

Bir Kuantum Kütleçekimi Kuramına Gerek Var mı?



Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Dört temel etkileşimin üçünün (elektromanyetik, güçlü ve zayıf etkileşimler) kuantum kuramları geliştirilmiş ve standart model adı altında bir araya getirilmiş durumda.

Bugün pek çok fizikçi dördüncü etkileşimin (kütleçekiminin) de kuantum kuramının geliştirilmesi ve diğer üç etkileşimin kuramlarıyla beraber aynı çatı altında bir araya getirilmesi gerektiğini düşünüyor.

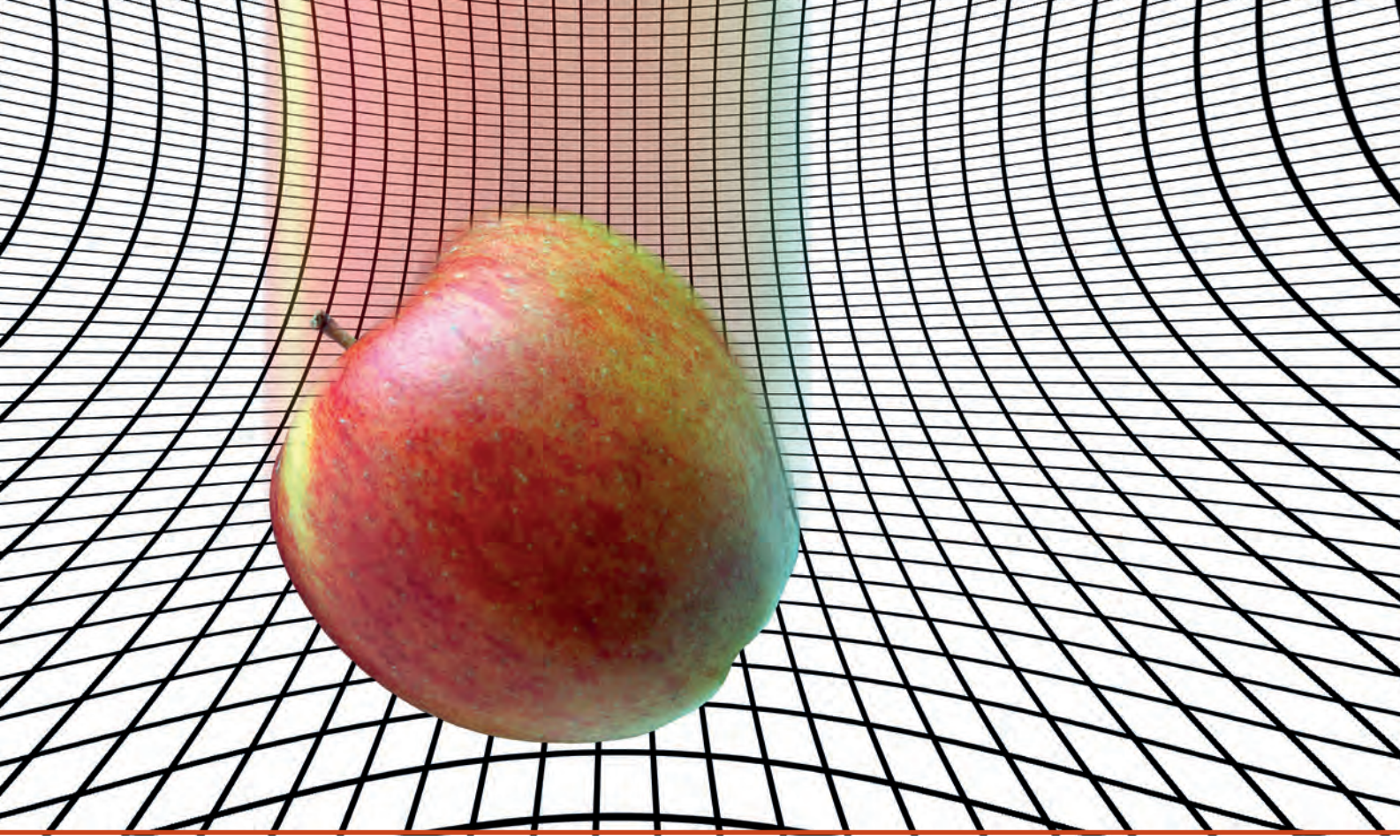
Peki ama yıllardır bu amaçla gösterilen çabalara gerçekten de gerek var mı?

Kütleçekimi kuantum fiziği ilkelerine uyan bir etkileşim midir? Yoksa klasik fizikle de tam olarak açıklanabilir mi?

Oxford Üniversitesi'nden Chiara Marletto ve Vlatko Vedral, yakın zamanlarda *Nature*'da yayımladıkları bir makalede bir kuantum kütleçekimi kuramının gerçekten de gerekli olup olmadığının deneylerle belirlenebileceğini öne sürüyor.

Vlatko Vedral Chiara Marletto





Klasik bir kuramda ölçülebilir tüm niceliklerin belirli değerleri vardır ve bu değerler gerçel sayılarla temsil edilir. Kuantum mekaniğindeyse ölçülebilir tüm niceliklerin belirli gerçel değerleri yoktur. Örneğin bir parçacığın konumu ve momentumu aynı anda belirli değerlere sahip olamaz. Bir parçacığın süperpozisyon durumlarında olması mümkündür. Örneğin aynı anda iki farklı konumda olabilir.

Albert Einstein tarafından yaklaşık 100 yıl önce geliştirilen genel görelilik kuramı, klasik bir kütleçekim kuramıdır. Kütlelerin kütleçekim alanındaki hareketlerini ve kütleçekim alanına olan etkilerini açıklar.

Hem genel görelilik kuramını hem de kuantum kuramını bir sisteme uygulamaya çalıştığımızı düşünelim. Kütleçekim alanının belirlenebilmesi için sistemdeki kütle

dağılımının bilinmesi gerekir. Ancak kuantum kuramına göre parçacıkların süperpozisyon durumlarında bulunması mümkündür. Eğer bir parçacık aynı anda farklı konumlarında bulunuyorsa kütleçekim alanı nasıl hesaplanabilir? Richard Feynman yıllar önce bu soruyu sormuş ve iki kuram arasındaki çelişkiyi ortadan kaldırmanın iki yolu olduğunu belirtmişti. Ya kuantum kuramı geçerlidir ve dolayısıyla kuantum mekaniğiyle uyumlu bir kütleçekim kuramının geliştirilmesi gerekir. Ya da genel görelilik kuramı doğrudur ve dolayısıyla kuantum kuramı zannedildiği gibi her ölçekte değil sadece belirli ölçeklerde geçerlidir.

Bugüne kadar Feynman'ın önerdiği iki çözümün hangisinin doğru olduğunu belirlemek için yapılmış bir deney yok. Bu durumun bir nedeni, çoğu fizikçinin hem ku-

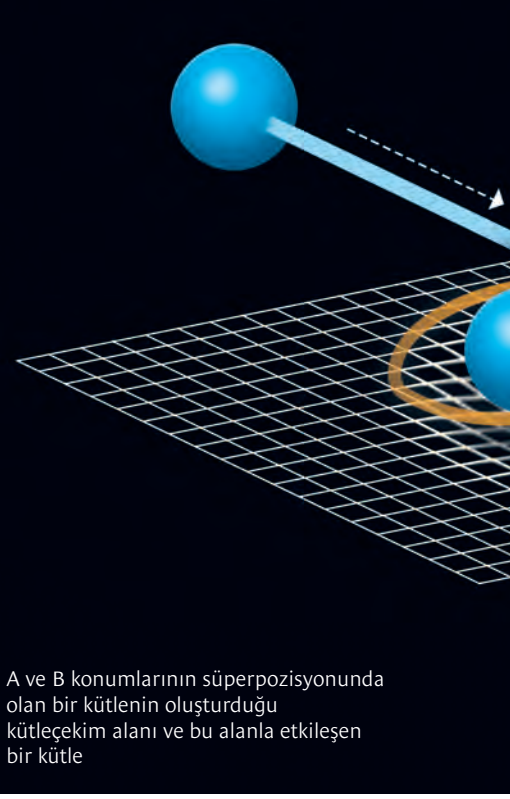
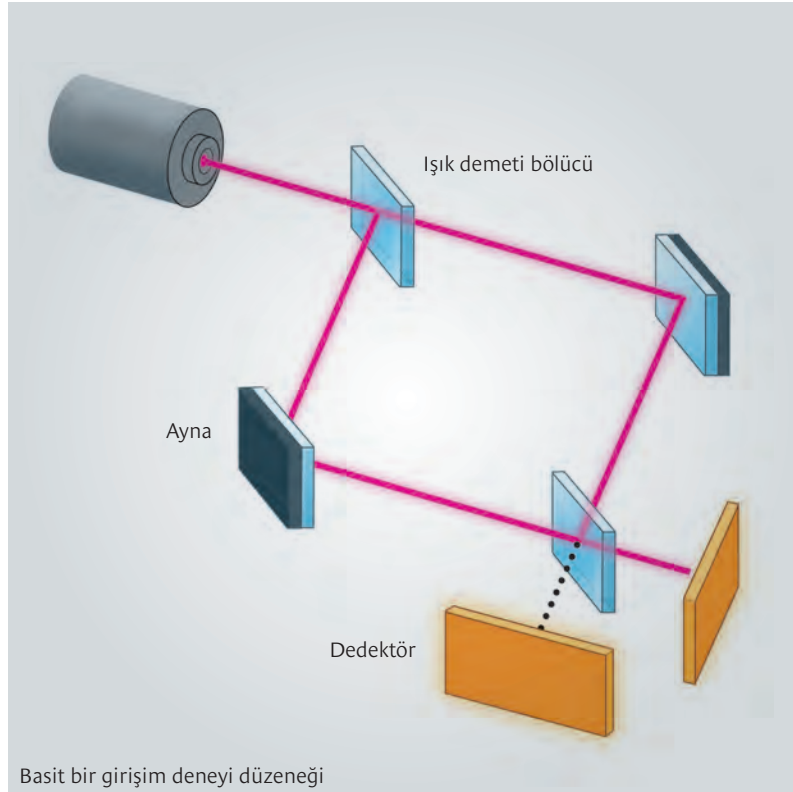
antum mekaniği hem de genel göreliliğin aynı anda test edilebileceği bir deney tasarlamasının çok zor olduğunu düşünmesi. Bir diğer neden de deney sonuçlarını tahmin eden bir kuantum kütleçekimi kuramı geliştirilmeden herhangi bir sonuca varılmayacağına düşünülmesi. Oxford Üniversitesi'nden Chiara Marletto ve Vlatko Vedral ise cevaplanması gereken temel sorunun kütleçekiminin klasik bir kuramla tam anlamıyla açıklanıp açıklanamayacağı olduğunu hatırlatıyor ve bu sorunun cevaplanması için deney sonuçlarını tahmin edecek bir kuantum kütleçekimi kuramının gerekli olmadığını belirtiyor. Herhangi bir kuantum kütleçekimi kuramı olmadan da, dolyalı testler yaparak, kütleçekiminin klasik bir kuramla açıklanıp açıklanamayacağını belirlemek mümkün olabilir.

Kuramsal Tahminleri Test Etmek

Bugüne kadar öne sürülmüş kuantum kütleçekimi kuramlarını test etmek çok zor. Bu kuramların çoğunluğu kütleçekim alanının süperpozisyon durumlarında olmasına izin veriyor. Bazıları fotonların elektromanyetik etkileşime aracılık etmesine benzer biçimde, kütleçekimine aracılık eden, “graviton” adı verilen parçacıkların olduğunu öne sürüyor. Bu ve benzeri tahminleri deneyler ve gözlemlerle sınamanın önündeki en önemli engel kütleçekiminin diğer etkileşimlere göre çok daha zayıf olması. Örneğin elektrik yüklü bir parçacık, elektrik alanıyla kütleçekim alanıyla olduğundan 10^{43} kat daha güçlü etkileşir. Uyarılmış bir atom, nanosaniye (saniyenin milyarda biri) zaman

ölçeğinde bir foton yayarken bir gravitonun kendiliğinden ortaya çıkması için evrenin bugünkü yaşından daha uzun bir süre beklemek gerekir.

Öne sürülmüş bazı kuramlara göre kozmik artalan ışımasında kuantum kütleçekiminin izleri bulunabilir. Büyük Patlama’dan hemen sonra evren henüz bir atomdan bile daha küçükken kuantum salınımlarıyla evrendeki enerji dağılımı düzensizleşmiş ve bu düzensizlikler şişme sırasında artmış olabilir. Bu durumda, kuantum kütleçekiminin izleri kozmik artalan ışımasında gözlemlenebilir. Ancak bugüne kadar herhangi bir kuramı destekleyen bir gözlem yapılabilmemiş değil. Ayrıca bu tahminler çeşitli varsayımlara dayalı olduğu için yapılacak herhangi bir gözlemin bir kuantum kütleçekimi kuramını tam olarak doğrulaması da mümkün değil.



Klasikliği Test Etmek

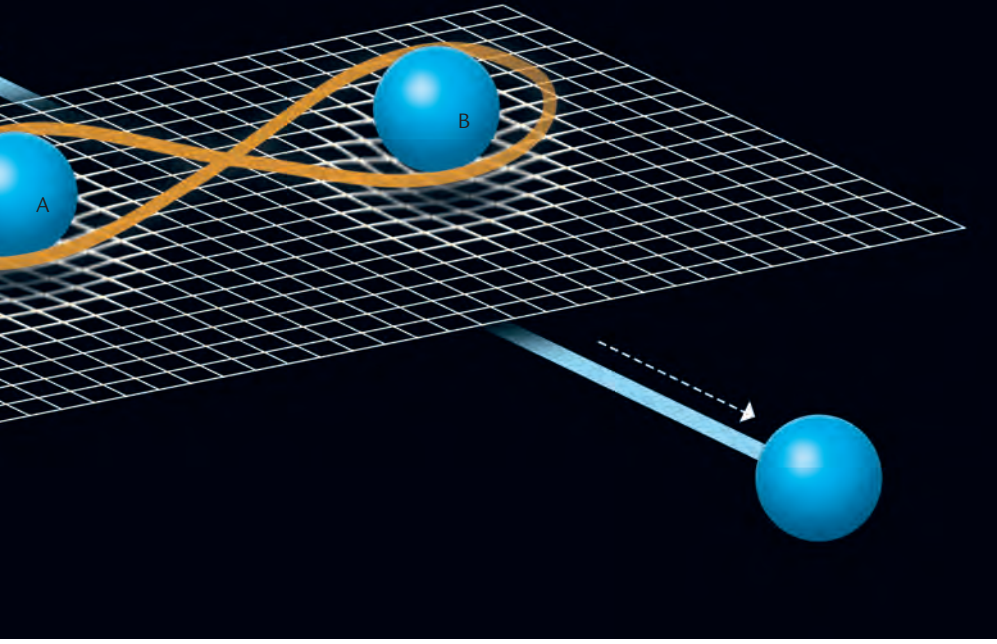
Bir sistemde kuantum davranışları gözlemlenmenin standart yöntemi girişim deneyleridir. Bu deneylerde art arda iki işlem uygulanır. İlk işlem sistemi bir süperpozisyon durumuna getirir. İkinci işlemse ilk işlemin tersidir. Eğer sistem kuantum mekaniği ilkelerine uyuyorsa, ikinci işlemden sonra başlangıçtaki durumuna geri dönmesi gerekir. Örneğin yandaki deney düzenine ele alalım. Işık demeti bölücünün üzerine gönderilen bir fotonun hareket yönü ya değişmeyecek ya da 90° dönecektir. Kuantum mekaniği bir ölçüm yapıp takip ettiği yol belirlenene kadar fotonun bir süperpozisyon durumunda olacağını söyler. Yapılan ilk işlemi geri alacak ikinci bir ışık demeti bölücü kullanarak fotonun her zaman aynı dedektörde gözlemlenmesini sağlamak mümkündür. Eğer fotonlar kuantum mekaniği ilkelerine göre değil de klasik mekanik ilkelerine göre hareket ediyor

Dolaylı Testler

Marletto ve Vedral, *Nature*'daki makalelerinde ikinci bir kütle kullanarak kütleçekim alanındaki süperpozisyonların belirlenebileceğini öne sürüyor. Birinci kütle iki ayrı konumun süperpozisyonunda bulunacak ve eğer kütleçekimi kuantum mekaniksel bir olguysa kütleçekim alanında süperpozisyon durumlarının oluşmasına sebep olacaktır. İkinci kütle ise bu kütleçekim alanıyla etkileşecektir. Dolayısıyla ikinci kütleyle gözlemleyerek kütleçekim alanındaki süperpozisyonu belirlemek mümkün olabilir. Böyle bir deneyde kullanılacak nesnelerin kütlelerinin ölçülebilecek kadar büyük olması gerekir.

Araştırmacılar, gelecekte böyle bir deneyi yapmanın mümkün olabileceğini ancak öncelikle hangi deneysel ve kuramsal araçların kullanılabilirliğinin belirlenmesi gerektiğini söylüyor. Üzerinde ölçüm yapılacak kütlelerin hangi özelliklere sahip olması lazım? Basit bir nesne yeterli olur mu yoksa atom saatleri mi kullanılmalı? Kütleçekimini incelemek için elektromanyetik ve diğer etkileşimlerin etkileri nasıl saf dışı bırakılabilir? Henüz cevaplanması gereken pek çok soru var. Ancak araştırmacıların öne sürdüğü tarzda bir deney gerçeğe dönüştürülebilirse kütleçekiminin kuantum fiziği mekaniği ilkelerine mi yoksa klasik fizik ilkelerine mi uyan bir olgu olduğu hakkında daha net bir fikir edinilebilir. Eğer deneyler kütleçekiminin klasik fizik ilkelerine uyduğunu gösterirse bugün bir kuantum kütleçekimi kuramı geliştirmek için gösterilen tüm çabaların gereksiz olduğu ortaya çıkacaktır.

Marletto, C. ve Vedral, V., "Witness gravity's quantum side in the lab", *Nature*, Cilt 547, s. 156-158, 2017.



olsalardı her iki dedektörde de eşit olasılıkla gözlemlenirlerdi. Dolayısıyla deneyler sonucunda fotonların her zaman aynı dedektörde gözlemlenmesi klasik mekaniği yanlışlar-ken kuantum mekaniğini doğrular.

Fotonlarla yapılan girişim deneylerini gravitonlarla yapmak mümkün değildir. Ancak benzer deneylerle kütleçekimini de gözlemlemek mümkün olabilir. Örneğin bir kütlelerin konumunun süperpozisyon durumunda olduğunu düşünelim. Eğer kütleçekimi kuantum mekaniği ilkelerine uyuyorsa kütleçekim alanının da süperpozisyon durumunda olması gerekir.

Bugüne kadar önerilmiş deneylerden biri zamanın akışıyla ilgili. Genel görelilik kuramı kütleçekiminin güçlü olduğu yerlerde zamanın daha yavaş akacağını söyler. Örneğin deniz seviyesindeki bir saat Everest Dağı'nın zirvesindeki bir saatten daha yavaş çalışır. Bu etki çok küçüktür. Ancak modern atom saatleriyle yarım metre irtifa farkından kaynakla-

nan farklar bile ölçülebiliyor. İki ayrı konumun süperpozisyon durumunda bulunan atom saatleriyle yapılabilecek girişim deneylerini düşünelim. Bu deneylerle ilgili bazı sorunlar var. Öncelikle atom saatleri gibi makroskobik büyüklükte nesnelere süperpozisyon durumuna getirmek, bugüne kadar başırlanmamış çok zor bir iş. Daha da önemlisi böyle bir deney kütleçekim alanının süperpozisyon durumunda olup olmadığıyla ilgili bir şey söyleyemez. Çünkü bu deneylerde süperpozisyon durumunda olan saattir, Dünya'nın kütleçekim alanı değil. Farklı yüksekliklerde zamanın akış hızı belirlidir. Süperpozisyon durumundaki kütlelerin kütleçekim alanına etkisi hesaba katılmaz. Böyle bir deney sadece kütleçekim alanının, süperpozisyon durumunun bozulmasına sebep olmadan da bir nesneyle etkileşebileceğini gösterir. Kütleçekim alanında süperpozisyon olduğunun anlaşılabilmesi için belirlenmesi gereken şey zamanın akış hızındaki süperpozisyonudur.