

KUANTUM FİZİĞİ ÇAĞI



XX. yüzyılın ilk yıllarında temelleri atılmaya başlanan ve günümüzde de gelişmesini sürdüren kuantum mekaniği kuramı, artık, çağımızın bilim ve teknolojisinin ayrılmaz bir parçası olmuştur.

Dr. Hanaslı GÜR

Kuantum mekaniğine dayalı mikroskopik teknolojiyi kullanan mühendislik bilimine, klâsik mühendislik biliminden ayırmak amacı ile, "dalga fonksiyonu mühendisliği (wave function engineering)" adı verilmiştir. Ancak, Rönesans'tan beri ilk kez, Avrupa, teknolojik ilerlemede geç kalmıştır; mikroskopik teknoloji ise, Avrupa'da değil, ABD'de, Japonya'da ve Sovyetler Birliği'nde doğmuştur.

Bilim ve Teknik'te de, zaman zaman, kuantum kuramını tanıtan yazılar yer almaktadır. Belirtmeli-

yiz ki, kuantum dünyasını tanımaya ve kuantum fiziğinin düşüncelerine alışmaya ne kadar erken yaşta başlarsak, onları benimsememiz o kadar kolay olacaktır.

Dergimizin Haziran 1988 (No. 247) sayısında, "Kuantum Dünyası Gerçek midir?" başlığını taşıyan bir yazımız yayınlanmıştı. Şimdiki yazımızda ise, öncekini, bölüm bölüm yeniden ele alarak, gerekli açıklamalarla tamamlayacağız. Böylece, önceki yazımızın soyut olmaktan kurtulacağını; okurlarımızın ise, kuantum mekaniğinin temel kavramları ve yöntemleri ile ilgili sezgilerini daha da derinleştireceklerini umuyoruz. Aslında, unutmamalıyız ki, kuantum fiziğinin anlaşılması, büyük ölçüde de, kendi sezgi gücümüze dayanıyor...

KUANTUM DÜNYASI

- Klâsik fiziğin tersine olarak, kolay ve sağdu-

yulu yorumlara karşı çıkan ve Einstein gibi bazı büyük bilim adamlarını bile zaman zaman kuşkuya düşüren "kuantum dünyası" deneysel sonuçlarla doğrulanmaktadır.

• Kuantum dünyasının yeni ve çarpıcı buluşları şöyle sıralanmaktadır:

a) Birbirleriyle hiç iletişim imkânı bulunmayan iki varlık arasında çarpıcı BAĞLILAŞIM (CORRELATION)lar görülebilir. Bu olay, yalnız, kuantum mekaniği ile açıklanabilir.

b) Işığın temel birimi olan foton, ya PARÇACIK GİBİ ya da DALGA GİBİ davranır. Bu davranışın deneyde ortaya çıkışında bir BELİRSİZLİK vardır.

c) Makroskopik sistemler için de, BELİRSİZLİK kavramının geçerli olduğu kanıtlanmıştır.

Haziran 1988'deki yazımızda, her biri dünyayı algılama alışkanlığımızı değiştirecek nitelikteki bu buluşlar ve ilgili kavramlar, yazı boyunca tanıtılmış; böylece de, kuantum mekaniği kuramı, karşı görüşleri de kapsayan oldukça geniş bir çerçevede sergilenmişti. Bu açıklayıcı yeni yazımızla birlikte, kuantum dünyasına daha da yakınlaşabileceğiz.

KUANTUM MEKANIĞININ TEMEL DÜŞÜNCELERİ

Kuantum mekaniği şu iki temel düşünce üzerine kuruludur:

• KUANTUM DURUMU ya da DALGA FONKSİYONU kavramı: Kuantum mekaniğinde, bir sistemin tüm nicelikleri aynı anda belirlenemediği için, kuantum durumu ile, o sistem üzerinde yapılacak deneylerin sonuçlarının olasılıklar belirlenebilir. Kesirli olasılıklar söz konusu olunca, tek tek deneylerin sonuçları önceden kestirilemez; ancak, deney sonuçlarının ortalama sayıları öngörülebilir. Önceki yazımızda yer alan foton örneğini de yeniden inceleyiniz.

• ÜSTÜSTEGELME İLKESİ : Bir sistemin kuantum durumlarının üstüste getirilmesi ile, o sistemin başka kuantum durumları da kurulabilir.

Kuantum mekaniğinin sağduyuya karşı çıkan (Kuantum Mekaniğinin İrdelenmesi bölümünde, bu karşı çıkışın nasıl olduğu açıklanmıştır) bu iki temel düşüncesinden doğan iki sonuç vardır:

1) NESNEL BELİRSİZLİK; dolayısıyla da, NESNEL ŞANS ya da NESNEL OLASILIK kavramları: Doğada, bir kuantum sisteminin ancak kuantum durumunu belirleyebilmemize imkân olduğu için, kuantum durumunda belirlenememiş olan bir nicelik, nesnel olarak belirsizdir. Nesnel olarak belirsiz niceliklerin ölçüm sonuçları ise, nesnel şans sorunu olup, nesnel olasılıklarla belirlenebilir; tek tek ölçüm sonuçları önceden kestirilemez. Kuantum sistemlerindeki belirsizliklerin nedeni; kuantum

durumunda belirlenememiş olan niceliklerin, sistemin doğal davranışını etkilemesidir. Sistem üzerinde yapılacak deneylerin teknik imkânları ne kadar iyileştirilse de, bu etkilemenin nasıl olduğu bir türlü saptanamamaktadır. Çünkü Heisenberg belirsizlik ilkesi adı ile bilinen bir doğa ilkesi, bu sırrı çözebilmemize izin vermemektedir. Bu ise, kuantum mekaniği kuramının gerçek bir doğa bilimi olmasını sağlamakta ve onu, belirsizliklerin söz konusu olmadığı klâsik fizikten ayırmaktadır.

2) Kuantum mekaniğinde, sistem, birlikte davranışlar gösteren BAĞLILAŞIMLI (CORRELATED) parçalardan oluşabilir. Örnek olarak, aynı kaynaktan çıkıp, karşıt doğrultularda giden iki fotonun oluşturduğu foton çiftindeki bağlılıklı davranışları düşünürüz. Bu bağlılıkların nedeni, foton çiftinin aynı kaynaktan çıkmasıdır.

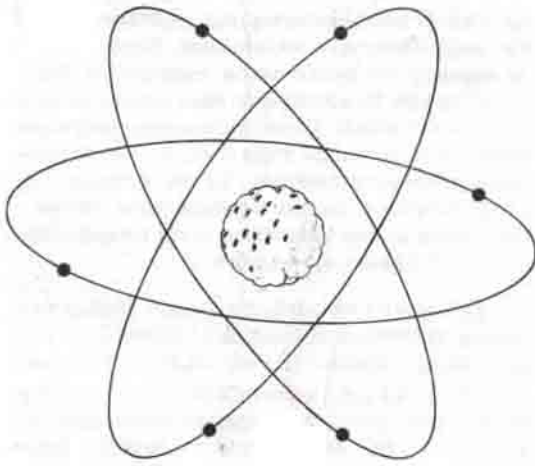
Şimdi foton çifti örneğimizi kuantum mekaniğinin yöntemleri ile inceleyelim. Fotonların kuantum durumlarını kurarken, ÜSTÜSTEGELME İLKESİ'ni kullanacağız. Çiftin belli bir doğrultuda giden fotonunun, doğrultu ve frekansı tek değerli olarak belli olduğundan, bu kuantum durumunu yalnız kutuplanması ile belirleyebiliriz. Böylece, fotonun "kuantum durumu" yerine "kutuplanma durumu" diyebiliriz. Çiftin karşıt doğrultularda giden fotonları, aynı kaynaktan çıktıkları için aynı kutuplanma durumunda olacaklardır. İşlem yaparken kolay olması için, bu kutuplanma durumunu, yazarken $| \Psi_0 \rangle$ gösterimini kullanalım. Bu gösterim, temel matematik ve fizik derslerinden bildiğimiz vektör kavramı ile çakışmaktadır. Ancak, bu gösterimin tanımlandığı uzay farklıdır; bu uzaya, bulucusunun adını anmak için Hilbert uzayı denilmiştir. $| \Psi_0 \rangle$ durumu, dikey ve yatay kutuplanma durumlarını (sıra ile, $|D\rangle$ ve $|Y\rangle$ ile gösteriyoruz) eşit miktarlarda kapsıyorsa, üstüstegelme ilkesine göre, aşağıdaki iki biçimde yazılabilir :

$$(i) \quad | \Psi_0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |D\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |Y\rangle$$
$$(ii) \quad | \Psi_0 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |D\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}} |Y\rangle$$

Buradaki katsayıların nasıl hesaplanacağı, kuantum mekaniği derslerinde öğrenilmektedir.

İkisi de ya (i) ya da (ii) durumunda olan ve karşıt doğrultularda giden fotonların, yolları üzerine konulan kutuplayıcıların farklı yönelişleri için, bu kutuplayıcılardan geçme olasılıklarını hesaplayarak, sonuçları yorumlayalım:

a) Fotonların yolları üzerine, eksen dikey olarak yönelmiş birer kutuplayıcı konulmuş olsun. Bu, kuantum mekaniği kuramına göre, (i) ve (ii)'deki kuantum durumlarını $\langle D|$ ile çarpmak demektir (Bu çarpım, alışkın olduğumuz vektör dilinde,



$|\Psi_0\rangle$ vektörünün, $|D\rangle$ vektörü üzerindeki izdüşümüne karşılık gelir; fotonların kutuplayıcılardan geçme olasılıkları ise, kuantum mekaniğinde **genlik** adı verilen $\langle D|\Psi_0\rangle$ çarpımının mutlak değerinin karesi olacaktır:

(i) için,

$$|\langle D|\Psi_0\rangle|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \langle D|D\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} \langle D|Y\rangle \right|^2 = \frac{1}{2} = \cos 0^\circ = 1 = \cos 90^\circ = 0$$

Sonuç : Çiftin fotonlarının ikisi de, **birlikte olarak**, ya geçirilir, ya tutulur.

(ii) için,

$$|\langle D|\Psi_0\rangle|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \langle D|D\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}} \langle D|Y\rangle \right|^2 = \frac{1}{2}$$

Sonuç : Çiftin fotonlarının ikisi de, **birlikte olarak**, ya geçirilir, ya tutulur.

b) Fotonların yolları üzerine, eksenini yatayla 45° lik açı yapan birer kutuplayıcı konulmuş olsun. Bu ise, (i) ve (ii)'deki kutuplanma durumlarını $\langle 45^\circ|$ ile çarpmak demektir; geçme olasılıkları, $\langle 45^\circ|\Psi_0\rangle$ genliğinin mutlak değerinin karesi olacaktır :

(i) için,

$$|\langle 45^\circ|\Psi_0\rangle|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \langle 45^\circ|D\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} \langle 45^\circ|Y\rangle \right|^2 = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2} = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2} = \left| \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right|^2 = 1$$

Sonuç : Fotonların ikisi de, **birlikte olarak** geçirilir.

(ii) için,

$$|\langle 45^\circ|\Psi_0\rangle|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \langle 45^\circ|D\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}} \langle 45^\circ|Y\rangle \right|^2 = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2} = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2} = \left| \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right|^2 = 0$$

Sonuç : Fotonların ikisi de, **birlikte olarak** tutulur.

c) Kutuplayıcılardan, yukarıda incelediğimiz iki tür yöneliş için, foton çiftinin fotonlarının **birlikte davranışlar** gösterdiklerini gördük; böyle davranışlara **BAĞLILASIMLI (CORRELATED)** denir; örneğin, foton çiftinin fotonları, sözleşmiş gibi, aynı davranışı gösterirler. Benzer olarak, **kutuplayıcıların başka yönelişleri için de, yine bağıllasimli davranışlarla karşılaşacağımızı bekleyebiliriz.**

Foton çifti örneğimizle ilgili bu sonuçlar, Haziran 1988'deki yazımızda yalnızca sözle anlatılmışlardı. Burada ise, onları, **kuantum mekaniğinin nicel yöntemleri** ile hesaplayarak kanıtlamış olduk.

KUANTUM MEKANIĞİNİN İRDELENMESİ

Haziran 1988'deki yazımızın bu bölümünde, kuantum mekaniğine karşı görüşler tanıtılarak, onların değerlendirilmesi yapılmıştı. Burada da, kısaca geçirelim :

- Bir sistemin kuantum durumunda belirlenemeyen özelliklerine **gizli değişkenler** denir. Gizli değişkenler kuramcılar haklı iseler, nesnel belirsizlik, dolayısıyla da, nesnel şans ve nesnel olasılık kavramlarına yer yoktur; olsa olsa, bilim adamının, gizli değişkenlerin değerlerini bilmemesi söz konusudur. Böylece, az önce incelediğimiz foton çifti örneğindeki gibi, birbirlerinden iyice ayrılmış sistemlerin kuantum bağıllasımları da olağandır (Gazete örneğini düşününüz).

- Birbirlerinden iyice ayrılmış sistemlerin kuantum bağıllasımları, görelilik kuramının **yerellik kavramı** ile çelişir. Yerellik koşulu, böyle sistemlerin kuantum niceliklerinin birbirlerinden bağımsız olmalarını gerektirir. Oysa, yerel deneylerde (Örneğin, her fotonun, kendi yolu üzerindeki davranışını izleyen türden deneyler) bu bağımsızlığın araştırılması, Ψ_0 'daki bağıllasımların yeniden ortaya çıkışını imkânsızlaştırır.

- Deneyler (Haziran 1988'deki yazımızda, birkaç örnek deney açıklanmıştı), kuantum mekaniği kuramının öngörülleri ile uyumakta; oysa yerel gizli değişkenler modelleri, deney sonuçları ile doğrulanmamaktadır. Böylece, kuantum dünyasının fiziksel kuramdaki yeri gitgide sağlamlaşmaktadır. Gelecekteki deneylerin de, kuantum mekaniği ile çelişeceği pek beklenemez.

• Kuantum mekaniği ve görelilik kuramı arasında da herhangi bir çelişki yoktur; bu iki kuram birlikte var olabilirler. Bir an, bir sistemdeki kuantum bağlaşımlarını etkileyerek, ışıktan daha hızlı haber iletebileceğini varsayalım. Ancak, bir sistemdeki kuantum bağlaşımları, yalnızca, o sistemin deney verilerinin çözümlenmesi ile incelenebilir; bu çözümleme ise, ışık hızından daha hızlı yapılamaz (Verilerin, deney çıkışında, bilgisayara yüklenip çözümlendiğini düşünsük bile!). Öyleyse, ışık hızından daha hızlı haber iletmek, yine imkânsızdır.

KUANTUM DÜNYASINDAN BAŞKA İLGİNÇ DENEYLER

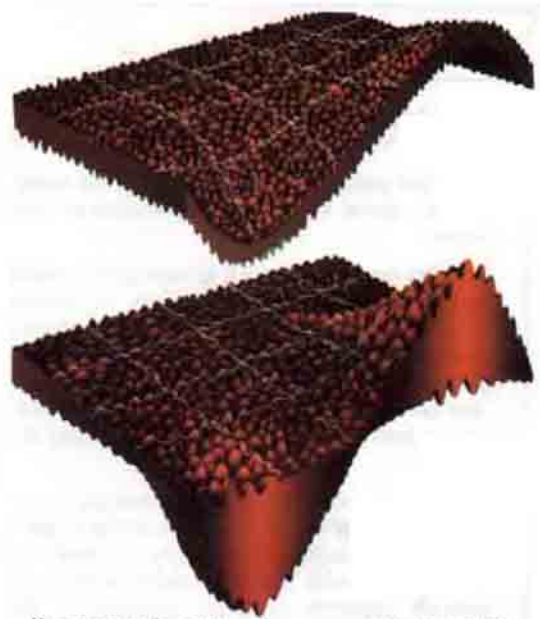
1) GECİKMELİ-SEÇİM DENEYİ : Girişimölçer deneyinin düzenlenişi, belli bir kaynaktan çıkan fotonun, demet ayırıcıdan geçtikten sonra bulunabileceği yerlerde, parçacık türü mü, dalga türü mü özellikler göstermesi istendiğine göre yapılır:

Fotonun gidebileceği iki yoldan biri üzerine konulan Pockels hücresi çalışıyorsa, fotonun bu hücreden geçtiğinin saptanması ile, parçacık türü özelliği saptanmış olur. Hücre çalışmıyorsa, demet ayırıcıdan gelen iki katkı birleşerek girişim olayı oluşur ve fotonun dalga türü özelliği kanıtlanmış olur.

Deneyin yorumu : Pockels hücresi, fotonun demet ayırıcıdan geçişinden sonra çalıştırıldığı için, foton, demet ayırıcı ile etkileştiği anda, iki tür davranışından hangisini göstereceği konusunda bilgilendirilmiş olamaz. Sonuç olarak, **kuantum durumunda belirlenememiş nicelikler bulunması yüzünden ortaya çıkan belirsiz bir özellik, kaydedilmiş bir özellik oluncaya dek gerçek değildir. Kuantum olayının kaydedilmesi, "tersinmez bir büyüme etkisi" oluşturur:** Parçacık türü özellik gözlemlendiği zaman, dalga türü özellik; dalga türü özellik gözlemlendiği zaman ise, parçacık türü özellik gözden kaydırılır. İki tür özelliğin birlikte gözlenmesi imkânsızdır; ikisinin birlikte varlığı, fotonun demet ayırıcıdan geçtiği sırada söz konusu olabilir.

2) SÜPERİLETKEN HALKA DENEYİ : Bu deney, kuantum mekanişel belirsizliklerin, MAKROSKOPİK SİSTEMLERde de ortaya çıktığını kanıtlamaktadır.

• Kendi üzerine tam kapanması, yalıtkan Josephson eklemi ile engellenen bir SÜPERİLETKEN HALKAda bulunan büyük sayıda (10^{23} kadar) elektronun oluşturduğu elektrik akımından doğan manyetik akı, **makroskopik bir niceliktir.** Halkadaki yalıtkan madde dilimi içinde oluşan **tünel olayı** nedeni ile, manyetik akının değeri sabit olmayıp, bir değerden bir başkasına değişir. Böylece, **makroskopik bir nicelik de belirsizlik gösterebilir; bu kuantum mekanişel özellik, önceleri yalnızca mikroskopik sistemler için bilinen bir özelliktir.**



Kuantum mekaniği yasalarının gerektirdiği KUANTUM GÜRÜLTÜSÜ denen gelişigüzel dalgalanmalar, ışık dalgalarının kesinliğini bozar. Bu gürültü olmasaydı, ışık dalgaları, ikiboyutlu yumuşak yüzeylerle gösterilirdi.

• **Tünel olayı** da, kuantum mekanişel bir olaydır: Süperiletken halkadaki elektronların, bir dış enerji katkısı olmadan, yalıtkan Josephson ekleminin oluşturduğu **potansiyel engelini** kendiliklerinden geçmesi ile ortaya çıkar; çünkü elektronların, dalga özellikleri nedeni ile potansiyel engelini geçme olasılıkları vardır.

• Belirsiz bir özelliğin belirli hale gelmesindeki "tersinmez büyüme etkisi" kavramının, makroskopik düzeydeki kuantum olaylarında, "tersinmez" olarak değiştirilmesi yeterlidir. Ölçüm yapmadan önce, manyetik akının olabilen birçok değeri varken, ölçüm yapıldığında, bu değerlerden yalnızca biri ölçülür. Böylece, **tersinmez süreçlerin** oluşum koşullarının da kuantum mekanişel bir temele dayandığını öğrenmiş oluyoruz. **Sonuç olarak, kuantum sistemlerindeki belirsiz özelliklerin, tersinmezlik olayları ile karşılaşmamızdan önce bulunmuş olmaları gerektiğini söyleyebiliriz.** Yoksa onları belirli sanırsanız ve kuantum mekanişel olayları (foton çifti örneğindeki bağlaşımlar; süperiletken halka örneğindeki tünel olayı, vb.) gözden kaçırsınız.

SON ARAŞTIRMALAR

• Fotonlar dışında, nötronların ve elektronların da, dalga-parçacık ikiliği gösterdiğini kanıtlayan deneyler düzenlenebilmektedir.

• Elektronların, kendi bulunma olasılıklarının 0 olduğu bir yerdeki manyetik alanın varlığını "duyabildiklerini" bildiren bir deney sonucu da, artık, pek tuhaf gelmeyebilir.

KONUŞAN PARMAKLAR

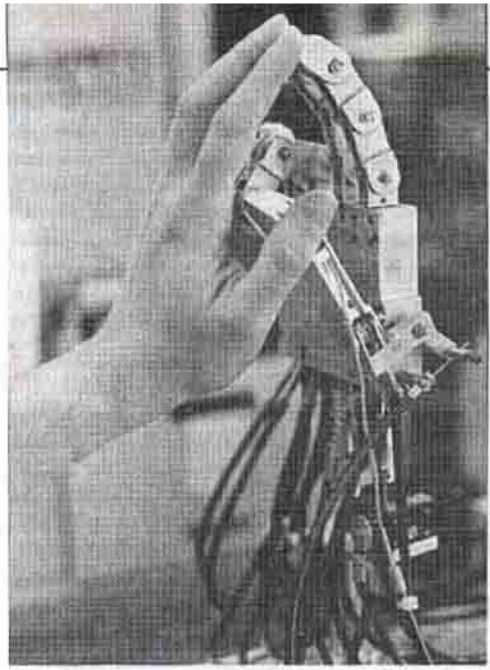
Yeni geliştirilen "konuşan eldiven ve mekanik el", sakat kişiler için yeni kolaylıklar vaat ediyor.

Eldiven ve mekanik el, ayrı ayrı geliştirilmekle birlikte temelde aynı hizmete yönelik. Biri mesajları gönderirken, diğeri alıyor. Eldivendeki alıcılar, parmak eklemlerinin açısını ölçüyor. Bir bilgisayar, bu bilgiyi harf ve rakamlara çevirerek, bir kelime tamamlanıncaya kadar saklıyor. Ardından, oluşan kelime, sentetik bir sesle hoparlörden duyuluyor.

Şimdilik, parmaklardan gelen mesajlar ev bilgisayarları tarafından değerlendirilebiliyor; fakat mühendisler, sağır ve körlük özürlü bulunan kişilerin, üzerlerinde taşıyabilecekleri bir mikrobilgisayar tasarımı üzerinde çalışıyorlar. Bu sistemde sinyaller, tellerle değil, kızılötesi ışık ve radyo dalgalarıyla iletilecek. Uzmanlar, aynı zamanda, harflerin parmak hareketleriyle ifadesini anladığı gibi, çeşitli manalara gelen özel işaretleri de anlayabilen bir sistem geliştirebilmeyi umuyorlar.

Mekanik el ise, körlük ve sağır ve özürlü bulunan kişilerle haberleşebilmek için büyük kolaylık sağlıyor. Bu tür kişiler, mekanik elin parmaklarının pozisyonunu hissederek, mesajı anlayabiliyorlar. Parmaklar 26 değişik harfe karşılık gelebilecek şekilde, elektronik bir sistemle hareket ettiriliyor.

"Dexter" adı verilen el, elektronik olarak kodlanmış bütün mesajları kullanıcıya aktarabiliyor;



böylece özürlü kişiler, bilgisayarda saklı olan pek çok bilgiye erişebilecekler.

Parmak dilini bilmeyen normal kişiler de, bilgisayar vasıtasıyla sakat kişilerle haberleşebilecekler.

Geçtiğimiz aylarda Dexter II ortaya çıktı. Bu yeni el, diğerdinden daha hafif, esnek ve hızlı. Parmaklar, avuç içine ve ön kola yerleştirilmiş motorlara makaralarla bağlı teller vasıtasıyla hareket ettiriliyor.

New Scientist'ten çev.: Gürkan ÖZTÜRK

SONUÇ

Bilim ve Teknik'in Haziran 1988 sayısında yayınlanan yazımızla birlikte, okurlarımıza, kuantum dünyasını nitel ve nicel yanlarıyla, oldukça geniş bir çerçevede tanıtmaya çalıştık. Böylece, kuantum mekaniği kuramının, bilimsel bakımdan ne kadar derin, öğrenilecek ve araştırılacak konular bakımından ne kadar zengin olduğu anlaşılıyor... Ayrıca, kuantum fiziği olaylarının sağduyu ile çelişir gibi görünen tuhaf özelliklerinin deneylerle nasıl doğrulanabildiklerini öğrenmekle, bu özelliklerin, doğa özellikleri oldukları ve kuantum mekaniği kuramı ile nasıl açıklanabildikleri görülüyor; böylece de, aslında bu özelliklerin, sağduyu ile çelişmedikleri ve kuantum fiziği

düşüncelerine alıştıkça, artık, tuhaf gelmeyecekleri sezilebiliyor...

Son olarak, kuantum kuramını doğrulayan bir başka gerçeğin de, atomlarda kesikli enerji düzeyleri bulunduğunu gösteren **atom spektrumları** olduğunu belirtelim; bu konu ile ilgili olarak, Dergimizin, Şubat 1989 (No. 255) sayısında yer alan "Olağandışı Atomlar" başlıklı yazımızı önerebiliriz.

Biraz da öğretim sorunlarına değinecek olursak, çağdaş bir öğretim sisteminde, klâsik fizik büyük ölçüde ortaöğretim düzeyinde tamamlanmalı; yüksek öğretimde ise, ağırlık kuantum fiziği ve görelilik kuramlarına verilmelidir. Böylece, okulları yeni bitirmiş genç araştırmacıların, ileri teknoloji araştırmalarına daha kolayca girebileceklerini umabiliriz. □

DEHA YÜZDE BİR İLHAM, YÜZDE DOKSANDOKUZ TERDİR.

Edison