

Schrödinger'in Kedisi ve Kütleçekimi

Kuantum mekaniği, bir sistem üzerinde ölçüm yapıldığı zaman sonuçların ancak belirli değerler alabileceğini söyler. Örneğin ölçüm yaparak bir elektronun belirli bir yöndeki spinini belirlediğimizi düşünelim. Spinin ya ölçüm yapılan yönde ya da bu yönün tersi yönünde olduğu bulunacaktır. Bu durumları $|↑\rangle$ ve $|↓\rangle$ ile göstereyim. Eğer ölçüm sonucunda elektronun spininin $|↑\rangle$ (ya da $|↓\rangle$) olduğu bulunmuşsa, ölçümlerden sonra da -elektron çevresiyle etkileşmediği sürece- elektronun spini aynı durumda kalmaya devam edecektir. Ancak ölçüm sonucunun $|↑\rangle$ (ya da $|↓\rangle$) olması, elektronun spininin ölçümden önce de $|↑\rangle$ (ya da $|↓\rangle$) olduğu anlamına gelmez. Kuantum mekaniğine göre bir sistemin birbirinden bağımsız durumların bir süperpozisyonunda (farklı durumların üst üste binmesiyle oluşan bir durumda) bulunması mümkündür. Örneğin elektronun spini ölçümden önce $(|↑\rangle + |↓\rangle) / \sqrt{2}$ de olabilir. Ancak ölçüm, sistemin durumunun birbirinden bağımsız iki durumdan birisine çökmesine neden olur.



Kuantum mekaniği herhangi bir ölçekte geçerli olduğu için makroskobik nesnelere de uygulanabilir. Örneğin kuantum mekaniğinin temeli olan Schrödinger denklemini geliştiren Erwin Schrödinger tarafından öne sürülen şu düşünce deneyini ele alalım: Kapalı bir kutunun içerisinde bir kedi, radyoaktif bir madde ve zehirli gaz salan bir mekanizma bulunduğunu varsayalım. Radyoaktif madde tarafından yapılacak bir ışıma, mekanizmanın çalışmasına ve böylece kedinin zehirlenerek ölmesine neden olacaktır. Düşünce deneyi şu şekilde ilerler: Kediye kutunun içine koyduktan ve kutuyu kapattıktan sonra bir süre bekleyelim. Kutunun kapağını açtığımız zaman kedinin ya ölü ya da diri olduğunu görürüz. Çünkü ya radyoaktif madde ışıma yapmış ve kedi zehirlenerek ölmüştür ya da radyoaktif madde ışıma yapmamış ve kedi hâlâ sağdır. Ancak kuantum mekaniği, kutu açılana (sistem üzerinde ölçüm yapılan) kadar, kedinin hem ölü hem de diri olduğunu söyler.

Kuantum mekaniğine göre bir kedinin aynı anda hem ölü hem de diri olması ya da bir elektronun aynı anda farklı konumlarda bulunması mümkün olsa da klasik fizik yasalarının geçerli olduğu makroskobik dünyada böyle durumlarla karşılaşmıyoruz. Peki kedilerin hem ölü hem de diri olabildiği, parçacıkların aynı anda farklı konumlarda bulunabildiği kuantum âleminden nasıl oluyor da her gün gözlemlediğimiz klasik dünya ortaya çıkıyor?

Bugüne kadar bu soruya verilmiş cevapları iki ana gruba ayırabiliriz. Bazı fizikçiler, kuantum süperpozisyon durumlarının yok olmasını, sistemin çevresi ile etkileşmesiyle açıklıyor. Mesela Schrödinger'in kedisi deneyindeki kedi, çevresinden yalıtılmış bir biçimde düşünülmemelidir, çünkü çevresiyle sürekli etkileşim halindedir. Örneğin kedi nefes alıp verir, ısı yayar ya da havadaki moleküller kediye çarpar. Tüm bu etkileşimler kuantum süperpozisyon durumlarının yok olmasına ve klasik bir dünyanın doğmasına yol açar. Dolayısıyla Schrödinger'in kedisi deneyinde, gözlemci kutunun kapağını açıp kedinin ölü mü yoksa diri mi olduğunu belirlemeden çok daha önce "çevre" zaten ölçümü yapmış ve kedinin kuantum durumu "ölü" ya da "diri" durumlarından birine çökmüştür.

Kuantum mekaniğinden klasik mekaniğin nasıl ortaya çıktığını açıklayan diğer görüşlerse "dalga fonksiyonu çökme modelleri" adı altında gruplandırılabilir. Genel görelilik kuramından esinlenen ve kuantum mekaniğinin standart formülasyonunda değişiklik yapılmasını gerektiren bu görüşler, çevre ile etkileşmeden, belirli bir ölçekte dalga fonksiyonunun çöktüğünü öne sürer.

Kuantum mekaniğinden klasik fiziğin ortaya çıkışını açıklayan yeni bir mekanizmaya Avusturyadaki, ABD'deki ve Avustralya'daki çeşitli üniversitelerde ve araştırma enstitülerinde çalışan bir grup araştırmacı tarafından yakın

zamanlarda öne sürüldü. Dr. Igor Pikovski ve arkadaşları, *Nature Physics*'te yayımladıkları makalede kütleçekiminin uzay-zamandaki etkilerinin kuantum süperpozisyon durumlarının yok olmasına neden olacağını gösteriyor. Bu açıklamayı daha önceleri öne sürülenlerden ayıran en önemli özellik, ne bir çevrenin varlığına ne de kuantum mekaniğinin standart formülasyonunda herhangi bir değişikliğe gerek duyulması. Hesaplar, yeryüzündeki zayıf kütleçekim alanlarının bile mikro ölçekteki kuantum sistemlerindeki süperpozisyon durumlarının kısa süre içinde yok olmasına neden olabileceğini gösteriyor.

Genel görelilik kuramı, zamanın akış hızının kütleçekim alanlarından etkilendiğini söyler. Zaman güçlü kütleçekim alanlarında daha yavaş akar. Örneğin deniz seviyesindeki bir saat bir dağın tepesindeki saatten daha yavaş çalışır. Çünkü deniz seviyesindeki yerçekimi dağın tepesindekinden daha büyüktür.



$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\psi \approx e^{i(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega t)}$$

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi$$

$$\hat{H}\psi(\vec{r}, t) = i\hbar \frac{\partial \psi(\vec{r}, t)}{\partial t}$$

Dr. Pikovski ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda, kütleçekiminin zamanın akış hızına etkilerinin moleküllerin içsel enerjilerini de etkilediğini gösteriyor. Eğer bir molekül iki ayrı konum durumunun bir süperpozisyonundaysa, içsel enerji ve konum arasındaki ilişki, sistemin takip edebileceği farklı güzergahlar arasındaki zaman farkının giderek artmasına ve molekülün eninde sonunda iki konumdan birini seçmesine neden oluyor.

Hesaplar, Dünya'nın kütleçekim alanının yeryüzündeki zamanın akış hızına etkisi çok küçük olsa da kuantum sistemler üzerindeki etkisinin büyük olacağını gösteriyor. Örneğin araştırmacılar tarafından incelenen şu model sistemi ele alalım: $N/3$ tane parçacık olsun ve bu parçacıklar birbirinden bağımsız olarak üç boyutta salınıp yapsın.

Hesaplar başlangıçta x_1 ve x_2 olarak adlandırılan iki ayrı konumun bir süperpozisyonunda olan bir sistemin

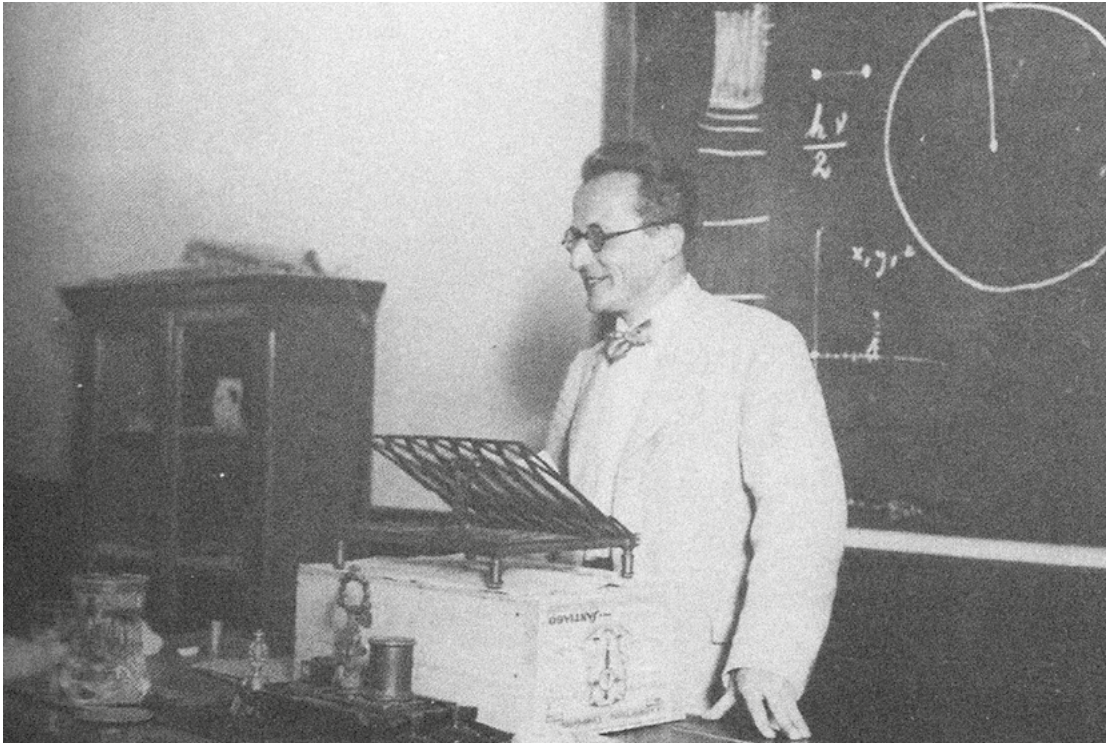
$$\tau = \sqrt{\frac{2}{N}} \frac{\hbar c^2}{kTg\Delta x}$$

zaman ölçeğinde konumlardan birini seçeceğini gösteriyor. Bu eşitlikte, $\hbar$, c ve k çeşitli fiziksel sabitleri, T ortamın sıcaklığını, g kütleçekim alanının büyüklüğünü, Δx ise $x_2 - x_1$ 'i (süperpozisyon konumları arasındaki farkı) gösterir. Dolayısıyla süperpozisyon durumları arasındaki fark, sistemdeki parçacıkların sayısı ve kütleçekim alanı büyüdükçe kuantum süperpozisyon durumlarının yok olma süreci hızlanır. Kütleçekimi tüm uzay-zamanı etkileyen evrensel bir etkileşim olduğu için, tüm kuantum sistemler kütleçekiminden etkilenir.

Dolayısıyla kütleçekimi sebebiyle zamanın farklı konumlarda farklı hızlarla akmasından kaynaklanan bu etki de tamamen geneldir.

Yukarıdaki formül, oda sıcaklığındaki bir ortamda bulunan insan büyüklüğündeki makroskobik bir nesneye uygulandığı zaman $\Delta x = 10^{-6}$ metre süperpozisyon büyüklüğü için $\tau = 10^{-3}$ saniye sonucu elde ediliyor. Dolayısıyla Dünya'daki zayıf kütleçekim alanı bile insan büyüklüğündeki bir cismin kuantum süperpozisyon durumlarının çok kısa süre içerisinde yok olmasına neden oluyor. Üstelik bu sürecin gerçekleşmesi için harici bir ortamın (çevrenin) varlığı da gerekmiyor.





Erwin Schrödinger

Araştırmacılar tarafından öne sürülen açıklama henüz deneylerle test edilmedi. Gelecekte bu amaçla yapılacak bir deneyde kütleçekiminin kuantum durumları üzerindeki etkisinin incelenilmesi için sistemin, süperpozisyon durumlarının yok olmasına neden olabilecek diğer etkileşimlerden korunması gerekir. Bu yüzden deneylerin hem çok düşük yoğunluklu hem de çok soğuk bir ortamda yapılması gerekecektir. Ayrıca sistemden yayılacak ya da sistem tarafından soğurulacak ısı da önemli. Çünkü ısı alışverişi de kuantum süperpozisyon durumlarının yok olmasına neden olabilir. Bugün için böyle bir deneyi gerçekleştirmek çok zor olsa da, gelecekte kütleçekiminin kuantum sistemler üzerindeki etkilerinin gözlemlenebileceği yöntemlerin ve teknolojilerin geliştirileceği düşünülüyor.

Özellikle büyük moleküller, öne sürülen etkiyi gözlemlemek için ideal sistemler olabilir. Çünkü çok sayıda parçacık içeren moleküllerin içsel enerjisi de fazladır. Ancak deneyler çok büyük moleküllerle yapılsa bile etkinin gözlemlenebilmesi için süperpozisyon durumları arasındaki farkın metreler ölçeğine çıkarılması da gerekecektir.

Kaynak

- Pikovski, I., ve ark., "Universal decoherence due to gravitational time dilation", *Nature Physics*, <http://dx.doi.org/10.1038/NPHYS3366>, 2015.

