Doç. Dr. Sinan Canan tarafından yazıldı.
Çarşamba, 13 Şubat 2013 09:43 -

Kuantum fiziği, çağdaş bilimin en önemli buluşlarından biri (belki de en önemlisi) olarak kabul ediliyor. İlk başta, atom çapı ve daha küçük mesafelerle ifade edilen boyutlarda, klasik fiziğin bulgularının geçerli olmadığının ortaya çıkması, daha sonra çok önemli felsefi ve bilimsel çıkarımlara yol açacak olan kuantum fiziğinin doğmasına neden oldu. Artık basit ve "başlangıç şartları bilindiğinde" tüm geleceği hesap edilebilen "makinamsı" evren anlayışı, yerini yavaş yavaş, parçacıkların aynı zamanda "dalga" gibi davrandığı, aynı anda bir kaç şekilde ve yerde bulunduğu, aralarında ışık hızından daha yüksek hızlarla (aslında zamansız ve gecikmesiz olarak) haberleştikleri, bulunmamaları gereken yerlerde birden beliriverdikleri ve artık, kesinlikler yerine ihtimallerin ve istatistiksel verilerin hüküm sürdüğü bir evren anlayışına bırakmaya başladı. Bundan böyle, bilinen her şeyin en azından yeniden yorumlanması gerekecekti.

Newton fiziğinin aksine, kuantum düşüncesi, bir kişinin parlak birkaç fikrinden ziyade, bir çok bilim adamının ortak katkısıyla ve bir çok deneyin sonuçlarının ortak bir çerçevede yorumlanma çabasıyla şekillenmiştir ve hala da gelişimini (hatta belki de emeklemesini) sürdürmektedir.Büyük fizikçi Einstein, genel ve özel görelilik kuramlarını ortaya attığında, bu günkü kuantum fiziğinin de temellerini attığını muhtemelen bilmiyordu. O, çağdaşları ve ardından gelen bir çok önemli bilim adamı, çok önemli katkılarla kuantum fiziğini bu gün bilnen sonuçlarına ulaştırdılar. Kurucuların önemlilerinden bazıları; Albert Einstein, Max Planck, Paul Dirac, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli ve Warner Heisenberg gibi adlarını bilim tarihine kazımış ünlü simalardır. Bu bilim adamlarının bir kısmı (özellikle Schrödinger ve Einstein) kuantum kuramının temellerini atan parlak buluşların bizzat sahipleri olmalarına rağmen -klasik Newton mekaniğine bilinçaltı bir şartlanmadan mıdır bilinmez- kuantum fiziğinin "saçma-sapan görünen" sonuçlarını bir türlü kabullenemediler. Hatta Schrödinger'in, kuantum fiziğine yaptığı katkılardan pişmanlık duyduğu bile anlatılır.

Şimdi, kuantum kuramının bazı temel bulgularından ve bunların sinir bilimlerini ilgilendiren muhtemel yorumlarından bahsetmeye çalışalım. Fakat okuyucuyu öncelikle uyarmak isterim: Kuantum fiziğinin kurucularından Warner Heisenberg anılarını anlattığı kitabında, Danimarka'nın başkenti Kopenhag'da, parçacık fiziği üzerine yoğun çalışmalar yaptığı günlerden birinin akşamında, göl kıyısında yaptığı bir gezinti sırasında, kendi kendine "Evrenin, deneylerde bize göründüğü kadar saçma olabilmesi mümkün mü?" diye sorduğunu yazar. Kuantum fiziğinin bir başka büyük ismi Niels Bohr ise, "birisi kuantum fiziği hakkın düşünürken

zihni allak-bullak olmuyorsa, onu hiç anlamamış demektir" diyerek, konunun sağduyuya ne kadar aykırı olduğunun altını çiziyordu. İşte konumuz, hayatını bu bilim dalına adamış bilim adamlarını bile kimi zaman umutsuzluğa sevkedecek kadar çetrefilli ve sağduyuya ters bir takım düşünce ve bulgular üzerine kurulu (bendeniz örneğin; asla tam olarak anlamış değilim!). Fakat artık, evreni yeni bir gözle görmemiz için tüm insanlığı çağıran bu davete, en azından ben cevapsız kalamadım.

Kuantum Kuramı Hakkında Kısa Bilgiler

A. "Dalga Fonksiyonu"

Maddenin aslında yoğunlaşmış enerjiden oluşan atom altı parçacıklardan kurulu olduğunu Einstein'den beri biliyoruz. Ünlü E=mc^2 formülü bize, madde ve enerjinin (birbiri ile devamlı ve birbirine dönüşebilen anlamında) "eşdeğer" olduğunu göstermişti. Bu devrimsel eşitliğin ortaya çıkması ile neredeyse eş zamanlı olarak yapılan deneylerin ise ışığın bazen dalga, bazen de parçacık gibi davrandığını göstermesi, o güne kadar varolan önkabullerin yıkılması anlamına geliyordu. Madde, enerjinin akıl almaz biçimde yoğunlaşmış bir haliydi aslında; zira Einstein'in o ünlü formülün anlamı kısaca, maddenin, gram olarak kütlesinin saniyede 300 milyon kilometrelik ışık hızının karesi ile çarpılmasına denk bir enerjiye sahip olduğudur. Bu, yüzyıllardır maddenin doğasına dair kazanılmış en önemli bilimsel içgörülerden de birisidir aynı zamanda.

Bu şaşırtıcı özelliğin farkedilmesinin hemen ardından, ışık üzerinde yapılan deneylerin ilginç sonuçları fizik alemini yeni tartışmalara sürüklüyordu. Özetle; ışık, daha doğrusu ışığı oluşturan ve "foton" adı verilen ışık parçacıkları, bazı durumlarda bir parçacık gibi davranırken, başka bazı deney şartlarında adeta bir dalga gibi davranıyordu. Özellikle fizikte ısıtılan cisimlerin yaydığı fotonları inceleyen bilim adamları, yaptıkları hesapların anlamsız sonuçlarıyla boğuşuyor; "morötesi felaket" denen bir hesap anlamsızlığı üzerine kafa yoruyorlardı.Bu tuhaflığı ortadan kaldıran ilk fikir Max Planck'tan geldi. Plank, ışığın, veya ışığı oluşturan fotonların belli bir "en küçük dalga paketleri" halinde yayılması gerektiğini düşünerek, içinden çıkılmaz görünen denklemleri mantıklı ve deneylerle uyumlu bir çözüme ulaştırmayı başardı. O zamana kadar ışık fotonlarının her değerde enerji taşıyabileceği düşünülürken, Planck, olası en küçük enerji paketçiği kavramını ortaya atarak buna (latince "miktar" anlamında) "quanta" adını verdi. İşte bu fikir, kuantum fiziğinin doğuşunu başlatan bilimsel keşif oldu (fizikteki meşhur "Planck sabiti" de

işte bu fotonların enerjisini hesaplamakta kullanılan formüllerin bir parçası olarak ortaya çıktı).Bu fikir aslında herhangi bir deneysel sonuca doğrudan dayanmayan, sadece “eğer öyle olsa nasıl olurdu” varsayımıyla Planck’ın zihninde beliren parlak bir fikirdi. Fakat bu parlak fikir hem denklemleri anlamlandırdı; hem de o güne kadar kimsenin düşünmediği yepyeni bir fikrin, kauntum kuramının kapısını açtı.

Tüm bunlara rağmen, esas sorun hala orta yerde duruyordu: Işık nasıl olup da bazen dalga bazen de parçacık gibi davranabilirdi? Deneyler ilerledikçe daha garip sonuçlar ortaya çıkmaya başladı: Işığın dalga benzeri davranış göstediği deneylerde, foton parçacıkları tek tek tesbit edilmeye çalışıldığında ışık aniden davranış değiştiriyor ve sanki “gözlendiğini anlıyormuşçasına” parçacık davranışına geri dönüyordu! Daha sonraki çalışmalar bu ikiliğin sadece fotonlar için değil, elektronlar, atom çekirdeğinin proton ve nötron gibi yapıtaşları ile birlikte, yeterince küçük kütleli tüm parçacıklar (hatta 60 karbonlu “kocaman” fulleren molekülü için bile) için geçerli olduğunu gösterdi.

Bu deneysel sonuçları anlamlı bir çerçevede birleştiren kişi ise Fransız fizikçi Louis de Broglie oldu. De Broglie, her kütleye eşlik eden bir dalganın varolması gerektiğini göstererek, maddeye eşlik eden bu dalga özelliğinin kütle azaldıkça belirgin etkiler gösterebildiğini ortaya koydu. Bu gün, maddesel bütün nesnelere eşlik eden bu dalga özelliğine “De Broglie Dalgası” adını veriyoruz. Artık sadece madde-enerji eşlenikliğini değil, maddenin aynı zamanda bir çeşit “dalga” olduğu fikrini de sindirmemiz gerekiyordu!

Bu garip “ikili davranış”, Heisenberg’in belirsizlik ilkesi ile birlikte ilginç bir durum kazandı.Heisenberg, herhangi bir anda, bir parçacığın hem hızının (momentum) hem de konumunun aynı anda belirlenemeyeceğini ortaya koydu ve bunu formülleştirdi.Buna göre, bir parçacığın hızını belirlemeye çalıştığınızda konumu; aksi durumunda da hızı, belli bir miktar (en az Planck sabiti kadar) belirsizleşiyordu.

İlk önceleri, Einstein dahi bu fikirden hoşlanmamış ve bunun ölçüm araçlarının yetersizliğinden kaynaklandığını söylemişti.Belirlenemez bir evren fikrinin, evreni “belirlemeye” çalışan bilimcilere ters gelmesi pek de beklenmeyen bir sonuç değil.Fakat ilerleyen çalışmalar ve bunların sonuçlarının değerlendirilmesi, belirsizlik ilkesinin, ölçüm araçlarının yetersizliğinden değil, bizzatihi, evrenin yapı taşlarının özelliklerinden kaynaklandığı ortaya çıktı. Artık “gözlemci” gözlenenden ayrı olarak kabul edilemeyecekti. Çünkü, gözlemcinin yaptığı seçim (yani neyi gözlemlemek veya ölçmek istediği) artık doğrudan gözlemin sonuçlarını belirliyordu.Yani artık, gözlenen ve gözlemci, aynı bütünün parçaları oldukları ve parçalara bölünerek (indirgenerek) daha fazla baş edilemeyecek olan bir bütüncül (holistik) anlayışa doğru fırlatılıyorlardı.Zira artık biliyoruz ki, bir şeyi asgari düzeyde etkilemeden gözlemenin bir yolu yoktur.En azından, “görebilmek” için ona bir “foton” göndermelisiniz ki bu küçücük gözüken etki, küçücük atomaltı parçacıklar için oldukça büyük bir etkidir.

Kuantum kuramında, her mikroskobik parçacık, bir dalga fonksiyonu (Schrödinger dalga denklemi) ile tanımlanır. Bu denklem kısaca, parçacığın bulunabileceği durumlara ait tüm olasılıkların bir kümesini içerir ve parçacığın o an ve haldeki “kuantum durumunu” verir. Kuantum durumu, olası bütün durumların üst üste bulunduğu ve gerçek dünyada tanık olmadığımız özel bir haldir aslında. Normalde, makroskobik sistemleri oluşturan tüm bileşenler (parçacıklar) kendilerine has ve sürekli değişen farklı dalgasal olasılıklara sahiptirler. Bunu bir benzetmeyle açıklamaya çalışalım: Örneğin bir elektronun bulunduğu konumu belirlemek istiyoruz. Elektron, dalga fonksiyonunun etkisini belirgin biçimde hissettirebileceği kadar küçük kütleli bir parçacık olduğu için, elektronun bildiğimiz anlamdaki “yeri” yerine belli bir mekanda bulunma olasılığı ancak saptanabilir. Elektronun bulunma ihtimalinin güçlü olduğu yerlerde dalga fonksiyonu kuvvetli bir ihtimal verirken, bulunma olasılığının zayıf olduğu yerlerde ise ihtimaller daha düşük olarak hesaplanır. Aslında bu sonuç, herhangi bir nesnenin dalga fonksiyonunun belki de tüm evrene yayılmış olduğu; fakat ihtimaller neticesinde “belli bir yerde bulunma olsalığının” o an için daha güçlü olduğu ve dolayısıyla “büyük ihtimalle” orada bulunduğu şeklinde anlaşılabilir. Kısacası, ölçümlerimizdeki kesinlik, büyük kütleli maddi dünyadan devşirdiğimiz gözlemlere dayanan bir yanılsamadır aslında! Örneğimizi şu anda bu yazıyı okuyan size genişletecek olursak, maddi bir varlık olarak siz, evrenin her köşesinde bulunma olasığına sahip (kocaman) bir bileşik dalga fonksiyonu ile ifade edilebilirsiniz fakat değişkenlerinizin ortaya çıkardığı baskın ihtimal sayesinde şu anda bulunduğunuz konumda olma ihtimaliniz en yüksektir.Dolayısıyla “genellikle” oradasınızdır. Kütle arttıkça bu kesinlik de artar ve hesaplama sonuçları klasik fizikten bildiğimiz sonuçlarla aynı hale gelir.Bu yüzden bir insanın konumunu fiziksel olarak belirlemekte bir zorluğumuz yoktur.Makro alemde kuantum etkilerinin ihmal edilebilmesi de bu nedendendir.

Tek tek ve çok küçük kütleli parçacıklar düzeyinde, bu dalga fonksiyonundan dolayı kuantum etkileri geçerliyken, makroskobik düzeyde, sistemleri oluşturan parçacıkların dalga işlevleri, “istatistiksel” olarak klasik mekaniğe uyumlu sonuçlar verirler.Bildiğimiz günlük dünyada kuantum etkilerinin neredeyse ihmal edilebilir düzeyde olmasının temel nedeni de işte maddenin bu istatistiksel tabiatıdır.Normal koşullarda kuantum etkilerini makroskobik günlük hayatımızda doğrudan gözlemleyememekteyiz.Fakat bu durumun da bazı istisnaları var (örneğin biraz ileride açıklanacak olan Bose-Einstein Yoğunlaşmaları gibi).

B. Schrödinger’in Kedisi

Dalga fonksiyonunu formülleştiren Erwin Schrödinger, sonradan çok ünlü olacak bir düşünce deneyi tasarladı.Bu deneyde, bir kedi, kapalı bir kutunun içine yerleştiriliyor ve yanında da, uranyum gibi beta bozunması yapan radyoaktif bir maddenin yapacağı ışınıma bağlı olarak çalışan bir mekanizma yerleştiriliyordu. Bu mekanizmaya göre, eğer yayılan beta parçacığı, detektöre çarparsa, harekete geçecek olan bir mekanizma (örneğin yaylı bir çekiç) tarafından kırılan zehir şişesinden yayılacak olan zehirli bir gaz kediyi öldürecek, beta parçacığı yayılmazsa, kedi canlı kalacaktır. Eğer dışarıdan bir gözlemci, kutunun içerisini görmeden bir tahminde bulunursa, (beta bozunumu olasılığı, öngörülemez bir biçimde %50 olduğundan) kedinin canlı mı yoksa ölü mü olduğunu söyleyemeyecektir.Ona göre, kedi %50 canlı, %50 ise ölüdür.Yani, kedi eşit oranda canlı ve ölü olma şansına sahiptir. Aslında sadece bu kadar da değildir; kedinin yaşaması tamamen kuantum dünyasındaki bir sürece (atom çekirdeğindeki parçalanmaya) kilitlendiğinden, aynen kuantum dünyasında olduğu gibi, gözlenmediği takdirde “kedimiz aynı anda hem canlı hem de ölüdür”! Daha doğru bir ifadeyle, kutudaki kedi, canlı ve ölü durumların üst üste ve birlikte bulunduğu bir binmişme (süperpozisyon) durumundadır!

İşin tuhafı, kedi görülmediği (gözlemlenmediği) sürece, her iki olasılık da aynı oranda gerçektir.Eğer gözlemci, gidip kutuyu açarsa, işte bu durumda, kedi “ya ölü, ya da canlı” olarak karşısına çıkacaktır ki, gözlemcinin bu müdahalesi, ortam şartlarını değiştirmiş ve olasılıklardan birinin “gerçekleşmesine” neden olmuştur.İşte, gözlem sonucu ortaya çıkan ve belki de maddi dünyayı algılama biçimimize temel olan bu durum “dalga işlevinin çökmesi” (collapse of the wave function) olarak bilinir.Kutu açıldığı ve kedi gözlemlendiğinde, kedinin ölü veya diri olma şansları eşittir. Kutu açılmadan önceki durum için, kuantum fizikçileri, kedinin hem ölü, hem de

canlı olduğu bir üçüncü olasılığın da var olması gerektiğini söylerler (Bu düşünce deneyi çok kaba olarak, mikroskobik bir hadiseyi makroskobik boyuta taşımak için düşünülmüştür; gerçekte böyle bir deney yapılamaz; çünkü, hem bu kadar yalıtılmış bir ortam yaratmak mümkün değildir; hem de kedinin aynı anda hem canlı-hem de ölü olduğu bir durum makroskopik dünya için açık bir çelişkidir). Böyle bir olasılık, aynen elektronlarda, fotonlarda ve diğer tüm atom altı parçacıklarda gözlenen ikili (hem dalga hem parçacık) yapıdan kaynaklanan dalga işlevinin bir özelliğidir ve evrenin temel kanunlarından birini oluşturur.Gözlemci devreye girdiğinde ise, algılanamaz olan bu durum, algılanabilir olan iki (ya da daha fazla) olasılıktan birine doğru "çöker".Halbuki bizim bildiğimiz "klasik" (Newtonian/Newton'cu) sistemler böyle çalışmazlar.Newton'cu evrende bir şeyi gözleseniz de gözlemeseniz de, her şey belli ve basit kurallara bağlı bir şekilde (deterministik bir tarzda) davranmak durumundadır.

Dalga fonksiyonunun çökmesi meselesi, Schrödinger'in kendisine bile saçma gelmiş ve anlatılanlara göre daha sonraları bu tip yaramaz düşünce deneylerinden mümkün olduğunca uzak durmuştur. Fakat ilerleyen deneysel çalışmalar, bu sürecin açık bir gerçek olduğunu gösterdi.

C. Kuantum Tünelleme

Kuantum aleminin bir başka garipliği, küçük maddi parçacıkların aslında bulunmamaları gereken yerlerde birdenbire gözlenivermeleridir. Biraz evvel Schrödinger'in Kedisi deneyinde bahsedilen çekirdek bozunumu tepkimeleri, aslında kuantum tünelleme denen bu garip etkiye dayanır.

Atomun çekirdeğini oluşturan proton ve nötron gibi bileşenler, normal şartlarda atom çekirdeğini bir arada tutan çekirdek kuvvetlerini aşarak serbest hale geçemezler. Fakat ışımaetkin (radyoaktif) atomlarda bu olay kendiliğinden gerçekleşir ve her nasılsa, bazı atom çekirdeği elemanları, etraflarındaki enerji engelini hiç çaba harcamadan geçip, atom çekirdeğinden kurtulurlar (radyoaktif ışıma denen şey de tam olarak budur). Hadisenin garipliğini anlamak için, diğer insanlarla birlikte içinde bulunduğunuz büyük bir salonda, sizinle birlikte bulunan insanlardan bazılarının duvarlara yaslandığını, veya dolaşırken duvarlara tosladıklarını; fakat bunların da bazılarının kendiliğinden duvarın diğer yanına geçiverdiğini gördüğünüzü düşünün. Evet, bir insanın kalın bir beton duvarın içinden geçmesi ne derece akıl almaz ise, çekirdekteki

parçacıkların bu kadar düşük enerji ile çekirdeği terkedebilmeleri de aynı derece şaşırtıcıdır. Bu etki, nadir durumlarda gözlenen istisnai bir olay da değildir; ışıma yapan (radyoaktif) tüm atom çekirdeklerinde görülür.

Tünellemenin açıklaması aslında Schröndinger'in dalga fonksiyonunda gizlidir.Dalga fonksiyonunun istatistiksel olarak bir atom altı parçacığın bulunabileceği yerleri ifade ettiğini görmüştük.Çekirdekte bulunan bir parçacığın dalga fonksiyonu incelendiğinde, düşük bir olaslıkla da olsa çekirdeğin dışında "bulunabileceği" sonucu ortaya çıkmaktadır.Bir başka deyişle, parçacığın olasılık dalgasının ufak bir kısmı, çekirdeğin etrafındaki enerji kalkanının dışına ulaşır. İşte bu sayede, az sayıda da olsa atom altı parçacık, bu istatistiksel kurala uygun olarak "duvarın diğer tarafında" beliriverirler. Yine bu tip kuantum etkileri büyük ölçekli dünyamızda etkilerini hissettiremediklerinden, bizler büyük nesnelerin böyle engelleri kendiliklerinden aştıklarına şahit olmayız. Bu "gariplikler" ancak, kütlelerin çok küçük olduğu ve dalga fonksiyonlarının etkisinin derinlemesine hissedildiği kuantum dünyasında geçerlidir.

D. EPR Paradoksu, Kuantum Dolaşıklığı (Entanglement)

Kuantum dünyasının bilim adamlarını en çok bunaltan özelliklerinden birisi de dolaşıklık (entanglement) olarak bilinen özelliktir.Atom altı parçacıklar bazen yüksek enerjili bir çarpışmaya maruz kaldıklarında, birbirinin eşi (fakat bazı özellikler açısından zıddı) parçacık çiftleri üretirler.Bu parçacık çiftleri, bazı özellikleri açısından birbirlerini tamamlamalıdırlar. Örneğin, fizikteki ünlü "momentumun korunumu" kanunu gereği, "spin" olarak bilinen ve bizim dünyamızdaki açısal momentuma (yahut daha basitçe dönmeye bağlı merkezcil itmeye) benzeyen bir parçacık özelliği, oluşan yeni iki parçacıkta tam zıt yönde olmalıdır. Parçacıklardan birisi bir yönde spine sahipse, eşi onun tam zıddı spine sahip olmalıdır. Buraya kadar aslında pek bir sorun yok.

Sorun, aynı kaynaktan ayrılan eş-parçacıklar üzerinde yapılan gözlemlerle başlar: Belirsizlik ilkesi ve dalga fonksiyonu gereği, birbirinden ayrılan parçacıkların spinleri birbirine zıt olsa da, bu spinler ölçülmediği/gözlenmediği sürece "gizli"dir ve her parçacık için her iki spin durumunun da birlikte bulunduğu bir kuantum binişiklik (süperpozisyon) durumu sözkonusudur. Fakat parçacıklardan bir tanesinin spinini ölçerseniz ilginç bir şey olur: Diğer parçacık, berikinde ölçtüğünüz spinin tam tersi bir özelliği gösterecek şekilde anında "değişir"! (Buradaki değşir ifadesi tam doğru olmamakla birlikte, günlük dilde bu durumu anlatabilecek daha uygun bir kelime de yoktur maalesef).İsterseniz bu iki eş parçacığı evrenin iki farklı köşesine gönderin, kuramsal olarak bunların birinde yaptığınız bir ölçüm, zamansız olarak, yani anında, diğer parçacığı bir şekilde "etkiler". Ölçüm yapmak "dalga fonkiyonunu çökertir ve bu çökme, paçacıkların her ikisinde de aynı anda, fakat zıt yönlerde gerçekleşir.

Eğer Einstein'in devrimci "Görecelik" (relativite) fikrine yabancı değilseniz buradaki sorun hemen göze çarpar.Einstein'in görecelik kuramı, ışık hızını en üst hız olarak belirler ve evrende hiç bir şeyin ışıktan hızlı hareket edemeyeceğini söyler.Bu sınır, bir çok deney ve gözlemle kanıtlanmış bir gerçektir. Fakat bu deneyde, aralarındaki mesafeden bağımsız olarak "anında" haberleşebilen parçacıklardan bahsediyoruz! Hiç bir şey ışıktan hızlı gidemeyeceğine göre, taneciklerden birisi üzerine yapılan bir ölçüm etkisi nasıl olur da anında diğer eşine iletilebilir?İşte bu nokta, başta Einstein olmak üzere bazı klasik fizikçiler şiddetle itiraz ettiler ve buradaki deneysel sonuçları kabullenemediler.

Bu olayın bir başka sonucu, inceleme yaptığınız sistemlerin bir başka sistemle "dolaşık" (entangled) olması durumunda, incelediğiniz sistem hakkında elde edeceğiniz bilgilerin sınırlı olacağıdır. Dolaşık sistemlerin tümüne etkiyen faktörlerin hesaba katılmadığı durumlarda öngörü ve hesaplanmalardaki yanılma payı da o oranda artacaktır. Hatta evrenin ilk varoluşundaki Büyük Patlama'nın aslında evrendeki tüm maddelerin çıkış noktası olduğu düşünülürse, maddenin yapıtaşını oluşturan tüm bileşenlerin, evrenin neresinde olurlarsa olsun belli bir derecede "dolaşık" olduklarını düşünmek de mümkündür. Dolayısıyla, bunca gariplikten sonra, kuantum fiziğinin ilgilendiği sistemler hakkında tamamlayıcı ve nesnel (objektif) bir sonuca varmak çok da kolay gözükmüyor.

E. Kuantum Eşdurumluluğu (coherence) ve Bose-Einstein Yoğunlaşmaları

Uygun koşullar sağlandığı takdirde, bazı özel makroskobik sistemleri oluşturan elemanlar birdenbire, son derece ahenkli bir “dans” içine girip, birbirlerinin tıpatıp aynısı olan ortak bir dalga fonkisyonuna göre “eşdurumlu” (coherent) hale gelebilmekteler (örnek olarak aynı müzikle ritim tutan bir stadyum dolusu insanı düşünebilirsiniz). Bunun sonucunda da, parçacıkların ahengini sağlayan o minicik kuantum olasılık etkileri, makroskobik bir karakter kazanıp görünür hale gelirler. Bu sistemler, böyle bir olayı birbirlerinden bağımsız olarak tahmin eden Hintli fizikçi Bose ile Einstein’ın adlarına hürmeten “Bose-Einstein yoğunlaşmaları” (condansate) olarak bilinirler.

Bose-Einstein yoğunlaşmalarının en ünlü örneklerinden birisi, “üstün iletkenler”dir. Üstün iletkenlik, normalde elektrik akımına karşı bir direnç göstererek elektrik akımının geçmesi sırasında ısı oluşturarak akımın sönümüne yol açan iletkenlerin, soğutulduklarında (yaklaşık -200 dereceye kadar) akıma karşı neredeyse sıfır düzeyde direnç göstermeleri şeklinde ortaya çıkan bir hadisedir. Böyle bir üstün iletkende ilerleyen akım, teorik olarak yüzlerce yıl boyunca herhangi bir sönüme uğramadan yoluna devam edebilir.Teorik olarak, elektrik akımına karşı oluşan direnç, iletkeni oluşturan atomların rasgele hareketlerinden kaynaklanmaktadır ve bu rasgele titreşimler de parçacıkların farklı dalga işlevleri ile yakından ilişkilidir. Böyle bir sistem soğutulduğunda, atom ve molekül hareketleri gittikçe azalacak ve mutlak sıfır (-278 santigrat) noktasında tüm sistemi oluşturan parçacıklar aynı dalga işlevine sahip bir Bose-Einstein yoğunluğu oluşturarak “eşdurumlu” bir sistem haline dönüşeceklerdir. İşte bu sayede elektrik akımına karşı gösterilen direnç son derece azalacak ve “üstün iletkenlik” durumu ortaya çıkacaktır. Bildiğim kadarıyla, daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek üstün iletkenler üzerine çalışmalar hızla sürmekte ve muhtemelen ilerideki kuantum bilgisayarlarının temelini de bu tip devreler oluşturacak. Zira oda sıcaklığında eşdurumlu halde bulunabilen bir malzemeyle yapıalbilecek bir süper-iletken devrenin teknolojik sonuçları, hayallerimizin ötesinde olacaktır.

Bir başka bilinen örnek, “lazerler” olarak bildiğimiz yüksek enerjili ışınlardır (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation; Uyarılmış ışıma yayılması ile ışık

yükseltmesi). Lazerler genellikle yakut gibi maddelerin atomlarının bombardımana tutularak ışık fotonları çıkartması esasına dayanır. Bir lazerde, ışık huzmesini oluşturan tüm fotonlar, aynı dalga işlevini paylaşan "eşdurumlu" bir sistemin elemanlarıdır.Bu sayede lazer ışınları, binlerce kilometre yol aldıkları halde, normal bir ışık huzmesinde gözlenen dağılma hadisesini göstermezler ve yoğunluklarını büyük ölçüde korurlar.Bu da lazer ışının Bose-Einstein yoğunlaşması karakteri taşıması ile açıklanır.

Az bilinen bir diğer örnek ise sıvı helyum'un "üstün akışkan" halidir. Burada da yine sistemi oluşturan helyum atomları bir Bose-Einstein yoğunlaşması gibi davranarak, akışa karşı normal bir akışkanın göstereceği direnci sıfır düzeyine indirerek, üstün bir akışkan haline gelir ve hiç bir dirençle karşılaşmadan boru sistemleri içinde akıp gidebilir.

Bu örnekler, Bose-Einstein yoğunlaşmalarının istisnai makroskobik örneklerinden bazılarıdır. Bu tip hadiselerin önemli bir özelliği, kuantum etkilerinin büyük boyutlara taşınarak gözle görülebilir sistemleri etkileyebilir hale gelmesidir. Sinir bilimleri açısından, beyin gibi büyük bir organın ve zihin gibi karmaşık bir işlevin açıklanmasında, bu fikir oldukça ilginç açılımlara yol açmıştır. Özellikle son 50 yıldır, bu "eşdurumluluk" ve Bose-Einstein yoğunlaşmalarının, bilincin temelini ve bilinç bilimindeki "bağlantı problemi", "teklik tecrübesi" gibi sorunları açıklayabilecek bir zemin oluşturabileceği konusunda ciddi savlar boy göstermeye başlamıştır. Yazının ilerleyen bölümlerinde bu konuları daha detaylı inceleyeceğiz.

F. Sicim Kuramı ve Fiziğin Geleceği

Fizik dünyasını ilgilendiren belki de en önemli sorunlardan bir tanesi, birbirlerinden bağımsız olarak keşfedilmiş olan temel tabiat kuvvetlerini tutarlı bir çatı altında birleştirmektir. Geçmişte Maxwell'in elektrik ve manyetizmayı "elektromanyetik kuvvet" adı altında birleştirmesi gibi, kütleçekim, zayıf çekirdek kuvveti ve güçlü çekirdek kuvveti gibi diğer kuvvetlerin de benzer bir çatı altına toplanma çalışmaları güncel fiziğin en önemli konularından birisidir. Bu birleştirme çabalarının önünde ise yakın zamana kadar ciddi bir engel vardı:

Araştırmacılar, özellikle çok zayıf bir kuvvet olan kütleçekim kuvvetini (ve buna bağlı olarak görecelik kuramının ön gördüğü evreni), kuantum aleminde rol oynayan yasalarla birleştirme konusunda sürekli başarısızlığa uğrayan çabalar sergiliyorlardı.Kuantum kuramı diğer üç kuvveti başarıyla çıkalrken, kütleçekim kuvveti bu resmin içinde yer almaya direniyordu adeta. Bu iki alan, birleştirilmeye karşı inatla direndiler, ikisini bir arada değerlendirmeye çalışan neredeyse tüm girişimler anlamsız matematiksel sonuçlar verdi. Halbuki yaşadığımız evren içinde her ikisinin de gerçeklik payı olduğuna göre bunların belli bir kavramsal çatı altında birleştirilebilmeleri gerekiyordu.

Bu can sıkıcı sorun günümüzde “sicim kuramı” adı verilen sıradışı bir kuramın ortaya atılmasıyla çözüme biraz daha yaklaşmış gibi görünüyor. Sicim kuramı, maddenin bildiğimiz anlamda “noktasal” parçacıklardan değil, çok boyutlu, titreşen, sicim benzeri telciklerden oluştuğu varsayımıyla başlıyor. Bu “sicim”lerin değişik titreşim frekanslarının ve farklı boyutsal özelliklerinin, bildiğimiz maddenin o muzzam çeşitliliğini oluşturabileceğini düşünen araştırıcılar, o güne kadar kimsenin düşünmediği ilginç bir evren tasavvurunun da kapılarını aralıyorlar. Sicim kuramcılarına göre bizim bildiğimiz uzay-zaman dört boyutlusundan (üç mekan ve bir zaman boyutundan) başka, daha değişik yapıda boyutlar da varolmalı.Çünkü sicim kuramları (evet, birden fazla kuram söz konusu) genellikle ancak 7-11 boyutlu uzay tasarımlarında işe yarıyor.Dört boyutlu bir uzay zamanda yaşayan bizler için daha fazla boyutlu bir evreni tasavvur etmek elbette imkansızdır; fakat bu tip evren tasarımlarını matematik yardımıyla rahatlıkla inceleyen araştırıcılar, her gün yeni ve şaşırtıcı bulgularla ortaya çıkmaya devam ediyorlar (Sicim kuramına dair grafik bir özet şu adreste bulunabilir).

Fizikte birbirleriyle uyuşmaz görünen kuramları birleştirme çabasının en büyük nihai amacı ise Büyük Birleşik Kuram (Grand Unified Theory – GUT) olarak bilinen, nihai bir kavrayıcı çatıya ulaşmak. Böyle bir kuramın var olup olamayacağını henüz kimse bilmese de, Eisntein gibi büyük bir fizikçinin (sonuçsuz kalsa da) ömrünün son birkaç onyılını kapsamış bu çaba, bir çok fizikçinin de aklında yatan “kutsal kase” olma özelliğini koruyor.

G. Kuantum Gariplikleri? Gerçekten, sadece atom altı parçacıklar değil, makro dünyadaki bir dizi “garip görünen” olay da, bu kauntum aleminin bir sonucudur.Sinir sisteminin çalışması da işte bu garipliklerden bol miktarda içerir. Bundan dolayı “kuantum nörobiyoloji” yahut “nörokuantoloji” adıyla anılabilecek multidisipliner yaklaşımlar, sinir sisitemi çalışmalarının gelip dayandığı “indirgemeci” moleküler biyoloji tabanından hareketle, sinir sistemi, bilinç, irade, davranış vb. gibi konularda artık bir takım yeni yorumlar ortaya koymaya çalışmakta. Hepsini burada tartışamasak da, en azından temel maddelerini yazının ileriki bölümlerinde gözden geçirmeye çalışacağız…