

KUANTUM KURAMINDA BELİRSİZLİK...

1929 yılı mart ayı, gecenin geç saatlerinde genç Alman fizikçi Werner Heisenberg, Kopenhag'da Niels Bohr Enstitüsü'nün arka bahçesinde düşünceli bir şekilde geziniyordu... Tüm gece boyunca Einstein'ın söyledikleri aklına takılmıştı: “Bu, bizim neyi gözleyeceğimize kendisi karar veren bir kuram!”. Heisenberg aniden duraksadı; gözleri parladı: “Atomun çok küçük ölçeklerinde, kesin olarak bilinebilecek doğal sınırlar olmalı”.

Bir parçacığın konumunu ya da momentumunu hassas olarak ölçmenin mümkün, fakat aynı anda ölçmenin mümkün olamayacağı sonucuna götürüyordu bu Heisenberg'i. Çünkü ölçüm aletleri ölçmeyi doğrudan etkiliyordu. Heisenberg, hemen ardından, ölçüm sürecini değiştirmeden, atom-altı dünya hakkında kesin bilgiler edinilemeyeceği sonucuna vardı.

Kuantum kuramı, fiziksel ifadeleri ve soyut matematiği kadar felsefi sonuçlarıyla da şaşırtıcı bir kuram. Belirsizlik ilkesinin de kurama bu anlamdaki katkıları yadsınmaz. İşte, Heisenberg ve ünlü belirsizlik ilkesinin kısa öyküsü...

“Bir parçacığın konumunu ne kadar hassas belirlerseniz, momentumu hakkındaki bilgileriniz o kadar azalır ve tersine; bir parçacığın momentumunu ne kadar kesin ölçerseniz konumu hakkında da o kadar az bilgiye sahip olursunuz”...

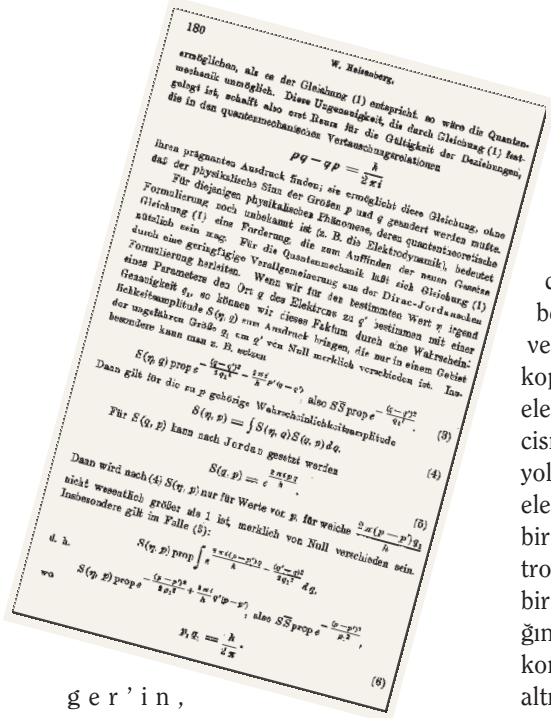
Bu kısa ve öz söz, Heisenberg'in ünlü “belirsizlik ilkesi”nin ifadesi.

Belirsizlik ilkesinin temelleri, Heisenberg'in, ünlü fizikçi Schrödinger'le girdiği tartışmaların bir ürünü olarak ortaya çıkmıştı aslında. Kuantum mekaniğinin formülasyonuna ilişkin tartışmalar sürerken, Heisenberg, Dirac ve Jordan'ın makalelerine bakıyor ve

formülasyonun denklemlerinde beliren temel değişkenlerin ölçümüne ilişkin bir çözüm buluyordu. Bir parçacığın konum ve momentumunu eşzamanlı olarak ölçmeye kalkışıldığında “belirsizlik” ortaya çıkıyordu. Benzer belirsizlikler, parçacığın enerji-zaman ölçümünde de kendini gösteriyordu. Heisenberg, bu belirsizliklerin, ölçümü yapanın hatası olmadığını, kuantum kuramının kaçınılmaz bir sonucu olduğunu söyledi. İşte bu keşfini içeren 14 sayfalık bir mektubu Şubat 1927'de ünlü fizikçi Pauli'ye gönderdi. Bu mektup daha sonradan, Heisenberg'in ünlü “belirsizlik ilkesi”ni dünyaya du-

yurduğu ilk yazılı belge olacaktı.

Heisenberg, belirsizlik ilkesini formüle ettiği sıralarda, başında Bohr'un bulunduğu Kopenhag Üniversitesi'ndeydi. Bohr kayak için gittiği tatilden dönmüş, taslak halindeki makaleyi görmüş ve etkilenmişti. Heisenberg'in isteği üzerine makaleyi Einstein'e gönderen Bohr'un, Einstein'le ünlü tartışmaları başlamıştı. Birbirini izleyen mükellemel akıl yürütmelerle dolu bu tartışmalar, kuantum mekaniğinin gelişmesinde de önemli bir rol üstlendi. Aslında belirsizlik ilkesi her ne kadar Heisenberg ile anılsa da, Schrödin-



ger'in, Einstein'in ve Robertson'un katkıları da unutulmamalı.

Heisenberg, becerisini ve fiziksel sezgilerini kesin matematik terimlerle ifade ediyordu. Aslında belirsizlik ilkesi de, kuantum mekaniğinin mevcut matematiksel formalizminden çıkmıştı ve bu formalizmin açıklığa kavuşmasında öncü bir rol oynuyordu.

Belirsizlik...

Tümüyle kuantum mekaniğinin matematiksel bir sonucu olan belirsizlik, aslında tek bir basit denklemle ifade edilen basit bir ilke. Oysa içerdiği anlam, bugün bile önüne geçilmez tartışmalara neden oluyor.

Kuantum mekaniği öncesi fizik, yani klasik fizik, sağduyuya uygun sonuçlar içeriyordu. Klasik fiziğe göre, bir fiziksel gözlenirin konumunu ve hızını aletler yardımıyla ölçüp, onun hakkındaki tüm fiziksel bilgilere sahip olabilirsiniz. Klasik fizik bu anlamda deterministiktir.

Klasik fizikte bir sistemin hareketini ölçerken, sistemin hareketini değiştirmeden bu işin yapılabildiği kabul edilir. Örneğin bir parçacığın konumunu ölçmek istiyorsak, bunu laboratuvarı istediğimiz duyarlılıkta ölçebildimizi varsayabiliriz. Klasik fizikte bir ölçümün duyarlılığının sınırı yoktur. Konum ölçümünü ya da momentum ölçümünü istediğimiz kesinlikte yapabildimizi kabulleniriz. Kuantum kuramında işin bu yönü, üzerinde ayrıca durup düşünmemiz gereken bir konu haline geliyor. Kuantum mekaniğinin gelişmesi sırasında görülmüş ki; biz bir elektronun ya da atomun konumunu istediğimiz anda ve kesinlikle ölçme-

miz mümkün değil; yani klasik fizikteki bu kesinlik kuantum fiziğinde doğru değil. Örneğin Heisenberg'in düşünce deneyini ele alalım ve diyelim ki, çok hassas bir mikroskop altında hidrojen atomuna bağlı bir elektronun fotoğrafını çekeceğiz. Bir cismi görüntülemek için üzerine ışık yollayıp, yansıtmanız gerekir. Işık bir elektromanyetik dalgadır ve taşıdığı bir enerji vardır. O zaman, ışığı elektron üzerine yolladığımızda elektrona bir enerji aktarılır. Ayrıca ışık yansıdığı anda bir momentum değişikliği söz konusudur. Klasik fizikte mikroskop altındaki bir bakteri üzerine ışık yollarsanız, ışığın bu cisme aktardığı enerji ve impuls, gözlem altındaki bakterinin hareketinde gözlenebilecek büyüklükte bir değişikliğe neden olmaz. Ama iş elektron boyutuna indiğinde, böyle bir gözlem elektronun hareketinde kontrol edilemeyecek kadar büyük değişikliklere neden olabilir. Çünkü elektronun enerjisiyle yollanan ışığın enerjisi aşağı yukarı aynı büyüklük mertebesinde. "Elektron duruyor" diyebilirsiniz. Ama gerçekte bunu bilemezsiniz. Elektronun durduğunu söyleyebilmek için ışık yansıtıp bakmanız gerekiyor. Fakat ışık elektrona çarpıp, sizin gözüne geri geldiğinde, artık elektron o konumda değildir; çoktanmış uçup gitmiştir o noktadan. Bu, parmağınızla, tabaktaki bir domates çekirdeğinin orada olup olmadığını belirlemeye benziyor. Siz parmağınızı dokunduğunuzda o kayıp gidecektir.

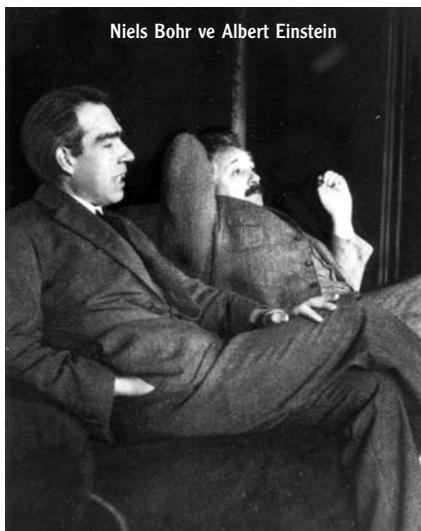
Kısacası, ölçüm süreci artık sistemin durumunu değiştirebilmektedir. Şöyle bir sonuç çıkıyor: Kuantum fiziğinde, üzerinde ölçüm yapılan bir sis-

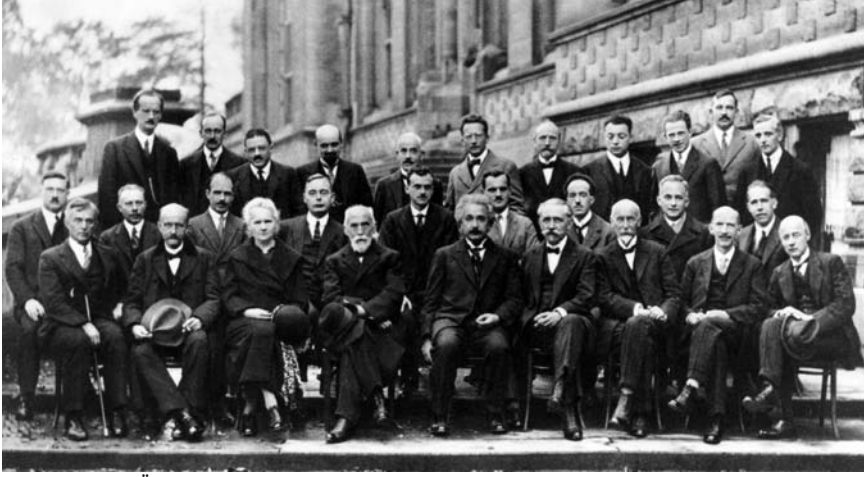
tem hakkında sorulan her soruya yanıt bulunamaz. Her istenen gözlem sonucu, istenilen kesinlikte belirlenemez...

Zaten, kuantum mekaniğinde işler farklı yürüyor. Bir fiziksel gözlenirin konumunu metreyle ya da hızını saatle ölçmek mümkün değil. Bu yüzden, bunlar matematiksel olarak ölçülüyor. Her bir fiziksel parçacığa karşılık bir dalga fonksiyonu olduğu varsayılıyor. Bu dalga fonksiyonunun da parçacığa ilişkin tüm bilgileri taşıdığı kabul ediliyor. Örneğin bir elektronun konumunu ölçmek için, elektronun dalga fonksiyonu, bir matematiksel işlemciyle işleme sokuluyor ve ortaya çıkan sonuç o parçacığın olası konumunu veriyor. "Olası", çünkü ortaya çıkan istatistiksel sonuç, herhangi bir anda, herhangi bir yerde bulunması olasılığını veriyor. Heisenberg'in de dahil olduğu Kopenhag okulunun kuantum mekaniği yorumu bu. Bu yorumun bu kadar geçerli olmasının belki de en önemli yanı, matematiksel olarak tutarlı bir formülasyonu içermesi. İster kabul edelim, ister etmeyelim, kullandığımız bilgisayar, kendiliğinden açılır-kapanır kapılar, evimizdeki televizyonlar bu olasılıkçı temeller üzerine kurulmuş kuantum kuramı yasalarına göre işliyor.

İşte belirsizlik bu olasılıkçı görüşün içinde beliriyor. Sözünü ettiğimiz parçacıklar, yani atom-altı dünyanın sakinleri çok gizemliler. Size her şeyi açıklıkla göstermiyorlar. "Neredesin?" sorusuna verdikleri yanıt, "Ne kadar kesinlikle istediğine bağlı" oluyor. Eğer yanıtınız "kesin"se, o zaman bazı şeylerden fedakârlık etmeniz gerekiyor; örneğin "momentum" gibi. Yani, en önemli diğer fiziksel özelliğinden.

Çok doğru olmamakla birlikte, gözlerimizle bir nesneye baktığımızda yaşadığımız durumu açıklayıcı bir örnek olarak alabiliriz. Sözelimi, odanın bir köşesinde duran sandalyeye baktığımızı düşünelim, bu sırada sırtımız sandalyenin bulunduğu köşenin tam karşısındaki köşeye dönüktür ve bu köşede ne olduğunu (eğer daha önceden görmemişsek) bilemeyiz. Bu, sandalyeyi "kesin" olarak görüyoruz, ama diğer köşede ne olduğunu da "kesin" olarak bilemiyoruz demektir. Eğer başımızı yavaş yavaş çevirip arkadaki köşede ne olduğunu görmeye çalışırsak, sandalyenin ayrıntıları yavaş yavaş yok olacaktır. Tam tersimize döndüğümüz-





Ünlü 1927 Solvay Konferansı. Heisenberg en arkada sağdan üçüncü sırada.

deyse, artık sandalyeyi göremiyor, ama gizemli köşede ne olduğunu artık tam olarak görüyoruz demektir.

Şimdilik tek avuntumuz, kuantum mekaniğinin atom-altı dünyaya hükmediyor olması. Klasik fizikteki, yani gündelik yaşamımızdaki nesneler halen klasik fiziğin yasalarına uyuyorlar.

Biraz Fizik...

Şimdiye değin söylenenleri fizik di- liyle anlatacak olursak; “bir parçacığın konum ölçümlerindeki belirsizlik Δq ile momentum ölçümlerindeki belirsizlik de Δp ile gösterilirse, bu iki belirsizliğin $\Delta q \Delta p$ çarpımı her zaman Planck

sabitinden (h) büyük olmalıdır” diye özetleyebiliriz. Eğer parçacığın yörün- gesini duyarlı bir şekilde ölçmek isti- yorsak, konum ölçümündeki belirsizli- ği mümkün olduğu kadar küçük tut- malıyız. Yörünge kesin olarak belirli- se, yörünge üzerindeki her noktada, her an $\Delta q = 0$ olacaktır. Oysa belirsiz- lik ilkesine göre, Δq 'yu sıfıra götürür- sek $\Delta q \Delta p$ çarpımının Planck sabitin- den büyük olabilmesi için Δp 'nin çok büyük olması gerekir. Yani konumu kesin olarak biliyorsanız, momentum hakkındaki bilginiz tümüyle elinizden kaçıp gitmiş olacaktır. Şimdi tersini düşünelim: de Broglie bağıntısına gö- re, parçacığa eşlik eden bir dalga var

ve bu dalganın boyu, parçacığın mo- mentumu cinsinden ifade ediliyor. Dal- ga boyunu ölçebilmek için parçacığın momentumunun kesin olarak bilinme- si gerekir. Yani $\Delta p = 0$ olmalıdır. Bu durumda belirsizlik çarpımının h 'den büyük olması için Δq 'nın sonsuza git- mesi gerekir. Yani parçacığın kendisi- ne eşlik eden dalganın neresinde ola- cağını hiç bir şekilde bilemeyeceksiniz. Kuantum mekaniğinde bu iki ucu bir araya getirmenin olanağı yok. Yani siz ancak q 'dan fedakârlık ederseniz, Δp 'yi azaltabilirsiniz. Δq ve Δp 'den bi- rinin eksilmesi ancak diğerinin artma- sıyla mümkündür.

O zaman yineliyoruz: Bir taneciğin konumu ve hızı aynı anda istenilen ke- sinlikte ölçülerek beraber belirlene- mez. Aslında belirsizlik ilkesi kuantum mekaniğinin formalizmi içerisine baş- tan konulmuş da denilebilir. Kuantum mekaniğinde, her gözlenire karşı gelen bir operatör (işlemci) inşa edilmektedir. Örneğin enerji bir gözlenirdir, çünkü her cismin ya da sistemin enerjisi ölçü- lebilir. Bu ölçüm sonucunda enerji de- ğerleri gerçel sayılar olarak bulunur. Kuantum mekaniğinde enerji gözleniri- ne karşı gelen bir enerji işlemcisi ta- nımlıyoruz. Bu işlemcinin sağladığı öz- değeri denklemlerini kuruyoruz. Bu denklem, işlemcilerin üzerinde işlem

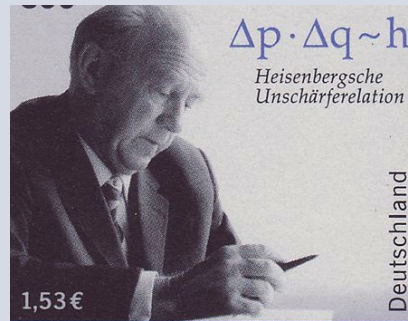
Belirsizliğin Babası

Werner Karl Heisenberg, 1901 yılında Al- manya'nın Würzburg kentinde doğdu. Babası August Heisenberg, Münih Üniversitesi'nde Çağdaş Yunan Felsefesi çalışan bir profesör, annesi Annie de Yunan edebiyatı konusunda bir uzmandı.

Werner'in doğduğu yıllarda Almanya, I. Dünya Savaşı sonrası çökecek olan monarşinin son demlerini yaşıyordu. Savaş öncesi Alman- yası'nda öğretmenler ve öğretim üyeleri altın çağlarını yaşıyorlardı, bir akademisyen ailesi olarak Heisenberg'ler de, mali yönden oldukça iyi durumdaydılar.

Heisenberg, Würzburg'da iyi koşullarda öğ- renimine başladı. Öğreniminin daha ilk yılların- da parlak bir geleceğin ilk sinyallerini veriyor- du; özellikle de matematik ve temel bilimler alanlarında. Neredeyse tüm öğretmenleri kar- nesine şu notu düşüyordu: “Sınıftaki en iyi öğ- renci”!

Yalnızca erkek öğrencilerin okuduğu; dil ve edebiyata ağırlık veren Gymnasium'da okurken, Heisenberg, ilgisini matematik ve fiziğe yönelt- mişti. Buna, belki de o yıllarda yaşanan tekno- lojik gelişmelerin etkisi vardı. Çünkü, otomobil-



ler, uçaklar, telefonlar ve radyolar neredeyse o yıllarda ve peşi sıra ortaya çıkmışlardı.

Heisenberg, Einstein'in görelilik kuramını bile kendi başına çalışıp öğrenmişti; ama fizik- ten çok matematikle uğraşmayı seviyordu. Gymnasium'da matematik öğretilmediği halde, matematiği kendi kendine öğrenmiş, ailesinin özel öğretmen tutma önerisini geri çevirmişti. Gymnasium'dan mezun olurken girdiği sözlü sı- navda sunduğu projesi, bir ortaokul öğrencisi- nin sahip olabileceği matematik yeteneğinden daha fazlasını kapsıyordu.

Bir klasikçi olan babası ona Yunan felsefe- si ve edebiyatına karşı sevgi aşılamıştı. Zeki ba- kışlı gözleri, gelişigüzel kesilmiş saçları ve şid- detli bir yarışma duygusuyla, savaş sonrası Al-

man gençliğinin imajına sahip olan genç Hei- senberg, klasiklere büyük ilgi duymasına kar- şın, bilime yönelmişti.

Heisenberg, 1920 yılının sonbaharında Sommerfeld ve Wien'in de bulunduğu sınav ko- mitesinin zorlu bir sınavının ardından Münih Üniversitesi'ne girdi. Aslında matematik çalış- mak istiyordu, ancak üniversitedeki matematik profesörlerinden biriyle öngörüşmede yaşadığı sıkıntıları onu kuramsal fiziğe yöneltti. Bu kür- südeki profesörlerden biri olan Arnold Som- merfeld, bu genç adamın yeteneğini kısa süre- de fark etti ve ona ileri düzey bir seminer ha- zırlattı; Heisenberg'in, kısa sürede hazırladığı bu çalışması, kuantum kuramına o sıralar bir katkı niteliği taşıyordu. Üniversiteye yeni başla- mış bir öğrenci değil, daha çok yüksek lisans düzeyinde bir öğrencinin yapacağı çalışmalarla ilgileniyordu.

Heisenberg, başarılı üniversite yaşamının ardından 1923 yılında, yine Münih Üniversite- si'nden doktorasını aldı. 1927 yılında, yani he- nüz 25 yaşındayken Leipzig'e profesör olarak atandı ve o sıralar Almanya'daki en genç pro- fesörlük unvanını alan kişi oldu.

Münih'te üniversiteye başlayıp Leipzig'e profesör olarak atanana kadar; Heisenberg,

yaptığı fonksiyonlar uzayında bir dife-ransiyel dalga denkleminin dönüşüyor. Bu dalga denklemini incelenen proble-me uygun sınır koşulları ve başlangıç koşulları altında çözünce bulunan öz-değerler, enerji ölçümü yapıldığında bulunabilecek sonuçları veriyor. Bu iş-lemciler genelde matrislerle temsil edi-lirler. Bu temsil matrisleri adı verilen matrisler sonlu boyutlu ya da genelde olduğu gibi sonsuza sonsuz olabilirler. Matrislerin bildiğimiz sayılardan farklı bir nitelikleri vardır: Q ve P ile verilen iki matrisin QP çarpımı ile PQ çarpımı eşit çıkmaz. Yani matrislerin değişme özelliği yoktur. Öyleyse bu matrislere karşılık gelen işlemciler de değişme özelliğine sahip olamazlar. Q işlemcisi q gözlenirinin ölçme işlemi, P işlemcisi p gözlenirinin ölçme işlemidir diyelim. işlemcilerin QP çarpımını şu şekilde an-lamak gerekir: Önce P işlemcisi ile iş-lem yapacaksınız. Bundan elden ettiği-niz yeni sistemi Q işlemcisi ile işleme sokacaksınız. Bu ölçümleri farklı sıra-da yapmak, yani bir sistem üzerinde önce q gözlenirini sonra p gözlenirini ölçmekle, önce p gözlenirini sonra q gözlenirini ölçmek arasında fark çıkacaktır. Sistem, bu iki ölçüm süreci so-nucunda genelde farklı durumlara ula-şır. Bunun matematik ayrıntısına daha fazla girmeye olanak yok. Kısaca, mat-

dünyanın en önemli üç kuramsal fizik merkezi olan Münih, Göttingen, Kopenhag'da eğitim gördü ve dünyanın en önemli kuramsal fizikçi-lerinden üçü olan Sommerfeld, Max Born ve Ni-els Bohr ile birlikte çalıştı.

Atom-altı dünyanın yasalarını yöneten kuan-tum mekaniğinin kurucularından olan Niels Bohr ve Sommerfeld'le çalışan Heisenberg, kendini bu alanda buldu. O sıralarda henüz ye-rine oturmamış olan kuramda da kimi sorunlar belirliyordu.

Kuantum fiziğiyle uğraşmaya başlamasıyla, bu alandaki yeteneğini de kısa sürede gösteren Heisenberg, çözilememiş kimi problemlere yaklaşımı ve bulduğu çözümler pek çok kişi için radikal bulunuyor ve ilk başlarda kabul görmüyordu. Oysa, kuramın kurucularından ve aynı zamanda birlikte çalıştığı fizikçiler olan Bohr ve Sommerfeld'in hesaplarıyla, deneyler uyumuyordu. Heisenberg, bu uyumsuzluğun ne-renden kaynaklandığını ve nasıl giderileceğini bulmuştu.

Yunan felsefesine aşina olan Heisenberg, atomları parçalı olarak değil kavramsal olarak düşünen Platon ve diğer atomculara ilgi duyuyordu. Fizikçilerin çoğu, atomların fiziksel re-simleri ile ilgileniyorlardı, oysa Heisenberg, Yu-

Belirsizlik bağıntıları

Ünlü belirsizlik ilkesi çok basit gibi görü-nen bir denklem takımıyla ifade edilir. Bu denklem ve sembolleri şöyle tanımlayabiliriz:

Δq : Konum ölçümündeki belirsizlik (ya da standart sapma).

Δp : Konum ölçülürken eşzamanlı olarak ölçülen momentumdaki belirsizlik.

h : Planck sabiti.

π : pi sayısı.

Bu sembolleri bir araya getirilerek oluşturu-lan belirsizlik bağıntıları da aşağıdaki gibidir:

$\Delta q \Delta p \geq h / 4 \pi$

Diyelim ki, hareket eden bir elektronun ko-numunu çok hassas olarak ölçüyoruz, yani Δq çok çok küçük. Bu durumda, aynı anda ölçtü-

rislerin değişme özelliğinin olmaması, bu matrislerin karşı geldiği gözlenirle-rin arasında bir belirsizlik ilkesinin sağ-lanması gerektiğini söylemektedir diye-rek konuyu kapayalım.

Dolayısıyla Heisenberg'in, Schrö-dinger'in ve genel olarak Dirac'ın ver-diği kuantum mekaniği formülasyonla-rında belirsizlik ilkesi zaten en baştan itibaren kuramın temel öğelerinden bi-risi olarak ortaya konmuş bulunmakta-dır. Eğer dünyada geçerli olan fizik ku-antum mekaniğidir diyorsak, o zaman belirsizlik ilkesinin sonuçlarından kur-tulamayız. Bu, doğanın temel bir yasa-sı olarak karşımıza çıkmaktadır.

nanlılar gibi, ne olduklarından çok, bu atomla-rın ne yaptıklarıyla ilgilenmeyi yeğlemişti. Dik-kate değer matematiksel becerisini kullanarak, kimi sayı dizilerinin uydukları kuralları buldu ve bu kuralları atomik süreçleri hesaplamakta kullandı. Ortaya çıkan çalışmasını da hocası Max Born'a gösterdi. Born bu dizilerin matris-ler olduğunu hemen farketmiş ve kuantum ku-ramının formülasyonuna yeni bir soluk gelece-ğini sezmışti.

Born hemen, Heisenberg ve diğer asistanı Pascual Jordan'la birlikte matrisler üzerine ku-rulu kuantum mekaniğini formüle etmeye girişti ve Göttingen'de üç imzalı ünlü "matris meka-niği" yani matris tabanlı kuantum kuramı ma-kalesi ortaya çıktı.

Bundan kısa bir süre sonra, bu gelişmeler-den bağımsız olarak, Avusturya'lı fizikçi Erwin Schrödinger de ünlü "dalga mekaniği"ni duyuru-yordu. Aslında aynı kuramın değişik matema-tik temsilleri olan bu iki formülasyon bugün de kuantum mekaniğinin temelini oluşturuyor.

Çoğu fizikçi, soyut yapısı ve alışlagelmişin dışında matematiği yüzünden matris mekaniği-ni kabul etmekte ağır davrandı. Bunun yerine Schrödinger'in alternatif dalga kuramını be-nimsemeyi yeğlediler.



ğünüz momentumdaki belirsizlik ne olur? Yu-karıdaki bağıntılar bize bu belirsizliğin

$\Delta p \geq h / 4 \pi \Delta q$

olduğunu söyler.

Momentum ölçümündeki belirsizliğin (Δp) çok çok büyük olduğu açıkça görülür, çünkü paydada yer alan Δq belirsizliği çok çok kü-çüktür. Aslında, Δq küçüldükçe konum ölçü-mündeki belirsizlik gittikçe azalır ve sıfıra yaklaşır ve bu durumda Δp , yani momentum-daki belirsizlik gittikçe büyür ve sonsuza doğ-ru yaklaşır, bunun anlamı momentum ölçümü-ne ait hiçbir bilginin olmayacak demektir.

Bir son cümle söylemek gerekirse; kuantum mekaniğinde evrenin bilinebi-lirliği, kuantum mekaniği ile gelen yeni bir takım güçlükler dışında aslında kla-sik fiziktekinden pek farklı değil. Bu konuda yüzyıllardır süregelen tartışma-lar bugün de kuantum mekaniğinin ge-tirdiği, dalga fonksiyonunun çökmesi, belirsizlik ilkesi gibi teknik sorunları kapsayarak devam etmektedir.

İlhami Buğdaycı

Kaynaklar

<http://www.aip.org/history/heisenberg/>

<http://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/>

Kuantum Dünyası, Tekin Dereli, 1994, Ankara

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1932/heisenberg-bio.html

Ancak 1926 yılının mayıs ayında Schrödin-ger, matris ve dalga mekaniğinin aslında mate-matiksel olarak aynı şeyi ifade ettiklerinin kan-ıtlarını sunuyordu.

Heisenberg'in adı 1925 yılında, henüz 23 yaşındayken yayınladığı kuantum mekaniği ku-ramı ile anılır ve tabii ki bu yazının konusu olan ünlü belirsizlik ilkesiyle. Kurama katkıları ve bu katkıların uygulamaları, özellikle de hid-rojen atomlarının allotropik formlarının keşfi-yle sonuçlanması, nedeniyle 1932 yılı Nobel Fi-zik Ödülü'nü aldı.

II. Dünya Savaşı yılları herkes gibi onun için de zor geçti; hatta Almanya'nın atom bombası yapmak için kurduğu ekibin başında Heisen-berg'in olduğu haberinin Manhattan projesinin başlamasına yol açtığı söylenir. Çünkü "İşin içinde Heisenberg varsa, Almanlar bu işi ya-par!" denmiştir. II. Dünya Savaşı sonrası Heisenberg Amerikan askerleri tarafından esir al-nıp bir süre İngiltere'de tutsak edilmişse de, 1946 yılında Almanya'ya, Göttingen'deki Max Planck Enstitüsü'ne döndü.

1976 yılında ölümüne değin, fizik, felsefe ve en çok sevdiği klasik müzikle ilgilenmeyi sür-dürdü. Heisenberg, aldığı ödül ve madalyaların yanı sıra pek çok üniversitenin onursal üyesiydi.