

MR. TOMPKINS'İN SERÜVENLERİ

George GAMOV

Bayanlar, Baylar,

Önceki konferanslarımda sizlere, bütün fiziksel süratler için üst hız sınırının keşfinin ve düz çizgi kavramı hakkındaki analizlerin, klasik uzay ve zaman fikirlerini yeniden inşa etmemize neden olduğunu göstermiştim.

Fiziğin temellerinin kritik analizlerindeki gelişme, bu safhada sona ermedi. Daha çarpıcı keşifler ve sonuçlar bizi beklemektedir. Fiziğin kuantum teorisi diye adlandırılan bir dalını kastediyorum. Bu teori, uzay ve zamanın özelliklerinden daha çok, maddesel cisimlerin uzay ve zaman içindeki karşılıklı etkileşmelerini ve hareketlerini inceler. Klasik fizikte, herhangi iki fiziksel cisim arasındaki etkileşmenin, deney şartlarının gerektirdiği kadar küçültülebileceği çok aşikâr bir olgu olarak kabul edilegelmiştir. Hatta istenirse, etkileşmenin sınıra bile indirilebileceği düşünülmüştür. Örneğin, belli bir işlemden ortaya çıkan ısıyı incelerken, termometreyi kullanmaktan çekilinmiştir. Termometrenin belirli bir miktar ısıyı sistemden aldığı, ve böylece gözlenen işlemin normal gidişinde bir düzensizliğe yol açtığını düşünen deneyci, daha küçük bir termometre ya da mini bir termocift (thermocouple) kullanarak, bu düzensizliğin ihtiyaç duyulan hassasiyet sınırlarının altına indirilebileceğini sanmıştır.

Pransta herhangi bir fiziksel işlemin, gözlem yaparken onu bozmaksızın, letenon her hassasiyet derecesi ile, gözlenebileceği inancı o kadar kuvvetli idi ki, kimse böyle bir öneriyi açık olarak formüleştirmek zahmetine katlanmadı. Bu tür problemlerin hepsi, sadece teknik güçlükler olarak görüldüler. Ancak, bu çağın başlangıcından beri toplanan yeni ampirik bulgular fizikçileri, sürekli olarak durumun çok daha karmaşık olduğu ve tabiiatta etkileşmelerin, asla eşilamayacak bir alt sınırının bulunduğu sonucuna ulaştırdı. Bu tabii hassaslık sınırı, günlük hayatımızda karşılaştığımız tüm olaylar için ihmal

PROFESÖRÜN Kuantum TEORİSİ HAKKINDAKİ BİRİNCİ KONFERANSI

edilecek kadar küçüktür. Fakat atomlar ve moleküller gibi çok küçük mekanik sistemlerde yer alan etkileşmelerle uğraştığımız zaman, bu limit önem kazanır.

Alman fizikçisi MAX PLANCK, 1900 senesinde teorik olarak madde ile ışınım arasındaki dengeyi inceliyordu. Çalışmaları, O'nu şu sonuca ulaştırdı. Madde ile ışınım arasındaki etkileşmeyi, her zaman zannettiğimiz gibi sürekli bir şekilde değil, ancak bir dizi birbirinden ayrı şoklar şeklinde var sayarsak, böyle bir denge söz konusu olabiliyordu. Bu elementler etkileşme anlarında şoklar ile belli bir miktar enerji, maddeden ışınım ya da ışınımın maddeye dönüşüyordu. Arzu edilen dengeyi elde etmek ve deneysel bulgularla uyumu sağlayabilmek için, her bir şokta dönüşen enerji ile, enerji dönüşümüne yol açan işlemin frekansı (periyodun tersi) arasında basit bir matematik bağıntı ortaya koymak gerekiyordu. Böylece Planck, orantı katsayısını 'h' sembolü ile göstererek, enerji dönüşümünün minimum parçası ya da kuantumunun

$$E = h \nu \quad (1)$$

ifadesi ile verildiğini kabul etmeye zorlandı. Burada ν frekansı gösteriyordu. h'nin sayısal değeri 6.547×10^{-27} erg x saniye'dir ve Planck sabiti ya da kuantum sabiti olarak bilinir. Günlük hayatımızda kuantum olayının genellikle gözlenmemesinin sorumlusu, işte bu küçük sayısal değerdir.

Planck'ın düşüncelerini daha da geliştiren Einstein olmuştur. Birkaç sene sonra, Einstein şu sonuca vardı: Işınım, sadece belli kesikli miktarlarda yayımlanmıyor; fakat her zaman bu şekilde, kesikli "enerji paketleri" halinde bulunuyordu. Einstein bunlara ışık kuantası adını verdi.

Işık kuantaları hareket ettikleri için, $h\nu$ enerjilerinden başka bir de mekanik momentuma sahip olmalıydılar. Bu momentum, relativistik mekaniğe göre, enerjilerinin, ışık hızı c'ye bölümüne eşit olmalıdır. Işığın frekansının, dalga boyu λ ile olan bağıntısının $\nu = c/\lambda$ olduğunu hatırlarsak, ışık kuantumunun mekanik momentumunu

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

olarak yazabiliriz.

Hareketli bir cismin çarpma sonucu meydana getirdiği mekanik etki momentumu ile verildiği için ışık kuantasının mekanik etkisi, dalga boyu küçüldükçe artar sonucuna varırız.

Işık kuantası fikrinin, ve ona atfedilen enerji ve momentumun doğruluğunun en iyi deneysel ispatlarından birini, Amerikan fizikçisi ARTHUR COMPTON yapmıştır. COMPTON, ışık kuantası ile elektronlar arasındaki çarpışmayı incelerken, ışık ışınlarının çarpması ile harekete geçen elektronların, aynı daha önceki formüllerle verilmiş olan enerji ve momentuma sahip parçacıklar tarafından çarpılmış gibi davrandıkları sonucuna vardı. Işık kuantalarının kendileri de, elektronlarla çarpıştıktan sonra, teorisinin öngördüğü ile tam bir uyum içinde belirli değişikliklere (frekansları) uğruyorlardı.

Şimdi artık diyebiliriz ki, madde ile etkileşme söz konusu olduğunda, ışınının kuantum özelliği, sağlam temellere oturmuş deneysel bir gerçektir.

Kuantum fikri, Danimarkalı fizikçi NIELS BOHR tarafından daha da geliştirilmiştir. Bir mekanik sistemin iç hareketi, sadece kesikli bir dizi enerji değerine sahip olabilir. Hareket ancak durumunu sonlu adımlarla değiştirebilir. Bu değişimlerde ya da geçişlerde belli bir miktar enerji yayınlanır. Bu fikri ilk defa 1913 yılında NIELS BOHR ifade etmiştir. Bir mekanik sistemin mümkün olan durumlarını tanımlayan matematik kurallar, ışınımınkinden daha karmaşıktır. Biz burada o kuralları incelemeyeceğiz. Sadece, ışık kuantasında olduğu gibi, momentumun, ışığın dalga boyu ile tanımlanacağını belirtceğiz. Öyle ki, hareketli bir parçacığın mekanik sistemdeki momentumu, uzayın parçacığın içinde hareket ettiği kısmının geometrik boyutlarına bağlıdır. Büyüklüğünün mertebesi,

$$P \text{ parçacık} \equiv \frac{h}{l} \quad (3)$$

ifadesi ile verilir. Burada l hareket bölgesinin çizgisel boyutudur. Kuantum sabitinin değerinin çok küçük olmasından dolayı, kuantum olayları, atomların ve moleküllerin içi gibi küçük bölgelerde yer alan hareketler için etkili olur ve maddenin iç yapısı hakkındaki bilgimizde son derece önemli bir rol oynar.

Küçük mekanik sistemlerde kesikli durum dizilerinin varlığının en kestirme ispatlarından birisi, JAMES FRANCK ve GÜSTAV HERTZ'in yaptığı deneylerdir. Franck ve Hertz, farklı enerjilerde elektronlarla atomları bombardıman ederek, atomlarda belirli durum değişikliklerinin, an-

cak bombardıman eden elektronların belli kesikli enerji değerlerine ulaştıkları zaman meydana gelebildiğini izlediler. Elektronların enerjisi belli bir sınırın altına indirildiğinde, atomlarda hiçbir değişiklik gözlenmiyordu. Çünkü bir elektronun taşıdığı enerji, atomu birinci kuantum durumundan ikinciyeye yükseltmeğe yeterli değildi.

Böylece, kuantum teorisinin bu ilk gelişme safhasında durum, klasik fiziğin esas prensip ve kavramlarının değiştirilmesi olarak tanımlanamazdı. Ancak, klasik olarak mümkün olan hareketlerin sürekli değişkenlerinden, oldukça şüpheli birtakım kuantum şartları kullanarak elde edilen suni denilebilecek, kısıtlamaların seçimi şeklinde tanımlanabilirdi. Ama, klasik mekanik kanunları ile bu kuantum şartları arasındaki ilişkiye daha derinden bakacak olursak, bunların birleştirilmesi ile elde edilen sistemin mantıksal uyumsuzluklarla dolu olduğunu keşfederiz. Ampirik kuantum kısıtlamaları klasik mekaniğin temelini oluşturan esas kavramları anlamsız hale sokar. Gerçekte, klasik teoride hareketle ilgili esas kavram şudur: Hareketli bir parçacık her an uzayda belirli bir yer işgal eder ve yörüngesi üzerinde yerinin zamanla değişimini karakterize eden bir hızla sahiptir. Tüm klasik mekanik bu yer, hız ve yörünge gibi ana kavramların üzerinde kurulmuştur. Bu kavramlar (diğer



Heisenberg'in γ ışınları mikroskobu

tüm kavramlar gibi), çevremizdeki olayların gözlenmesi sonucu şekillenmişlerdir. Klasik uzay ve zaman kavramları gibi, yer, hız ve yörünge kavramları da deneylerimiz, yeni, daha önce incelenmemiş bölgelere uzandığı zaman birtakım değişikliklere uğrayabilir.

Hareket ederek, zamanla bir yörünge çizen bir cismin, neden belirli bir anda belli bir yer işgal ettiğine inanıldığını sorarsak, verilen cevap çok muhtemelen şöyle olacaktır: "Çünkü hareketi gözlediğim zaman ben öyle görüyorum." Şimdi, klasik yörünge kavramını oluşturmak için kullanılan bu yöntemi analiz edelim ve kesin bir sonuç verip vermediğini görelim. Bu amaç için bir fizikçi düşünelim. Her türden en duyarlı aletlere sahip olsun ve küçük maddesel bir cismin laboratuvarın duvarından fırlatıldığı zamanki hareketini incelemeye çalışsın. Fizikçi gözlemlerini, cismin nasıl hareket ettiğini "görerek" yapmaya karar versin ve bu amaçla çok hassas bir teodolit kullansın. Kuşkusuz, hareketli cisim görebilmek için onun aydınlatılması gerekecektir. Ama genellikle ışığın cisim üzerinde bir basınç yaratacağını ve bu yüzden hareketi etkileyeceğini bildiğinden, fizikçi sadece gözlem yaptığı anlarda kısa süreli aydınlatmalarla yetinmeğe karar vermiş olsun ve denemeleri için yörünge üzerinde sadece on noktada gözlem yapmak istesin. El fenerini de öyle zayıf seçsin ki, on aydınlatmanın toplam ışık basıncı etkisi, ihtiyacı olan hassasiyet sınırları içinde kalsın. Böylece fenerini cismin düşüşü esnasında on defa yakarak istenen hassasiyet sınırları içinde, yörünge üzerinde on nokta elde edecektir.

Fizikçi, şimdi deneyini yüz nokta elde edecek şekilde tekrarlamak istesin. Birbiri ardına gelen yüz aydınlatmanın hareketi etkileyip değiştireceğini bildiğinden, ikinci gözlemleri için el fenerini on kat daha zayıflatsın. Üçüncü gözlemlerinde bin nokta elde etmek istediğinde el fenerini ilk durumundan yüz misli daha zayıflatması gerekecektir.

Böylece aydınlatmayı sürekli azaltarak yörünge üzerinde istediği sayıda nokta elde edebilir ve başlangıçta kararlaştırdığı hata sınırının üzerine çıkmaz. Bu çok idealleştirilmiş, ama prensipte yine de mümkün olan yöntem, bizim "hareketli bir cisme bakarak" onun yörünge üzerinde nasıl hareket ettiğine mantıksal olarak karar verişimizi temsil eder. Görülüyor ki, bu da klasik fizikte mümkün olan bir şeydir.

Şimdi kuantum sınırlamalarını ve her ışımının ancak bir ışık kuantası halinde nakledildiği gerçeğini ışın için sokarsak ne olacaktır, onu görelim.

Gördük ki, deneyimiz hareketli cisim aydınlatan ışık miktarını devamlı olarak azaltıyordu. Bu yüzden giderek bir kuantuma indiği zaman, artık ışık miktarını azaltamayacağını beklemek yerinde olur. O zaman hareketli cisim ya toplam ışık kuantumunun tamamını yansıtacak ya da hiç birşey yansıtmıyacaktır. Hiçbir ışık kuantumu yansımayınca, gözlem yapmak imkânı kalmıyacaktır. Kuşkusuz biliyoruz ki, ışık kuantumu ile çarpışmanın etkisi dalga boyu arttıkça azalacaktır. Gözlemcimiz de bunu bildiğinden, gözlemlerinde nokta sayısındaki artışı dengeleyebilmek için daha büyük dalga boyu ışığı kullanmak isteyecektir. Ama burada başka bir güçlük karşılaşıyoruz.

Belli dalga boyu olan bir ışıkla aydınlatığımız zaman, dalga boyundan daha küçük ayrıntıları seçemeyiz. Bu iyi bilinen bir olgudur. Gerçekten, badana fırçası ile bir İran minyatürü yapılamaz! Böylece gözlemcimiz, daha uzun dalga boyları kullanarak, giderek her bir noktanın yerini tespit ederken daha çok belirsizlikle karşılaşacak ve kısa zamanda her bir noktadaki belirsizlik, laboratuvarlarının boyutlarına yaklaşacak ve daha da büyük olacaktır. Sonunda, gözlem noktası sayısının çokluğu ile her bir noktanın yerinin belirlenmesinin ölçüsü arasında bir uzlaşma yapmak zorunda kalacaktır. Bu ise, klasik



Yaylara takılı küçük çanlar

ZEKASAYAR

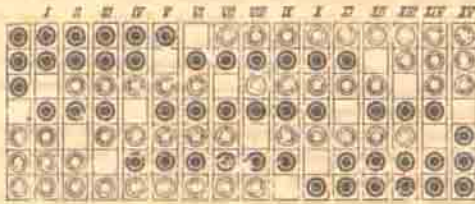
(Geçen sayımızda yer alan soruların yanıtları):

EŞİT PARÇALAR :

ALTI RAKAM

417, sayı 432516'dır.

DÜĞMELER :



SPORCU ARKADAŞLAR :

Dünyedeki sporcuların sayısına n diyelim ve tüm sporcuların değişik sayıda sporcu arkadaşı sahip olduğunu varsayalım:

Sporcu no : 1 2 3 4 n

Arkadaş sayısı : 0 1 2 3 n-1

Sporcu sayısı 1'den n'ye kadar değişiyorsa arkadaş sayısının da 0'dan n-1'e kadar değişmesi gerekir (aynı sayının tekrarlanmaması için). Oysa 0 ve n-1 sayıları aynı tabloda bulunamaz. Çünkü bir sporcunun n-1 arkadaşı olması demek tüm sporcularla arkadaş olması demektir. Bu böyleyken başka bir sporcu için hiç arkadaş yok demek çelişki yaratır. O halde "0" ya da "n-1" sayılarından birinin yerine başka bir sayı gelecek ve bu şekilde en az iki sayı birbirlerine eşit olacaktır.

(Çözümü daha iyi kavramak için dünyadaki tüm sporcuların sayısını 5 olarak alın ve deneyin.)

ÜÇ İŞARET

123 - 45 - 67 + 89 = 100

fizikle uğraşan meslektaşlarının aksine, matematiksel bir çizgi olarak tam bir yörünge elde edememesi demektir. Elde edebileceği en iyi sonuç, oldukça genişlemiş bir serittir. Eğer yörünge kavramını deneylerinin sonucuna dayanırsa, bu kavram klasik yörünge kavramından epey farklı olacaktır.

Burada tartışılan yöntem optik yöntemdir. Şimdi mekanik bir yöntem kullanarak başka bir ihtimali deneyebiliriz. Bu amaçla deneyimiz, küçük bir mekanik alet geliştiriyor. Diyelim ki bu alet, yaylara bağlanmış küçük çanlardan ibaret olsun. Bu çanlar, yakınlardan maddesel bir cisim geçince bunu kaydetsinler. Çok sayıda böyle çanları hareketli cismin geçmesi muhtemel olan uzay bölgesine dağıtmış olsun. Cisim geçince, çanlar çalarak onun izini belli etsinler. Klasik fizikte bu "çanları" istediğimiz kadar küçük ve yine istediğimiz kadar hassas yapabiliriz. Limit durumda ise sonsuz sayıda sonsuz küçük çanlar aracı ile, yörünge kavramı istenen hassasiyetle yeniden şekillendirilebilir. Bununla beraber, mekanik sistemleri etkileyen kuantum sınırlamaları durumu yine bozacaktır. Eğer çanlar çok "küçük" iseler, hareketli cisimden ala-

cakları momentum miktarı, (3) eşitliğine göre çok büyük olur ve sadece bir çana çarpmış olsa bile, cismin hareketi önemli ölçüde etkilenir. Çanlar büyük olsa, bu defa her bir noktadaki belirsizlik çok büyük olur. Buradan çıkarılan yörünge, yine oldukça genişlemiş bir bant olur!

Çev. : Doc. Dr. Tuncay İNCESU



Elinizde ise başkalarından daha akıllı olun ama bunu sakın onlara söylemeyin.

CHESTERFIELD