

Kütleçekimsel Zaman
Genişlemesini Ölçebilecek

En Hassas Atom Saati Geliştirildi

Mehmet Mustafa Demir [*Bilgisayar Mühendisi*]

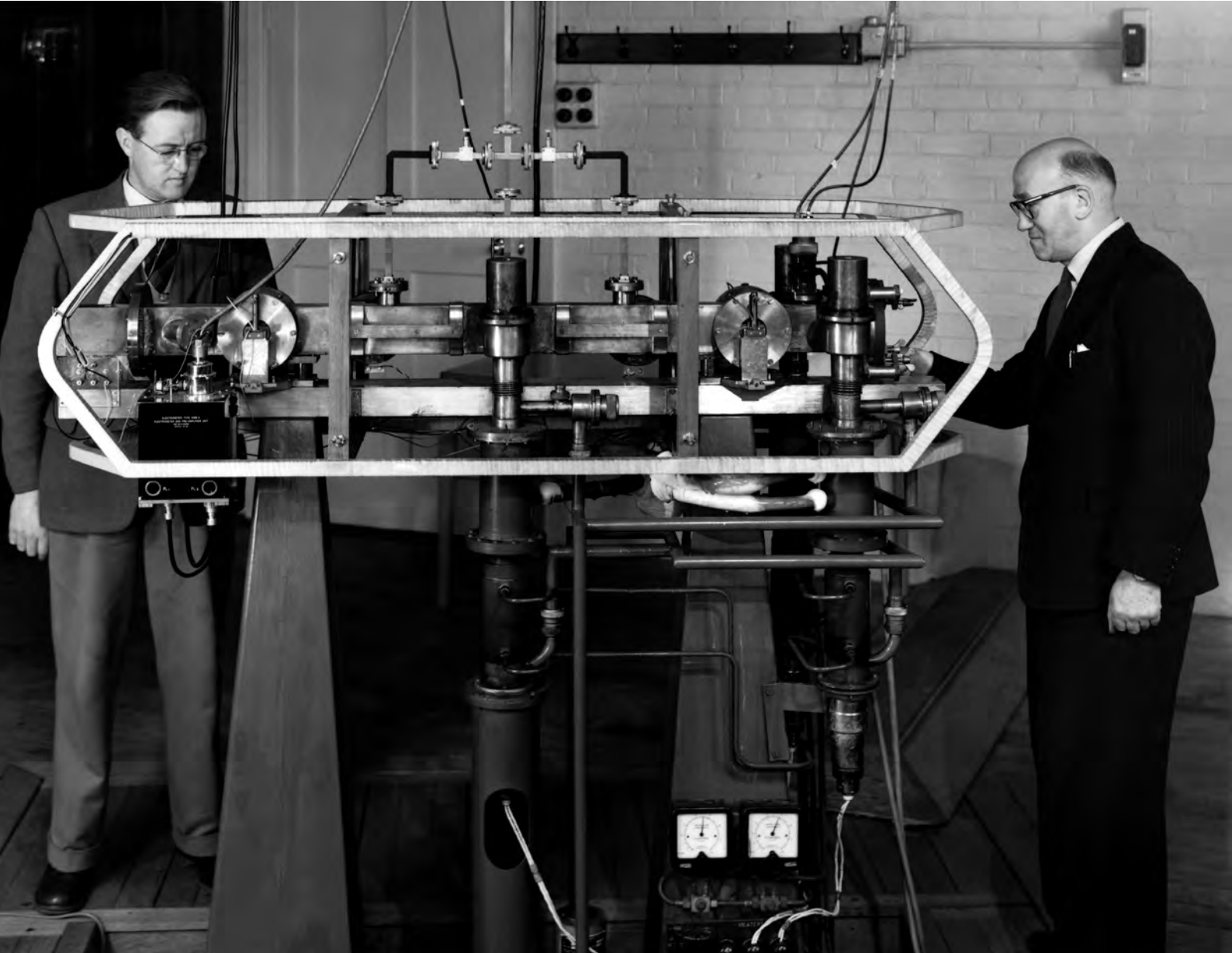
Sonuçları *Nature* dergisinde yayımlanan ve Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından desteklenen araştırma projesinde fizikçiler bir santimetrelik yükseklik farklarından kaynaklanan kütleçekimsel zaman genişlemesini bile ölçebilecek hassasiyete sahip bir atom saati geliştirdiler.

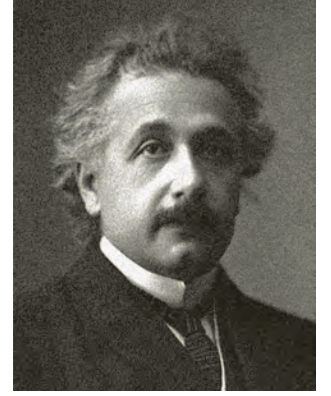
Bu saatin bugüne kadar geliştirilmiş en hassas atom saati olduğu belirtiliyor.



Fizikçilerin geliştirdikleri yeni atom saati sezyum yerine iterbiyum atomlarını kullanıyor ve sadece $1,4 \times 10^{-18}$ hata payı ile zamanı ölçebiliyor. Bu hata payını sayılar ile anlatmak gerekirse bilim insanları saniyenin milyarda birinin milyarda biri hata payı ile zamanı ölçebiliyor. Başka bir deyişle, yeni geliştirilen saat, yaklaşık 22 milyar yılda 1 saniyeye tekabül edecek bir hata payı ile kesin zaman ölçümü yapabiliyor.

Louis Essen (sağda) ve Jack Parry (solda)
1955'te icat ettikleri dünyanın ilk sezyum atom saatini ayarlarken





Albert Einstein
14 Mart 1879 - 18 Nisan 1955

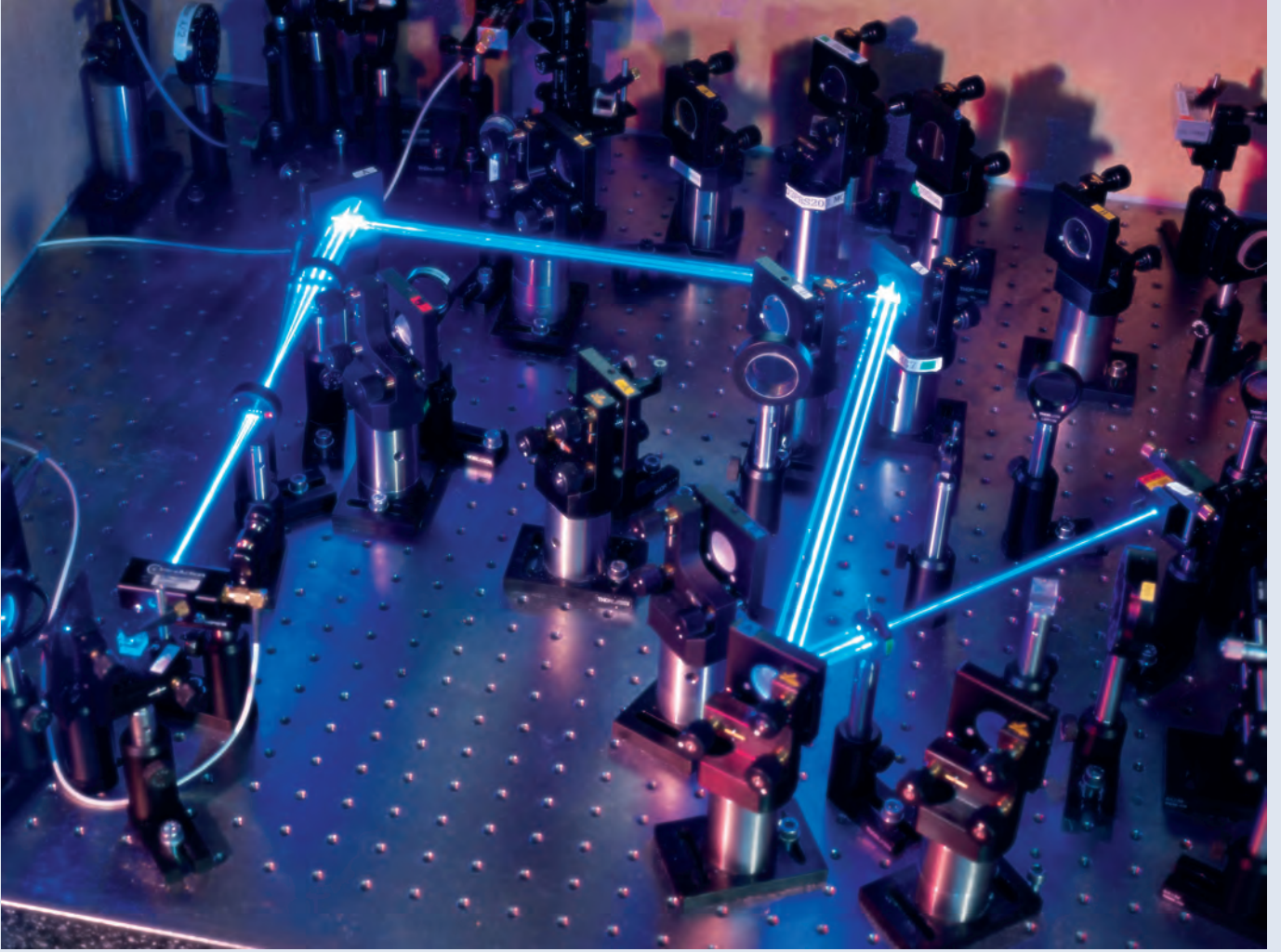
Araştırmacılar, saniyede yaklaşık 500 trilyon kez tik taklayan bu saatler üzerinde 15 yıldır çalışıyor. En son üretilen iterbiyum saatinin daha öncekilerden en önemli farkı, mekanizmasında yeni bir ısı kalkanının kullanılması. Araştırma ekibi birkaç yıl önce geliştirdikleri bu ısı kalkanıyla iterbiyum atomlarını çevresel etkenlerden daha korunaklı hâle getirdiler.

Bu derece hassas ölçme kabiliyetine sahip saat sayesinde Albert Einstein'ın genel görelilik kuramının öngördüğü kütleçekimsel zaman genişlemesi çok küçük mesafelerde bile ölçülebilecek. Genel görelilik kuramına göre büyük kütleli cisimlere yaklaştıkça zaman daha yavaş akar. Aynı şekilde büyük kütleli cisimlerden uzaklaştıkça da zaman daha hızlı akmaya başlar. Örnek olarak çevresel etkenlerden etkilenmeyen ve sıfır hata ile zamanı ölçebilen 2 adet saat düşünelim. Bunlardan birisini deniz seviyesine diğerini de Everest'in zirvesine yerleştirip karşılaştıralım. Everest'te bulunan saat dünyanın kütle çekim kuvvetinin merkezinden daha uzakta olduğu için zaman çok küçük bir farkla da olsa daha hızlı akar. Yaklaşık 100 bin yıl sonra bu iki saati karşılaştıracak olursak Everest'teki saatin aşağı yukarı 3 saniye daha ileride olacağını görürüz.

Benzer etkiyi GPS için kullanılan uydularda da gözlemlemek mümkün. GPS için kullanılan uydular yeryüzünden yaklaşık 20.000 km yükseklikteki bir yörüngede turluyorlar ve dünyanın merkezine çok daha uzak oldukları için zaman daha hızlı akıyor. Genel görelilik etkisinden dolayı her gün GPS uydusunun üzerindeki saat dünyada deniz seviyesindeki bir saatten yaklaşık 45 mikro saniye daha ileride oluyor. Günde 45 mikro saniye önemsiz gibi görünebilir fakat bu küçük fark GPS ölçümlerinde her gün 10 km kadar hataya yol açabilecek kadar büyük.

Bir Everest çizimi





İterbiyum atom saati: Bu düzenekte kullanılan lazerler iterbiyum iyonlarını osile etmek için kullanılır. Lazer ile enerji alan iterbiyum iyonlarındaki elektronlar üst enerji seviyesine geçip çok kısa bir süre sonra aldıkları enerjiyi yeniden salarak normal enerji seviyesine geri dönerler. Bilim insanları iki enerji seviyesi arasındaki geçişleri ölçerek zamanı çok küçük hata payı ile ölçebiliyorlar. Günümüzde saniyenin tanımı için Sezyum-133 atomu kullanılıyor ve 1 saniye Sezyum-133 atomunun elektronlarının 9.192.631.770 kere enerji seviyesi değiştirmesi için gerekli olan süre olarak tanımlanıyor. Fotoğraftaki düzenekte kullanılan İngiltere ulusal fizik laboratuvarına ait optik lazerler sayesinde, bilim insanları eski sezyum atomik saatlerinden çok daha hassas ölçümler yapabiliyor. İterbiyum atomları saniyede 518.295.836.590.863,6 (518 trilyon) kere osilasyon (salınım) yapıyor ve bu özellikleri sayesinde Sezyum-138'den çok daha keskin bir şekilde zaman ölçmeye imkân tanıyorlar.

Kütleçekimsel zaman genişlemesi denilen bu olguyu ölçmek için oldukça hassas ölçüm aletleri gerekiyor. Bilim insanları yeni geliştirilen atom saati sayesinde 1 santimetrelilik yükseklik farklarından kaynaklanan kütleçekimsel zaman genişlemesini bile ölçebilecek. Kütleçekimi farklarını bu derece hassas hesaplayabilen yeni saat, jeodezi (Dünyanın geometrik şeklini ve yerçekimini ölçen bilim dalı) alanında oldukça kullanışlı olacak. Dünyanın homojen bir

yapısı olmadığı için kütle çekim kuvveti de homojen olarak dağılmıyor. Dünyadaki yerçekimi farklılıklarını hassas bir şekilde ölçmeye imkân tanyan bu yeni teknoloji sayesinde depremler sonucu yeryüzünün derinliklerinde oluşan değişiklikler, dünyanın içyapısının akışkanlığı ve viskozitesi gibi değerler ölçülebilecek. Volkanların yakın çevresinin incelenmesi sonucu magmanın yer altındaki hareketlerinin ölçülmesi bile mümkün olabilecek.

Atom Saatleri Nasıl Çalışır?

Dr. Mahir E. Ocak

Atomlardaki elektronlar belirli enerji seviyelerinde bulunur ve enerji soğurarak ya da enerji yayarak bu seviyeler arasında geçiş yapar. Atom saatleri, frekans standardı olarak atomlar tarafından yayılan fotonların frekanslarını kullanan saatlerdir. Bu saatler günümüzün en hassas zaman ölçme aletleridir.

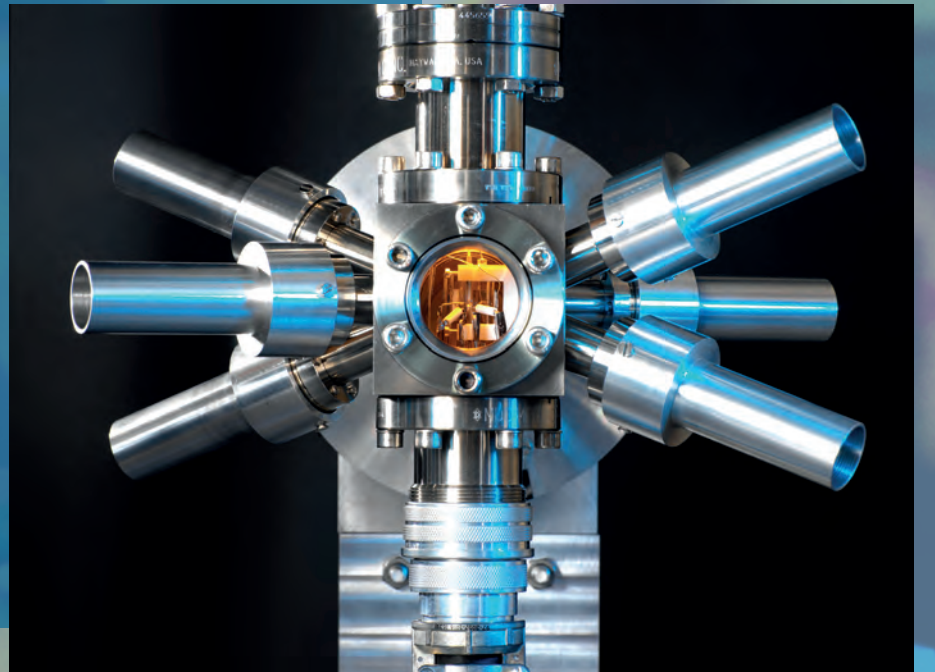
İlk atom saati, 1949'da Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmişti. Oda sıcaklığında çalışan bir amonyak mazeri (mikrodalga lazeri) içeren bu cihazın hassasiyeti düşüktü. Ancak zaman içerisinde büyük çoğunluğu düşük sıcaklıklarda çalışan çok daha hassas atom saatleri geliştirildi. Örneğin, stronsiyum atom saati o kadar hassastır ki, Büyük Patlama'dan (yaklaşık 14 milyar yıldan) beri çalışıyor olsaydı bugün zamanı 1 saniyeden daha az bir hata ile gösterecekti.

Günümüzde pek çok standart enstitüsü atom saatleri ağırlarına sahiptir ve bu saatler her gün 10^9 saniye hassasiyetle senkronize edilir. 1967 yılından beri sez-yum-133 atomlarının iki enerji seviyesi arasındaki geçiş frekansı " $9.192.631.770 \text{ Hz (s}^{-1}\text{)}$ " olarak tanımlanıyor. Başka bir deyişle, sez-yum-133 atomları tarafından yayılan ışığın elektrik ve manyetik alanları saniyede 9.192.631.770 kez salınır. Zaman ölçümünde kullanılan bu standarda sezyum standardı denir.

Atom saatlerinden çeşitli teknolojilerde ve bilimsel çalışmalarda yararlanır. Örneğin konum belirlemek için kullanılan GPS uydularında hassas atom saatleri vardır. Bunun yanı sıra başta görelilik kuramı olmak üzere zamanın hassas bir biçimde ölçülmesinin gerekli olduğu bilimsel çalışmalarda da atom saatleri kullanılır. Örneğin, genel görelilik kuramının en önemli sonuçlarından biri, zamanın akış hızının kütle çekim kuvvetinden etkilenmesidir. Dolayısıyla, yeryüzünde farklı yüksekliklerdeki saatler farklı hızlarda çalışır. Dünya gibi küçük gezegenlerin etraflarındaki zayıf kütleçekim alanlarında bu etkiyi sıradan saatlerle ölçmek çok zordur. Ancak en son geliştirilen iterbiyum atom saatlerinin yüksekliğini sadece 1 santimetre değiştirerek zamanın akış hızında meydana gelen değişiklikleri gözlemlemek mümkün.



Stronsiyum atom saati

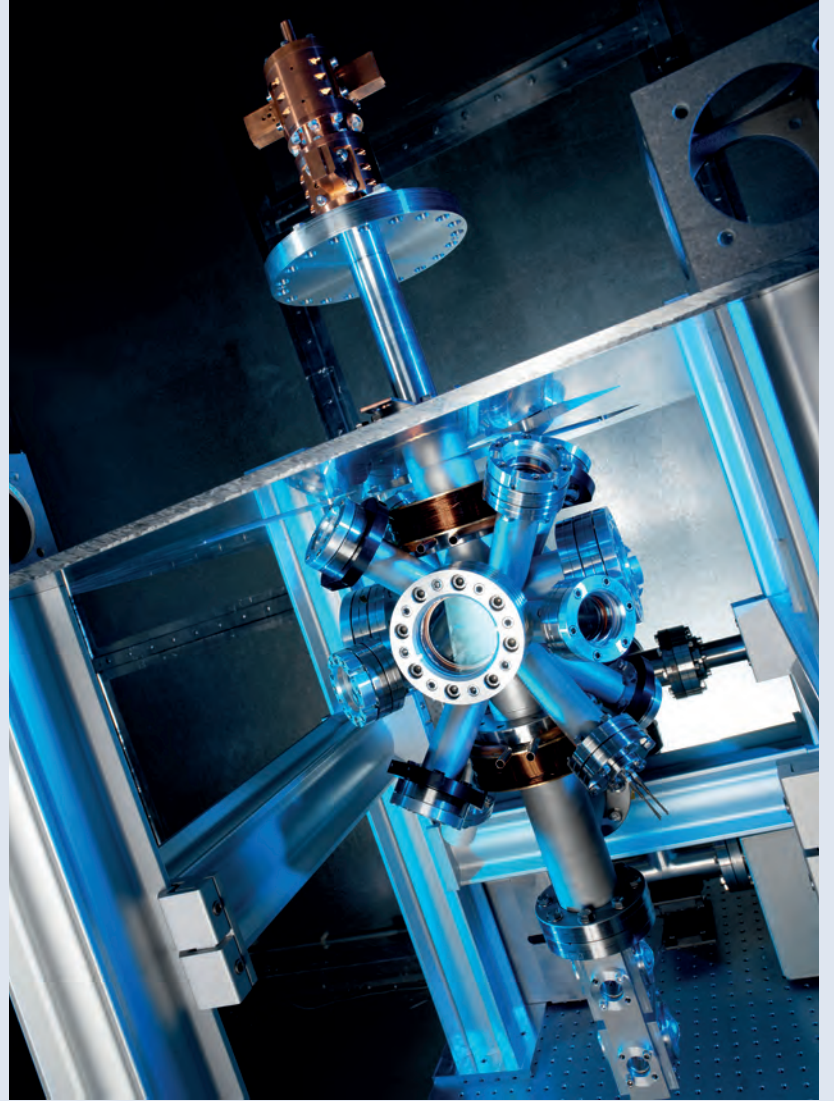


Sezyum atom saatinin vakum odası.

Atom saatini dış etkilerden korumak için sezyum vakumlanmış bir hazneye alınır. Bu hazneye yönlendirilen 6 adet mikrodalga ışın sayesinde sezyum atomunun elektronları enerji seviyeleri arasında osilasyon (salınım) yaparlar.

Yeni geliştirilen atom saatinin bir diğer kullanım alanı da karanlık madde araştırmaları olabilir. Karanlık madde, elektromanyetik dalgalarla etkileşime girmediği için, teleskoplar veya diğer ölçüm aletleri ile doğrudan gözlemlenemiyor. Fakat evrendeki toplam maddenin yaklaşık %85'ine yakınını oluşturan bu madde, gök cisimlerinin uzaydaki hareketlerini etkileyebiliyor. Bilim insanları, karanlık maddenin de, sahip olduğu kütle sayesinde, kütleçekimsel zaman genişlemesine yol açabileceğini öngörüyor. Yeni atom saati bu genişlemeyi hassas bir biçimde ölçmek için kullanılabilir.

Bu atom saatinin bulunduğu bir uzay aracı uzayda dolaşırken yoğun miktarda karanlık maddenin yanına yaklaştığında zaman daha yavaş akacak. Oluşacak zaman farkı çok küçük olmasına rağmen hassas atom saatlerinin kullanılması ile bu farklılıkların ölçülebileceği düşünülüyor.



Laboratuvar ortamında kurulan bu atom saatlerinin çalışabilmesi için çok sayıda lazere ihtiyaç duyuluyor. Saatleri geliştirmeye devam eden bilim insanları ileride taşınabilir bir versiyonunu yapıp dünyanın değişik yerlerindeki kütle çekim farklılıklarını ölçmeyi planlıyor. ■

Kaynaklar

<https://www.nature.com/articles/s41586-018-0738-2>

<http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/atom-saatleri>

<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit5/gps.html>

<https://www.abc.net.au/news/science/2018-11-29/atomic-clock-physics-relativity-satellite-geodesy-ytterbium/1055936>