuş gibi göründüğünü görmüyor musunuz? Bir elektronu ele alın. Bunun negatif bir elektrik yükü vardır, bu yüzden geçmişten geleceğe normal biçimde hareket ederken kendi negatif yükünü geleceğe taşır. Öte yandan gelecekte geçmişe hareket ederse o zaman bu negatif yükü gelecekte geçmişe taşır. Bu da geçmişten geleceğe giden *pozitif* bir yük gibidir. Her iki durumda da gelecekteki toplam yükü daha fazla pozitifleştirir. Dışardan bakan birine bir pozitron ya da bir antielektron gibi görünür."

"Başına gelen şey, dünyanın geri kalanına, fazlasıyla yüksek enerjili bir fotonun kendi enerjisini bir Alice ve *anti-Alice* yaratacak şekilde salması olarak görünür. Anti-Alice bir Alice'le çarpışana kadar dolaşır durur ve her ikisi karşılıklı olarak birbirlerini yok ederler."

"Nasıl olur!" dedi Alice biraz somurarak. "Hem ben bu anti-Alice'in çarpışacak bir Alice'i nasıl bulabildiğini de anlamadım. Benden yalnızca bir tane var. Yok edilmediğime kalıbımı basarım," dedi meydan okuyarak.

"Ama benim size anlattıklarım *dünyanın geri kalanına* nasıl görüneceği konusundaydı. Sana nasıl görüneceği çok farklı, bütünüyle

farklı bir konu. Kuşkusuz yok oluş, senin için yaratılıştan önce gelir.”

“Burada ‘Kuşkusuz’ olan bir şey göremiyorum!” diye oldukça sert bir karşılık verdi Alice. “Bir şey yaratılmadan önce nasıl yok edilebilir!”

“Ama bu, sen zamanda geriye giderken nesnelerin aldığı doğal düzendir. Normalde, zamanda ileriye doğru hareket ederken yaratmanın, yok etmeden önce gelmesini beklersin, değil mi?”

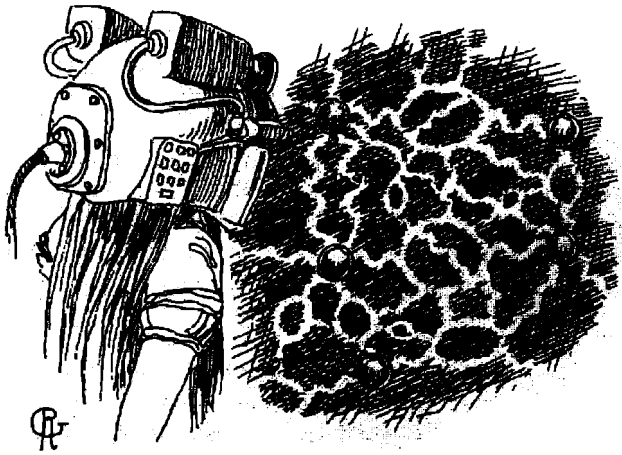
“Doğal olarak,” dedi Alice.

“Bu durumda zamanda geriye doğru hareket ederken, doğal olarak, kendi bakış noktandan, yaratılmanın yok etmeden sonra gelmesini beklersin. Zaten olayları tersinden yaşıyor olursun. Bunu kendi başınıza görmenizi beklerdim.

“Bu olayda sen Kuantum Mekanikçisi’yle sakın sakın yürürken ansızın anti-Alice’le çarpıştın. Sana eşlik eden Kuantum Mekanikçisi açısından bakıldığında, sen ve anti-Alice bütünüyle yok oldunuz ve sizin kütle enerjiniz yüksek enerji fotonlarınca taşınıp götürüldü.”

“Aman Tanrım. Zavallı Mekanikçi!” diye haykırdı Alice. “Mutlaka yok olduğumu düşünüyordur. İçini rahatlatmam gerek, kendisini nasıl bulabilirim?”

“Kaygılanmama pek gerek yok,” diye güvence verdi Komisyoncu. “Kuantum mekanikçisi anti-parçacık yok edilişini biliyor, bu yüzden senin yalnızca zamanda geri gittiğinin farkındadır. Kuşkusuz ne kadar geri gittiğine bağlı olarak, eninde sonunda bir yerlerde seninle çarpışmayı bekliyordur. Her neyse, yok ediş süreci seni bir anti-Alice’e dönüştürdü ve sen Alice’le birlikte bir yüksek enerji fotonu tarafından yeniden yaratılana kadar zamanda gerilemeye devam ettin. Bu dışarıdan bakan birine görünecek tablo. Sana da sanki ansızın zamanda geri geri hareket etmiyor da, her zamanki gibi ileriye doğru hareket etmeye başlamışsın gibi gelir. Buna neden olan fotonu göremezdin. Göremezdin, çünkü sen zamandaki geçiş yönünü değiştirir değiştirmez o yok oldu, bu yüzden de hem Alice hem de anti-Alice olarak onun asla ulaşamayacağı bir gelecek içindeydin.



“Görüyorsunuz, dışarıdan bakanlar bir süre için senden üç tane, iki Alice ve bir anti-Alice olduğunu söyleyecek olsa bile, aslında hep aynı kişiydin, yani *sendin*. Zamanda geri gittiğin için kuantum mekanikçisiyle birlikte yol alırken yaşadığın o aynı dönemi yaşıyordun. Eş yaratma süreci tarafından normal durumuna dönüştürüldüğünde, aynı dönemi üçüncü kez, artık zamanda ileri hareket ederek yaşadın.

“Yaşamının bu bölümü, bir tepenin yamacını zikzaklarla çıkan, önce doğruya doğru tırmanan, sonra ansızın tekrar doğruya dönmeden önce batıya doğru koşturan bir yola benziyor. Böyle bir tepeyi uygun bir kuzey yamacından tırmandığınızda, üç ayrı yolu geçtiğinizi düşünürsünüz. Ama aslında aynı yolu üç kez geçmektesinizdir. Anti-parçacık üretiminde de durum aynıdır. Anti-parçacık, yolun öteki tarafa giden bölümüdür.”

Tam bu sırada başlıktan baygın bir vızıltı geldi ve güneşliğin kenarında küçük bir yeşil ışık yandı. “Sanırım başlık başka bir gösteri için yeterince doldu,” dedi Komisyoncu. “Bu kez dikkatli bakarsan bazı ikinci derece etkileri anlarsın.”

Komisyoncu başlığın kenarını ayarladı ve gene görüntü bulutlandı ve....



Görüntü berraklaştı. Ortaya, foton çizgileri ağının her yeri kapladığı, her yeri birbirine bağladığı bir doğa görüntüsü çıktı. Alice belirli bir bölgeye daha dikkatli baktığında bazı parlak hatların kesik olduğunu gördü. Parlak bir foton çizgisinin ortasında bir tür ilmek vardı. Görebildiği kadarıyla foton burada, orta konumdayken bir elektron ve pozitrona, bir anti-elektrona dönüşüyordu. Bu ikisi neredeyse hemen tekrar birleşip bir foton çizgisi oluşturuyor, bu foton çizgisi de gerçek bir elektrona bağlanmak üzere harekete geçiyordu.

Alice daha da yakından baktığında, başka bir fotonu ilmek içindeki elektrondan baygın baygın çıkarken gördü. Bu fotonun yolunun bir kısmında, başka bir elektron-pozitron ilmeğinin belirsiz hatları seçilebiliyordu. Bunun içinden daha da zayıf fotonlar çıktı. Gerçekten yeterince yakından baktığında, ancak bunlarla birlikte olan zayıf elektron-pozitron ilmeklerini seçebilirdi. Birbirlerinden ayırabildiği kadarıyla fotonlar kapalı elektron-pozitron halkaları yaratıyordu. Elektron ya da pozitronlar da daha fazla elektron-pozitron çifti yaratan fotonlar salıyorlardı. Görünüşe göre, sonsuz bollukla sürüp gitti bu; ama her ileri karmaşıklık aşamasında giderek zayıflamıştı. Alice, bu görüntünün sonunu izleyebilme çabasıyla gözlerini zorlarken, başı iyiden iyiye dönmeye başladı. Sonunda gösteri bitti. Başlıktan gelen vızıltıyı ve 'klank' sesini duydu. Desenlerin hepsi gözlerinin önünden silinip gitti.

"Elektronların *foton* değişimiyle birbirlerine bağlandıklarını söylemiştin galiba," dedi Alice suçlayıcı bir ses tonuyla. "Sanal parçacıklar arasında elektronlar gördüğüme eminim. Aslında bunlardan bir dolu vardı."

"Ah, evet haklısınız. Asıl gerçek elektronlar elektrik alanının kaynakları olarak iş görür. Gerçi elektronlarca taşınan elektrik yüklerinin bu alanı var ettiğini söylemek daha doğrudur. Gerçekte fotonlar

elektrik yükünden başka bir şey taşımaz, ama böyle bir yükün olduğu her yerde onun çevresinde bulunan bir sanal foton bulutu görürsünüz. Başka bir yüklü parçacık yakınlaştığında bu fotonlar değiş tokuş edilmek ya da her iki parçacık arasında bir kuvvet üretmek üzere hazır bulunurlar. Değiş tokuş edilen parçacıkların değiş tokuş edilebilmeleri için yaratılmaları gerekir. Bu parçacıklar yakalandıktan sonra yok edilir. Kuşkusuz sayıları sabit kalmaz, bu yüzden boson olmak zorundadırlar.

“Fotonlar ile yük arasındaki bu ilişki iki yönde de işler. Yüklü parçacıklar foton ürettiği gibi, fotonlar da yüklü parçacıklar üretebilir, ama var olan elektrik yükü miktarı değişmeyeceğinden, yalnızca tek bir yüklü parçacık üretemezler. Bu da kurallardan biridir, hiçbir belirsizliğe de yer vermez. Bununla birlikte fotonlar aynı zamanda hem bir *elektron* hem de bir *anti-elektron*, yani pozitron üretebilirler. Biri negatif öteki pozitif yüke sahip olduğundan evrendeki *toplam* yük değişmemiştir. Bu sizin gördüğünüzdü. Sanal fotonlar sanal elektron-pozitron çiftleri üretir, bunlar da birbirlerini yok edip yeniden bir foton olmak üzere değişim geçirir. Öte yandan her ikisi de yüklü parçacık olduğundan, bu çift kısa ömürleri sırasında da daha fazla foton üretebilir; bu fotonlar da daha fazla elektron-pozitron çiftleri üretebilir ve bu böylece sürüp gider.”

“Aman Tanrım,” dedi Alice. “Gerçekten aşırı derecede karmaşık görünüyor. Bunun bir sonu yok mu?”

“Hayır, yok. İşlem böylece daha da karışıklaşarak sonsuza dek sü-

Yalnızca fotonlar değil, elektronlar gibi parçacıklar da yaratılabilir, ama bunlar tümel elektrik yükünde bir değişim olmaması için kendi anti-parçacıklarıyla birlikte üretilmek zorundadır. Böyle iki parçacığın durgun kütesini yaratmak için enerji gerekir, ama gereken enerji bir enerji dalgalanması olarak çok kısa bir süre için ortaya çıkabilir. Böyle bir dalgalanma başlangıçta hiçbir enerji bulunmasa bile ortaya çıkabilir ve böylece parçacıklar bütünüyle yoktan var edilebilir. “Boş uzay” aslında parçacık-antiparçacık çiftlerinin kaynayan mayalanma kazanıdır.

rer. Ama bir elektronun bir foton ya da fotonun bir elektron-pozitron çifti verme olasılığı oldukça azdır. Bu da büyüklükler karmaşıklaştıkça zayıflamaları ve en sonunda görülemeyecek kadar zayıf hale gelmeleri anlamına gelir. Bunu görmüş olmalısın."

"Pekâlâ," dedi biraz önce duyup gözlemlediklerini izlemeye çalışırken kafası fınl fınl dönen Alice. "Söyleyebileceğim tek şey bu tür bir şey görmediğimdir."

"Hiç de değil," dedi Komisyoncu. "Az önce gördüğün aslında başka her yerdeki Hiçbir şey gibi bir şey. Ama yine de buraya gelmeden önce Hiçbir şeyi görmüş olmana biraz şaşmadım değil."

"Öyle bir şey demediğime eminim," dedi Alice öfkeyle, "çok seyahat etmiş olabilirim, ama hâlâ gördüğüm şeyler var. Bunu bilmenizi isterim."

"Hiç kuşku yok," dedi Durum Komisyoncusu: "Buraya çok güzel bir yerden geldiğinize eminim, ama bilirsiniz, bir şey görmek daha kolaydır. 'Hiçbir şeyi' görmek ise çok daha zordur. Benim sanal gerçeklik başlığım olmadan bunu nasıl yapabilirdiniz, anlamış değilim."

"Bir dakika," diyerek araya girdi Alice, farklı şeylerden söz ettiklerinden kuşkulananarak, "lütfen bana Hiçbir şey'le ne demek istediğinizi anlatır mısınız?"

"Ah tabii! Hiçbir şey, herhangi bir gerçek parçacığın bütünüyle yokluğu demektir. Bilirsin: Basınç, boşluk, her şeyin unutuluşunu nasıl adlandırmak istediğin sana kalmış."

Alice bu negatif kavramın büyüklüğünden bir hayli ürkmüştü. "Bu, sizin başlıktan başka türlü görünür mü? Nasıl bakarsanız bakın Hiçbir şey hiçbir şey gibi görünür, diye düşünürdüm."

"Tabii, farklı olur. Boşluk, belki de en iyi çevreleyici alan değil, ama bir dolu gizli eylemlilik vardır. Gelip kendiniz görün."

Komisyoncu hızlı adımlarla yola koyuldu ve Alice bürosunun zeminini boyunca onu izledi. Bir büronun ya da herhangi bir binanın içinde olduklarına inanması gittikçe zorlaşıyordu. Binanın içi alabildiğin-

ce genişliyor gibiydi. Alice miğferin arkasından uzanan kablonun ağırlığı altında ezilirken, bir süre yürüdüler. “Bu bağlantı ne kadar uzundur acaba?” diye düşündü Alice. “Eminim yakında sonuna ulaşırım.”

Elektronik durumları izlemiş olduğu periyodik konaklar şimdiden gözden kaybolmuştu. Hâlâ yürüyorlardı. Alice tam bir mola isteyeceken önlerinde bir gölün ya da son derece durgun bir derenin kıyısını andıran bir şey belirdi. Daha yakına geldiklerinde bunun çok büyük bir göl olduğunu gördü, eğer göl denebilirse tabii. Görebildiği kadarıyla önlerinde sonsuz genişlikteymiş gibi uzanıyordu. Ama eğer bir deniz idiyse, Alice’in o güne kadar gördüğü en garip deniz manzarasıydı bu. Yüzeye yakın, zar zor görünen bir titreşim dışında bütünüyle durgun ve tam anlamıyla sabitti. Mavi, yeşil, eflatun ya da o güne kadar Alice’in suyu betimlemekte kullanıldığını işittiği hiçbir renkte değildi. Bütünüyle renksizdi. Derin, açık ama yıldızsız bir gece gibiydi.

“Bu da nesi?” diye yutkundu Alice, manzaranın gözleri boğan boşluğu altında ezilerek.

“Hiçbir şey” dedi Komisyoncu. “Hiçbir şey. Hiçlik.”

“Şimdi gelin,” diye devam etti. “Başlığı çalıştırdığımda hiçlikteki eylemliliği görebilirsiniz.”

Miğfere bir daha uzandı ve daha önce her ne yaptıysa aynısını yaptı. Alice’in görüntüsü, hiçlik görüntüsü altında bulutlandı....



Görüntü berraklaşınca başlıktan en son gördüğüne çok benzeyen bir manzara çıktı ortaya. Bir kez daha, ışıldayan iplikler ağı göründü. Ama bu kez daha önce ağa yakalanmış gibi görünen, ama aslında onun kaynağı olan gerçek elektronlarda son bulmuyordu iplikler. Şimdi ortalıkta gerçek parçacıklar yoktu, yalnızca sanal parçacıklar vardı. Fotonlar, elektron-pozitron çiftleri ürettiyordu. Elektron ve pozitronlar da tıpkı daha önce gördüğü gibi daha çok sayıda foton ürettiyordu. Ağ, daha önce onun gerçek parçacıklar dünyasında kaynağı

ve dayanağı olan gerçek elektronlardan çıkıyordu. Peki, şimdi kaynağı neredeydi? Elektron-pozitron çiftleri fotonlarca üretiliyordu; fotonlarsa yine fotonlarca üretilen elektron-pozitron çiftlerince üretiliyordu. Alice parçacık hatlarını izleyip kaynaklarını bulmaya çalıştı, ama gerçekte halkalar halinde dolandıklarını gördü. Yine o tanıdık vızıltı ve klank sesini duyduğunda elindeki ipi yitirdiğini düşünüp hatları daha dikkatli izlemeye çabalıyordu; sonra bütün manzara kayboldu.

Alice bir kez daha Komisyoncu'ya neler gördüğünü açıkladı ve hangi parçacıkların hangilerini yarattığına karar vermekte nasıl zorlandığını anlattı. "Buna şaşırmadım," dedi Komisyoncu, "biliyorsunuz hepsi birbirini yaratıyor. Tavuk ve yumurta hikayesi yani; hepsi aynı anda yumurtlayıp yumurtadan çıkar."

"Bu nasıl olur?" dedi Alice. "Bir kaynak olmalı. Hiçbir yerden gelmemiş olamazlar."

"Korkarım yapabilirler. Yapıyorlar da," oldu yanıt. "Normalde, parçacık-antiparçacık üretimini engelleyen tek şey parçacığın durgun kütlesi için enerji sağlama zorunluluğudur. Ama sanal parçacıkları bu bile durduramaz. Bütün olay koca bir kuantum dalgalanmasıdır."

"O zaman bu gerçek mi?" diye sordu Alice. "Bütün bu parçacıklar gerçekten orada mı?"

"Ah, evet, teknik anlamda *gerçek parçacıklar* olmasa da, bir hayli gerçekler. Onlar da herhangi başka bir şey kadar dünyanın çok önemli bir parçası. Öte yandan sanırım artık başlıktan görmem gereken her şeyi gördün," diye devam etti ve ağır aygıtı Alice'in kafasından çıkardı. "Artık buna ihtiyacımız olmayacak, kablo sarma mekanizmasını çalıştırayım." Kenarındaki bir düğmeye basınca, başlık kablo-nun etrafına dolanmaya başladı; tıpkı toprakta hızla gerisingeriye seğirtip gözden kaybolan mekanik bir örümcek gibi. Başlık gitmiş olsa da Alice'in aklı hâlâ gördüğü ilginç görüntülerle dopdoluydu ve sonsuz boşluğun kıyısı boyunca Durum Komisyoncusu yanında sessizce yürürken kafasında bunları tekrar tekrar canlandırırdı.

1. Atomlar içinde elektronlar için izin verilen durumlar, geniş aralıklı enerji seviyelerine sahiptir ve elektronlar yalnızca bu seviyeleri işgal edebilir. Bir elektron başka bir (boş) duruma geçerse, yalnızca bu durumlardan birinden aktarım yapabilir ve bunu yaparken, enerjisi iki seviye arasındaki enerjiye bağlı olarak belirli miktarda değişir. Normal ya da *temel* durumdaki bir atomun, bir örnek biçimde elektronlarla doldurulmuşken, düşük enerji seviyeleri de vardır. Bir elektron başlangıç konumunda uyarıldığında, kendini daha yüksek enerji seviyelerinden birinde bulur ya da atomu bütünüyle terk eder.

Daha yüksek bir seviyeye uyarılmış bir elektron, boş bir durum var olduğunda, daha düşük bir enerji seviyesine düşebilir. Elektron daha düşük bir enerji seviyesine geçtiğinden, kendisini artı enerjiden kurtarmak zorundadır ve bunu bir foton salarak yapar. Atomların ışık saçmasının nedeni budur. Elektronlar hep atom içindeki belirli durumları aldığından, yayılan herhangi bir foton, elektronun ilk ve son durumlarında sahip olduğu enerjilerin farkına denk bir enerji barındırabilir. Bu birçok olasılık ortaya çıkarır, ama yine de bir fotonun sahip olabileceği enerji üzerine sınırlamalar koyar. Foton enerjisi ışığın frekansı, dolayısıyla da rengiyle orantılıdır, bu yüzden bir atomun ürettiği ışığın tayfı belirli frekanslara sahip bir renkli "çizgiler" takımından oluşur. Belirli bir tür atomun tayfı bütünüyle ayıracıdır.

Klasik fizik bu tayflara bir açıklama getiremez.

2. Sanal parçacıkların ayırıcı bir belirsizliği vardır; hem zamanda hem de enerjide... Belirsizlik kendini enerji dalgalanmaları şeklin-

de gösterir. Parçacıklar, dalgalanmalar içinde, sanki olmaları gere-
kenden daha fazla (ya da daha az) enerjiye sahipmiş gibi davranır-
lar. Aynı biçimde bu, zaman içindeki bir belirsizlik gibi de görüne-
bilir. Bir kuantum sisteminde parçacıklar aynı anda iki yerde bu-
lunabilir (ya da en azından böyle büyüklüklere sahiptir) gibi görü-
nüyor.

Parçacıklar zamanı bile tersine çevirebilir. Fizikçi Richard Feyn-
man anti-parçacıkları “zamanda geriye doğru yolculuk eden par-
çacıklar”* olarak açıklar. Bu anti-parçacıkların niteliklerinin, par-
çacıklarının nasıl tersi olduğunu açıklıyor: Zamanda geriye
doğru taşınan bir negatif elektrik yükü zamanda ileriye doğru ha-
reket eden bir pozitif yüke eşittir. Her iki durumda da gelecekte-
ki pozitif yük artar ve zamanda geriye doğru hareket eden bir ne-
gatif yüklü elektron onun anti-parçacığı olan bir pozitif yüklü po-
zitron olarak görülür.

Bütün parçacıklar, aslında farklı biçimde hareket eden aynı parça-
cık olduklarından, bekleneneği üzere, kendi anti-parçacıklarına
sahiptirler.

* Richard Feynman, *The Strange Theory of Light and Matter*, Penguin, New York

Başlık 14 Atomlar

Alice, Durum Komisyoncusu'yla birlikte Boşluk'un kıyısı boyunca yürüdü. Bir yandan da, dikkat çekmeden doğup ölen sanal parçacıkların hareketleriyle sürekli kaynayan titrek ince yüzeye bakınıyordu. Kıyının biraz ilerisinde yüzeyde bir rahatsızlık, genel üniform seviyede bir tür çöküntü gördü. Daha da ötede başka kuyular gördü ve bunların çoğu gruplar halinde kümelenmişti. Gruplardan bazıları yalnızca birkaç dairesel nesne içermektedir. Öteki kümeler çok daha geniştir. Alice bir grubun bir daire içinde düzenlenmiş altı nesneden oluşan bir halka içerdiği ve çevresine başkalarının bağlı bulunduğunu gördü. Uzakta yüzeye yayılmış kocaman kümelenmeler görebiliyordu. En büyüğü, bu dairesel nesneler her neyse, onlardan yüzlerce ni içeriyordu.

Alice izlerken önünde uzanan biçimlerin birinden ya da ötekinden aralıksız çıkıp yükselen fotonlar gördü. Bu parlak renkli fotonlar tıpkı denizde gemilerden ateşlenen fişekler gibiydiler.

Komisyoncu Alice'in bakışlarının yönünü izledi. "Atomları Vakum içinde yüzerken izlediğini görüyorum. Atomlar elektron durumu meşalesinde, şu ya da bu şekilde, başımıza en çok iş çıkaranlardır. Buradan, kendi aralarında kurmuş oldukları çeşitli moleküler aralıkları görebilirsin. Bunlar iki atomlu aralıklardan kocaman organik birikintilere kadar uzanır. Farklı olan her atom kendi salgıladığı fotonlar için kendi ayırıcı renk tayfına sahiptir. Bu nedenle fotonlar farklı atom türlerini belirlemeye yardımcı olan işaretler olarak iş görürler."

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

“Orada olan bütün bu şeyleri merak ediyordum,” dedi Alice içtenlikle. “Buradan açıkça göremiyorum. Yakından görme olanağımız var mı?”

“Atomlara yakından bakmak istiyorsan Mendeleev Palamarlarına gitmemiz gerek. Orada her tür atomu, düzenli bir sırayla yerleştirilmiş bütün öteki farklı elemetlerle birlikte sergilenirken görebilirsin.”

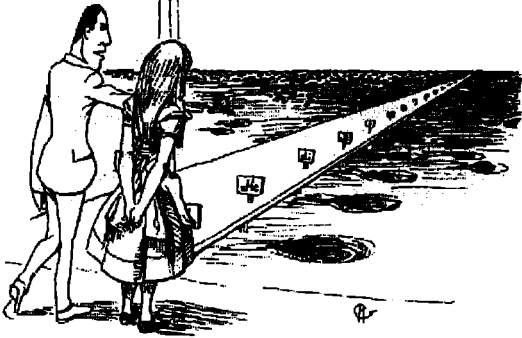
Komisyoncu Alice’i kıyı boyunca, gözlerine Boşluk’u baştan başa dolanan son derece uzun dar bir dalgakıran ilişene kadar götürdü. Kıyı sonunda kemerli bir kapı vardı ve bunun tepesinde şunlar yazılıydı:

PERİYODİK İSKELE
prop. D. I. Mendeleev.
Kuruluş 1869.

“İşte buradasın” diye bildirdi Komisyoncu. “Burası atomların farklı kimyasal bileşimler kurmak üzere yola çıkmadan önce bağlı oldukları rıhtımdır. Buraya genellikle ‘Mendeleev Yat Limanı’ ya da ‘Atomik İskele’ deriz. İnsanlar burayı bazen ‘Evren Koyu’ diye adlandırır. Burada her türden farklı atomu temsil edilirken görebilirsiniz.”

Birlikte işaretin altından geçtiler ve dalgakıranın üstüne çıktılar. Demirleme yerleri boyunca ağır ağır yürüdüler. Bu arada da Alice, bir tarafa sırayla bağlanmış uzun atom dizilerine bakıyordu. Her biri, Boşluk’u saran düz yüzeyde trampet biçimli çukurlara benziyordu. Bu biçim, tıpkı, küvet boşaltıldığında tahliye deliği üzerinde görülen küçük girdaba benziyordu. Ama Alice’in şimdi gördükleri pek durağandı ve gözle görülür bir devinim yoktu. Çevreyi saran kaypak hiçlik yüzeyi, her çukura onu baştan başa saran sabit düz seviyeden bükülerek iniyordu. İlk önce hemen hemen ayırdına varılamayacak bir eğimle inerken, merkeze doğru gidince çok daha dikleşiyordu. Çukurun derinlerinde bir yerlerde gerçekleşen eylemliliğin belirtileri vardı.

“Neden böyle derin bir boşluk var?” diye sordu Alice merakla,



"Hiçlik'e baktığımızdan, onun düz ve özelliiksiz olmasını beklerdim," dedi.

"Bu potansiyel bir kuyu," oldu yanıt.

"Ne biçim bir kuyu bu?" diye devam etti Alice merakla. "Su sağlayan bahçe kuyularını, petrol kuyularını biliyorum ve son zamanlarda okuduğum bir kitapta pekmez kuyusu diye bir şey duyduğumu da anımsıyorum, ama bir *potansiyel* kuyudan ne elde edilir ki?"

"Potansiyelin kaynağı tabii. Bahçe kuyusundan su çıkarmanız için öncelikle, kyunun altında bir kaynak olması gerekir. İşte burada potansiyel kuyudaki elektrik potansiyeli kaynağı olarak bir elektrik yükü bulunuyor. Şimdiye kadar kuyuda ne olduğunu biliyor olmanız gerekirdi. İçinde sanal fotonlar var. Sanal fotonlar elektriksel çekim yaratır. Elektriksel çekim de negatif bir yükün potansiyel enerjisinin, negatif yük atomun merkezindeki potansiyel kaynağa doğru hareket ederken, çevresini saran vakum seviyelerinin çok çok aşağılara düşmesine yol açar. Aslında gördüğün gibi potansiyel kaynak kuyuyu yaratıyor."

İlk çukur epey sığdı, ama Alice ötekilerin iskele boyunca uzaklaştıkça sırayla daha derinleştiklerini gördü. Dalgakıran Alice'in önünde birbirini ardına atomlarla demirlenmiş olarak uzaklaşıp gidiyordu. Her birinin yanında demirlemeyi gösteren bir ilan yazılıydı. Bunlardan ilkinde ${}_1\text{H}$ yazılıydı, ikincisinde ${}_2\text{He}$, üçüncüsünde ${}_3\text{Li}$. Her konumun

kendi etiketi vardı. “Eninde sonunda bu atomların hepsi boşluğun yüzeyindekiler gibi birleşip gruplar oluşturmak üzere yola çıkacak mı?” diye sordu Alice.

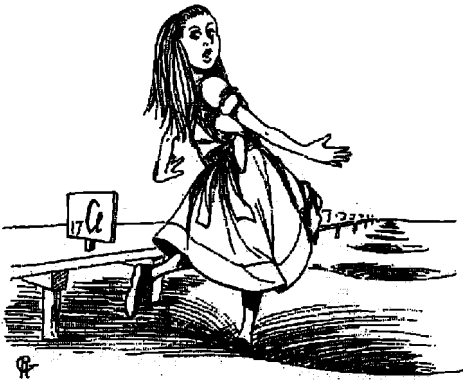
“Kuşkusuz çoğu yapacak, ama örneğin şu açıktaki gördüğüne benzer bazıları yapmayacak.”

^{10}Ne yazılı bir atomun yanında durdular. “Bu Soy Gaz elementinden bir atom. Bunlar biraz soyludur. Yani herhangi bir alışverişe girmeyi reddederler. Kendi başlarına dururlar. Kendilerinden bütünüyle hoşnutturlar ve hiç kimseyle birleşmezler. Her zaman şurda burda görkemli bir yalnızlıkla dolanırlar. Herhangi bir bileşimde rol aldıklarını asla göremezsin.”

İleri doğru yürümeyi sürdürürken Komisyoncu, ayrıık Soy atomların dışında bile, farklı atomların bir araya gelip bileşimler oluşturmadaki coşkuda önemli değişiklikler olduğunu açıkladı. “Örneğin şu özellikle ilginç bir aktif sorun,” dedi Komisyoncu, ^{17}Cl yazılı bir tabelaya geldiklerinde.

Alice, artık bu atomlardan birini daha yakından inceleme zamanının geldiğini düşünerek bir ayağını dalgakıranın kenarından sarkıttı. Batmadığını görünce sevindi. Ayağı yüzeydeki küçük bir çukurluk üzerinde durdu, tıpkı daha önce gördüğü havuzda paten yapan haşaratlar gibi. Bununla birlikte atoma doğru yürümeyi denediğinde boşlukta sürtünmenin olmadığını gördü. Yüzey *alabildiğine* kaygandı ve ayakta durmakta zorlanıyordu. Gitgide dikleşen yamaçtan kaydı ve

Elektronların atom içinde alabileceği durumlar, birbirlerinden önemli enerji aralıklarıyla ayrılan bir seviyeler takımına kümelene eğilimindedir. Bir atom, en dış yerleşim seviyesini tutabileceği elektronların, tümüyle doldurmuşsa, o zaman herhangi bir fazladan elektron eklendiğinde daha yüksek bir enerji durumuna gitmek zorunda kalır. Genellikle asıl atomik durumunda kaldığı sürece bundan daha düşük bir enerjiye sahip olur. Dış kabukları bütünüyle elektronlarca doldurulan bu tür atomlar soy gazları oluşturur. Soy gazlar hiçbir şeyle doğal bir kimyasal etkileşime girmez.



küçük bir çığlıkla derin çukura düştü.

Alice düşerken çevresine bakmak için bolca zamanının olduğunu gördü. Üzerine kapanırken kuyunun duvarları daha da dikleşiyordu ve az sonra düşük, dar aralıklı tavanları olan bir odalar dizisinin hayaletimsi hatlannın arasından düştüğünü gözlemledi. İlk birkaç oda gerçekten çok alçaktı, bir bebek evi için bile yüksekliği azdı, ama düşerken odalar gittikçe yükseliyordu. Başlangıçta hepsi bütünüyle boş ve terk edilmişti, ama sonra içinde bir masa ve onun çevresinde sandalyelerin bulunduğu bir odaya geldi. Alt katta sıralar ve dosya rafları görebiliyordu, sanki bir tür bürodan geçiyordu.

Alice hâlâ düşüyor olmasına hayret etti. Dibe vardığına ilişkin bir belirti yoktu. Aşağı, aşağı, aşağı: Bu düşüş *asla* sona ermeyecek miydi yoksa?

Bir atom, çekirdeğindeki pozitif yükün yarattığı elektrik alanı içinde bulunur. Bu yük çekirdeğin çevresinde bir *potansiyel kuyu* oluşturur, bu da karşılığında elektronların işgal edeceği durumları belirler. Var olan durumların seçimi girişim etkisinin bir biçimidir; bir orgdan ya da keman telinden elde edebileceğiniz nota genişliğine benzer. Org yalnızca bir nota çıkarabilir ve bunun için ses dalgalarının dalgaboyu orga uyar. Benzer bir biçimde izin verilen elektron durumları potansiyel kuyunun içine uyar. İzinli durumlar kümelenerek ayrı enerji seviyeleri oluşturur. Bu durumlardan birine karşılık gelmeyen başka herhangi bir dalga işlevi, yok edici girişim tarafından ortadan kaldırılır.

Alice, zaman geçtikçe düşüşünün sona ermeyeceğini anlamaya başladı. Deliğin dibine ulaşmamıştı, ama artık düşmüyordu da. Gölge odaların biriyle aynı hizadaki bacanın ortasında desteksiz duruyordu. Çevresindekiler hummalı bir uğraş içindeydi. Onların etrafında son derece minik ve tıka basa dolu bir büronun belirsiz hatlarını ayımsayabildi. “Affedersiniz,” diye seslendi: “Bir saniye durup bana nerede olduğumu söyleyebilir misiniz?”

“Yer yok, yer yok!” diye bağırdılar.

“Pardon! Ne buyurdunuz?” diye haykırdı Alice. Bu yanıt kendisine pek yerinde görünmemişti.

“Değil *durmak*, yavaşlamak için bile yeterince yer yok,” diye yanıtladılar. “Bildiğin gibi bir parçacığın kapladığı alan sınırlandırıldığında Heisenberg ilişkisi onun momentumunu büyütür. Burası da o kadar dolu ki, durmaksızın hareket etmekten başka yapabileceğimiz bir şey yok. Daha yüksek seviyedekilerin sahip olduğu kadar yerimiz olsaydı daha tembelce hareket edebilirdik, ama burada değil. Burası gördüğün gibi en alt seviye, bu yüzden meşgul tutulmayı beklemelisin.”

“Gerçekten mi?” diye sordu Alice. “Bu kadar önemli olan ne yapıyorsunuz?”

“Özel bir şey değil. Hareket ettiğimiz sürece kimse temel durumdaki elektronların *ne* yaptığıyla ilgilenmez.”

“Öyleyse *durmaksızın*, bana nerede olduğumu anlatabilir misiniz?” diye sordu Alice. “Nereye geldiğimi bilmiyorum. Kuyunun daha derinlerine düşmemizi engelleyen nedir?”

“Sana söylediğimiz gibi, şu anda bir klor atomunun en alt seviyesindesin. Burada potansiyel kaynağa olan yakınlığımız çok az boşluk olmasına yol açıyor, bu yüzden momentumumuz yüksek, çok hızlı hareket etmek zorundayız. Bu, kinetik enerjimizin yüksek olduğu anlamına gelir. Hiçbirimiz, gördüğün gibi özellikle bir sanal durumda değiliz. Elektronların atom içinde güvenli ve çok iyi ayrıcalıklı konumları vardır. Birçok atom uzun zamandan beri var olduklarından

kuantum enerjisi dalgalanmaları küçüktür, bu yüzden biz elektronlar için enerji ve momentum ilişkisi oldukça düzenlidir.

“Herhalde biliyorsundur: Bir elektron ya da başka bir şey, bir potansiyele düştükçe, potansiyel enerjisini yitirir ve bu kinetik enerjiye dönüştürülür,” diye devam ettiler.

“Evet, bu bana Heisenberg Bankası’na gittiğimde açıklanmıştı,” diye onayladı Alice.

“Bununla birlikte bu potansiyel kuyuda merkeze yaklaştığımızda boş yerler azalır. Bu yüzden kinetik enerjiye olan gereksinimimiz artar. Düşmememizin nedeni işte bu. Aslında, paradoksal bir biçimde, daha fazla düşmemize yetecek enerjimiz de yok ve bu enerjiye çok uzun bir süre gereksinim duyacağımızdan bunu bir kuantum dalgalanması olarak borçlanamayız.

“Bu seviyede yalnızca iki durum var. Bu nedenle iki elektrona yer var: biri yukarı biri aşağı spinli. Daha yüksek enerji seviyelerine çıktıkça durumlar da artar, bu yüzden, yukardaki seviyelerde daha fazla elektron bulursun. En üstteki iki seviye her seviyede sekize kadar



elektron bulundurabilir. Herhangi bir atomda, en alt potansiyel enerjiye sahip en alttaki seviyeler, ilk dolanlardır. Pauli ilkesi her durum için yalnızca bir elektrona izin verir, dolayısıyla bir seviyedeki bütün durumlar birer elektrona sahip olduklarında, fazla olan herhangi bir elektronun daha yüksek seviyelere çıkmaktan başka çaresi yoktur. Seviyeler, bütün elektronlar yerleştirilinceye kadar, dipten doldurulur. Her elektronu içeren en üstteki seviyeye değerlik seviyesi denir. Burası değerlik elektronlarının yaşadığı yer –her ne kadar çatı katında daha yerleşilmemiş birçok durum varsa da. Değerlik elektronları bütün kararları alırlar ve atomumuzun katılabileceği bileşimleri denetlerler. Bir atomun nasıl işlediğini anlamak istiyorsan bunun en iyi yolu yukarı çıkıp onlarla konuşman.”

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

“Buradan o seviyeye nasıl çıkabilirim?” diye sordu Alice.

“Aslına bakarsan, bir elektron olsaydın, gereksineceğin artı enerjiyi sağlayacak bir foton gelip seni daha yüksek bir seviyeye dürtene kadar burada durup beklemen gerekirdi. Ama senin durumunda Merdiven Görevlisi tarafından yukarı taşınabileceğini sanıyorum.”

“Asansör Görevlisi demek istiyorsunuz herhalde,” diye sorguladı Alice. “Büyük bir mağazada gördüğüm bir asansörde insanları kattan kata götüren bir görevli vardı, ama böyle birini gereksinen bir merdiven hiç duymadım.”

Öte yandan çevresine bakındığında geniş aralıklı basamakları olan bir tür merdiven gördü. Hemen yanı başında oldukça belirsiz bir kişi duruyordu. “Kim olduğunuzu öğrenebilir miyim?” diye merakla sordu Alice.

“Ben merdiven görevlisiyim. Fiziksel bir yaratık değil, yalnızca matematiksel bir yapıntıyım. Görevim bir sistemi bir durumdan daha aşağı ya da daha yukarı bir duruma dönüştürmektir.” Görevli Alice’in hiç anlamadığı bazı karmaşık işlemler yaptı, ama bunlar Alice’in daha

yüksek seviyeye basamak basamak taşınmasıyla sonuçlandı.

Alice belli bir süre sonra büyük yuvarlak masayı gördüğü seviyeye vardı. Bu seviye ilkinden daha çok elektron içeriyordu. Zorlamasına karşın sekizini de saymayı başardı. Şimdiye kadar gördüğü elektronlar da olduğu gibi, bunlar da enerjik bir biçimde hareket ediyordu. Kimisi masanın çevresinde hale oluşturmuş kimisi şu, kimisi bu yöne koşturuyordu. Ötekiler besbelli dönmüyorlardı, ama yine de hareket halindeydiler. Hiçbiri masanın çevresindeki sandalyelerde sessizce oturmuyordu, ama aşağı yukarı sıçıyorlardı ve bazıları masaya basıp duruyordu. Elektronlar durgun değildi, ama bu seviyede en alt seviyedekiler gibi delice hareket etmiyorlardı.

“Merhaba Alice,” diye seslendiler Alice görününce. “Gel sana güvenilir orta boy bir atom nasıl işler onu anlatalım. Klor şirketinin işleyişi değerlik seviyesindeki biz yedi elektron tarafından kararlaştırılır.”

“Ama sizden sekiz tane var,” diye çıkıştı Alice.

“Bunun nedeni bir başka atomla, Sodyum Sendikası’yla, bir sodyum klorid molekülü oluşturmak için bir ortaklığa girmiş olmamızdır. Böyle çalışarak Dünyanın Tuzu olduğumuzu düşünmek hoşumuza gidiyor. Bir atom bütün seviyeleri tutabileceği tüm elektronlar olduğunda daha uyumlu işler. Değerlik seviyesinde bizden yedi elektron var ve sodyumdan sekiz taneye yer olmasına karşın yalnızca bir tane var. Sodyum değerlik elektronunun gelip bizim değerlik seviyemizde oturması her ikimize de yarar sağlar ve bize tam bir idare heyeti sağlar. Kuşkusuz bu fazladan bir elektrona ve negatif bir yüke sahip olduğumuz anlamına geliyor. Sodyum atomunun normalden az bir elektronu var. Bu da onlara pozitif yük verir ve bu karşıt yükler arasındaki elektrik gücü iki atomu bir arada tutar. Bu, atomlar arasındaki *iyonik bağ* diye bilinir ve en sık rastlanan bileşik yapı biçimidir.”

“Kusursuz bir işbirliği gibi görünüyor,” diye zarifçe onayladı Alice. “O zaman hanginiz sodyum atomundan gelen elektron bakalım?” diye sordu.

“Benim,” dedi hepsi birden. Bir an durup birbirlerine baktılar. “Hayır, işte o,” dediler yine hep bir ağızdan. Alice birbirinin aynı olan elektronları ayırmak için soru sormanın bütünüyle anlamsız olduğunu anladı.

“Bana açıkla mısınız, lütfen, neden sodyum atomunun elektronlarından birini yitirdikten sonra pozitif yüke sahip olduğunu söylediğiniz?” diye sordu. “Kuşkusuz hâlâ sodyum atomunun geriye birkaç elektronu kalmıştır, onlar da herhalde negatif yüke sahiptir.”

“Çok doğru, hepimiz aynı olduğumuz gibi, yaptıklarımız da aynı miktarda negatif yüke sahiptir. Normalde bu yük bir atomda çekirdek tarafından taşınan aynı miktardaki bir pozitif yükü dengelenir ve nötrlenir. Atomlar normalde nötrdür ve her iki taraftan da net bir elektrik yükü taşımaz. Bu nedenle bir atom olağandan bir fazla elektrona sahip olduğunda negatif olarak yüklenir. Bu *negatif iyon* olarak bilinir. Normalden bir az elektrona sahipse çekirdekteki pozitif yük baskınlaşır ve atom bir *pozitif iyon* durumuna dönüşür.” .

“Anlıyorum,” dedi Alice düşünceli bir biçimde. “Peki, bu söz ettiğiniz çekirdek de neyin nesi?”

“Her atomda bir tane bulunur,” oldu geçiştirici yanıt, “ama hakkında çok şey bilmek istemezsin. Gerçekten istemezsin,” diye sinirli sinirli ekledi.

Konuşmaları tam bu sırada, aşağılardan başlayarak, değerlik seviyesinin çok yakınından geçip yukarlarda bir yerde son bulan cılız bir çılgılla kesildi. Alice yukarı baktı, buna bir foton tarafından aşağıdaki seviyelerin birindeki konumundan kurtulup şimdi yukardaki boş seviyelerden birinde huzursuz bir biçimde uzaklara bakınan bir elektronun neden olduğunu gördü. Elektron en sonunda kısa bir çılgılla bir alttaki seviyeye düşene dek yukardaki geniş seviyede yavaş hareketlerle dolanıp durdu. Bir foton düşüşten kaynaklanan enerjiyi kaptığı gibi soluğu atomun dışında aldı. Alice, elektron bir seviyeden ötekine bir foton salarak düşerken ilgiyle izledi. Daha alttaki enerji seviye-

leri yukarıdakilerden daha geniş aralıklarla birbirlerinden ayrıldıklarından, her düşüş bir öncekinden daha uzağa yöneliyor ve bu yüzden yaratılan fotonlar da her ardışık düşüşten doğan daha yüksek bir enerjiye sahip oluyordu. Enerjileri arttıkça ışığın rengi her tayfin mavi ucuna doğru daha fazla yöneliyordu.

Aşağı baktığında, Alice alttaki seviyede uyarılan elektronun bıraktığı boşluğun dolduğunu ve değerlik seviyesindeki bir arkadaşının kaybolduğunu gördü. Çok geçmeden yukarıdan inen elektron değerlik seviyesine düşmüş ve boş yeri doldurmuştu bile. Atom şimdi ilk durumuna dönmüştü. İki elektron seviye değiştirmiş oldu. Ama aynı olduklarından görüntüde hiçbir farklılık meydana gelmedi.

Bölüm sonundaki 3. nota bakınız

Salgıladığım fotonların tüm farklı renklerini görmüşsünüzdür,” dedi gururla elektronlardan biri. Bu söz, konuşanın demin düşen elektron olduğunun bir göstergesiydi, ama Alice bu tuzağa düşmeyecek kadar elektron aynılığının farkındaydı. “Bildiğin gibi bu atomların ışık saçma yoludur; yani elektronların bir seviyeden ötekine geçme sürecinde. Bütün fotonlar farklı enerjilere, dolayısıyla da farklı renklere sahipti, çünkü bütün seviyeler farklı uzaklıklarla birbirinden ayrılır. Kuyunun tepesinde çok dar aralıklıdırlar, ama aşağıya indikçe genişlerler. Bu seviye aralıkları farklı türde atomlarda farklı olur, bu yüzden foton enerjileri dizisi her atomda bütünüyle farklıdır –insanların parmak izleri gibi.”

Sekiz elektron daha yerlerine kurulmamışken, başka türlü söylersek hepsi sürekli bir deli devinim içindeyken ne kadar durulabilirlerse o kadar durulmuşlarken, bütün atomu baştan başa geçiyormuş gibi gelen bir sarsıntı oldu. “Bu da neydi?” diye bağırdı Alice ürkerek.

“Bir tür etkileşimdi. Ortağımız sodyumdan ayrıldık ve bir negatif iyon olarak boşlukta sürükleniyoruz. Ama kaygılanmana gerek yok. Böyle amaçsız bir biçimde çok uzun zaman sürükleneceğimizi sanmı-

yorum. Değiş tokuş kabul edilebilir olduğunda yeniden işimizin başına döneriz.”

“Ne değiş tokuş?” diye sordu Alice. “Borsadan mı söz ediyorsunuz? Bunun benim dünyamda işleri denetlediğini sanıyorum.”

“Bizim durumumuzda söz konusu olan Elektron Değişimi. Bütün faaliyetlerimiz şu ya da bu elektron etkileşimi tarafından yönlendirilir, bu yüzden önemli olan elektron değiş tokuşudur. Sanırım Değişim’e konuk olmak istersin.”

“Evet sanırım!” dedi Alice. “Buradan oraya nasıl geçerim? Uzun sürer mi?”

“Ah hayır. Gerçekten sürmez. Aslında, yolculuk bile değil. Etkileşimde bulunan bir atomun içinde olduğundan aslında bir bakıma çoktan orada sayılırsın. Sana gereken yalnızca farklı bir temsil. Bütün sorun nasıl baktığın. Beni izle yeter.”

Elektronun da söylediği gibi başka bir yerlere gider gibi bir durumları yoktu, ama yine de Alice kendini geniş bir odanın kenarında bir elektronun eşliğinde buldu. Zemin, odanın ortasındaki büyük bir masanın çevresinde öbeklenmiş elektronlarla doluydu. Alice’e göre bu tıpkı komutanların orduları, gemileri uçakları temsil eden türlü türlü markalar arasında dolandıkları eski filmlerdeki masalardan biri gibiydi. Bu masada da büyük bir marka seçmesi vardı ve hepsi farklı öbeklere ayrılmak üzere oradan oraya götürülüyordu.

Bu markalardan bazılarına daha yakından baktı ve bunların da periyodik iskeledeki atom demirlemeleriyle aynı etiketleri taşıdığını gördü. Aslında yakından baktığı zaman bunların yalnızca marka olduklarından da pek emin olamamıştı. Dalgakıran boyunca gördüğü atomların indirgenmiş çeşitleri gibiydiler. “Belki de aynıdırlar,” diye düşündü. “Belki de aynı atomları şu an farklı bir biçimde görüyorumdur. Sanırım artık Periyodik İskele yerine Periyodik Cetvel söz konusu.”

Odanın çevresinde, duvarlarda atomlar bir öbekten ötekine geçtikçe değişen sayılı sütunları içeren sıra sıra panolar vardı.

“Bunlar farklı atomların fiyatları mı?” diye sordu Alice.

“Evet sayılır. Bu sayılar kimyasal bileşimde yer alan çeşitli elektronların enerjilerini anlatır. Elektronların *bağlayıcı enerjilerini* verirler; yani bir elektronun enerjisinin, o elektronun serbest durumdayken sahip olacağı değerin altına indirgenme miktarı. Verilen değer ne kadar büyükse, elektronun sahip olduğu potansiyel enerji o kadar küçüktür, bu nedenle bağladığı bileşimin başarısı ve istikrarı daha fazla olur. Değişimin görevi bu bağlayıcı enerjileri mümkün olduğunca büyütme-
tir.”

“Bütün iş, elektronlar bir atomdan ötekine hareket ettirilerek mi yapılıyor?” dedi Alice. Kendisine Sodyum Kloriddeki iyonik bağlanma konusunda yapılan açıklamayı anımsamıştı.

“Her zaman değil. Bazen bu en etkili yöntemdir ve o zaman bağlanma o yolla yapılır. Elektron Değişimi elektronları şurada burada dolandırarak çıkar sağlayabilir. Çünkü bir atomda bulunabilen elektron durumları geniş aralıklı seviyeler ya da kabuklar biçiminde düzenlenmiştir. Bir alt kabuk seviyesindeki en son elektronun bağlayıcı enerjisi bir üstteki kabuğa girmek zorunda olan ilk elektronunkinden fazladır. Bu, en yüksekteki kabuğunda yalnızca bir elektron bulunan bir atomun bütünsel enerji miktarını iyileştirmenin kolay bir yolu olduğu anlamına gelir. Eğer bu elektron görkemli, ama masraflı yalnızlığından çıkıp bir başka atomdaki neredeyse dolu bir alt kabuğa ine-
bilirse, o zaman bağlayıcı enerjide bütünsel bir kazanç olacağı kesinlik kazanır.

“Ayrıca, bir atomun en yüksek yerleşim kabuğunda yalnızca bir yer kaldığında bu durumun olağandışı düşük bir enerjiye sahip olacağı ve buraya geçen bir elektronun enerji dengesi çizelgesini büyük bir olasılıkla geliştireceği de doğru. Yalnız bir elektron fazla ya da az olan atomların en aktif olanlar olduğu ve büyük bir olasılıkla bileşim kurmak için işlemlere başlayacağı genellikle doğrudur. Yüksek bir durumda yalnızca iki elektronu bulunan atomlar ve alttaki bir tanede

yalnızca iyi yeri kalmış olanlar benzer elektron aktarımlarına girişebilirler, ama birinci elektronun bağlayıcı enerjideki kazancı geneld ikincisinden çok daha fazladır ve ikincisinininki daha az etkilidir.”

“Peki dış kabuğunda birkaç elektron bulunan bir atom ne yapar? dedi Alice. Kendisinden bunu sorması beklendiğini hissetmişti.

“Böyle bir atomun *kovalent bağ* diye bilinen farklı bir tür bağlanmaya dönüşmesi gerekir. Örneğin bir karbon atomunun dış kabuğunda dört elektron bulunur. Bu, boş bir kabuk olabilmesi için dört fazla, dolu bir kabuk olabilmesi içinse dört eksik elektrona sahip olması anlamına gelir. Bir atomdan ya da bir atoma elektron akımı uygulayarak bir şey kazanamayacak kadar incelikli bir dengeye sahip olduğundan, bunun yerine onları *paylaşır*. İki atomdaki elektronla her iki atomda da bulunabilecekleri bir üst konum durumundaysalar o zaman iki atomun enerjisi azaltılabilir ve bu onları bağlamaya yarar

“Bir elektronun bütünüyle bir atomdan ötekine taşındığı iyonik bağ, yalnızca birinde bir eksik, ötekinde bir fazla elektron bulunar çok farklı atomlar arasında işe yarayabilir. Kovalent bağ ise her ik

Bir atomun dış yüzeyinde yalnızca bir elektron bulunuyor ve bir başka atom tam dolum seviyesine bir eksik elektron yüzünden ulaşamamışsa, bu iki atom birindeki yalnız elektronu öteki atomun neredeyse dolu olan değerlik seviyesine aktararak, daha düşük bir genel enerji sağlayabilir. İşte bu kimyadır: Çeşitli enerji seviyelerindeki elektronlar atomları birbirine bağlar. Kimyanın ayrıntıları, uygulamada çok karmaşık bir hal alabilir, ama ilke budur.

Bir atom, çekirdeğindeki pozitif yükü nötr duruma getirmeye yetecek sayıda elektron içerir. Bu elektronlar her biri bir duruma gelecek şekilde en düşük enerji durumlarını doldurur. Bir atomun en yüksekteki dolmuş seviyesinde dolmamışsa ve yalnızca bir yer kalmışsa ve bir başka atom daha yüksek bir seviyeye gitmesi gereken tek bir elektrona sahipse, o zaman genel enerji, bu elektronu öteki atomun kalan yerine aktararak indirgenebilir. Her iki atom da bu durumda net bir yüke sahiptir ve bunun sonucunda ortaya çıkan elektrik çekimi, onları kimyasal bileşim oluşturmak üzere bağlar.

atom da aynı türde olduğunda işe yarayabilir. Buna verilen en önemli örnek büyük Organik Birikintilerin temeli olan karbon atomları arasındaki kovalent bağlanmadır.” Alice organiklerden söz açılınca masanın çevresindeki elektron yöneticilerinden yayılan dehşetli saygı havasını sezebilecek durumdaydı.

“Bir karbon atomu dış kabuğunda, yani değerlik seviyesinde dört elektron taşır. Eğer bu elektronlardan her biri öteki atomların elektronlarıyla birleşirse, o zaman sekiz elektron durumunun hepsi üst konumun ve kabuğun etkin bir biçimde doldurulmasına katkıda bulunur. Böylece bir karbon atomu dört kadar başka atomla –ki bunlar da karbon olabilir– bağlanabilir. Ayrıca bir karbon atomu bir *çift bağ* oluşturacak şekilde iki elektronunu bir başka karbon atomuyla takas edebilir. Bu durumda da başka atomlara o denli bağlanmış olmaz, bağ ise daha güçlü olur.

“İyonik bağ en güçlü durumunda yalnızca bir atomu ötekine bağlar ve bu yüzden büyük moleküller üretmez. Aktarılacak iki elektron söz konusu olduğunda işler daha da karmaşıklaşabilir. O zaman bile durum karbonunkiyle kıyaslanamaz, çünkü orada bir atom başka dört atomla birleşebilir ve bunların da her biri başka birkaç taneyle bağlanabilir. Karbona dayalı bileşimler hepsinde yüzlerce atom içerebilen çok karmaşık kocaman organik moleküller oluşturabilir.”

“Orada gördüğün farklı türdeki atomların hepsi, anlattığınız yollarla bileşimler oluşturur mu?” diye sordu Alice.

“Evet. Soy gazlar dışında. Soy gazlarda atomlar değerlik seviyesini doldurmuştur ve herhangi bir elektron aktarımından kazanç sağlamazlar. Ötekilerin hepsi, bazıları daha aktif ve bazıları daha sık rastlanan türde olsa da, belli bir dereceye kadar bileşim kurarlar. Örneğin, ziyaret ettiğin klor atomu çok aktiftir. En basit atomla, toplam bir elektron çalıştıran hidrojenle ve ayrıca en büyük doğal element olan uranyumla bileşimler kurar. Bu gerçekten de çok büyük bir kuruluştur. Neredeyse yüze yakın elektron çalıştırır, ama yalnızca dıştaki de-

ğerlik seviyesinde bulunanlar kimyasal davranışı gerçekten etkilir. () kadar büyük ki, çekirdeğinin istikrarsız olduğuna ilişkin söylentiler çıkmıştır,” diye güvenle ekledi.

“Ben de bunu soracaktım,” dedi Alice kararlılıkla. “Yine çekirdekten söz ettiniz. Lütfen bana çekirdeğin ne olduğunu anlatır mısınız?”

Bütün elektronlar biraz huzursuzlandı, ama gönülsüzce yanıtladılar. “Çekirdek atomun gizli efendisidir. Biz elektronlar bütün kimyasal bileşimler kurma ve atomdan ışık saçma gibi işleri yaparız, ama ne tür bir atom olacağımızı gerçek anlamda denetleyen çekirdektir. En son politik kararları alır ve alabileceğimiz elektron sayısını ve onları koyabileceğimiz var olan seviyeleri belirler. Çekirdek, çekirdek aileyi, gizli yeraltı organize yükü içerir.”

İçtenliğin bu ani patlayışıyla ürken elektronların hepsi göze görünmeden odanın bir köşesine çekilmeye çalıştı ya da en azından çok fazla kıyıya çekilmeden ortadan kaybolmaya... Çok geçmeden olan oldu. Alice yakınlarda yeni ve başbelası bir şeyin kol gezdiğini fark etti.

Çil yavrusu gibi kaçışan elektronlar arasında şimdi Alice’in ve arkadaşlarının üzerinde karaltılı hantal bir biçim vardı. Alice, bunun bir foton olduğunu, ama daha önce gördüklerinden belirgin biçimde daha büyük olduğunu anladı. Öteki tüm fotonlar gibi bu da parlıyor-



du, ama özellikle mat ve kaçak bir biçimde. Ayrıca Alice, kendisi ışık kaynağı olan bir şeyden beklenmeyecek bir biçimde bu fotonun kap-kara bir gözlük taktığını gördü.

“Ağır bir sanal foton,” diye yanıtladı elektronlar. “Çok ağır, kütle kabuğundan çok uzakta. Bu çekirdeğin infaz memurlarından biri. Böyle fotonlar çekirdeğin elektriksel kontrolünü müşteri elektronlarına aktarır.”

“Birisi sorular sorup duruyormuş,” dedi foton belalı bir sesle. “Nükleonlar herhangi birinin sorular sorup durduğunu duymak istemeyen türde parçacıklardır. Bu kişiyi bazı parçalarla, daha doğrusu bazı parçacıklarla tanışması için bir bir gezintiye çıkaracağım. Kendisini gerçekten kötü bir biçimde karşılamak niyetindeler.”

Bu, yeni bir karşılaşma için pek de umut verici görünmüyordu ve Alice güven içinde reddedip edemeyeceğini düşünüyordu. Sonra, olanları düşündüğünde nasıl başladıklarını bir türlü anlayamadı: Bütün hatırladığı yan yana koştukları ve fotonun durmadan “Daha hızlı” diye bağırdığıydı ve Alice, söylemeye nefesi yetmese de, daha hızlı gidemeyeceğini hissetmişti. Masanın yüzeyinden hızla geçtiler ve yüzeyinde temsil edilen atomların birine daldılar. Bu, Uranyum atomlarından biriydi ve onları karşılamak üzere koştururken giderek irileşiyordu.

Atomun içine girdikten sonra olan bitenlerin en tuhaf kısmı çevrelerindeki eşyaların konumunun hiç değişmemiş olmasıydı: Ne denli hızlı giderlerse gitsinler hiçbir şeyi geçiyor gibi görünmüyorlardı. Alice’in ayırına vardığı şey onlar koştukça, çevrelerinin, işi başından aşkın elektrönlere ve onları içeren seviyelerin hatlarının giderek düzenli bir biçimde *büyüdükleriydi*.

“Gerçekten her şey büyüyor mu, yoksa ben mi fire veriyorum?” diye düşündü zavallı şaşkın Alice.

“Daha hızlı!” diye bağırdı foton. “Daha hızlı! Konuşma.”

O denli soluksuz kalmıştı ki, bir daha konuşamayacakmış gibi geldi Alice’e: Hem foton onu hâlâ yanında sürükleyip “daha hızlı!” diye

bağırıyordu.

“Neredeyse geldik galiba” demeyi becerdi Alice nefes nefese. “Neredeyse” diye yineledi foton. “Hep oradayız, zaten başka bir yerde değiliz, ama yeterince *yer bulamadık*. Sert bir yer. Daha hızlı!” Çevredeki görüntü, daha önce gördüğü balon gibi ve dışa doğru olan her şey kolayca değerlendirilemeyecek kadar büyüyene kadar yayılıp şişerken, onlar da gittikçe daha hızlı ilerleyerek bir süre daha sessizce koşular.

“Şimdi, işte şimdi!” diye bağırdı foton. “Daha hızlı! Daha hızlı! Momentumun şimdi neredeyse sana çekirdeğe sığacak kadar yer vermek üzere.” O denli hızlı gidiyorlardı ki, sanki havada kayıp uçuyorlardı; tâ ki Alice, dizlerinde derman kalmayıp ansızın kendini yüksek, kapkara bir kulenin önünde bulana dek. Nefes nefese kalan Alice, şimdi, yukarıya kıvrılan ve yükseldikçe incelen kulenin önünde dikiliyordu. Kulenin alt kısımları kara ve sadeydi. Ama Alice kulenin, tepede bir yerlerde burçlar ve siperlerle bir sona ulaştığını görebiliyordu. Kulenin Alice üzerindeki toplam etkisi ise, son derece ürkütücüydü.

“Bu gördüğün Rutherford Şatosu, Çekirdek Ailenin evi yani,” dedi ağır sanal foton.

Notlar

1. Önceleri atomların hafif negatif elektronları taşıdığı bulunmuştu, sonra da pozitif yüklü bir çekirdek içerdikleri bulundu. Böylelikle atomların adeta Güneş Sistemi'nin küçük kopyaları olduğu düşünüldü: Ortada çekirdek güneş, onun yörüngesinde gezegen elektronlar. Bu kavram elektronların minyatür gezegenler oldukları ve içlerinde daha da minyatür canlı insancıkların var olduğuna ve benzeri *sonsuz* sayıda fantaziye yol açtı. Ne yazık ki, “Güneş Sistemi” resmi bu tür taslaklar için açıkça yanlış.

- Gezegenlerin güneşe doğrudan düşmemelerinin tek nedeni onun yörüngesinde dolanıyor olmalarıdır. Birçok elektronun çekirdek deveranı yapmadığına ilişkin kesin kanıtlar vardır.
- Klasik fiziğe göre atomda yörüngede dolanan elektronların enerji saçması ve hareketlerinin yavaşlaması gerekir. Atom kadar küçük bir şey bunu saniyenin milyonda birinden daha kısa bir zamanda yapar ve atomlar bu şekilde çökmezler. (Güneş Sistemi aslında yavaşlıyor, ama çok ağır bir hızda, milyonlarca yıllık bir zaman ölçeğinde.)

2. Pauli ilkesi uyarınca bir duruma tek bir elektron düşer. Elektronlar *yukarı spinli* ve *aşağı spinli* olduklarından, durumların sayısı fiilen ikiye katlanır. Elektronlar orada daha düşük bir enerjiye sahip olduklarından, atomik durumlara düşer ve nesnelerin daha düşük enerji seviyelerine düşmeleri genel bir kuraldır (bir fincanı parke döşeli bir zemin üzerinde tutup bırakarak keşfedebileceğiniz gibi). Her atom elektron tutabilecek çok sayıda seviyeye sahiptir aslında; durumların sayısı, üsttekiler enerji açısından birbirlerine çok yakın olsalar da sonsuzdur. Bir atom yalnızca çekirdeğindeki pozitif yükü telafi edecek doğru sayıya ulaşana kadar seviyelerine elektron çekmeye devam eder ve bundan sonra atomun daha fazla elektron çekecek pozitif yükü yoktur. Bir atom bütün elektron dolumuna ulaştığında, en alttaki enerji durumlarında yer olduğundan daha fazlasını içerecektir her durumda. Bazı elektronlar bu durumda daha yüksek enerji durumlarına yerleştirilmelidir.

3. İnsanlar tek tip atomların saçtığı ışığa baktıklarında, tayfın bir gökkuşağı gibi bir örnek renkler yayılımından değil, her biri farklı renkte olan birtakım *keskin çizgilerden* oluştuğunu buldular. Her tip atom bu çizgi tayfları gösterdi ve bunlar kla-

sik fizikçi için tam bir gizemdi.

Elektronların enerji seviyeleri dizisi her atom için benzersizdir. Elektronlar bir seviyeden ötekine geçerken her iki seviye arasındaki enerji farkına karşılık gelen enerjiye sahip fotonlar salar. Fotonun enerjisi ışığın rengi ve frekansı ile orantılı olduğundan, bu en az bir parmak izi kadar ayıncı olan bir optik çizgi tayfı verir.

Gelişen kuantum kuramının ilk büyük başarısı, çizgi tayfının varlığını açıklamasıydı. Kuram, gözlemlenen çizgi frekanslarını belirledi ve daha görülmemiş çizgi tayfları konusunda tahminlerde bulundu—bunların hepsi zamanı gelince ortaya çıkarıldı ve kuantum kuramının kolayca görmezden gelinemeyeceğini ortaya koydu.

Alice, tepesinde koca bir karaltı olarak dikilen Rutherford Şatosu'nun karanlık yükseltilerine bakakaldı. "Bu da nereden çıktı?" diye sordu yanındakine. "Atomun potansiyel kuyusundan buraya nasıl geldik?"

"Hiçbir zaman boyunca hiçbir yere *gitmediğimizi* sana söylemem gerek. Tam da atomun dolaylarında bulunuyoruz, ama şimdi, biraz, ya da birazdan fazla, merkeze sınırlanmış durumdayız. Karşında gördüğün işte o aynı potansiyel kuyunun dibi. Aynısını sen de görmüyorsunuz?"

"Hayır, tabii ki görmüyorum!" dedi Alice bastıra bastıra. "Potansiyel kuyu bir *kuyuydu*; aşağı inen bir delikti. Buysa yukarı tırmanan bir kule. Bütünüyle farklı bir şey."

"Düşündüğün zaman bu hiç farklı görünmeyecek," dedi foton. "Çekirdek bir elektrik alanı üretiyor ve aynı çekirdek, çevresindeki herhangi bir negatif elektrona negatif potansiyel enerji yükler. Elektronlarla ve o tür şeylerle beraberken doğal olarak potansiyeli aşağı doğru inen bir çukur olarak görüyorsun. Fotonlar gibi nükleer parçacıklar da her zaman pozitif yük taşıyan parçacıklardır. Bu nedenle böyle adamlar beklenmedik bir kısa ziyaret gerçekleştirirlerse, çekirdeğe yaklaştıkça potansiyel enerjilerinin, birazdan fazla arttığını görmek zorunda kalırlar. Bu genellikle böyle kişileri ölçülü bir uzaklıkta tutar ve alan bir engel işlevi görür. Aslında Coulomb engeli diye anılmasının nedeni budur. Nükleonlar davetsiz misafirlerden nefret eder."



Eğer böyle kişilerle beraber oluyorsan onların gördüğünü, yani çekirdeğin çevresinde yüksek bir potansiyel duvar olduğunu görürsün.”

“Peki içeri nasıl girerim?” diye sordu Alice. “Duvarı geçebileceğimi sanmam. Kendimi ölçülü bir uzaklıkta tutmanın çok etkili olacağından eminim,” diye umutla söylendi. Çekirdek Aile’yle tanışmak isteyip istemediğinden emin değildi henüz.

Yalnızca dışarıda tutar. Hiçbir elektrik yüküne sahip olmayan başkaları da var ve bu parçacıklar kolayca içinden geçebilir. Şimdilik bir yüke sahip değilsin, bu yüzden nötr parçacık girişinden girmeye hakkın var.” Zarifçe, Alice’in daha önce farkına varmadığı kale duvarının dibindeki bir yüksek kapıyı gösterdi. “Nötr parçacıklar dışındakiler giremez” yazılıydı.

Alice ve eşlikçisi kapıya gitti ve gürültülü bir biçimde kapıyı çaldı-

Her atomun merkezinde minik bir atom çekirdeği bulunur. Çekirdek, bütün atomun kütlesinin çoğunu içerir; çapının yüz binde biri büyüklüğünde olsa da... Çekirdek negatif yüklü elektronları çeken bir pozitif elektrik yükü taşır ve atomu bir arada tutar. Öte yandan bu pozitif yük, öteki pozitif yüklü parçacıkları iter ve çekirdeğin çevresinde, protonları ve öteki çekirdekleri dışarda tutan bir engeli, *Coulomb engelini* oluşturur.

lar. "Nükleer parçacıklar neye benzer?" diye sordu Alice, dikkatle. "Daha önce gördüğüm elektronlara çok benzerler mi?"

"Herkesin ortak düşüncesi herhangi bir elektrondan daha büyük oldukları ve kütlelerinin yaklaşık iki bin kez daha büyük olduğu biliyor." Kapının içinden yaklaşan yavaş ve hantal ayak seslerini duyan Alice'in gerginliğini dindirecek bir yanıt değildi bu. Bunlar, her adımında zeminin sarsılmasından dolayı gittikçe daha gürültülü bir hal almaya başladı. Sonunda ayak sesleri kesildi ve yüksek kapı içeri doğru yavaşça açılmaya başladı. Alice kendisini çağıran bu gulyabaninin ilk görüntüsünü yakalamak için sinirli sinirli yukarı bakındı.

"İşte buradayım," dedi çatlak ve kızgın bir ses, Alice'in dizlerinin dibinden bir yerlerden. Alice şaşkınlıkla çevresine bakındı, önünde duran küçücük bir kişiydi. Eşlikçisi gibi kara gözlükler takmasının ve çevresini saran bir güçlülük havasının dışında bunun daha önce gördüğü elektronlara benzemeyen bir tarafı yoktu. Öte yandan, Rutherford Şatosu'na gelene dek ne denli küçüldüklerini anımsayınca, Alice bu kişinin elektronların kendisine görüldüğünden çok daha küçük olması gerektiğinin farkına vardı.

"Bana nükleonların elektronlardan daha büyük olduğunu söylediğini sanmıştım," diye bağırdı öfkeyle fotona dönerek. Böyle aldatılmış



olmak onu kızdırmıştı.

“Ama, bilgili yurttaşların çoğu nükleonların elektronlardan daha büyük olduğuna katılacaktır ve böyle ufak bir sorun yüzünden sözümün doğruluğunu sorgulamak istemeyeceğinden kuşum yok. Tabii ki nükleonlar elektronlardan daha büyüktür ve bu yüzden de o denli sınırlandırılmak eğilimindedirler. İki bin kez daha ağır olduklarından doğal olarak iki bin kat fazla durgun kütle enerjisine sahiptirler. Elektron tipli bir herifle aynı enerjiye sahip olduklarında bile, iki bin kez daha fazla sınırlanmış bir bölgede bulundukları kabul edilir. Bu, daha az yer kaplamak eğiliminde oldukları anlamına gelir ve bu yüzden elektronlardan küçük gibi *görünebilirler*. Ama işi bilenler gerçekte daha büyük olduklarını söylerler.

“Çekirdeğin yurttaşlarıyla karşılaştırıldığında atomik elektronlar çok az enerji ve momentuma sahip olan ve iyi sınırlandırılmış sözüne hiçbir zaman uygun düşmeyecek kişilerdir. Çekirdeğin çevresinde dolanan hatırı sayılır elektron bulutları oluştururlar ve gerçekten çok büyüktürler. Çekirdeğin kendisinden yüz binlerce kez daha uzak bir hacim kaplarlar.” Alice çevresine bakındığında kendilerini sarmalayan gri bulutları, gözün görebildiği yere kadar uzanan bulutları görebildi. Bunların daha önce sıkça gördüğü elektronlar olduğunu düşünmek tuhaftı, ama şimdi daha yoğunlaşmış bir bakış açısı ölçeğinde görülüyorlardı.

Kendilerini buyur etmiş olan (buyur etmiş gibiydi) nötron, bu alavere-den gittikçe sıkılmaya başlıyordu. “Her kimseniz orada kalas gibi durmayın” dedi kavgacı bir edayla. “Kimliğinizi saptamam için yanıma gelin.”

“Yoksa bizi göremiyor mu?” dedi Alice, “Gerçekten kör galiba.”

“Birçok insanın kabul ettiği gibi, nötronların çoğu bu durumdadır,” diye yanıtladı eşlikçisi. “Bu kişiler kendilerine ait bir elektrik yüküne sahip olmadıklarından fotonlarla herhangi bir etkileşime girebilen türden değildirler. Yalnızca çok kısa süreli etkileşimlere düşkün

olduklarından nötronlar herhangi bir uzun süreli etkileşime girmeyen yurttaşlardır. Böyle bir kişi başkalarını tanımada, onlar dokunulabilecek denli yakına gelmedikçe, pek ustalaşamazlar.”

Nötrona çarpacak kadar yaklaştılar. “Ah! Şimdi gördüm seni!” diye bağırdı acı acı. “İçeri gir ki, kapıyı kapatayım. İçerisi daha rahat.” Varlığından büyük ölçüde habersiz olduğu fotonu görmezlikten geldi. Alice fotonun şatonun siperlerinin içine doğru solup gittiğini fark etti, bu siperler de zaten çekirdeğin yükü tarafından salgılanan sanal fotonlardan oluşuyordu.

Nötron el yordamıyla kaba ve taş bir dehlizden aşağı ilerlerken Alice onu izledi. Bu geçit çok dardı, ama iki yanı ilerledikçe genişliyordu ve böylece her zaman geçilebilecek kadar boşluk oluyordu. Bu hareket Alice’e çok garip gelmişti, ama bir yorumda bulunup bulunamayacağından bir türlü emin olamıyordu. Kendisini izlediği nükleonla şimdi karşılaşmış bulunuyordu. Nükleon hiç de daha önce korktuğu ölçüde tehditkâr görünmüyordu. Sabırsızdı, ama üzerinde hiçbir *uğursuzluk* yoktu. Alice’e, uzaktan bir amcasını anımsatıyordu.

Hep birlikte taştan yüksek tonozlu merkezi bir odaya girdiler. Duvarlar her yandan dikine yükseliyor ve tavanın gölgeleri içinde gözden kayboluyordu. Üstteki duvarların çevresinde çeşitli yüksek seviyelere giden, Az buçuk Alice’in dışarıda atomun içinde gördüğü elektron enerji seviyelerini andıran, kemerli açıklıklar vardı. Zemin orta büyüklükteydi ve alabileceği kadar parçacıkla kaplıydı. Ama Alice ile arkadaş, girerlerken, kocaman taş duvarların yeni yerleşmecileri almaya yetecek ölçüde fazla yer açmak için hafifçe gerilediğini gözlemledi.

Alice gördüklerinden bu kez emindi ve bu hareket üzerinde yorumda bulundu. “Şatonun içindeki tutarlı alanın etkisi bu,” diye yanıtladı.

“Elektronlar ve bütün öteki parçacıklar gibi, biz nükleonlar da kuantum durumlarına yerleşmek zorundayız ve burada bulunabilen durumlar yerel potansiyel kuyusu tarafından denetlenir. Atomdaki

elektronlar söz konusu olduğunda bu potansiyel kuyu *bizler* tarafından belirlenir ve bu potansiyeli biz denetleriz. Atom bizim toprağımızdır ve içindeki elektronların potansiyel enerjisi merkez çekirdekteki protonların sahip olduğu pozitif elektrik yüküne olan uzaklığı tarafından denetlenir. Bu yük tarafından üretilen elektrik potansiyeli aracılığıyla biz çekirdekte elektron durumlarını denetleriz ve elektronlar bunların içine en iyi şekilde yerleşmek zorundadır. Biz söz konusu olduğumuzda durum farklıdır. Kendi çekirdek durumlarımız için potansiyeli kendimiz sağlarız."

"Her iki durumda da potansiyeli sağlıyorsanız, bu kuşkusuz her iki durumu aynı kılar," diye çıkıştı Alice.

"Hayır, iki durumu da çok farklılaştırır. Gördüğün gibi atomda potansiyel büyük oranda çekirdek tarafından sağlanır ve böylece, nükleonlar bunları kendileri kullanmasa da, çekirdek bu durumları denetler. Potansiyel, elektronlar için olasılık dağılımlarını veren durumları denetler, ama onları kullanan elektronların potansiyel üzerinde çok az etkisi vardır. Elektronlar nerede olursa olsun, atomik potansiyel hep aynıdır.

"Öte yandan, çekirdek için şu an içinde bulunduğumuz potansiyel onun içindeki nükleonların ortak çabasıyla üretilir. Elektronları baskı altında yönetsek de, burada kendimiz için çok demokratik bir düzenimiz var. Bizim kolektif potansiyelimiz biz nükleonların alacağı mevcut durumları belirler ve böylece olasılık dağılımımızı denetler. Bu dağılım da karşılığında potansiyeli denetler. Bnu baştada söylemiştim. Çekirdek aileden bekleyeceğin gibi bu bir kısır döngüdür ve içinde yaşadığımız durumların, nükleonların dağılımı değiştikçe doğal olarak değişebileceğini görebilirsin."

"Nükleer potansiyel de, elektronları tutan potansiyel gibi aynı elektrik yükü tarafından mı üretilir?" diye sordu Alice, kafasında bu konuyu açıklığa kavuşturmak istiyordu.

"Hayır, aslında tam tersi. Çekirdekteki elektrik yükünün tümü

protonlar tarafından taşınır. Şurada bazı protonları görebilirsin.” Yakınlarında bulunan parçacıklar yönünde bir işaret yaptı. Alice baktı ve tıpkı arkadaşına benzeyen bazı nötronlar gördü. Onların arasına dağılmış, iddialı oldukları her durumlarından belli olan başka parçacıklar vardı. Nötronlar biraz gergin görünürken, bunlar zar zor bastırılmış bir sinir nöbetindeymiş gibiydi. “Protonların hepsi pozitif yük taşıyor ve aynı tür yüke sahip parçacıkların birbirini ittiğini bilirsin. Protonlar her zaman birbirleriyle sinir harbi ve tehditkâr bir kaçış içindedir. Onları bir arada tutmanın çok zor olduğunu söyleyebilirim.”

“O zaman elektronların da aynı sorunu yok mu? Olur sanırdım. Elektronlar negatif elektrik yüküne sahipse, o zaman onlardan herhangi iki tanesi aynı tür yüke sahip olacağından birbirlerini itmezler mi?”

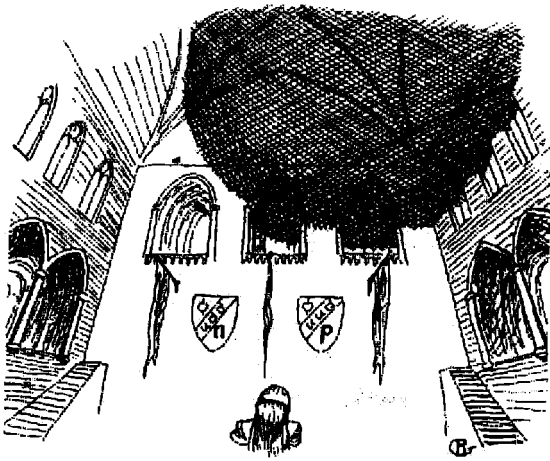
“Çok doğru. Birbirlerini gerçekten iterler. Bununla birlikte elektronların yayılmış ve dağınık bir durumda bulunduklarını anlamalısın ve yükleri geniş biçimde ayrıdır. Bu yüzden ürettikleri itim oldukça azdır. Çekirdekdeki konsantre pozitif yükten gelen çekiş gücü, onları düzen içinde tutabiliyor. Çekirdekdeki protonlar izdiham halinde olduklarından itme kuvvetleri çok büyüktür. Elektrik kuvvetleri çekirdeği parçalamakla tehdit eder.

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

“O halde hepinizi bir arada tutan nedir?” diye akla uygun bir soru sordu Alice.

“Bu bütünüyle farklı ve çok büyük bir kuvvet tarafından yerine getirilir —aslında buna *güçlü nükleer etkileşim* denir.

“Güçlü nükleer etkileşim gerçekten çok güçlüdür. Çekirdeğin dışında hiçbir açık etkisi olmasa da, çekirdeğin içindeki ayırıcı elektriksel itmenin üstesinden gelebilmektedir. Anlayacağın *kısa erişimli* bir kuvvettir. Çekirdeğin içinde nükleer güçler baskındır, ama dışında pek bir varlık gösteremezler ve herkesin gördüğü şey protonlar tarafından taşınan pozitif yüklerin yol açtığı elektrik alanıdır. Biz nükleon-



lar ulaşılabilir olan en yakın komşularımıza sıkıca sarılırız, ama uzakta kalabalığın içindekilerden gerçekten bihaberiz ve onlar üstünde pek bir etkimiz yok.”

Şatonun merkez salonuna girdiğinden beri Alice oldukça huzursuzdu. Şimdi ise çok tuhaf bir duyguya kapıldı ve daha önce orada olmayan bir şeyin şimdi odada olduğunu sezdi. Çevresine bakındı ama bir şey göremedi. Sonra da yukarıya tavana doğru baktı. Başının üzerindeki yükselen mekânın karaltılı gölgeleri içinden geçen kocaman yuvarlak bir şeyin kocaman kıvrımlı böğrünü belli belirsiz algıladı. Bunun bir hayalet gibi belirsiz ve hafif görünen çok daha büyük bir nesnenin yalnızca küçük bir parçası olduğu açtı ve şimdi onlar yokmuş gibi çevreleyen duvarlar içinden sürüklenip gidiyordu.

Alice gürültülü bir biçimde bağırdı ve artık gördüğünü, doğal olarak bir şey görmemiş olan nötrona betimlemesi gerekiyordu. “Ah, o bir elektron,” dedi. “Bilirsin, atomun bütün hacmini doldururlar, bu da herhangi bir yer kadar çekirdekten de geçtikleri anlamına gelir. Elektronlar güçlü etkileşimden etkilenmez, bu nedenle geçerken bizim farkımıza varmazlar. Çekirdek elektronların doldurduğu hacmin minik bir parçası olduğundan bizler buradan onların çok az bir bölümünü görürüz. Aslında onları hiç görmem, ama ne demek istediğimi

anlıyorsun.”

“Yani bu güçlü etkileşime fotonlar neden olmuyor?” diye sordu Alice. Kendisine foton değişiminin atomu bir arada tuttuğu söylenmişti, ama bunun elektrik yükleri arasındaki etkileşimden kaynaklandığını anlamıştı ve şimdi bunun çok daha farklı bir şey olduğunu çıkarsadı.

“Haklısın, bunun fotonlarla bir ilgisi yok. Parçacık değişimi buna neden olur –bütün etkileşimler gibi– ama farklı bir parçacık içerir. Aslında güçlü etkileşim birçok farklı parçacığın değişiminden kaynaklanır. Bunların en bilineniyse pion adıyla anılır. Değişim sürecinde yaratılıp yok edildiklerinden bunlar gereklilik bosonlarıdır. Pionların kütleleri fotonlardan büyüktür. Aslında fotonların kütlesi falan yoktur. Bu da, onların enerji bakımından yaratılmalarını kolaylaştırır. Pionlar bir elektronunkinden üç yüz kat büyük bir kütleye sahiptir. Heisenberg ilişkisinin izin verdiği gibi bir enerji dalgalanması kullanılarak yine de üretilebilirler, ama pionun durgun kütle enerjisini sağlayabilmesi için dalgalanmanın çok büyük olması gerekir, bu yüzden uzun ömürlü değildir. Pionlar var olan zamanları içinde kaynaklarından uzaklaşamazlar. Bu yüzden neredeyse dokunabilecekleri çok yakın parçacıklarla değiştirilebilirler. Bu yüzden güçlü etkileşim kısa sürelidir.

Tam bu sırada bir rahatsızlık ortaya çıktı. İki proton çok fena tartışmış ve ters yönlerde fırlayıp gitme tehdidinde bulunuyordu. Nötronlar, karşılıklı itim güçlerini hafifleterek tartışanları ayırıp onları ayrı tutmak için alalecele geldiler. Ayrılışlarını güçlendirmek için protonlar arasına nötronlar doluşurken, ayrıca onları çekirdeğin içinde tutmak için sıkıca kavramışlardı.

“Çekirdeği bir arada tutmak için, özellikle daha büyük çekirdeklerde, biz nötronların ne kadar gerekli olduğunu görüyorsun şimdi,” dedi bir nötron. “Bir çekirdekte her proton bütün öteki protonları iter; güçlü etkileşimde olduğu gibi, yalnızca ona en yakın olanları de-

ğil. İtim, çekirdekdeki protonların sayısıyla hızla artar. Bu, çok sayıda protona sahip olan ağır çekirdekler bununla orantılı olarak onları birbirinden ayıracak daha fazla nötrona ihtiyaç duyar ve böylece onların itimleri hemen yanlarındaki komşuları tarafından dayatılan çekici gücü aşmaz demektir.

“Nükleonlar ailesi iki farklı klandan, proton ve nötronlardan gelir. Şurada duvarda gösterilen tablo nasıl birleştiklerini gösterir.” Çeşitli öteki sembol ve hanedan arması süslemeleri arasında duvarda asılı duran büyük bir diyagram gösterdi. Bu, grafiğin her iki tepe köşesinde bir proton ve bir nötron bulunan büyük ve hülyalı bir resmi gösteriyordu. Aşağıdaki merkezdeyse ailenin girdiği tüm farklı çekirdekler sıralanmıştı. Alice bunların Mendelev Yat Limanı'nda gördüğü farklı atomları belirten aynı etiketlerle kimliklerinin saptandığını gördü. Daha yakından baktığında etiketlerin biraz farklı olduğunu gördü: Her birine verilmiş bir sayı daha vardı. Şimdi çekirdekler ${}^1_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$, ${}^7_3\text{Li}$ biçiminde verilmişti.

Resmin tepesindeki asıl proton ve nötrondan, listelenmiş çeşitli çekirdeklere doğru çizgiler çekilmişti. Protondan ${}^1_1\text{H}$ çekirdeğine çekilmiş bir çizgi vardı, ama nötrondan yoktu. ${}^4_2\text{He}$ çekirdeğine ise protondan iki çizgi ve nötrondan da iki tane çekilmişti. Ondan sonraki birçok çekirdek protondan ve nötrondan yaklaşık aynı sayıda çizgiye sahipti. Tablonun diplerine doğru baktığında Alice orada gösterilen her çekirdeğin protondan çok nötron çizgisine sahip olduğunu gördü.

“Bu grafik, iki ayrı nükleon klanından farklı çekirdeklerin nasıl bir nüfusa sahip olduklarını gösterir. İlk sayı katılan proton sayısını verir. Bu denetlenebilen elektron sayısı ile aynı olduğundan atomun kimyasal davranışını belirler. İkinci sayı herhangi bir atoma yerleşmiş nükleonların toplam sayısını verir.

“Daha hafif çekirdeklerin proton ve nötron sayıları aynıdır. Örneğin bir karbon çekirdeğinde altı proton ve altı nötron bulunur. Her

bir öteki beş proton tarafından itilen altı protonun itimi güçlü etkileşimin yarattığı çekimin üstesinden gelmeye yine de yetmez. Öte yandan buradaki bizim uranyum çekirdeğimizde, az proton bulunur. Tüm farklı çift protonlar arasındaki itiş gücü şimdi çok büyük olduğundan protonları ayrı tutup elektrik itimlerini azaltmak için görece daha fazla nötrona gerek duyulmakta. Çekirdeğimizde toplam 143 nötron var. Nötronların sayısı her uranyum çekirdeğinde aynı olmak zorunda değildir. Herhangi bir element için proton sayısı hep aynıdır, çünkü bu elektronların sayısını dolayısıyla da kimyasal davranışı belirler. Fakat nötronların sayısının atomun kimyası üzerinde pek etkisi yoktur ve bir çekirdekten ötekine az buçuk değişebilir. Aynı sayıda nötrona sahip bir elementin çekirdekleri *izotop* olarak bilinir. Söylediğim gibi, bu çekirdekte 143 nötronumuz var, ama birçok uranyum çekirdeğinde 146 nötron vardır. Bu da onları biraz daha kararlı kılar.”

“Kararlı olmayı daha önce de duydum,” dedi Alice. “Atomların bütünüyle değişmez ve farklı bileşimlerde yer alsalar da sonsuza dek var olduklarını sanıyordum.”

“Bütünüyle değil. Nükleer potansiyel engelin duvarları, tıpkı Coulomb engelinin öteki protonları dışarda tutması gibi, bizi içerde tutmaya yarar. Bununla birlikte ara sıra delip geçmeler olur ve çekirdek bir biçimde değişir. İki yoldan işler, çekirdeğin dışındaki parçacıklar içeri girebilir ya da aramızdan bazıları kaçmaya çalışabilir.

“Proton ve nötronların çekirdekte durma nedeni, elektronların atomun içinde kalma nedeniyle aynıdır: Bulundukları yerde dışarıda

Birçok nükleona sahip büyük çekirdeklerde protonlar arasındaki itim buna nispetle güçlü olur ve çekirdek kararsız olabilir. Çekirdek bir α (alfa) parçacığı salarak radyoaktif bozunmaya maruz kalabilir. Bu da Coulomb engelini delip geçen sıkıca birleştirilmiş iki nötron ve iki protondan oluşan bir gruptur. Ayrıca nötronlar β (beta) bozunmasına uğrayabilir, buradaysa çekirdekte bir elektron yaratılır ve hemen ardından, elektronlar güçlü etkileşimden etkilenmediklerinden kaçır. Çekirdekler ayrıca γ ’lar (gamma) salabilir, bunlar da yüksek enerji fotonları olmaktan ibarettir.

gereksineceklerinden daha az enerjiyle idare edebilirler. Çekirdekte değil de dışarıda oldukları durumlarda sahip olacakları enerjinin değerindeki azalışa nükleer *bağlayıcı enerji* ya da BE denir. Atomun içinde elektronların sahip olduğu gibi, çekirdeğin içinde de nükleonlar için enerji seviyeleri vardır. Nötronlar ile protonlar aynı olmadıkları için de bu seviyeler bağımsız bir biçimde hem nötronlar hem de protonlar tarafından doldurulabilir. Nötronlar ve protonlar için seviye doldurma süreci aynı olduğundan kararlı çekirdekler her ikisinden de eşit sayıda bulundurma eğilimindedir. Daha büyük sayıda protonlara sahip daha ağır çekirdekler için nötron oranı, söylediğim gibi, daha büyüktür. Bütün çekirdekler için en kararlı atomu ortaya çıkaran bir proton-nötron oranı vardır. Bunlardan herhangi birindeki fazlalık atomu kararsızlığa ve bir tür çürümeye eğilimli kılar. Bunu kabul etmem gerekir; uranyumda protonlar arasındaki itim o denli büyüktür ki, çekirdek en iyi zamanlarında bile zar zor istikrarlıdır. Protonlar ile nötronlar arasındaki dengede oluşabilecek herhangi bir kopma, pekâlâ bir felakete yol açabilir.”

Aniden bir uyarı trampeti duyuldu ve tonozlu odadan, “Dikkat! Dikkat! Alfa Durumu. Bir kaçma girişimi gerçekleşmektedir!” diyen gıcırtilı bir ses yankılandı.

Alice bu paniğin bir nedeni olup olmadığını anlamak için bakındı. Her şey eskisi gibiydi. Toplanmış nükleonlar arasında önemli bir hareketlilik vardı, ama onlar da karşılaşmış olduğu öteki parçacıklar gibi sürekli bir telaş içinde olduklarından, yeni bir şey yoktu. Dikkatli baktığında, küçük bir parçacık grubunun, iki proton ile iki nötronun birlikte birbirlerine kenetlenerek kalabalığın arasından ilerlediğini gördü. Bu grup fırlayıp duvara saldırdı, duvarla çarpıştı, geriye sıçradı ve odayı geçip karşı duvara çarptı. Alice, Kuantum Diyarı’na ilk geldiğinde gördüğü, kilitli kapıyı delip geçmeye çalışan kişiyi anımsadı.

Alice düşüncelerini arkadaşına anlattı. Aldığı yanıt şu oldu: “Anlatığın alfa parçacığı kümelenmesidir. Bir alfa parçacığı tek bir parçacık

gibi hareket edebilecek kadar birbirine kenetlenmiş iki proton ve iki nötrondan oluşan bir gruptur. İki proton içerdiğinden alfa parçacığı protonların toplam pozitif yükü tarafından itilir. Kaçmaya çalışıyor, ama çekirdeğin çevresindeki duvar bunu engelliyor. Grup bir *tünel* açıp kaçmaya çalışıyor. Engel delme yoluyla kaçmaya çalışıyorlar. Er ya da geç bunu başaracaklar.”

“Bu ne kadar sürebilir?” dedi Alice merakla.

“Ah! Herhalde birkaç bin yıl.”

“O halde bu panik sence biraz erken değil mi?” diye sordu Alice. “Bana sanki paniğe kapılmadan, böyle bir kaçışla baş edebilecek kadar bol vaktimiz varmış gibi geliyor.”

“Ama bundan emin olamayız. *Muhtemelen* binlerce yıl içinde kaçarlarsa, ama bunu her an başarmaları *mümkün*. Emin olmak olanaksız; bütünüyle bir olasılık sorunu.”

“Bu durumda bütün çekirdekten kaçışlar engel delme yoluyla mı oluyor?” diye sordu Alice.

“Kesinlikle hayır. Alfa salınımı engel delme yoluyla gerçekleşir, bunu söylemiştim zaten. Ayrıca beta ve gama salınımlarımız var ve bunların hiçbiri engel delmeyi gerektirmez.”

“Onlar nedir peki?” diye sorumluluklarını bilen biri gibi sordu Alice. Sorsun sormasın, kendisine anlatılacağını sezinliyordu, ama sormak kendisine daha zarif bir davranış biçimi gibi görünmüştü.

“Gama salınımı, atomdaki elektronlarda olduğu gibi, foton salınımıdır. Bir elektron bir üst duruma uyarıldığında ve sonra daha alttaki bir duruma düştüğünde salınan enerjiyi taşıması için bir foton çıkarır. Aynı şey, çekirdeğin uyarılışı yüklü protonları yeniden düzenlediğinde ortaya çıkar: Çekirdek daha düşük bir enerji durumuna döndüğünde bir foton çıkarılır. Çekirdekteki etkileşim enerjileri atomda olduğunda genellikle çok daha büyük olduğundan, gama fotonlar atomik elektronlarınkinden çok daha yüksek enerjiye sahiptir. Aslında birkaç yüz bin kat daha fazla enerjiye sahip olurlar, ama yine de fo-

ondurlar.

“Beta çıkışı çekirdekten bir elektronun çıkmasıdır,” diye devam etti Alice’in bilgilendiricisi.

“Çekirdekte elektron bulunmadığını söylediğini sanmıştım,” diye çıkıştı Alice. “Elektronların güçlü etkileşimden habersiz olduklarını ve ara sıra içeriden sürüklendiklerini söylemiştin.”

“Çok doğru. Çekirdekte elektron yoktur.”

“Çekirdek elektron tutamıyorsa ve çekirdekte elektronu yoksa,” dedi Alice sabırla, “oradan nasıl kaçabilir ki? Bana çok saçma geldi. Orada olmadan oradan kaçamaz ki.”

“Elektronların böyle kolayca kaçıyor oluşunun nedeni zaten çekirdeğin elektron tutamıyor oluşudur. Elektronlar çekirdeğin tam içinde bir zayıf etkileşim içinde üretilir ve çekirdek onları tutamadığından onlar da doğal olarak kaçarlar. Aslında eğer düşünürsen çok açık,” dedi nötron zarıfçe.

“Olabilir,” dedi Alice, ama kendisi için konu henüz *hiç* açıklık kazanamamıştı. “Ama zayıf etkileşim nedir? Elektronlar nasıl..?”

Yine bir trampet sesi duyuldu ve odanın tepesindeki haberci bağırdı: “Dikkat! Dikkat! Şato saldırı altındadır. Sıcak bir yüklü parçacıklar plazmasının kuşatması altındayız.”

“Aman Allahım” diye haykırdı Alice. “Ciddi görünüyor.”

“Hayır, gerçekten değil” diyerek, yakındaki bir nötron onu yatıştırmaya çalıştı. “Plazmadaki hiçbir yüklü parçacık savunmamızı delecik kadar enerjiye sahip olamaz. Gel kendin gör.”

Alice’i şatonun çeşitli geçitlerinden ve enerji seviyelerinden geçirdi. En sonunda dışarıyı görebilecekleri bir konuma geldiler. Uzakta öteki nükleer şatoları gördü. Düzlüğe yayılmış bazı protonlar çevrede hızla hareket etmekteydi. “Bu protonlar sıcak bir hidrojen plazmasından,” dedi Alice’in arkadaşı, “bir plazmada atomlar elektronlarının bazılarını yitirir ve genel bir pozitif yükü pozitif iyonlara dönüşür. Hidrojenin çekirdeği yalnızca bir proton içerir. Bu yüzden bir hidrojen

atomu elektronunu yitirince geriye yalnızca proton kalır. Plazmalar çok sıcak duruma getirilebilirler. O zaman da protonlar bir dolu enerjiyle sağa sola koşturur, ama enerjileri buraya girebilmelerine yetmez,” diye bitirdi hoşnutlukla.

Alice, bir çekirdeğe doğru koşan ve çekirdek duvarının kıvrılan tabanının üstüne tırmanan bazı protonları izledi. Yukarı doğru koştururken kinetik enerjilerini yitirdiklerinden gittikçe daha yavaş hareket ediyorlardı ve sonunda duvarın tepesine az kala durmak zorunda kalıyorlardı. Ondan sonra aşağı kayıp geldiklerinden farklı bir yönde koşup uzaklaşıyorlardı.

“Ben göremesem de, gerçekten içeri girmekte pek başarılı olamadıklarını göreceksin,” diye devam etti Alice’in rehberi.

“O halde engel delme yoluyla giremezler mi?” diye sordu Alice.

“Olabilir. *İlkece* mümkün, ama çekirdeğin yakınında o denli az zaman harcıyorlar ki, çok büyük ihtimalle içeri giremeyeceklerdir.”

Bu sırada Alice uzakta bir karışıklık gördü. Bir nesne büyük bir hızla üzerlerine gelmekteydi. “Bu yaklaşan nedir?” dedi Alice kaygıyla.

“Hiç fikrim yok,” dedi nötron. “Yakınlaşan bir şey mi var?”

Alice, pek az görünen sanal fotonlardan kuyruğuyla bir kasırga geçişiyle dörtlü ileleyen bu hızlı yüklü parçacığın yaklaşmasından nötronun doğal olarak habersiz olacağını anladı. Alice onun görünüşünü nötrona anlatırken bu yeni gelen, yolunun üstündeki bir Şato’ya ulaştı. Delice atılışındaki gözle görülür çok az bir azalmayla enge-



lin üstüne ve sonra da tepeye koştu. Hemen sonra Alice onun görüşüne göre bu karşılaşmadan pek az etkilenmiş olarak, uzaklara dört-nala gittiğini gördü. Alice onun girmiş olduğu çekirdek için aynı şeyi söyleyemiyordu. Çekirdek bütünüyle patlayıp ayrılmıştı ve kocaman kısımları farklı yerlerde uçuşuyordu. Alice olayın betimlemesini tamamladı.

“Ah bu bir Kozmik Akıncı olmalı. Buradan çok seyrek geçerler. Bizim dünyamızın dışından bir yerlerden gelirler ve muazzam bir enerjileri vardır. Onlar için Coulomb engelini geçmek için gereken enerji bir hiçtir, bir engel bile değildir. Onlara karşı kendimizi savunamayız, ama neyse ki pek fazla değiller.”

Alice, dışarıya aşağıdaki alana bakarken, göze batmayan birkaç şahsın çevrede ağır ağır, çaktırmadan dolandıklarını gördü. “Ah şuraya bak!” diye bağırdı arkadaşının kim olduğunu unutup. “Şurada dolanıp duran bazı nötronlar var.”

“Ne?” diye bağırdı yanındaki nötron. “Emin misin? İşte buna bela derler. Gel, hemen ana salona inmeliyiz.”

Dışarıda çok fazla nötron olmadığına ve enerjilerinin de pek fazla olmadığına ilişkin karşı çıkışlarına aldırmadan Alice’i sıralı enerji seviyelerinden geçirerek ilk girdiği salona geri götürdü.

Daha henüz varmışlardı ki, işgalci nötronlardan biri hiç uyarmadan duvarın içinden fırladı ve odanın ortasına öteki bütün parçacıkla-

Çekirdeğin elektrik potansiyeli, pozitif yüklü parçacıkları iten Coulomb bariyerini ortaya çıkarır. Düşük enerjili protonlar bu engeli aşamaz. İlke olarak engel delme yoluyla içinden *geçebilirler*, ama yalnızca geçerken uğradıklarından ve çekirdekle geçici bir etkileşime girdiklerinden bu olasılık düşüktür. Kozmik radyasyondaki bazı parçacıklar engeli aşmaya yetecek enerjiye sahiptir ve geçerken çekirdeği bütünüyle parçalayacak kadar bir enerjiyi ona yükleyerek engeli kolaylıkla delip geçebilir.

Nötronların elektrik yükü yoktur. Bu yüzden onlar için engel yoktur. Rasgele çekirdeğe çarpan bir nötron doğrudan içinden geçebilir.

rın tepesine oturdu. Bu çekirdeğin olağan sakinlerinden biri değildi. Dışardan gelen yabancı bir nötrondur. Alice sanal parçacığın kendisine Coulomb engelinin nötr parçacıklar üstünde etkisi olmadığını anlattığını ve kendisinin nasıl kolaylıkla engeli geçtiğini anımsadı. Bu nötron da aynı biçimde davetsiz bir misafirdi.

Bütün nükleonlar arasında şimdi büyük bir telaş ve panik vardı. Bu fazla nötronun katılımıyla çekirdeğin istikrarının bütünüyle sarsıldığını haykırarak oradan oraya şaşkınlıkla koşturuyorlardı. Onlar oradan oraya fırlarken, Alice, dehşet içinde bütün odanın şiddetle sarsıldığı içinde sarsıldığını gördü. Kocaman taş duvarlar titreşen bir damla sıvı gibi sarsılıyordu. Bir an oda sıkışık bir kareye dönüşüyor, hemen ardından da ince ve uzun bir hal alıyordu. Alice'in durduğu yere yakın ortada bir yerde dar bir boyun oluştu ve böylece oda neredeyse ikiye ayrılmış oldu. Duvarlar ileri geri sallanıyor ve her seferinde oda ortasından gittikçe daralıyordu. Oda epey bir süre uzadı. Alice uzakta kalan duvarların karşıt yönde uzaklaştığını ve yakındakilerin onu ve çevresindeki parçacıkları ezecekmiş gibi yakınlaştığını gördü. Daha önce boşluk daha kapanmadan hareket hep ters yöneydi, ama şimdi Alice'in birkaç nötronla birlikte durduğu yerde duvarlar birbirine çarpıyordu.



Duvarlar üstüne abandığı anda, Alice kendini tekrar Şato'nun dışındaki düzlükte buldu. Dönüp yeniden baktı ve uzun kara kulenin, ortadan boylu boyunca geçen bir yankla bölündüğünü gördü. O bakarken Şato ayrı ayrı çöken iki yarım kuleye bölündü. Her biri şiddetle sarsılıyor, dış yüzeyleri içi pelte dolu bir torba gibi titreşiyordu. Her ikisi de artı enerjilerini akıtırken yüksek enerji fotonları çarpıcı bir fışık gösterisi gibi iki kuleden havaya uçuşuyordu. Yavaş yavaş sarsılma son buldu ve düzensiz biçimler ilk gördüğü o yüksek gökdelenle-

re benzer bir biçimde aktı. Şimdi önünde Rutherford Şatosu'nun daha küçük olan kuleleri vardı, ama bunlar durmuyor, daha önce aralarında paylaştıkları pozitif yük tarafından itilerek birbirlerinden hızla kayarak uzaklaşıyorlardı.

“Bittiğine sevindim, gerçekten korkunçtu,” diye kabullendi Alice. Şimdi, sakinleşmiş manzaraya baktığında, Alice şatonun ikiye yarılrken kendisiyle birlikte dışarı fırlattığı birkaç nötron gördü. Düzlüğe yayılmış her yöne koşturuyorlardı. O bakarken, bir tanesi şans eseri uzak-taki bir başka nükleer şatoya ulaştı ve kenarından hızla içine daldı.

Kısa bir süre sanki hiçbir şey olmadı. Sonra bu şatonun da sallanmaya başladığını gördü. Şato aniden ortasından ikiye yarılına dek sarsıntı çoğaldı. “Olamaz!” diye bağırdı Alice, iki yarımın, enerjik fotonlar tükürerek parçalandığını görünce. Neredeyse gözle görülmeden, taze bir nötron grubu felaket yerinden uzaklaştı.

Çok geçmeden, düzlük boyunca amaçsızca sürten birkaç nötron rastgele bir çekirdeğe çarpmış ve içine girmişti bile. Aynı süreç, çekirdeklerin yarılması, ortalığa daha fazla gama fotonunun saçılması ve



ortalıkta şaşkınlıkla dolanacak daha çok nötronun dışarı atılmasıyla sona ererek yinelendi. Süreç ardı ardına yineleniyordu. Az sonra yarıma sancıları içinde dört çekirdek vardı, ansızın on, yirmi, kırk oldu. Manzaranın yukarısı yüksek enerji fotonlarının yoğun parlak radyasyonuyla parıldarken, Alice her tarafta nükleer şatoların alevli yarıklarla parçalandığını gördü.

"Korkunç bir şey!" diye bağırdı Alice dehşet içinde. "Neler oluyor böyle?"

"Kaygılanmana gerek yok Alice," dedi yanındaki sakın bir ses. "Bu yalnızca, uyarılmış bir nükleer fizyon. Zincirleme tepkime bilirsin. Senin kaygılanmana gerek yok. Yalnızca sizin dünyanızda bir nükleer patlama denilen şeyin ortasında duruyorsun."

Alice hızla döndü ve karşısında Kuantum Mekanikçisi'nin alçakgönüllü hatlarını gördü. "Kaygılanman gereksiz," dedi Kuantum Mekanikçisi yeniden. "Bir fizyona katılan enerjiler, çekirdeğin içinde karşılaştıklarından daha azdır. Tek sorun artık çekirdeğin içine sınırlanmış olmamaları. Seni arıyordum," diye yine sakın bir edayla devam etti. "Sana vereceğim bir davetiye var."

Alice'e sert ve süslü yazılara bezenmiş bir davetiye uzattı. "Maske- li Parçacık Balosu'na bir davetiye, bu bütün temel parçacıkların davetli olduğu bir parti."

Bazı çekirdekler, *nükleer fizyon* denilen bir işlemle daha küçük ve kararlı iki çekirdeğe ayrılabilir. Buna, zaten kararsız olan bir çekirdek için "bardağı taşıran son damla" olan ve Coulomb engeli tarafından dışarda tutulamayan fazla bir nötronun eklenmesi neden olur. Bu fizyon, bir zincirleme reaksiyona yol açacak başka birkaç nötron salabilir.

1. Fiziksel dünyadaki hemen her şey elektronlar ve sanal ya da başka tür fotonlar arasındaki bir etkileşimin sonucu olarak görülebilir. Katıların, tek tek atomların ve atomlar arasındaki etkileşimden gelen kimyasal davranışların özellikleri, elektronlar arasındaki elektriksel etkileşime indirgenir. Dünyanın geri kalanıyla etkileşime giren elektronların yanında bir de atomun içindeki pozitif yüklü bir çekirdek vardır. Çekirdeği bir arada tutan elektriksel güçler değildir, aslında tam tersi söz konusudur.

Atomik çekirdekte hiçbir elektrik yüküne sahip olmayan nötronlar ve pozitif yüklü protonlar bulunur. Yarıçapı atomun tüm büyüklüğünden yüz bin kez daha küçük olan çekirdeğin dar alanında protonların karşılıklı itimi çok büyüktür. Bu elektriksel güç çekirdeği parçalama eğilimindedir, bu yüzden çekirdeği bir arada tutacak ve bazı nedenlerle başka bir yerde ortada olmayan daha büyük bir kuvvet olmalıdır. Böyle bir kuvvet vardır ve *güçlü nükleer etkileşim* olarak bilinir. Güçlü olsa da kısa ömürlü olduğundan çekirdeğin dışında pek etkisi görülmez. Bu güçlü etkileşim, tıpkı elektriksel etkileşimin foton değişimiyle oluşması gibi, sanal parçacıkların değişimiyle oluşturulur. Fotonların durgun kütlesi yoktur, ama güçlü etkileşimde değiştirilen parçacıklar görece daha ağırdır. Durgun kütle enerjilerini çok kısa bir zaman için olası olan özellikle büyük bir kuantum dalgalanmasından alıyor olmalılar. Bu tür ağır sanal parçacıklar kısa ömürlüdür ve kaynaklarından uzaklaşamazlar dolayısıyla ürettikleri etkileşim de kısa erişimlidir.

Alice davetiyeyi elinde sıkı sıkı tutup yüksek cilalı kapıya giden geniş taş basamaklardan çıktı. Davetiyenin verilmesini hatırlasa da, oraya nasıl geldiğini bir türlü hatırlayamıyordu. "Burası Maskeli Ballo'nun düzenlendiği yer galiba," diye kendini yüreklendirerek söyledi. "Her nasılsa her zaman insanların olmamı istedikleri yerlerde oluyorum."

Kapının dışında duruyor, kapıyı inceliyordu. Boyası pürüzsüz parlak ve koyu kırmızı renkteydi. Parlak pirinçten bir çıkıntısı ve karikatürsü bir yüz biçimindeki, aynı parlaklıkta bir pirinç tokmağı vardı. Kapı kapalı ve kilitliydi de. Anahtar deliğinden dışarıya keyifli bir mum ışığı süzülüyordu. Alice içerde çalan gürültülü müziği duyabiliyordu.

Nasıl girecekti? Yanıt yeterince ortada gibiydi, bu yüzden tokmağı sıkıca kavradı ve gürültüyle vurdu.

"Ah! Ne yaptığını sanıyorsun?" diye eline çok yakın bir yerden kederli bir ses bağırdı. Aslında ses, tam anlamıyla elinden geliyordu. Alice şaşkınlıkla kapıya baktı ve öfkeli bir kapı tokmağının kızgın bakışlarıyla karşılaştı.

"O benim burnumdu!" diye öfkeyle bağırdı ses. "Söyle ne istiyorsun?"

"Gerçekten çok üzgünüm," dedi Alice, "ama bir kapı tokmağı olduğundan kapıyı çalmak için seni kullanabilirim sanmıştım. Hem çalmadan içeri nasıl girebilirim?" diye sordu sızlanarak.

"Çalmanın bir yararı yok," dedi tokmak hiddetle. "İçeride o kadar



gürültü yapıyorlar ki, seni duymaları olanaksız." İçerisinin gerçekten çok gürültülü olduğu su götürmezdi. Konuşmalardan kaynaklanan bir uğultu, onların üzerinde konuşan, ama yine de kapıdan duyulamayan daha gürültülü bir ses ve hepsinin üstünde müziğin sesi.

"O halde içeri nasıl girerim?" diye hayal kırıklığı içinde sordu Alice.

"Girecek misin?" dedi kapı tokmağı. "Bu ilk soru biliyorsun."

Elbette girecekti, ama Alice kendisine bu şekilde söylenmesinden hoşlanmadı. "Sahiden korkunç," diye kendi kendine mırıldandı. "Herkes böyle söyler." Sesini yükselterek, bir kapı tokmağıyla konuştuğunun biraz farkında olsa da, tokmağa yönelerek, "davetiyem var," dedi. Davetiyeyi yüzünün önünde tutuyordu.

"Evet, görebiliyorum," dedi tokmak. "O yalnızca parçacıkların bir işlevi olan Maskeli Parçacık Balosu'nun davetiyesi. Peki sen bir parçacık mısın?"

"Kesinlikle bilmiyorum," dedi Alice. "Sanırım daha önceleri değilim, ama başıma gelen onca şeyden sonra bir parçacık olmam gerektiğini düşünüyorum."

"O halde, bakalım gerekleri yerine getirebiliyor musun?" dedi tokmak. Burnunun acısı dinmiş olacak ki, daha ılımlı bir tonda konuşuyordu. "Bir saniye notlarıma bakayım." Notlarına bakması bir yana,

Alice, bir kapı tokmağının nasıl olup da not tuttuğunu anlayabilmiş değildi. Tokmak kısa bir duraksamadan sonra devam etti. "Evet, işte burada. Bir parçacığı tanımlamak için gerekli nitelikler listesi."

"Bir" diye okumaya başladı. "Gözlemlediğin zaman, akla uygun iyi tanımlanmış bir konumda değişimsiz gözlemleniyor musun?"

"Evet, bildiğim kadarıyla öyle," dedi Alice.

"İyi," dedi tokmak yüreklendirerek.

"İki. Benzersiz ve iyi tanımlanmış bir kütle var mı? Olağan dalgalanmalar dışında tabii ki..."

"Ah evet. Ağırlığım bir süredir pek değişmedi." En azından Alice öyle olduğuna inanıyordu.

"Güzel, bu çok önemli bir gereklilik. Bütün farklı parçacıkların kendilerine özgü kütleleri vardır. Bu en ayıncı özelliklerinden biridir ve bir parçacığı ötekinden ayırmak gerektiğinde çok işe yarar." İnsanların, yüzlerine bakılarak değil de, tartılarak tanımlanabilirliği düşüncesi, Alice'in kafasını kurcalıyordu. Ama parçacıkların genel olarak yüzlerinde belirleyici herhangi bir şey bulunmadığını anladı.

"Üç. Kararlı mısınız?"

"Pardon. Ne buyurdunuz?" dedi Alice gücenmiş bir ses tonuyla.

"Dedim ki: 'Kararlı mısınız?' Yeterince basit bir soru. Ya da en azından öyle olmalı: Bu gereklilik son zamanlarda oldukça bulanıklaştı. Eskiden yalnızca 'Yapınız bozulur da başka bir şeye dönüşür müsünüz?' anlamını taşırdı. Herhangi bir gelecek zamanda bozunma olasılığınız varsa, o zaman kararsız olurdunuz, hepsi buydu. Ama yeterince iyi değildi. İnsanlar, 'Herhangi bir şeyin sonsuza dek süreceğinden emin olamayız, bu yüzden yeterince uzun bir zaman var olan belirgin bir durum, bir parçacık olarak sınıflandırılabilir,' demeye başladı. Ondan sonra da 'yeterince uzun ne demek?' sorusu çıkar ortaya. Yıllar mı, saniyeler mi, nedir? Şu sıralar saniyenin yüz milyonda biri kararlı kabul ediliyor," diye tiksinererek bitirdi. "Hem, şimdi sana soruyorum: Saniyenin yüz milyonda birinden daha uzun yaşayacağını düşünüyor musun?"

“Ah, evet öyle olmalı,” dedi Alice güvenle.

“İyi, o zaman seni kararlı bir parçacık sayıyorum. İçeri girsen iyi olur. Buralarda olmaktan başka yapacağın daha iyi bir şey olmayabilir, ama benim var,” diye homurdandı tokmak. Bir tıkırtı duyuldu ve kapı sallanarak açıldı. Alice zaman kaybetmeden içeri girdi.

İçeride, solgun aynalı tahtalarla süslenmiş, avizeli ve içlerine büstlerin konulduğu girintileriyle zarifçe döşenmiş bir holden geçti. Büstler önemli parçacıklara ait olduğundan Alice’in ayrıntıları anlaması zordu. Heykeltıraşın kurnazlık ederek bir heykelde olması gereken hatları belirginleştirmediğini düşündü. Aslında büstleri yeni görenler, düpedüz kaya parçaları sanırdı.

Alice holü geçerek geniş bir odaya girdi. Burası balonun düzenleneceği odaya ya da daha doğrusu salona benziyordu. Salon tavandan sarkan avizelerle aydınlatılmıştı. Ama avizeler her nasılsa pek ışık saçmıyordu ve odanın büyük bir kısmı gölgeliydi. Gölgeler, odayı dolanan birkaç parlak sahne ışığı karışıklığıyla daha da belirginleşmişti. İçlerinden biri bir ışık çemberiyle tam Alice’in önünde durdu. Bu çemberin ortasına iskambil kağıtlarındaki jokere benzer bir herif sıçradı. Gülünç kesimli kostümü, canlı kırmızı mavi ve yeşil çizgilerle bezeliydi. Daha yakından inceleyince, Alice kostümün ayrıca *anti-kırmızı*, *anti-mavi* ve *anti-yeşil* çizgiler taşıdığını gördü. Alice daha önce hiç böyle renkler görmemişti. (Ne yazık ki bu kitaptaki resimler renkli değil bu yüzden bu renklerin neye benzediğini göremiyacaksınız.) Fantastik görünüşü üstüne inanılması güç ve sürekli bir gülümseme

Nötron ve proton dışında güçlü etkileşime giren pek çok parçacık vardır. Bir parçacığı ötekinden ayırmak öyle kolay bir iş değildir. Bazılarının farklı elektrik yükleri vardır ama aynı yüke sahip başka birçok parçacık da bulunmaktadır. Parçacıklar genellikle uygulamada pek az ayırıcı olan kütleleri ölçülerek ayrılır. Birçok parçacık bir ölçüde kararsızdır: Daha ağır bir parçacık daha küçük olanlara bozunur. Bir çekirdeğin dışında nötronlar bile kararsızdır. Ortalama ömürleri 20 dakikadır.

oturtulmuş bir maskeyle tamamlanmıştı.

Alice'e seslendi. "Bon soir, mademoiselle. Guten Abend, Fraulein. İyi akşamlar, genç bayan. Willkommen. Bienvenue. Hoşgeldiniz. Maskeli Balo'ya hoşgeldiniz."

"Teşekkürler," dedi Alice. "Ama sen kimsin? Hem 'Maskeli Balo' da nedir?"

"Ben bu Maskeli Balo'nun Tören Üstadıyım," dedi. "Ve bu da, Parçacıkların Maskeli Dansı. Bir şenlik ve gösteri gecesi. Maskenin ardındaki gizemin keşfedilmesi. Bütün parçacıklar neşeli bir dans içinde oradan oraya dönenmek için buraya gelir ve uygun durumlarda, maskelerini çıkarırlar. Senin masken de, ne bileyim, sanki özel bir tasarım gibi."

"Nasıl yani?" dedi Alice meydan okurcasına. "Yalnızca bir kez maskeni çıkarabilirsin. Ya maske takıyorsundur, ya da takmıyorsundur, o kadar."

"Kaç tane maske taktığına bağlı. Parçacıklar birçok maske takabilir. Akşamın başlangıcında bir grup atom vardı ve bunlar maskelerini çıkardıklarında ortaya bir elektron topluluğu ve birkaç çekirdek çıktı. Akşamın ilerleyen saatlerinde bir kez daha maskeler çıkarıldı ve çekirdekler maskelerini indirdiklerinde, aslında aralarında birkaç pion da bulunan nötron ve protonlar oldukları ortaya çıktı. Eminim gece sona ermeden başka açığa çıkmalar da olacak.

"Ama şimdi," diye aniden bütün odaya yayılacak kadar yüksek bir sesle bağırdı. "Şenliğe devam! Mesdames et Messieurs, Damen und Herren, Bayanlar Baylar, lütfen canlılıkla Çarpışan Dans'a buyurun!"

Bir telaş başladı ve Alice toplanmış parçacıkların odada dönenmeye başladıklarını gördü. Aslında dans ediyorlar denemezdi, ama artan bir hızla oradan oraya dolanıyorlardı. Temel sorun hangi yönde döneceği konusunda genel bir anlaşmazlık varmış gibi görünmesiydi, bu yüzden bazıları şu bazıları bu yönde dolanıp duruyordu.

Bu dönen parçacık desteleri, daha da artan bir hızla birbirleri ara-



sından geçiyorlardı. Çok geçmeden kaçınılmaz olan oldu ve iki parçacık büyük bir gürültüyle çarpıştı. Alice çarpışmada yaralanıp yaralanmadıklarını anlamak için bakındı. Bunu saptaması Alice için gerçekten olanaksızdı. Ama etkileşimlerinden sonra aynı kalmadıkları açıktı. Daha önce orada olduklarına inanmadığı birkaç küçük pion çarpışmadan hızla uzaklaştı ve çarpışan parçacıklar bütünüyle yeni bir şeye dönüşmüştü. Daha büyük ve her nasılsa daha egzotik parçacıklar durumuna gelmişlerdi —kuşkusuz artık aynı değillerdi.

Dans devam etti ve zaman geçtikçe çarpışmalar birbirini izledi. Çarpışmaların her birinde görece tanıdık nükleer parçacıklar yeni ve tuhaf bir şeye dönüşüyordu. Çok geçmeden ortalıkta beyin uçuklatıcı bir farklı parçacıklar çeşitliliği doğdu. Üstelik, Alice'in daha önce gördüklerinden ve hayal edebileceğinden çok daha fazla türde.

“Muhteşem bir manzara değil mi?” diye sordu Alice'in kulağının dibinden bir ses. Bu, sırtıtan maskesi bir kol uzaklığında duran Tören Üstadıydı. “Ne hoş bir hadronik parçacık cümbüşçüleri topluluğu ama! Ne görkemli baryonik çeşitliliği! Sanırım artık aralarında aynı kalan çift yok.”

Kullandığı sözcüklerin çoğunu anlamadı ve Alice bunları sorma-

makla akıllılık edeceğini düşündü. Yalnızca olduğunca basit bir biçimde neler olduğunu öğrenmek istiyordu. “Bütün bu yeni parçacıklar nereden geldi kuzum?” diye sordu.

“Tabii ki çarpışmada yaratıldılar. Gördüğün gibi parçacıkların hepsi gerçekten hızlı bir şekilde dönüyordu. Bu yüzden de çok büyük miktarda bir kinetik enerjiye sahiptiler. Çarpıştıklarında, bu kinetik enerji durgun kütle enerjisine dönüştürülebilir, böylece daha yüksek kütleli parçacıklar yaratılabilir. Gerçekleşen farklı çarpışmalarda farklı parçacıklar üretildi. Her biri onu uygun biçimde saptamayı sağlayan ayırıcı durgun kütlelerine sahip. Gerçi başka, daha ince farklar da vardır. Ortalıkta aynı kütleyle sahip güçlü etkileşim içindeki bir parçacık çifti umarım artık yoktur. İşte Maskeli Balo’da gerçekleşen budur.”

Bütün odaya seslenirken, sesi bir kez daha yükseldi. “Dans bitti. Lütfen uygun çokluklarınızda toplaşınız.”

Bu istek üzerine toplu parçacıklar odanın çevresine dağılıp küçük ve ayrı kümeler halinde bir araya geldiler. Alice çoğunlukla sekiz parçacıklık gruplar halinde, altısı dış çevrede bir altıgen oluşturup iki tane de ortasına gelerek toplandıklarını gördü. Birkaç grup, tabana boylamasına dizilmiş dört parçacıklı üçgen düzenekler içinde, on parçacık içeriyordu.

Tören üstadı Alice’e sessizce “Şurada kendi simetri gruplarına toplanmış parçacıkları görüyorsun,” dedi. “Bu gruplar dönüş gibi bir özellik için aynı değerlere sahip parçacıkların kombinasyonlarıdır. Bu derinin altında yatan bir benzerliğin belirtisidir, daha doğrusu maske-

Çarpışma işleminde, parçacıklar yaratılabilir. Çarpışan parçacıkların kinetik enerjisi yeni parçacıkların durgun kütle enerjisini üretecek şekilde dönüştürülür. Çeşitli *simetri gruplarında* böyle birçok parçacık bulundu ve sınıflandı, ama şimdi, atomların çekirdeklerindeki proton ve nötronlarla elektronların bileşimi olması gibi, bunların da farklı kuark bileşimleri oldukları biliniyor. Fermionlar veya *baryonlar* üç kuark içerir, bosonlar veya *mesonlar* ise bir kuark ve bir anti-kuark içerir.

nin altındaki. Şu en yakındaki gruptan bazı üyeleri tanıyabilirsin,” diye ekledi.

Alice yanı başındaki sekiz parçacığa baktı ve altı köşeli düzeneğin üst iki kenarının bir nötron ve bir protondan oluştuğunu gördü; ötekileri ise tanııyordu.

“Bu yarım spine sahip bir baryonlar grubudur,” dendi Alice’e. Bu sözler Alice için bir şey ifade etmiyordu. Ama şimdilik inanmaya hazırıldı.

“Sanırım nötron ve protonla çoktan karşılaştın. Öteki sırada hem pozitif hem negatif yük hem de yüksüz olabilen sigma parçacıkları bulunuyor. Bu nedenle üç farklı parçacıkmiş gibi görünür. Düzeneğin ortasında bir yüksüz tek parçacık olan lambda var. Hepsi tuhaf parçacıklardır,” diye ekledi.

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

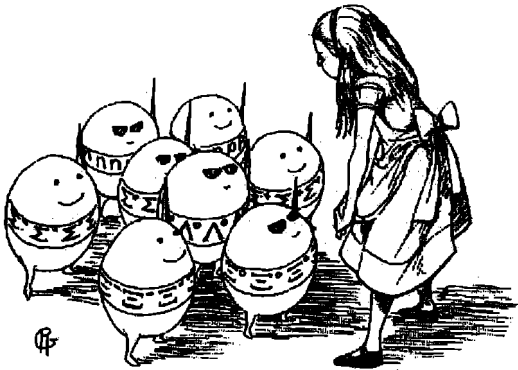
Alice yakından bakmak için ilerlediğinde, “Bana hepsi tuhaf görünüyor,” diyerek söylenenleri olumladı.

“Hayır, hayır. *Tubaflık* yalnızca tesadüfen *tubaf* adı verilmiş belirli bazı parçacıkların sahip olduğu bir özelliktir. Tıpkı elektrik yükü gibi, bilirsin, bütünüyle farklı olmaları dışında,” diye pek bir yardımı dokunmayan laflar ekledi. “Geriye kalan iki parçacık da kademeli dizidir. İki farklı yük durumlarından geldiğinden onlardan iki tane var,” diye açıkladı. “Kuşkusuz bu iki misli tuhaf.”

“Kuşkusuz” diye yineledi zavallı Alice.

“İşte tam zamanı” diye, sesinin odanın her yanından duyulabilmesi için yüksek ve açık bir tonda ansızın bağırdı. “Şimdi akşamın son maskelerini çıkarma zamanıdır. Mesdames et Messieurs, Damen und Herren, Bayanlar Baylar, herkes... maskelerinizi çıkarın!”

Alice nasıl olduğunu bir türlü anlamadı, ama çevresindeki parçacıkların görüntüsü değişmişti bile. Tören Üstadının lambda diye adlandırdığı en yakınında duran parçacığa baktı. Artık bir parçacıktan



çok, içinde üç kişinin bulunduğunu gördüğü bir tür torbaydı sanki. Daha iyi görebilmek için yakınlaştı ve kendisinin içeri çekildiğini hissetti. Kaçmaya çalıştı, ama tüm çabasına karşın torba onu yuttu.

Alice içerde kendisi içine yakta duracak kadar yer olmadığını gördü. Çömelmeye çalıştı, ama içinde bulunduğu yer o denli baskı yapıyordu ki, bir dirseğini yere koyup öteki kolunu da başının arkasına dolayarak yatmaya çalıştı.

Bu biçimsiz konumda çevresine bakındı ve dışardan belli belirsiz gördüğü o üç şahısla göz göze geldi. Gördüğünde bunların şimdiye dek karşılaştığı parçacıkların hepsinden farklı olduğunu gözlemledi. Her birinin renklerinin farklı tonlarda olduğunu gördü. Tören Üstadı'nın kostümünde gördüğü üç anti-renkle birlikte kablo bu üç renkle türlü çizgilerle bezenmişti.

Bu tuhaf yeni parçacıkları incelemeye o denli dalmıştı ki, Alice içlerinden birinden çıkan sese oldukça şaşırdı.

"Bizim sinema görüntüleri olduğumuzu düşünüyorsan," dedi, "bedelini ödemek zorunda olduğunu biliyorsun. Sinema görüntüleri karşılıksız izlenmez. Hayır hayır."

"Öte yandan," diye ekledi, "canlı olduğumuzu düşünüyorsan merhaba diyerek el sıkışmalısın."

Alice kolunu zorlukla uzatırken, "Üzgünüm," dedi pişmanlıkla.

Nasıl olduğunu anlamadı, ama kendini her nasılsa, bir el yerine eski bir araba klaksonunun kocaman lastik kafasını tutarken buldu. Bastığında yüksek bir klakson sesi duyuldu.

“Peki siz kimsiniz?” diye sordu, bu aptallıktan biraz sinirlenmiş olarak. “Önsöze ihtiyacımız yok, o yüzden ben söyleyeyim. Biz Üç Kuark Kardeşleriz,” diye yanıtladı sözcü, parçacık arkadaşlarını kıpır kıpır oynatarak. “Ben Üsto, bu Alto, şurdaki de Tuhafo.” Üsto yeşil, Alto kırmızı, Tuhafo maviydi.

“Size katılmamın bir sakıncası yoktur umarım,” dedi Alice biçimsiz burnunu hafifletmeye çalışarak.

“Niye ki? Bizim ayrılmaya niyetimiz yok,” diye yanıtladı Üsto ve hepsi bir anda kahkahalara boğuldu.

Alice pek eğleniyor gibi görünmüyordu; espriyi komik bulmamıştı. Aslında bir daha düşününce gülünç bile bulmadığını gördü. Kızgınlıkla üç kardeşlere baktı ve şimdi Üsto’nun kırmızı ve Alto’nun yeşil olduğunu görünce afalladı.

“Renk değiştirdiniz,” diye bildirdi Alice neredeyse suçlayıcı bir tonda.

“Eee... Doğal olarak,” diye sakın bir yanıt verdi Üsto. “Genellikle renk değiştiririz. Başlarken epey yeşildim, sonra biraz mavi hisseder oldum. Kendimi ve şimdi kırmızı görmeye başlıyorum. Elektrik yüküne sahip parçacıkların foton alıp verdiğini bilirsin,” dedi birdenbire.

“Evet, bana anlatılmıştı,” dedi Alice.

“Valla biz kuarklar renkli kişileriz. Gluon alıp vererek birbirimize yapışırız. Gluonlar paramızın rengini görünce sülük gibi yapışır; rengimizi gözlerler. Renkli parçacıkların hepsi gluon alıp verir. Fotonların

Kuarklar maddenin şimdilik bilinen en temel biçimleridir. Güçlü etkileşim içindeki tüm parçacıklar bağlanmış kuark gruplarıdır. Fermionların her biri üç kuarktan, bosonlar birbirine bağlanmış bir kuark ve bir anti-kuarktan oluşur. Bu bağlanma çok güçlüdür ve elektrik etkileşimi gibi, sanal parçacık değişiminden doğar.

yüklü parçacıklarda yaptığı gibi gluonlar da onları bir arada tutar.”

“İyi ama, neden renk değiştiriyorsunuz ki?” diye sordu Alice. “Yüklü parçacıklar foton değişimi yaptıklarında elektrik yüklerini de-
ğiştirmezler.”

“Hayır, ama fotonlar yük taşımazlar. Fotonlarda yük olmadığı için bunlar herkesin gönlüne bu denli taht kurmuştur. Oysa gluonlar ger-
çekten renk taşır. Renkli bir gluon, kaynağından kaçtığı anda, renk onu yakalayan kuarka geçer. Diyebilirim ki, bu olağan bir ‘Kim Kimdir?’ meselesi.” Üsto konuşurken Alto rengini maviye çevirdi ve Tuhafo, kıvrıkcık saçları özellikle parlak bir ton kazanarak, kırmızılaştı.

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

Üsto, Tuhafo’yu gösterdi. “İşte” dedi, “farklı bir renk kaynağı var orada.

“O denli renkli gluonlarımız var ki, asla ayrılamayız. Birimiz hepimiz, hepimiz hiçbir şey için. Birleşikken ayakta dururuz ve bölününce ayrılmaz kalırız.”

“Korkarım söylediklerinden hiçbir şey anlamadım,” diye çıkıştı Alice.

“Hepimiz karşıt elektrik yüklerinin çektiğini biliyoruz, ama bu tür bir çekim altındaki parçacıkları ayırabiliriz. Foton değişimi onları bir arada tutar, ama fotonların yükü yoktur.”

“Fotonlarda yük yoksa özgürler demektir. İstedikleri yere gider-
ler,” dedi Alto ansızın.

“Doğru fotonların yükü olmadığından özgürdürler, istedikleri uzaklığa yayılma özgürlüğüne sahiptirler. Kendi aralarında başka fotonları alıp vermezler.”

“Değişim ve yük yoksa etkileşim de yoktur,” diye ekledi Alto. “Şu fotonlar hiçbir işi birlikte yapamazlar.”

“Yük olmadan sanal fotonlar ortak bir iş yapmazlar, bu yüzden birbirlerini çekmezler. Kimse onlardan yük alamaz. Bu nedenle yalnızca

ortalığa dağılırlar. Kaynak yükler birbirinden uzaklaştıkça, fotonların yayılabileceği alan genişler. Fotonlar seyrek olarak dağılırlar. Zamanları seyrek ve aktaracakları momentum daha azdır.”

“İşte son bir aktarım aktarım yapıyorum,” diye yardıma koşarcasına araya girdi Alto. “Bana biraz momentum vereceklerini söylüyorlar. Sana da vere vere bir tekme verdiler.”

“Ve savlannın gücünü hissettin,” diye yanıtladı Üsto. “Ama verilecek daha az momentum olduğunda güç de zayıflar. Ayır yükleri, yitirsinler teması! Çekimleri gittikçe azalsın, teması o denli yitirsinler ki yazmak bile akıllarına gelmesin. Ellerine yeterince enerji ver, her tarafa sürüklersin onları. O denli birbirlerinden ayrılırlar ki, artık sözü edilebilecek bir çekim kalmaz ortada. O zaman yükler oldukça bağımsızdır. ‘Bağımsız yük’ ile ne demek istendiğini ya da birini ‘bağımsızla yükledim’in ne anlama geldiğini herhalde biliyorsundur.”

“Elektrik yükleri konusunda bu kadarı yeter ama! Kuark yükleri konusunda konuşmak için buradayız.”

“Kuark yükü nedir?” diye merakla sordu Alice. Elinden geldiğince aydınlanmayı ister hep.

“Si, si, üst kuarklar için ve hafta sonlarında çifte tarife,” diye yanıtladı Alto. “Ama biz çok ucuzuz. Bizim yük maliyetimiz öteki parçacıklarınınkinin üçte biri kadardır.”

Birçok parçacığın elektriksel yükü vardır ve gözlemlenen bütün parçacıkların aynı büyüklükte yükler taşıması çok çarpıcı bir gerçektir. Bazı parçacıkların pozitif yükü, bazı parçacıkların negatif yükü vardır, ama *miktar* hepsinde aynıdır. Bu miktar, yalnızca elektronlar ilk keşfedilen parçacıklar olduklarından, *elektron üstündeki yük* diye bilinir. Kuarkların sahip olduğu yüklerle ilgili tahminler farklı olmalarını gerektirir. Bir kuark elektron yükünün *üçte ikisi* büyüklüğünde bir pozitif yüke ya da bir elektronunkinin *üçte biri* büyüklüğünde bir negatif yüke sahip olabilir. Kuarklar kendi bağlı gruplarından kaçamadıkları için bu kesirli yükler doğrudan gözlemlenemezler, ama doğru olduklarına ilişkin güçlü kanıtlar bulunuyor.

“Anlamadığım bir şey var,” dedi Alice Alto'ya. (Bu hafif bir ifadeydi çünkü şimdiye değin anlayamadığı çok şey vardı.) “Neden İtalyan gibi konuşmaya çalışıyorsun. Senin İtalyan olduğuna inanmıyorum.”

“Çünkü o bir fermion,” diye yanıtladı Üsto onun adına. “Enrico Fermi İtalyandı.”

“Ama hepiniz fermion değil misiniz?” diye karşı çıktı Alice.

“Tabii ki. Birimiz hepimiz, hepimiz Pauli için. Kimse bunu yadsıyamaz.” Üç kuark da hazır ola geçip selam durdu.

“Biz bölünemez bir grubuz. Bir kuark, bir protonun ya da başka herhangi bir parçacığın içinden kaçamaz. Her şey kırmızı, mavi ve yeşilden kaynaklanıyor. İşte sana Eski Haşmet.”

“Pardon ne buyurdunuz?”

“Gesundheit! diye yanıtladı Üsto, ama Alice kararlıydı.

“*Haşmet*’le ne kastettiğinizi anlamıyorum.”

“Tabii ki anlamazsın—ben anlatana kadar. ‘Senin için mat edici hoş bir tartışma var’ demek istedim.”

“Ama *haşmet* o anlama gelmez ki!” diye çıkıştı Alice.

“Bir sözcük kullandığımda benim seçtiğim anlamı taşır, ne bir eksik ne bir fazla. Soru şu, kim efendi olacak? Hepsi bu. Ama bu da gluonlarla ilgili bir başka mesele,” diye kederle ekledi.

“Onların hakkından gelmenin bir yolu yok, asla yakanızı sıyıramazsınız. Fotonlar gibi değiller. Sorun gluonların hepsinin renkli olması. Hem, yükün foton yaratması gibi, renk de gluon yaratır, bu yüzden bütün gluonlar başka gluonlar salar ve bu gluonlar da daha baş-

Üç farklı türde rengin varlığı gluonların da renkli olmasını sağlar. Her gluon bir renk ve anti-renk karışımıdır. Fotonlarda bir yük ve anti-yük karışımı yüksüz bir parçacık verir, ama gluonlar farklı renkleri birleştirebilir; örneğin bir gluon mavi ve anti-yeşil olabilir. Böyle bir gluon nötr değildir; rengi vardır ve öteki gluonlar için kaynak işlevi görebilir. Bu gluonların da birbirlerine bağlanmış oldukları ve fotonların yaptığı gibi rahatça yayılmak yerine kuarkları birbirine bağlayan dar şeritler oluşturdıkları anlamına gelir.

ka gluonları salar. Yalnızca bir ya da iki taneyle başlarsın ve sonunda yüzlercesi peydahlanır. Hısımların evinize gelmesi gibi bir şey. Hepsi gluon alıp verdiklerinden hepsi birbirlerine yapışırlar. Tıpkı hısımlar gibi. Fotonlar gibi geniş belirsiz bir bulut halinde dağılmak yerine, burada gördüğün sıkı ve renkli sanal gluon şeritlerini oluşturmak üzere kümelenirler. Kümelendiklerinden fotonlar gibi özgürce yayılamazlar. Özgür küme gibi bir şey yoktur.”

“Bir kuark uzaklaştıktan hemen sonra makarasının sonuna gelir. Daha fazla enerjimiz olduğunda gluonlar bize daha fazla kordon verir, ama hâlâ onun ucunda asılı duruyoruz. Ne denli uzaklaşırsak uzaklaşalım, gluon çekimi bizi yuvaya sürükler. Kesip kurtulamayız, ama yine de arkadaşlarımızdan alacağımız azıcık yardım kaçmamıza yeter.”

İşte tam o anda, çok yüksek enerjiye sahip bir foton küçük kuark grubuna daldı. Geldiğini görmediği için Alice uyarda bulunmamıştı. Aslında, onun da şimdi anladığı gibi, fotonlar o denli hızlıydı ki, gelişleriyle gidişleri birdi. Bu foton Tuhafo'yla onu oldukça manik bir deliliğe kışkırtarak çarpıştı ve sonra da bir boynuzu gürültüyle iterek uzaklaştı. Ardından ona bağlı kordon uzadıkça uzadı. Alice, ne denli uzaklaşırsa uzaklaşsın kordonun hiçbir biçimde incelmediğini ve zayıflamadığını gördü. Sonsuza dek uzayabileceği ve kaçan kuarkın kurtulma olanağı olmadan, eninde sonunda enerjisini tüketeyeceği açıktı. Ama daha Alice bu sonuca zar zor ulaşmıştı ki... İp koptu.

Biraz önce fotonun verdiği tüm enerjiyi soğuran uzun ve gittikçe de uzayan bir kablo varken şimdi aralarında gittikçe genişleyen bir boşluk bulunan *iki* çok kısa aralık vardı. Kordonların kesik uçlarına şimdi birer yeni kuark demirlemiş olduğu ortaya çıktı. Alice ile kalan iki kuarka bağlı olan kordonun ucunda, farklı renklere sahip olmasının dışında tıpkı Alto'ya benzeyen bir kuark vardı. Hızla gerileyen Tuhafo, ucuna Alto'nun bir ters kopyası bağlanmış kısa kordonu sürük-lüyordu. Alice doğru olarak bunun bir anti-kuark olduğunu varsaydı. “Ne oldu böyle?” diye şaşkınlıkla sordu.

“Düşük yerlerdeki arkadaşların yardımıyla gerçekleşen bir kuark kaçışına tanık oldun. Aslında basıncın içinde ondan daha aşağı gide-
mezsin. Bir kuark’ın rengini görmüş bir gluon kordonunu ayıramaz-
sın, bu yüzden onu tıpkı kuarka benzeyen bir şeyle aldatmak zorun-
dayız.”

“Peki o nedir?” dedi Alice.

“Başka bir kuark tabii ki. Gluon kordonu, iki kuarkın durgun küt-
lesini yaratmaya yetecek enerjiyi içerecek kadar uzadığında, kordonu
keseriz ve düğmeye basarız. Bir ucuna bir kuark ötekine Değil gelir”

“İpin ucunda bir değin mi var?” diye sordu Alto (Altolardan biri.)

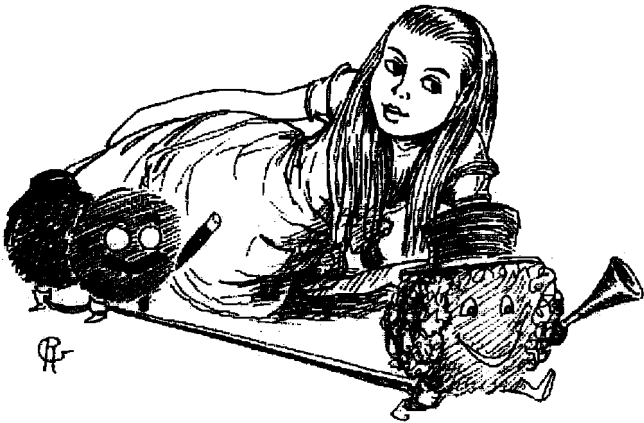
“Doğru, bir ucunda bir kuark ötekinde bir Değil-kuark var.”

“Değil-kuark nedir?” diye sordu Alice.

“Bir anti-kuark. Buna da inanırsan amcamı görürsün. Asıl kordo-
nun bir kısmı enerjiyi yanında götürerek ve Tuhafo’yu yeni anti-kuar-
ka bağlayarak uzakta hızla kaybordu. Bu yüzden gördüğün gibi yok-
luk parçanın öteye gitmesine neden olur.”

“Kaçmış olabilir, ama hâlâ özgür değil,” diye karşı çıktı Alice.

“Bir bağla serbestti. Bizden kurtulmuş durumda ama hâlâ bağlı.
Kendi anti-kuarkıyla bir bosona bağlı. O da bir pion gibi, ama pionlar
aldatıcı olabilir ve bu durumda onun yerine bir kaon oluşturdular.



Özgür bir kuark görmüyorsun –ya da hatta özgür bir kuark gölü, ama bu da başka bir balık yemi.”

“Bir kuark gölünün içinde balık mı var?” diye sordu Alto.

“Hayır, kuark gölünün balıklı bir tarafı yok. Tek amacı sanal kuark anti-kuark çiftlerini tutmak.”

“Takayı anlıyorum, sandalı da, ama çitlerin gölde ne işi var? diye sorguladı Alto.

“Gölü unut!” dedi Üsto “Yoksa biz tepetaklak gideceğiz. Sorun benim hiçbir zaman yalnız bir kuark bulamayacak oluşum.”

Bölüm sonundaki 3. nota bakınız

“Bu, burada sonsuza dek değişim şansı olmadan kalmak zorunda olduğunuz anlamına mı geliyor?” diye kaygıyla sordu Alice.

“Ah, pekâlâ değişim şansımız var. Bir değişim bir dinlence kadar iyidir derler, ama kendimi zayıf etkileşim konusunda konuşmakta oldukça özgür hissediyorum.”

“Çekirdeği ziyaret ederken kendisinden söz edildiğini duymuştum. Sanırım çekirdeğin beta bozunmasıyla –o da her neyse– ilgili bir şeydi.”

“Aynı şey. Aslında daha beter bir şey. Olan şu: Çekirdekteki bir nötron, nötrino denen başka bir parçacıkla bir proton ve elektrona dönüşür. Bu nötrinin yükü kütlesi ve güçlü etkileşimi yoktur. Gerçekte tanıdığım birçok herif gibi, bu da pek bir şey beceremez. Neyse, bu da başka bir hikaye. *Gerçekte* nötron içindeki bir alt kuark bir üst kuarka bir elektrona ve bir nötrinoya dönüşür. Alt kuark bir üst kuarka dönüştüğünde her şey üste gelir. Yüğü yükseltir, nötron protona dönüşür ve işte. Buralarda dolan, belki şansın yaver gider.”

Konuşması tam bitmişti ki, çok iyi bir rastlantı sonucu Alto'ların ikisi bulanıklaştı ve değişerek kimliğini yitirmeye başladı. Kısa bir geçiş anından sonra artık Alto ortalıkta yoktu ve yerinde Üsto'nun ikizi duruyordu. Yana kaydığında aynı noktadan bir elektronun çıkıp kaç-

tığını gördü Alice. Onu bir başka parçacık izledi. Alice bunun yalnızca çok kısa bir görüntüsünü yakalayabildi. Neredeyse algılanamayan ve görülmesi hemen hemen olanaksız bir şeydi. Alice bunun bir nötrino olduğunu düşündü. Nötrino ise, her zaman olduğu gibi, her şey ve herkesi umursamama, her şey ve herkes tarafından umursanmama görevini yerine getiriyordu.

Üçlü kuark grubu şimdi bir Alto ve iki aynı Üsto'dan oluşuyordu. Yani birinin şimdi yeşil ötekinin mavi olmasının dışında aynıydı. "Aman," dedi Alice, "tamamen harikulade bir şeymiş."

Boyun eğercesine her iki Üsto'da kusursuz bir görüş birliğiyle yanıtladı. "Tamamen harikulade bir şeymiş."

"Ama ne bekliyordun ki?" diye eklediler, "bir etkileşimde değiştirilen parçacıklar bir elektrik yüküne sahipken... Fotonların yükü yoktur, ama bu, Hafif Süvari Yüğü değildir. Bir kaynak bu yüklü parçacıklardan birini ortaya çıkardığında, yükü paylaşmak zorundadır. Orada düzensiz değişime izin verilmez. Biliyorsun. parçacığın elektrik yükü değiştiğinde farklı bir parçacık olarak hesaba alınır. Açık hesapları duymuşsundur. Bu biz kuarkların değişme yoludur," diye eklediler.

"Ama elektron nereden geliyor?" diye sordu Alice; açıklamanın biraz eksik olduğunu hissetmişti.

"Zayıf etkileşimde değiştirilen parçacıklara W denir," diye konuyu epey aşarak başladı Üsto.

"Ne W mu?" diye araya girdi Alice, görgü kurallarını bir an unutarak. "'N W' değil, sadece W. Bir ad bile sayılmaz. Ama zavallıların sahip olduğu tek şey bu. Biliyorsun, kendilerinden yalnızca iki tane bulunmakta: Biri W Artı, öbürü W Eksi. Kimse W'nun neye karşılık geldiğini onlara sormamıştır," diyerek düşünceli bir biçimde konuşmasını noktaladı Üsto. "Her nasılsa," diye sürdürdü, "bu W'lar, arkadaşları kendilerine böyle seslenir, çok arkadaş canlısı kişiler. Herkesle karışırlar. Hem leptonlar, hadronlar ve elektronlar hem de güçlü etkileşen parçacıklarla etkileşime girerler. Böylece bir alt kuark bir üst ku-

arka dönüşme zamanının geldiğine karar verdiğinde, bütünüyle yüklenir, kuarkın elektrik yükü artmıştır, bu yüzden kefeleri dengelemek için bir W eksi parçacığı yayar. Bu W da karşılığında oyunu kitabına göre oynar ve hiçbir yüke sahip olmayan aylak bir nötrinoyla etkileşime girer ve onu elektrik yüküne sahip bir elektrona dönüştürür. Elektron kendini birçok güçlü etkileşen parçacıkla birlikte bulur ve burada bulunma hakkı olmadığından tabanları yağlar.”

Bölüm sonundaki 4. nota bakınız

“Ama elektrona dönüştürebileceği nötrinoyu W nereden buluyor?” diye biraz şaşkınlıkla sordu Alice. “Orada daha önce bir nötrino olduğunu sanmıyorum. Elektronla birlikte çöküşten sonra ortaya çıkarıldığını düşünmüştüm.”

“Ah, işte orada aldanıyorsun. Onun *önce* orada olması gerektiğini düşündün, ama tersine *sonra* oradaydı. Geçmişten gelmesini bekliyorsun. Bu yüzden o, gelecekte dönerek, sinsice üstüne geliyor ve yine de gereksinildiği anda ulaşıyor. Kuşkusuz, gelecekte geldiğinden daha sonra da, varmak için ilerlerken, orada bulunur. Bu şekil hem W tarafından dönüştürülen hem de çöküşten sonra yayılan nötrino olur. Böylece masraflar azalır.”

“Ama gelecekte nasıl gelebilir?” diye sordu Alice. Konuşurken bu sorunun yanıtını çoktan bildiğine ilişkin belirgin bir duyguya kapıldı.

“Tabii ki o bir anti-nötrino. Benim gözde antilerimden biri. Her parçacığın zamanda geriye doğru hareket eden bir anti-parçacığı var, bu yüzden her yönden karşıttır. Şu büyük anti-parçacıklar ilkesidir: ‘Her ne olursa olsun, karşıyım.’”

“Hiçbirinizin tam olarak özgür olması söz konusu değil öyleyse,” dedi Alice, bu konuda emin olmak için.

“Evet, asla olamayız,” diyerek kendisini doğruladılar.

“Bu benim kaçamayacağım anlamına mı geliyor?” diye kederle sordu Alice, sonsuza dek onlarla kapana kısılmayı gerçekten istemi-



yordu. "Kesinlikle hayır. Rengin yok bu yüzden gluonlar seni tutmaz. Sen karşılaştığımız en renksiz kişilerden birisin, bu yüzden seni alıko-
yacak hiçbir şey yok. İstedğin zaman gidebilirsin. Farkına bile varma-
yız. Kalkıp uzaklaşabilirsin. Yeter ki, bahşış bırakmayı unutma."

Bu gerçekten çok basit görünüyordu, ama Alice yine de denedi. Ayağa kalktı ve grubu gerçekten her an terk etmesini engelleyecek hiçbir şey olmadığını gördü. Sıkışık kozasının dışına uzandı, çevresi-
ne bakındı ve kendini Tören Üstadıyla karşı karşıya buldu. Sırıtkan maskesi kendi yüzünün yalnızca birkaç adım ötesindeydi. Hiç bitme-
yen yayvan sırtışı ve üstündeki kara göz delikleriyle hipnotize olmuş
durumda ona dik dik baktı. Gözlerinin bulunması gereken yerin ka-
ranlık derinliklerinde, rüzgarlı bir gece, bulutsuz gökyüzündeki uzak
bir yıldızı anımsatan, yoğun bir mavi kıvılcım gördü.

"Eeee! Kuarklarla toplantının eğlenceli miydi?" diye neşeyle sordu.

"Çok ilginçti," diye yanıtladı bizim doğrucu Davut. "Çok renkli ki-
şilerdi, ama onları pek değişken bulmadım."

"Bu gece gerçekleşecek son maske çıkartılışı mıydı bu?" diye de-
vam etti Alice. "Yoksa ben orada gerçekten ne olduğunu görmeden
önce çıkarılacak başka tabakalar da var mı?"

"Ne desem yalan olur" diye yanıtladı: "Sonunda doğanın çıplak

yüzüne mi, yoksa yalnızca başka bir maskeye mi baktığını nerden bilebilirsin ki? Ama bu gece yalnızca bir tane kaldı. Benim maskem daha yerinde duruyor.”

O konuşurken, akşam boyunca kendisini izleyen sahne ışığı zayıflamaya başladı ve tepedeki avizelerin ışığı iyice cılızlaştı. Işık sönerken Tören Üstadı iki elini yüzüne götürdü ve maskesini yavaşça çıkardı.

Hızla solan ışıktaki Alice maskenin altındaki yüze baktı. Ayrımsanabilir hiçbir özelliği olmayan pürüzsüz oval bir boşluktan başka bir şey göremedi. Bu bilmecemsi görüntüye şaşkınlıkla baktı ve son ışık demeti yiterken maskenin kendisine göz kırptığını gördü.

Notlar

1. Çekirdekte bulunan proton ve nötronlar (toplu olarak nükleon diye bilinirler) güçlü etkileşen parçacık örnekleridir. Ayrıca *hadronlar* diye de bilinirler. Bütün parçacıklar güçlü bir biçimde etkileşmese de, başka birçok hadron vardır. *Leptonlar* diye bilinen parçacık sınıfı güçlü etkileşimi hissetmez bile. Elektronlar bu sınıftandır ve bu yüzden nükleonlarla birlikte çekirdek içine bağlı değildirler. Çekirdeği yalnızca onları atomun içinde gevşek bir biçimde bir arada tutan, bir pozitif elektrik yükü olarak algırlarlar.

Yüksek enerji fiziğindeki deneyler yüzlerce güçlü etkileşen parçacık bulgulamıştır. Bu durum fizikteki oldukça tanıdık bir senaryoyu sunar. Bir sınıf çok büyük bir üye sayısı içerdiğinde, bunların daha temel olan bir şeyin bileşikleri olduğu ortaya çıkar. Belirlenen çeşitli kimyasal bileşimlerin hepsi atomlardan oluşmuştur. Doğal olarak ortaya çıkan 92 kararlı atom çeşidi vardır. Bunların hepsi de merkezi bir çekirdeğin çevresinde düzenlenmiş farklı sayılarda elektronlardan oluşur. Çekirdeklerse pion değişimiyle bağlanmış proton ve nötronlardan oluşur. Bunlar bir önceki bö-

lümde anlatılmıştı. Şimdi proton ve nötronun başka yüzlercesiyle birlikte bir sınıfın yalnızca iki üyesi oldukları görülüyor: K, r, w, L, S, X, W, D, vb. Şimdi bu parçacıkların hepsinin kuarklardan oluştukları gösterilmiştir.

2. Kuarklar elektrik etkileşimi gibi, ama yine de onlara benzemeyen kuvvetler tarafından bir arada tutulur. Bu kuvvetler elektrik yüküyle değil, *renk yükü* ya da yalnızca renk denen başka bir şeyle hareket ederler. Bunun bizim doğal olarak anladığımız biçimde renkle bir ilgisi yoktur; bu yalnızca bütünüyle yeni olan bir şeye verilmiş bir isimdir. Eşsesli sözcükler yeni bir şey olmasa da, *renk* sözcüğünün çoktan kullanımda olması belki de büyük bir talihsizliktir.

İki elektrik yüklü parçacık arasındaki etkileşim sanal foton değişiminden ileri gelir. Kuarklar arasındaki etkileşim *gluonlar* denilen yeni bir parçacık sınıfı değişiminden kaynaklanır. İki etkileşim arasında farklar vardır: Elektriksel yükler yalnızca iki biçimde, pozitif ve negatif ya da yük ve anti-yük olarak belirir. Elektriksel yükler arasında değiştirilen fotonların kendileri elektriksel olarak nötrdür: Yük taşımadıklarından kendi başlarına daha fazla sanal foton yayamazlar.

Kuarklar arasında değiştirilen gluonları ortaya çıkaran güç kuarklar tarafından taşınan bir tür yüküdür, ama bu normal elektrik yükünden tümüyle farklıdır. Görebildiğimiz renklerle hiçbir ilgisi olmasa da renk yükü diye anılır. Karşıtıyla ya da anti-yüküyle birlikte yalnızca bir tür elektrik yükü varken, *mavi*, *yeşil* ve *kırmızı* adı verilen üç farklı renk yükü vardır. Yinelemekte yarar var: Bu adlar yalnızca uzlaşım sonucudur ve bildiğimiz renklerle ilişkileri yoktur. Her renk yüküyle ilintili bir anti-renk vardır ve nötr renkli nes-

neler üretmenin iki yolu vardır. Elektriksel yük söz konusu olduğunda elektriksel açıdan nötr bir nesneyi yalnızca yükü ve anti-yükü (pozitif ve negatif yükü) birleştirerek elde edebilirsiniz. Nötr-renkli parçacıklar üretmenin iki yolu vardır: Bir renk ve anti-renk bileşimi (fermionlardaki gibi).

3. Elektriksel etkileşimle parçacıklar birbirine bağlandığında bağlanmadaki potansiyel enerji birbirlerinden ayrıldıkça azalır. Bir parçacığa yeterince enerji verildiğinde, yerçekimini aşma hızına erişmiş bir roketin, yerküre potansiyelini aşmaya yetecek kadar enerjisi olması gibi, bütünüyle kaçıp kurtulabilir. Öte yandan bir gluon kordonu bir kez uzatıldığında, biraz daha ileri uzanmak için en az başlarkenki kadar enerji elde eder; uzatıldıkça zayıflamaz. Ayrıca uzatıldığında kopabilmesi bakımından esnek bir kordon gibidir.

Gluon kordonu kuarklar ayrılıp kordon uzadıkça daha fazla enerji soğurma yetisine sahiptir. En sonunda kordondaki enerji bir kuark anti-kuark çifti yaratmaya gerekenden bile fazla olur. Kordon kopar ve kopuk uçları yeni kuark ve anti-kuarkın renk yükleriyle sona erer. Asıl üç kuark bağlanım sisteminin yerinde şimdi iki ayrı sistem vardır, biri üç kuarktan, ötekiyse bir kuark ve bir anti-kuarktan oluşur. Bir kuarkı serbest bırakmak yerine enerji yeni bir parçacık, bir boson yaratmıştır. Bu hep gerçekleşecektir ve serbest kuarklar asla oluşmaz.

4. Kuarklar içlerine bağlandıkları “parçacıklardan” kaçamaları da, bir türden ötekine değişebilir. Buna *zayıf etkileşim* denen tuhaf bir süreç neden olmaktadır. Zayıf etkileşim tam anlamıyla her şeyle etkileşebilen geniş yayımlı bir süreçtir. Elektromanyetik etkileşim yalnızca güçlü etkileşen parçacıkları (ya da hadronları) et-

kiler. Leptonlar bundan etkilenmezler. Zayıf etkileşim, *zayıf* bir etkileşim olduğundan etkisi oldukça düşük ve zayıf olsa da, hep-sini etkiler.

Zayıf etkileşim, kuarkları değiştirebilmesi bakımından ilgi çekici-dir. Bir *alt* kuarkı ya da *tubaf* kuarkı bir *üst* kuarka dönüştürebilir. Bu süreçte, zayıf etkileşim içinde değiştirilen bir tür parçacık olan 'W bosonu' tarafından alıp götürülen artı yükün yanı sıra ku-arkın elektrik yükü de değişir. Bu yük daha sonra yeni yaratılan leptonlara, bir elektrona ve anti-nötrino diye bilinen elektriksel açıdan nötr olan kütesiz bir leptona devredilebilir. Bu, radyoaktif bir çekirdeğin hızlı bir elektron saldıgı nükleer bozunması sürecinde gerçekleşir. Bu süreç yıllardır biliniyordu, ama çekirdekte salınılabilecek bir elektron bulunmadığının oldukça açık olması bakımından tuhaftı. Elektron, bozunma sürecinde yaratılır ve bağı-lı olmadığından çekirdeği hemen terk eder.

Alice'i sarmalayan karanlık yavaşça çekildi. Gözleri, gölgelerden sıyrılır sıyrılmaz, parlak ışıklar ve renkler kaosuyla kamaştı. Aynı zamanda kulağı da iddialı bir sesler keşmekeşinin saldırısına uğramaktaydı. Çevresine bakındı ve neşeli ve türlü türlü bir insan kalabalığının ortasında olduğunu gördü. Her tür giysi içinde, her sınıftan insan vardı sanki. Kimileri bilim adamlarının laboratuvarlarda giydiklerini hayal ettiğimiz türden beyaz önlükler giymişti, kalabalığın geri kalanıysa rastgele giysiler ya da resmi üniformalar içindeydi. Dünyanın bütün kentlerinden ve hatta geçmişteki farklı zamanlardan kostümler görebiliyordu.

Gösterişli kalın favorileriyle Viktorya dönemi redingotları giymiş adamlar, kukuletalı cüppeler ya da geniş sarkık yenli, uzun saçları örgülü, geleneksel Çin giysileri içindeki başkaları vardı. Alice'in gözleri, tabaklanmamış hayvan derilerini üstüne geçirmiş özellikle kıllı birine takıldı. Adam, görüldüğü kadarıyla kabaca yonttuğu taş tekerleği kolunun altına sıkıştırmış paytak paytak Alice'in önünden geçti. Tekerin bir yanına *patent başvurusu yapıldı* sözcükleri dikkatle yontulmuştu. Adamın biri, bazı nedenlerle özellikle dikkatini çekti. Ne olduğunu pek pek seçemediği özel bir niteliği vardı adamın. Yüzü solgun ve gergindi. On yedinci yüzyıla uygun bol redingot, yelek ve pantolon giymişti. Parlak kırmızı bir elmadan kocaman bir ısırık alarak dalgın dalgın yürüyordu.

"Neredeyim ben?" diye sordu kendine, yüksek sesle ama çevresin-



deki tantana arasında duyulmasını pek ummadan konuşarak.

“Deneysel Fizik Eğlence Fuarı’ndasın” diye geldi beklenmedik yanıtt. Alice kimin konuştuğunu anlamak için bakındı ve yine yanında sessizce yürüyen Kuantum Mekanikçisi’nin kendisine eşlik ettiğini gördü. Görünüşe göre daha demin içinden geçerek girdikleri bir dış kapıya boydan boya asılmış bir bayrağı gösterdi. Şu sloganı taşıyordu:

Deneysel Fizik Eğlence Fuarı

“Pek tuhaf yazılmış galiba,” diye yorumda bulundu Alice, bu onun dikkatini ilk çeken şeydi.

“Ne bekliyordun ki? Buradakilerin hepsi bilim adamı, biliyorsun. İşte denemeler sırasında yapılan gözlemlerin ortaya döküldüğü büyük karnaval. Burada fiziksel olaylara dair pek çok gösterim ve ilave-tan deneysel sonuçların açıklanışını bulacaksın.”

Alice çevresine bakınırken, çeşit çeşit, harikulade çadırlar, küçük dükkânlar, orada burada daha oturaklı görünen binalar gördü. Hepsinde, kalabalığın ilgisini çekmek için birbiriyle yarışan büyük parlak renkli posterler vardı. Alice, birkaçını okudu.

Çarpışan parçacıkların dehşetini yaşa.

Nötrino'yu avla.

Kuarkı devir, Nobel Ödülü'nü kazan.

Yakındaki kalabalıkta bir hareketlilik vardı. Alice kocaman beyaz bir havlu gibi bir şeye sarınmış, ak sakallı bir adam gördü. Adam, kalabalıkta kendine yol açmaya çalışıyordu. Ama bir elinde taşıdığı koca karton ve öbüründe taşıdığı inanılmaz uzunlukta bir sırtık yüzünden ayaklarını sürüye sürüye yürüyordu. Alice adamın elindeki kartona dikkatle baktı. Tepesinde üstü karalanmış şu sözcükleri seçebildi:

Yeryüzünün hareketini hisset!

Karalanmış sözcüklerin altındaki değiştirilmiş mesajı okudu:

Dünyayı yerinden oynatırken gör beni!

"Bu da kim?" diye sordu Alice, "hem, ne yapmayı tasarlıyor?"

"Ah, kendisi ünlü bir Yunanlı filozoftur. Besbelli ki, eski 'dünyayı yerinden oynatma' teranesini okuyacak."

"Gerçekten mi?" diye bağırdı Alice. "Dünyayı sık sık oynatıyor mu peki?"

"Ah, hayır asla! Kaldıracını dayayacağı bir yeri hiç bulamaz."

Bu pek olası bir eğlence gibi görünmediğinden Alice daha umut verici bir şeyler için bakındı. Dikkatini "Fotoelektrik Top" yazılı yakındaki küçük bir dükkân çekti. İçeride, eski örnekleri gibi işlenmiş, silah gibi bir şey vardı. Oyuncu bu silahı kullanarak bir ışık ışınını metal yüzey üzerine yönlendirebilirdi. Işık, çarptığı yerden elektronların salınmasına neden oluyordu. İçerideki adamın anlattıklarına bakılırsa, hedef, elektronları birazcık uzağa hareket ettirerek kovaya benzer bir kabın içinde toplamaktı. Bu iş Alice'e hayli kolay göründü; ilginçlik ol-



sun diye, elektronların geçişine direnen ve toplayıcıya ulaşmadan onları yerlerine geri gönderen zayıf bir elektrik alanı olduğu açıklandığında bile... Hem, dükkân sahibinin açıkladığı gibi, mekanizmanın bir denetleme birimi vardı. Bu sayede Alice, ışının şiddetini mevcut değerinin çok üstünde artırabilecekti. Ne var ki, Alice ne denli çabaladıysa çabalasın, hiçbir elektronun o son kısa uzaklığı aşmasını sağlayamadı. Işığın şiddetini yükselttikçe yükseltti. Silahtan daha fazla elektron fışkırdı, ama hepsi son anda elektrik alanı tarafından geri püskürtüldü.

“Çok feci!” diye haykırdı Alice öfkeyle.

“Korkarım beklemen gereken de bu” diye yanıtladı arkadaşı üzüntüyle. “Bildiğin gibi sana yalnızca ışığın şiddeti üzerindeki denetim verildi; **renği** üzerinde değil. Işık eğer klasik bir dalga olsaydı o zaman ışığın şiddetini artırdıkça, buna bağlı bozulma artar, bu da metal hedefin yüzeyinden yayılan elektronların enerjisini artırır. Aslında bunu oluşturan tek tek fotonların enerjisini belirleyen ışığın rengi ya da

Kuantumun dünya tasviri beklentilerimize pek karşılık vermez. Ona inanmamızın nedeni öngörülerinin deneysel sonuçlarla uyuşmasıdır. Kuantum kuramı, atomlar ölçüsünde, maddenin davranışına bir çeşit açıklama getirebilen tek kuramdır. Bunu da oldukça iyi becerir.

frekansdır. Bunu değiştirme yolu sana tanınmadığından fotonların enerjisini ya da dolayısıyla fotonların metal yüzeyden kovacağı elektronların enerjisini değiştiremezsin. Tabii ki dükkanımız düzenlenirken, bu enerjinin geciktirici elektrik alanından geçecek kadar olmasına dikkat edilmiştir. Işığın şiddetini artırdığında, yüzeye daha fazla foton yönlendirmiş oldun. Bunlar da daha fazla elektron üretti. Ama hepsi aynı enerjiye sahipti ve hiçbir durumda bu elektronun toplayıcıya ulaşmasına yetmeyecekti. Korkarım kazanamazsın.”

Alice bu sergideki deneyimle biraz aldatılmış hissetti ve kendisini oyalayacak farklı bir şeyler aradı. Yakınlarda küçük bir çadır ve üstünde de şöyle bir ilan vardı:

GELİNİ GELİNİ

Yakalanmış en büyük kuark koleksiyonunu görün.

Kuantum davranışının merkezi özellikleri farklı parçacıkların saptanması ve girişimin gözlenmesidir. Kuantaların gözlemi fotoelektrik etkiyle gerçekteşir: Metal bir yüzeyin üzerine düşen ışığın, elektron üretmesi. Işık şiddetini artırmanın tek sonucu, mevcut fotonların ve dolayısıyla da elektronların sayısının artmasıdır. Her foton kendi başına yine de etkileşime girer, bu yüzden ışığın *frekansı* sabit tutulup

Kuantum davranışının merkezi özellikleri farklı parçacıkların saptanması ve girişimin gözlenmesidir. Kuantaların gözlemi fotoelektrik etkiyle gerçekteşir: Metal bir yüzeyin üzerine düşen ışığın, elektron üretmesi. Işık şiddetini artırmanın tek sonucu, mevcut fotonların ve dolayısıyla da elektronların sayısının artmasıdır. Her foton kendi başına yine de etkileşime girer, bu yüzden ışığın *frekansı* sabit tutulup *şiddeti* değiştirildiğinde, her foton enerjisini aynen korur ve ışığın şiddeti ne olursa olsun, üretilen herhangi bir elektronun enerjisi aynı kalır. Klasik bir dalgadan beklenecek davranıştan çok farklıdır bu. Klasik dalganın davranışında, daha büyük bir şiddet, aktarılan enerjinin daha fazla olması demektir.

şiddeti değiştirildiğinde, her foton enerjisini aynen korur ve ışığın şiddeti ne olursa olsun, üretilen herhangi bir elektronun enerjisi aynı kalır. Bu, klasik bir dalgadan beklenecek davranıştan çok farklıdır. Klasik dalganın davranışında, daha büyük bir şiddet, aktarılan enerjinin daha fazla olması demektir.

Alice ile Kuantum Mekanikçisi çadırın içine sokuluverdiler. İçeride gösterici, küçük bir izleyiciler grubuna, yakalanan altı kuarkı ve sergilenişlerini gördükleri için ne denli şanslı olduklarını anlatıyordu. Alice sergilenenlere baktı. Elbette kuarkların hiçbiri yalnız değildi. Her biri kendi anti-kuarkına ayrılmazcasına bağlanmış çiftler halinde toplanmışlardı. Alice bunun bulunabilecek bir ayrık kuarklar koleksiyonuna en yakın şey olduğunun farkına vardı. “Ee zaten,” diye düşündü, “onun da dediği gibi yakalanmış kuarklar bunlar.”

Alice toplanmış kuark çiftlerine baktı. Kuark çiftleri, çeşitli seviyeleri olan bir platform üzerinde toplanmışlardı, ağır kuark bileşimleri daha yüksek enerji seviyelerinde duruyordu. Ağır kaşlarını önceki gibi oynatan bir *üst* kuark, bir *alt* kuark ve onun biraz üstünde yalın kızıl kıvırcık saçlarıyla bir *tuhaf* kuark gördü.



Maskeli baloda zaten karşılaşmış olduğu bu üç türün yanı sıra daha da yüksekte duran iki tane daha vardı. Birinden göz alıcı bir kişilik akıyordu ve Alice inanılmaz beyazlıktaki dişlerin gösterilişinden, anlık bir parlaklık gördü. “O bir *çekici* kuark” diye kulağına mırıldandı Kuantum Mekanikçisi. Öteki yeni kuark daha da ağırdı. Bu oldukça tepeye yerleştirilmişti. Alice daha önce karşılaştıklarından daha az açıklıkla görebiliyordu onu. Ama Alice bu kuarkın bir eşek kafası olduğu gibi çok tuhaf bir izlenim edindi. “Bu bir *dip* kuark” diye bilgi veriyordu arkadaşı.

Şimdi Alice altıncı kuarkı görmek için daha da yukarıya baktı. Platformda yer vardı, ama boştu. Bilgilendirildiği gibi *tepe* kuark olacak altıncı kuarkın yerinde yellere esiyordu.

Öteki izleyiciler de bu altıncı kuark eksikliğini fark etmiş olacak ki, gürültüyle protesto ediyorlardı durumu. “Tamam, tamam!” dedi sergici yatıştırmaya çalışarak. “Buralarda bir yerde olduğunu biliyorum. Tepe kuark bunların en ağıridir, bu yüzden onu yüksek enerjilerde aramalıyız, ama orada olmalı.” Bir direğe dayalı duran kocaman bir kelebek ağı aldı; bir merdivenden çıktı ve çadırın tepesinin hemen altında elindeki ağı rastgele sağa sola savurmaya başladı.

Bu sırada izleyiciler giderek, her yandan gelen pek de hoş olmayan sözler eşliğinde, huysuzlanmaya başladı. Kalabalığın mizacı giderek çirkinleşti ve insanlar sevdikleri gazetelere eleştirel mektuplar yazmak üzere savuştular. “Hadi gel,” dedi Kuantum Mekanikçisi Alice’e: “Burası artık bize göre değil.”

Dışarı çıktılar. Bir baraka Alice’in dikkatini çekti. Önünde insanlar toplaşmış, ellerindeki topları çeşitli ödüllere atıyor, durdukları yer-

Çok yüksek kütleli tepe kuarkın varlığı yakın zamanlarda onaylandı. Tepe kuark daha önce bilinen iki tür kuarka, yani çekici ve dip kuarklara katılarak tabloyu tamamlar. Şimdi, sadece ve sadece altı tür kuarkın olduğuna ve altı lepton takımının bunlarla eşleştiğine inanılmaktadır. Acaba kuarklar da daha temel bir şeyden mi yapılmıştır? Şimdilik bunu söylemenin hiçbir yolu yok.

den ödülleri devirerek, almaya çabalıyorlardı. Baraka, tıpkı evinin yakınında gördüğü panayır barakası gibiydi; yalnız bunda, yarışmacılar ile hedefleri arasında bir örnek tellerden bir tür ince çit vardı.

Alice oyunu bir süre izledi. Topun atılır atılmaz gözden kaybolduğunu ve satış pavyonunun arka duvarında bir yere çarpana dek tam olarak nereye gittiğini görmenin olanaksız olduğunu gözlemledi. Topların çoğunun başına hep aynı şey geliyordu. Ödüllere değil, gidip duvara çarpıyorlardı. Çarptıkları yerlerde gittikçe top yığınları birikti ve Alice bu yığınların ödüller arasındaki boşluklara düzenli bir biçimde yerleştiğini gördü.

“Çok doğru,” dedi kulağının dibinde bir ses, düşüncelerini yankılayarak. “Düzenli olarak yerleştirilmiş teller, topların belirli yerlerde görülme olasılığını artıran bir girişim düzeneği işlevi görür. Doğal olarak minimumlar, bir top bulma olasılığının en düşük olduğu yerler, ödüllerin bulunduğu yere denk düşecek biçimde düzenlenmiştir.”

“Pek adil görünmüyor,” dedi Alice.

“Hayır, belki değil, ama Eğlence Fuarı’nın da adil olmasını beklemesin zaten. Hem barakayı işleten adamın geçimini sağlaması gerek, ödülleri sebil etmek istemez. Tabii ki, yine de topun minimumlarda görülme *olasılığı* var ve *bazı* ödüller gerçekten kazanılıyor, ama çok değil.”

Alice yine de bir haksızlık olduğunu hissetti, ama başka bir şey söyleyemeden dikkatini biraz ötedeki kocaman bir pavyon çekti. Kocaman parlak bir ilanla kaplıydı:

BÜYÜK PARADOKSUS

Uzaktan hayaletimsi eylemler

İlanın hemen altında binanın önüne boylu boyunca dizilmiş bir dolu poster vardı:

**Son derece sersemletici!
Paradoksal biçimde anlaşılmaz!
Genelde epey şaşırtıcı!**



Alice ile dostu bu sergiye yönelip kapıdan içeriye akan kalabalığa karıştılar. İçeride uzun, yüksek tavanlı bir kapalı alan, ortasında ise yüksek bir platform vardı. Her iki yanda binanın iki ucundaki kapılara giden bir çift kısa rampa vardı. Her bir rampanın üzerinde sivri burunlu ve arkasında küt paletler bulunan kısa bir metal silindir bulunmaktaydı.

Merkezi platformun üzerinde, parlak siyah saçlı, sivri uçlu mum bıyıklı ve yerlere sarkan siyah paltosu içindeki Büyük Paradoksus duruyordu. Büyük Paradoksus, "iyi akşamlar, bayanlar baylar" diye onları selamladı, "bu akşam büyüklüklerin indirgenmesi üzerine ilginç bulabileceğiniz bazı deneyler yapmayı tasarlıyorum. Burada yanımda platformun üzerinde" diye devam etti, "bir geçişler kaynağı görmektesiniz, tümüyle farklı yönlere doğru iki foton salacak geçişler. Bildiğiniz gibi, sizin seçiminize kalmış bir yön boyunca fotonların dönüşünü ölçmüş olsaydınız, bunların ya *yukarı* ya da *aşağı* bir spine sahip olduğunu bulurdunuz. Arası yok!" Yukarı spinli ve aşağı spinli elektronlarla ilgili bir şeyler duymuş olsa da, Alice bunları bilmiyordu, ama orada bulunan herkes bilgece kafalarını aşağı yukarı salladığından ortada bir sorun olmadığını varsaydı.

"Diyordum ki spini ölçecek olsaydınız *eğer*, yukarı-spini ya da aşağı-spini bulurdunuz. Ama spini *ölçemiyorsanız*, o zaman bir karışım, spin için farklı yönlere sahip bir durumların süperpozisyonu çıkar ortaya. Yalnızca spini ölçtüğünüzde genlik düşer. Biri seçilir ve öteki artık yoktur. Şimdi," dedi aniden, "burada gördüğünüz kaynak, geçişlerini hiçbir spine sahip olmayan durumlardan elde eder, bu nedenle üretilen iki parçacığın *toplam* spini sıfır olmalıdır. Bu da" diye kibar-

Kuantum davranışının merkezi özellikleri farklı parçacıkların saptanması ve girişimin gözlenmesidir. Parçacıklar ya da kuantalar, bir klasik dalga gibi geniş bir gölgeye yayılmış değil, yalnızca tek bir noktada gözlemlenir. Buna karşın, bir parçacığın yapıyor olabileceği her şeyi betimleyen farklı büyüklükler arasındaki girişim etkilerini göstermeleri bakımından, dalga gibi davranıyor görünürler. Girişim bir kristal içinde atom dağılımının çizilmesi gibi, olağan bir ızgaradan elektronların saçılmasıyla gösterilebilir ve bu öylesine düşük bir yoğunlukta gerçekleştirilebilir ki, bir defada yalnızca bir elektron çıkar ortaya.

ca açıkladı, “iki fotonun spinlerinin karşıt olması gerektiği anlamına gelir: Biri yukarı spinliyse ötekinin de aşağı spinli olması *zorunludur*. Ama, dikkat buyurun, bir ölçme yapıldığında fotonların spin yönü yalnızca durumların süperpozisyonundan seçilir. Bu olağan bir anlayıştır. Böylece gördüğünüz gibi, bir foton üzerinde, diyelim ki, yukarı spinli olduğuna ilişkin bir keşifle biten bir ölçme yapıldığında, fotonun genlik süperpozisyonu uygun duruma indirgenir.

“Öte yandan” diye göğsünü kabartarak devam etti Paradoksus, “aynı zamanda *öteki* fotonun süperpozisyonu da iner, çünkü bu fotonun karşıt spine sahip olmasının gerekliliğini biliyoruz. Fotonlar zamanda birbirlerinden ne kadar uzakta olurlarsa olsunlar, hatta gökte farklı yıldızlara ulaşmış bile olsalar, bu olmak zorundadır. Bu gösteride ölçmelerimiz o denli büyük uzaklıklarda gerçekleşmeyecek.” İzleyicilere gülümseyerek devam etti: “Şimdi iki gönüllü istiyorum, Kuantum Diyan’nın iki karşıt ucuna gidip bizim için gözlemler yapmayı kabul edecek iki güvenilir dürüst deneyci.”

Bölüm sonundaki 1. nota bakınız

Toplanmış kalabalıktan şimdi bir konuşma ve tartışmalar uğultusu yükseliyordu. Sonunda iki kişi öne itildi. İkisi de uzun redingotlar ve dar pantolonlar içindeydi ve ikisinin de kalın favorileri vardı. Her ikisi de yelek giyiyordu. Her iki yelekte de kösteklere bağlı altın zincirler vardı. Besbelli ki, sahipleri, kösteklerini az önce güvenilir bir standart

saate bakarak ayarlamışlardı. Bu ikisi aslında birbirinin aynısı değildi, çünkü yalnızca parçacıklar özdeştir. Ama yine de çok benziyorlardı birbirlerine. Yetkin ve bilinçli gözlemciler olmalarının yanı sıra onurlu, dürüst ve güvenilir oldukları ortadaydı. Bir şey gördüklerini söylediklerinde kimse onlarla tartışmayı aklından bile geçirmezdi.

Paradoksus her birine bir polarölçer verdi. Parçacıkların spin yönünü ölçebilecekleri bir aygıtı bu. İki adam, askeri bir kesinlikle kendilerine verilen aygıtı söküp, olağandışı bir özellikleri olup olmadığını anlamak için inceledi ve hemen topladı. Şovmen, iki güzel kadın yardımcısına işaret etti ve kadınlar gönüllüleri metal silindirlere kadar götürüp her silindirin yanındaki kapıyı açtılar. Nedendir bilinmez gözlemcilerin her ikisi de içerideki sıkışık yere kurulmadan önce, uzun bir silindir şapka taktı. Yardımcılar kapıları kapadı, her biri silindirin arkasındaki fitili yakıp hızla geriye çekildi. Bir kükremeyle küt roketler rampaları çıktı, pavyonun sonundaki kapılardan geçti ve Kuantum Diyarı'nın karşıt uçlarına doğru ilerleyerek, ufukta çizdikleri kavislerle uzaklaştılar.

"Ve şimdi varmalarını bekleyeceğiz," dedi işletmeci. "Her biri konumunu bulur bulmaz kendi telgraf hattıyla mesaj gönderecek." Platformun her iki ucundaki küçük masalarda duran iki zili gösterdi. Her-



kes gösterinin süreceğinin belirtisi olarak çalmalarını bekleyerek, onlara baktı. Uzun bir bekleyişti.

“Herkes çok sabırlı görünüyor,” dedi biraz huysuzlanmaya başlayan Alice.

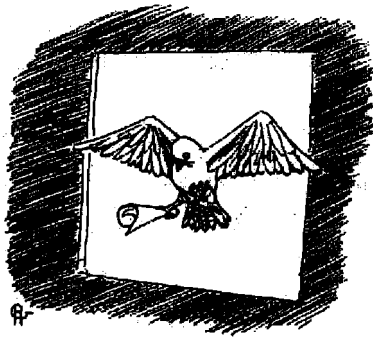
“Olmak zorundalar,” diye yanıtladı Kuantum Mekanikçisi. “Deneyssel bilimcilerin hepsi sabretmeyi öğrenir.”

Sonunda ziller çaldı, önce biri az sonra da öteki. Bu her iki gözlemcinin de konumlandığının belirtisiydi ve foton kaynağının her iki yanındaki pencerelerini, Paradoksus heyecanlı bir jestle açtı. Fotonlar ikişer ikişer karşıt yönlerde uçuşmaya başladı.

Bir zaman sonra pencereleri kapadı ve şimdi başka bir uzun bekleyiş. “Acaba şimdi neyi bekliyoruz,” diye düşündü Alice, eğlencenin *biraz* daha hızlı ilerleyebileceğini düşünüyordu. Kanat sesleri duyuldu ve binanın bir ucundaki kapıdan bir haberci güvercin uçarak girdi, astronotlardan biri onu ustalıklı yakaladı. Çok geçmeden, öteki kapıdan bir güvercin girdi, artık ikisinin taşıdığı mesajlar karşılaştırılabilir. Paradoksus iki mesajı sergiledi, bir tarafa giden bir yukarı spinli fotonu, öteki tarafta saptanan aşağı spinli bir foton durmaksızın izliyordu, bu kusursuz bir korelasyondur. Her ne kadar iki dedektör herhangi bir bilgi alışverişi yapacak zaman bulamayacak kadar birbirlerinden uzakta olsalar da.

“Bu bir sır değil ki!” diye bağırdı biri büyük odanın öteki tarafından. Ses Alice’in pek açık göremediği uzun boylu birinden gelmişti, ama Klasik Mekanikçi’ye *oldukça* benziyordu. “Fotonların,” diye devam etti ses, “kaynağı terk ettiklerinde, ister yukarı ister aşağı spinli olsunlar, tümüyle belirsiz olmadıklarını herkes biliyor. Her nasılsa hangisi olacaklarını ve ayrıca iki taneden hangisinin karşıt olacağını biliyorlar. O halde, saptanmadan önce ne kadar beklediklerinin bir önemi yok; salındıklarında zaten kararlaştırılan spin yönüne sahip oldukları ortaya çıkar.”

“Çok mantıklı bir sav gibi görünüyor değil mi?” diye parladı işlet-



meci, hiçbir yıldınlık belirtisi göstermeden. "Gösterimizi birazcık uzatmak zorunda kalacağız. Fotonların yukarı ya da aşağı spinli olup olmadıklarının salınma anında kararlaştırıldığını ve yolculuklarında bu bilgiyi yanlarında taşıdıklarını söylüyorsunuz. İki gözlemcimizin başka yönlere spini, diyelim ki sağa ve sola ya da aradaki herhangi bir başka açıda ölçtüklerini düşünün o zaman ne olurdu? Ve gözlemcilerimizin öyle istedikleri için bize bildirmeden ve aralarında işbirliği yapmadan polarölçerlerini döndürdüklerini düşünün o zaman ne olurdu? Kaynağın önceden, arkadaşlarımızın ölçümleri için seçtikleri açılar *ne olursa olsun*, dönüşlerini eşleyecek ne tür bir bilgiyi parçacıklara aktarması gerektiğini bilmesi olanaklı olur muydu? Bence olmazdı."

İşletmeci, gözlemciler için yeni talimatları çabucak karaladı, güvercinlerin ayağına bağladı ve güvercinleri geldikleri yere gönderdi. Bir duraklamadan sonra telgraf zilleri bir daha, mesajların alındığını ve anlaşıldığını bildirmek üzere çaldı. Yine gösterişli bir çalımla merkezi kaynaktaki pencereleri açtı ve fotonları saldı. Uygun bir süreden sonra pencereleri kapadı ve yine bekleyiş başladı. Her iki taraftan hışırtılı bir gürültü duyulduğunda en sonunda, Alice bir şeyler olmasını beklemekten bıkmaya başlamıştı. Gürültü gittikçe arttı ve sonra bina-
nın iki ucundaki kapılardan kıvrılarak iki roket geldi ve ayrıldıkları rampalara indiler.

Küt silindirler kibar kibar duman saçarken, kapılar açıldı ve uzun

resmî şapkaları hâlâ başlarında duran iki gözlemci makinelerden indi. Her ikisi de işletmeciye doğru ilerledi, şapkalarını çıkarıp selamladılar ve aldıkları notları teslim ettiler. Alice'in anlayabildiği kadarıyla, kendisi dışında kalabalıktaki herkes sonuçların küçük bir kısıntısını görecektir ilk kişi olmak için çevreye dolmuştu. Ağır bir konuşma ve tartışma uğultusu yükseldi ve herkes kendi hesaplamalarına girişti. Alice küçük taşınabilir bilgisayarlı, elektronik hesap makineli ve sürgülü hesap cetvelli insanlar gördü. Ayrıca bir dolu dişli çarkları olan tuhaf bir elektronik hesap makineli birini gördü. Daha önce görmüş olduğu Çinliler ellerine birer abaküs almışlar, boncukları becerikli parmaklarıyla teller boyunca, Alice'in izleyebileceğinden daha hızlı bir biçimde ileri geri kaydırıyorlardı. Post içindeki kılı beyefendi bile işin içindeydi. Tekerini bir tarafa bırakmış ve ağarmış küçük kemik yığınlarıyla karmaşık bir uygulamaya girişmişti.

Sonunda gruplar tartışmalarını keserek ortak bir sonuca vardılar. İki foton ile spin yönleri arasında açıklanamaz bir uyuma olduğunu onayladılar. İki spinin ölçüldüğü yönlerde keyfi değişiklikler yapıldığında bile gözlenen karşılıklı ilişkiler parçacıklarla gönderilmiş herhangi bir bilgiyle açıklanamayacak kadar büyüktü. Her şey açıldı diye uzlaştılar: Aslında bir zil kadar açıldı. Alice için pek o kadar açık görünmüyordu ama doğru olması gerektiğini düşündü.



Kuantum Mekanikçisi, kalabalığın arasından döndüğünde “Çok ilginç bir sonuç,” dedi. Hepsi uzlaşmış görünse de, oradakilerin çoğu hâlâ harıl harıl tartışıyorlardı. “Farklı yerlerdeki dalga işlevi davranışının bir konumdan ötekine aktarılan mesajlardan kaynaklanamayacağını gösteriyor bu. Yalnızca bu iş için yeterince zaman yok. Bu kuantum doğasının tümüyle yeni bir yönünü ortaya koyuyor.”

Bölüm sonundaki 2. nota bakınız

Belki ilginçti, ama Alice çok fazla oturup beklediğini, daha fazla hareket istediğini hissetti. Bu yüzden Alice ile Kuantum Mekanikçisi çadırı terk edip binişleri incelemeye gittiler.

“Binişlerden herhangi birini denemek istiyorsan yüklü bir parçacık gibi davranmak zorundasın,” dedi Kuantum Mekanikçisi. “Binişlerin tümü elektriksel artışla işler bu yüzden yalnızca yüklü parçacıklar için uygundurlar. Sen yalnızca bir tür onur parçacığı olduğundan, yüklü ya da yüksüz bir parçacık olamaman için bir neden göremiyorum.”

Çok yüksek ve dar bir yapıya gelmişlerdi, üzerinde şu yazılıydı:

DALGAYA BİN!

Elektromanyetik dalgaya binin mil ardına mil ekleyin.

(Bu iki mil yapar, sayın bakın: 2.)

Dışarıda binmek için sıralarını bekleyen heyecanlı bir elektron kuyruğu vardı, ama Alice bunun o anda istediği türden bir biniş olmadığını düşündü. Evinin yakınlarındaki bir panayırda bindiği Dönme Dolabı yeğlerdi.

Bunu arkadaşına anlattı. O da Alice’i dairesel makinelere götüreceğini söyledi. Yola koyulmuşken, yanlarından bir tören alayı geçti. Yanlarından küçük bir atlı arabalar silsilesi geçiyordu. Her birinin üzerinde koca bir demir mıknatısın etrafına kurulan büyük bir düzenek vardı. Çevresine bakır bobin sarılı demir mıknatıs, karmakarışık türlü türlü aygıtlarla birlikte dengeğin içine oturtulmuştu. Hepsinden ko-

caman teller ve kablolar sarkıyordu.

“Bu minik arabalar onca yükü nasıl taşıyor?” diye sordu Alice.

“Böyle kocaman metal kütleler altında çoktan ezilip dümdüz olmaları gerekirdi.”

“Yaa, olurlardı; fakat bunun için düzeneğin parçalarının *gerçek* olması gerekirdi. Ama bu Deney Fonlama Geçidi, bu yüzden her biri yalnızca bir öneri. Tıpkı bizim *Gedanken* odasında yaptığımız deneyler gibi. Şimdilik yalnızca düşünce durumundalar, gerçek değiller ve bu yüzden çok fazla bir ağırlıkları yok. Aslında çoğunun ağırlığı epeyce küçük.”

Alice, geçen alaya baktı ve ikinci arabanın birinci arabanın taşıdığı düzeneğin tıpkısını taşıdığını gördü. Üçüncüsü de tamamen aynı düzeneği taşıyordu. Dördüncüsü, beşincisi, altıncısı... Göz alabildiğine hepsi aynı yükü taşıyordu. “Büyük bir çeşitlilik yokmuş gibi görünüyor,” dedi Alice.

“Çünkü her önerinin çoğul kopyalarının sunulması gerekir,” dedi arkadaşı. “Zamanı gelince farklı bir tane geçer.”

Onlar süslü arabaların geçişini izlerken, hava irili ufaklı kağıt parçalarının fırtınasıyla çalkalandı. “Yırtılmış başarısız bağış başvuruları,” dedi Kuantum Mekanikçisi, Alice’in sormasına gerek kalmadan. “Hadi gel, senin binişini bulsak iyi olur.”

Bir dizi dönmedolabın yanından geçtiler. Sıradan bir panayırda görüleceği gibi dimdik durmak yerine hepsi bir tarafa yatık duruyordu ve Alice’in arkadaşı, Eğlence Fuarı’nda bunları dolap değil çember olarak adlandırdıklarını söyledi. Büyük Çember, Daha Büyük Çember ve CERN Büsbüyük Çemberi vardı. Alice bu sonuncusuna binmek istediğine karar verdi.

Alice, itişen bir proton grubuyla sıraya girdi ve çok geçmeden kendini makineye girmiş ve bir *ışın sepetine* kurulmuş ya da onların söylediği gibi “şıringa edilmiş” buldu. Bu Alice’in her yönde heyecanla dolanan büyük bir proton kalabalığıyla paylaştığı bir tür kapalı

elektriksel bölümdü. Onların elektrik yüklerini çeken güçlü alanlar tarafından ileriye dürtölüp hızla kaçıyorlardı. Hızlarını topladıklarında protonlar duruluyor ve birlikte ileri doğru atılıyorlardı.

Manyetik alanlar tarafından dönüşleri yönlendirilerek hızları gittikçe artıyordu. Bir zaman sonra, Alice halen bir hızlanma hissetmekte olsa da, hızlarının pek artmadığını gözlemledi. Bunu bir protona sordu, o da, o sırada fotonlar kadar hızlı gittiklerini ama *kinetik enerjilerinin* halen yükselmekte olduğunu söyledi. Bu, Alice'e tuhaf göründü. Ama tam itiraz edecekti ki, ani bir burkulma onu protonlarla birlikte çemberin dışına fırlattı.

Alice inanılmaz gibi görünen bir hızda havada ilerliyordu. İleri baktı ve tam önlerinde bir duvar bulunduğunu ve protonlarla birlikte dimdik ona doğru ilerlediklerini görünce dehşete kapıldı. Duvar yaklaşırken çarpışma yüzünden gerildi, ama Alice sevinçle gördü ki, duvar onu sisten ya da düşten daha fazla durdurmamıştı.

Çevresine bakındı ve duvarın onun üzerinde pek bir etkisi olmasa da tersi için aynı şeyin söylenemeyeceğini gördü. Uzaktan bir atom geçti ve elektronları dökölüp çekirdeği kendi başına sürüklenerek parçalara ayrıldı. Her yanında ölümcül bir sanal foton katarı bırakarak ilerliyordu. Burlar yanından geçen atomları, geçişinin uzak bir etkisi tarafından koparılıp ayrılmış bir havada uçan ince örümcek ağı gibi atomların başına bela oluyordu. Protonları ve nötronları dağılmış paramparça bir çekirdeğe yanaştı. Kederle, Rutherford Şatosu'ndan

Çok küçük nesneler üstünde yapılan ölçmelerin inanılmaz büyüklükte parçacık hızlandırıcılarıyla yapılma zorunluluğu kuantum fiziği paradoksunun bir bölümüdür. *Heisenberg Bağını*s'ndan dolayı küçük bir büyüklük büyük bir momentum ile eşlenir ve parçacıkları gerekli olan büyük enerjilere ivmelendirebilmek için büyük bir makine gerekir. Çok yüksek enerji hızlandırıcılarının çoğu daireseldir ve parçacıklar ivmelendirildiklerinde sayısız kez dönerler. Ayrıca, Stanford'daki (California) iki-mil uzunluğundaki "Linac" gibi, elektronları tek bir düz yol boyunca ivmelendiren birkaç büyük çizgisel hızlandırıcı da bulunmaktadır.

gördüğü Kozmik Akıncı'yı anımsadı. Şimdi kendisinin de çaba harcamadan bir çekirdek şatosunu yok eden o Kozmik Akıncı gibi olduğunu anladı. Geçtiği atomlar ve çekirdekler arasında geniş bir yıkım izi bıraktığını dehşetle anladı.

Tam ilerisinde bir nötron gördü ve hemen sonra onu yarıp geçti. Göz açıp kapayınca kadar kendi geçişiyle korkuya kapılmış üç kuark görebildi. Birbirlerine sıkı sıkıya bağlı olduklarından nötrondan ayrı ayrı atılmamışlardı. Zincirleri uzayıp kırılıyor, bir dolu kuark anti-kuark çifti yaratarak uzayıp kırılıyordu. Daha önce nötronun durduğu yerde şimdi Alice'in olağanüstü momentumunun dümen suyuyla ileri doğru taşınan büyük bir mezon fıskıyesi vardı.

Alice, daha da şiddetli bir felaket görmemek ve çevresindeki kaos görüntüsünü karartmak için gözlerini sakladı. Anlık bir düşüş duygusu ve hafif bir çarpma hissetti.

Alice çabucak gözlerini açtı ve kendini öndeki odada kanepeden düşmüş, yerde yatıyor buldu. Hemen kalktı ve çevresine bakındı. Pencereden sızan güneş neşeyle parlıyordu. Yağmur dinmişti. Halen açık olan televizyona bakmak için döndü. Ekranda stüdyonun dört bir yanında oturan hayli ciddi adamlar vardı. Alice'e ülkedeki bilimsel planlamanın geleceğine ilişkin bir tartışma yapılacağını bildiren oturma yöneticinin etrafına sağlı sollu özenle oturtulmuşlardı.

"Off, ne sıkıcı," dedi Alice. Televizyonu sertçe kapadı ve kendini güneşin kollarına bıraktı.

Hızlandırıcılar tarafından üretilen yüksek enerji parçacıkları önemli uzaklıklar boyunca maddeden geçebilirler. Atomlar arasındaki elektronik bağlara kıyasla o denli yüksek enerjiye sahiptirler ki, bunların onları yavaşlatmakta da pek az etkisi vardır. Böyle parçacıklar kendi yolları boyunca kırık bağlar ve bir iyonlanma tortusu bırakırlar. Bir atomun, çekirdeğinin çok yakınından geçerse onu da parçalarlar. En sonunda bu tür işlemler aracılığıyla bu hızlı parçacıklar bütün enerjilerini yitirirler ama uzun bir yol katedebilirler.



1. Kuantum kuramının daha uç varsayımlarını olumsuzlayacak bir deney yapmak için birçok girişimde bulunulmuş, ama şimdiye değin Kuantum Mekanîği hep haklı çıkmıştır.

Bunlardan biri *Einstein-Podolsky-Rosen* (EPR) paradoksunun bir biçimini inceleyecek Yön deneyidir. Elektronlar ve ayrıca fotonlar gibi temel elementlerin sahip olduğu tuhaf nitelikli dönmesinden, bu paradoksun, parçacık *spininin* ölçümelerini içeren çeşitli biçimleri vardır. Paradoks, spini olmayan bir sistemi ele alır. Ama bu sistem, spini olan iki parçacık salar. Parçacıklar da birbirlerinden doğruca uzaklaşmaktadır. Kuantum kuramının sınırları, bize her iki parçacığın spin ölçümünün ancak iki değer verebileceğini anlatır: *Yukarı-spin*, *aşağı-spin*. Asıl sistem spinsizse, o zaman iki parçacığın spinleri birbirlerini dengelemelidir; yani biri yukarı spinli ise, öteki aşağı spinli olmalıdır, böylece her ikisinin toplam spini sıfır olur. Parçacık spinlerine ilişkin bir ölçüm yapılmamışsa o zaman Kuantum Mekanîği bunların bir yukarı ve aşağı spinli durumların süperpozisyonu içinde olacaklarını söyler. Birinin spini ne ilişkin bir ölçme yapılmışsa, o zaman, o *noktada* parçacığın spini belirlidir; ya yukarı ya da aşağı. Ama aynı zamanda *öteki* parçacığın spini de belirli olur. Çünkü ikisinin spini zıt olmak zorundadır. Ayrılışlarından itibaren birbirlerinden ne denli uzaklaşırlarsa uzaklaşırlar bu geçerlidir. EPR paradoksu özünde budur.

2. EPR paradoksunu açıklamak için spinlerin her nasılsa başlangıçtan itibaren önceden belirlenmiş olduklarını söylemek akla uygun görünebilir: Yani, parçacıklar bir biçimde, yola koyulduklarında hangisinin aşağı spinli hangisinin yukarı spinli olduğu belirlidir. Bu durumda bilgiyi yanlarında taşıyor olacaklarından ne kadar

uzağa gittiklerinin bir önemi yoktur. Parçacıkların baştan belirleyebilecekleri bilginin sınırları, *Bell teoreminde* incelenmiştir. Bell teoremi, spin ölçümleri önceden belirlenmiş bir yönde değil de, iki parçacık için gelişigüzel seçilmiş açılarda yapıldığında ne olacağını ele alır. Hesaplama işi biraz inceliklidir. Ama bazı durumlarda ortaya çıkan sonuca göre, kuantum mekaniği, spinlerin ölçüleceği yönü önceden bilmeksizin parçacıklarla birlikte gönderilebilen bir ön bilgiyle düzenlenebilecek olanla karşılaştırıldığında, iki parçacık üzerindeki ölçümler arasında daha büyük korelasyon öngörüyor. Paris'teki Alain Yönü bu etkiyi ölçmüş ve genellikle olduğu gibi, kuantum mekaniğinin haklı görüldüğünü görmüştür. Alain Yönü, ışık hızından daha hızlı ilerleyen bir tür bilgi içerdiği sanılıyor.

Yön sonucu, Einstein'ın özel görecelik kuramının olağan kavrayışıyla doğrudan çelişmez. Hiçbir bilginin, hiçbir mesajın ışık hızından daha hızlı ilerleyemeyeceğini söyler. EPR paradoksunda düşünülen etki, mesajlar göndermek amacıyla kullanılamaz. Parçacık spinlerini aşağı ya da yukarı ölçtüğünüze karar verebilseydiniz, o zaman öteki parçacığın zıt spini bir tür mors alfabesiyle bilgi taşırdı. Ama bunu yapamazsınız. Kuantum durumlarının süperpozisyonuna ilişkin bir sonuç üzerinde hiçbir denetiminiz yoktur; sonuç bütünüyle rastlantısaldır ve bu sonuca hiçbir sinyal zorla yüklenemez.



ALICE KUANTUM DİYARI'NDA

Kuantum Fiziğinin Bir Alegorisi

Alice'in Harikalar Diyarı'ndaki serüvenleri herkesçe bilinir. Alice bu kitapta başka bir yolculuğa çıkıyor. Alice yine küçülecek, üstelik nükleer bir parçacık kadar olacak, fakat bu defa bir tavşan deliğinden düşmeyecek. Alice'in gideceği yer Kuantum Diyarı.

Peki Kuantum Diyarı nedir? Bir atomdan bile küçük olan, entelektüel bir eğlence parkı düşünün. Bu eğlence parkındaki her düzenek, her oyun ve ilgi çekici nesne, kuantum mekaniğinin değişik bir özelliğini açıklıyor. Doğaya ve nesneye ilişkin konularda çoğumuzun aklını karıştıran olay ve süreçlerin kuramsal çerçevesi, doğru ve anlaşılır açıklamalarla bu eğlence parkında bulunuyor.

Düş dünyasını ve bilimi ustalıkla birleştiren, Bristol Üniversitesi fizik bölümünden Robert Gilmore, Alice'in yolculuklarının alegorisini kullanarak kuantum dünyasının önemli noktalarını kolay anlaşılır bir zemine oturtuyor. İçinde bulunduğumuz dünyanın anlaşılması zor, fakat bir o kadar da gerekli bir kavramı olan kuantum fiziğini anlamak isteyenler için sevimli bir başucu kitabı.