

Kütle Çekimini Ölçen Kuantum Sensörler

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

Kuantum sistemlerin aşırı hassaslığından yararlanan kütle çekimi sensörleri gün geçtikçe gelişiyor. Çok çeşitli kullanım alanları olan bu kuantum sensörler, yavaş yavaş laboratuvar ortamından çıkmaya ve günlük hayatta kendilerine yer bulmaya başladı.

Klasik Gravimetreler

Bir ortamdaki kütle çekimi alanının yönünü ve büyüklüğünü ölçen gravimetrelerden bilim ve teknolojinin pek çok alanında yararlanılıyor. Gravimetreleri kullanarak bir ortamdaki kütle dağılımı hakkında bilgi edinmek, yerkürenin şeklindeki değişimleri tespit etmek ve denizlerde yol almak mümkün.

Bugün kullanılan klasik gravimetreler çoğunlukla yaylı bir sistem içeriyor. Bu gravimetrelerde yayın ucuna asılı bir kütlenin konumundaki değişimler üzerinden ortamdaki kütle çekimi alanı tespit ediliyor.

Klasik gravimetreler çok hassas ölçümler yapabiliyor ancak çeşitli dezavantajları var. İlk olarak ortamdaki herhangi bir sarsıntı yayın salınmasına neden oluyor ve bu durum ölçümleri etkiliyor. Hata paylarını en aza indirmek ve daha hassas ölçümler yapabilmek için gravimetrelerin sık sık kalibre edilmesi gerekiyor. İkinci olarak, trafik ve ufak sismik etkinlikler gibi sarsıntıların sebep olduğu parazitli verilerden temizleyebilmek için gravimetrelerin uzun bir süre sabit bir konumda çalıştırılması gerekiyor. Bir süredir üzerine araştırmalar yapılan kuantum gravimetreler içinse bu sorunlar söz konusu değil.

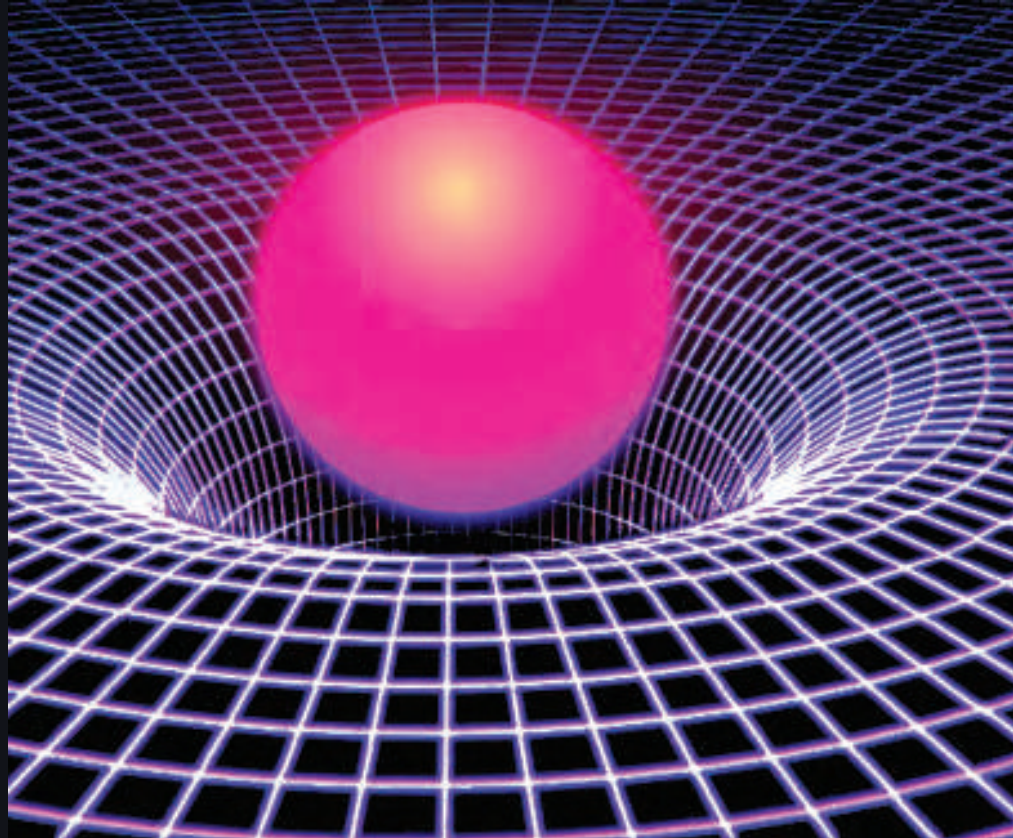
Kuantum Gravimetreler

Kuantum gravimetreler bir tür kuantum sensördür. Kuantum sistemlerin aşırı hassaslığından yararlanan bu sensörlerde, günlük hayatta aşına olmadığımız kuantum mekaniksel süreçler rol alıyor.

Kütle çekimi alanının büyüklüğünü tespit etmenin bir yolu, bir nesneyi boşlukta serbest bırakıp ivmesini ölçmektir. Kuantum gravimetrelerin de benzer biçimde ölçüm yaptığı söylenebilir. Ancak bu sensörlerde klasik fizik yasalarına uygun davranan makroskobik nesnelere

değil, kuantum fiziği yasalarına uygun davranan atomlar kullanıyor. Her yarım saniyede bir, cihaz bir atom bulutunun sıcaklığını lazerlerle mutlak sıfırın birkaç derece üzerine kadar düşürüyor ve sonrasında atom bulutunu boşlukta serbest bırakıp ivme ölçümü yapıyor.

Kuantum fiziğinin temel ilkelerinden biri madde-dalga ikiliğidir. Bu ilke, kuantum mekaniği ilkelerine uygun davranışlar sergileyen bir nesnenin bazen parçacık bazen de dalga gibi davranabileceğini söyler. Başka bir deyişle, klasik dünyadaki fiziksel nesnelere parçacık ve dalga olarak ikiye ayırabilirsek de aynı şey kuantum dünyasında



mümkün değildir. Kuantum gravimetrelerdeki atom bulutları da dalga gibi davranıyor ve girişim yapıyor. İki ayrı rotayı takip eden madde dalgalarının oluşturduğu girişim desenleri, ortamdaki kütle çekimi alanının yönü ve büyüklüğü hakkında bilgi veriyor.

Kuantum gravimetrelerde ortamdaki sarsıntılardan etkilenen yay gibi makroskobik aksamalar olmadığı ve cihazın tamamı sarsıntılar sırasında bir bütün olarak hareket ettiği için kuantum gravimetrelerin kalibre edilmesi gerekmiyor. Bu cihazlar hem çok kısa sürede hassas ölçümler yapabiliyor hem de çok uzun süre durmaksızın çalışabiliyor.

Gravimetrelerin Kullanım Alanları

İnşaat mühendisliğinden jeofiziğe ve ulaşımdan karanlık madde araştırmalarına kadar pek çok alanda gravimetrelerden yararlanmak mümkün. Klasik gravimetrelere üstünlükleri sayesinde kuantum gravimetrelerin bu alanlarda giderek daha yaygın kullanılması bekleniyor.

İnşaat Mühendisliği

Yapılması planlanan bir inşaatın güvenli olup olmadığının değerlendirilmesinin yolu toprak yapısının ve yer altı sularının



Yolculuk yapan trenlerin içine yerleştirilen kuantum gravimetrelerle menfezlerin tıkalı olup olmadığı anlaşılabilir.

incelenmesinden geçer. Bu değerlendirmeleri yapmanın bir yolu da gravimetrik ölçümlerdir. Bugün için bu ölçümleri klasik gravimetrelerle yapmak mümkün olsa da hem ölçümler çok uzun zaman alıyor hem de çok maliyetli oluyor. Üstelik ölçümler yerin yapısında bir sorun olduğuna işaret ederse, sorunun kaynağı ancak sondaj yapılarak tespit edilebiliyor.

İngiltere'deki RSK Group adlı bir firmada çalışan George Tuckwell, başka firmalardan ve Birmingham Üniversitesinden araştırmacılarla birlikte kuantum gravimetrelerin risk değerlendirmedeki kullanımları üzerine çalışmalar yapıyor. Araştırmacıların nihai amacı yapay zekâ ile kuantum gravimetreleri bir araya getirmek. Kuantum gravimetrelerin ölçüm sonuçlarını değerlendirerek

hem sorunları tespit eden hem de sondaj yapmaya gerek kalmadan sorunların kaynağının ne olduğunu söyleyen bir yapay zekâ uygulaması geliştirmeye çalışıyorlar.

Ulaşım

Tren rayları döşenirken menfezler de inşa edilir. Görevi ortamdaki fazla suyu uzaklaştırmak olan bu toprağa gömülü su kanallarının çalışır durumda olması ulaşımın güvenliği açısından hayati önemdedir. Menfezlerin tıkalı olması durumunda tren yolunun altında aşırı miktarda su birikir ve bu durum güvenle seyahat edilebilecek hız sınırlarının düşmesine neden olur. Menfezlerin tıkalı olduğu bir yolda yüksek hızlarla seyahat etmek ölümcül kazalara sebep olabilir. Çoğu zaman toprağın derinlerine gömülü olan bu su kanallarının

tıkaklı mı yoksa açık mı olduğunu tespit etmekse kolay değildir.

Farklı zamanlarda alınan gravimetri ölçümleriyle yer altına gömülü bir menfezdeki kütle değişimini tespit etmek ve böylece menfezin tıkalı olup olmadığı hakkında fikir edinmek mümkündür. Ancak klasik gravimetreler bu iş için pek uygun değildir. Gravimetrelerin uzun süre sabit bir konumda bekletilmesi gerekir. Bir tren yolunun güvenli olup olmadığınısa daha kısa süreler içinde belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Birmingham Üniversitesinden Daniel Boddice ve Nicole Metje, kuantum kütle çekimi sensörlerinin tren yollarının güvenliğini sağlamakta çok yararlı olduğunu gösteren bir çalışmaya imza attılar. Araştırmacılar trenlere yerleştirdikleri kuantum gravimetrelerle trenlerin yol aldığı güzergâhlar boyunca ölçümler yaptı. Daha sonra farklı zamanlarda alınan ölçümleri karşılaştırarak hangi menfezlerin tıkalı, hangilerinin açık olduğunu tespit etti. Kuantum gravimetrelerle alınan ölçümler ortamdaki titreşimlerden etkilenmediği için tek bir cihazla bir güzergâh üzerindeki onlarca, hatta yüzlerce menfezin durumunu belirlemek mümkün oluyor. Böylece kısa süreler içinde güvenli hız limitleri belirlenerek olası kazaların önüne geçilebiliyor.

Navigasyon

Günümüzde pek çok gemi uçsuz bucaksız denizlerde yol alırken konumunu belirlemek için GPS'ten yardım alıyor. Ancak bu sistemlerin pek güvenli olduğu söylenemez. Kasten gönderilecek yanlış sinyallerle gemilerin kendilerini olduğundan farklı bir konumda zannetmesi ve böylece gemi mürettebatı hiç farkına bile varmadan geminin farklı bir rota takip etmesi sağlanabilir. Gemileri yağmalamaya çalışan korsanlar ya da savaşlar sırasında düşman gemilerini ele geçirmeye çalışan devletler, GPS'le konum belirlenen navigasyon sistemlerinin bu zayıf tarafından kolaylıkla faydalanabilir.

Kuantum gravimetreler sayesinde engin denizlerde yol alan gemiler için çok daha güvenli navigasyon sistemleri geliştirmek mümkün olabilir. Bunun için öncelikle yeryüzünü kaplayan denizlerin kütle çekimi haritasının çıkarılması gerekiyor. Bir kez

böyle bir harita oluşturulduktan sonra kısa sürede kütle çekimi alanını ölçen kuantum sensörler yardımıyla geminin konumunun tespit edilmesi ve hareket yönünün belirlenmesi mümkün olabilir. Böyle bir navigasyon sistemini yanıltmaksa hiç kolay değildir. Geminin bulunduğu ortamdaki kütle çekimi alanını belirgin bir miktarda değiştirebilmek için deniz tabanlarına dağ büyüklüğünde kütleler ekleyip çıkarmak gerekir.

Volkanlar

Fransız μ QUANS şirketi kendi geliştirdiği ve "Absolute Quantum Gravimeter" adını verdiği bir sensörü Etna yanardağının zirvesinin yakınlarına yerleştirdi. Cihaz yaklaşık bir yıldır çalışmaya ve veri toplamaya devam ediyor. Araştırmacılar farklı zamanlarda alınan ölçümler arasındaki kütle farklarını takip ederek volkanın derinlerindeki magma miktarında yaşanan değişimleri ölçüyor. Elde edilen sonuçların volkanlarda



μ QUANS şirketi tarafından geliştirilen "Absolute Quantum Gravimeter" adlı cihaz



Kuantum gravimetrelerle yanardağların altında meydana gelen süreçleri takip etmek mümkün. Bu sayede bir gün yanardağ patlamalarını tahmin eden modeller geliştirilebilir.

meydana gelen süreçlerin daha iyi anlaşılmasında ve hatta gelecekte yanardağ patlamalarını tahmin eden modeller geliştirilmesinde yararlı olması bekleniyor.

Jeodezi

Dünya'nın şeklini ve büyüklüğünü hassas bir biçimde ölçmek için yapılan çalışmalar jeodezi diye adlandırılıyor. Dünya'nın biçiminde zaman içinde meydana gelen değişiklikler doğal olarak yeryüzündeki kütle çekimi alanının da değişmesine neden oluyor. Kütle çekimi alanını ölçen hassas cihazlardan jeodezi çalışmalarında da yararlanmak mümkün.

Karanlık Madde Dedektörleri

Evrendeki tüm maddenin %85'ini karanlık maddenin oluşturduğu düşünülüyor. Karanlık madde doğrudan görülemez de kütle çekimi aracılığıyla çevresiyle etkileşiyor. Dolayısıyla kuantum gravimetrelerden karanlık madde araştırmalarında da yararlanılabilir. Söz konusu olan jeodezi ya da mühendislik uygulamaları olduğunda sensördeki madde dalgalarının takip ettiği rotalar arasında birkaç milimetrelik bir fark olması yeteri kadar hassas ölçümler yapılmasına izin veriyor. Ancak rotalar

arasındaki mesafe arttıkça cihazın duyarlılığı da artıyor. Bu nedenle, söz konusu karanlık madde araştırmaları olduğunda anlamlı sonuçlar elde edebilmek için daha büyük dedektörler gerekebilir.

Sonuç

Kuantum gravimetreler hem kalibrasyon gerektirmemeleri hem de durmaksızın uzun süre çalışabilmeleri bakımından klasik gravimetrelere üstünlük sağlıyor. Bu cihazlardan hem çok çeşitli teknolojilerde hem de bilimsel çalışmalarda yararlanmak mümkün. ■

Kaynaklar

Allen, Michael, "Sensing gravity, the quantum way", *Physics World*, <https://physicsworld.com/a/sensing-gravity-the-quantum-way/>, 2021.