

E=mc²'yi Öğretmek

KÜTLESİZ KÜTLE

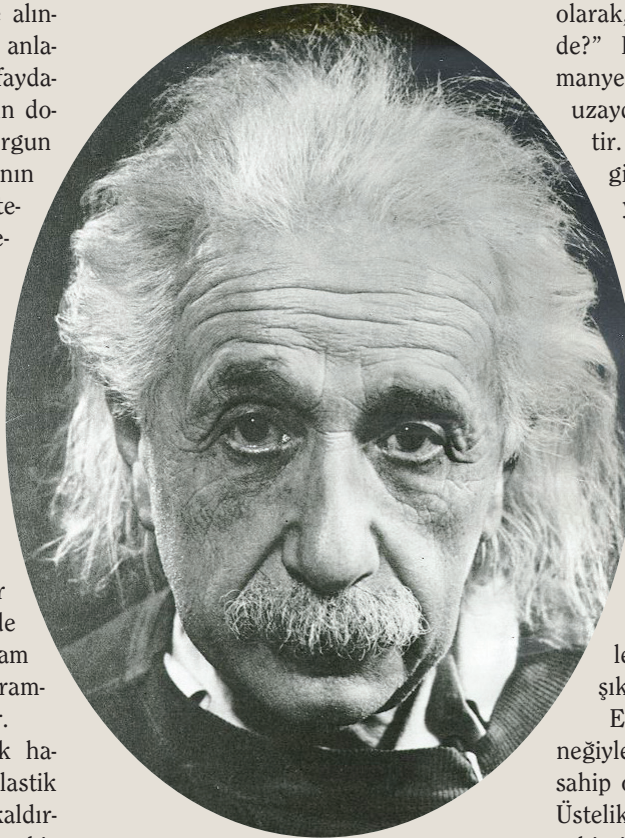
Einstein'a göre kütle-enerji ilişkisi, özel görelilik kuramının en önemli sonucudur. Çoğu eğitimci, modern fizik dersinde bu konuyu giriş bilgisi olarak verir. Nükleer fizik problemlerinin çözümünde gerekli olan $E=mc^2$, basit matematiksel bir bağıntı olarak ele alınmasına karşın, bu bağıntının ne anlama geldiğini tartışmak çok daha faydalı. Bu bağıntı, madde ve enerjinin doğası hakkında ne söylemekte? Durgun kütle yalnızca kuvvet alanlarının enerjisinden mi meydana gelmektedir? En azından maddelerin kütlelerinin %90'ı için, bu soruya verilen cevabın "evet" olduğunun şimdilik tam farkına varılmamış görünüyor.

E=mc²'nin Anlamı

Kütle-enerji ilişkisi, sıradan bir formülden daha ileri anlamlar taşıyor. Tüm fizik denklemlerinde olduğu gibi, bu formül de bir anlam barındırmakta. Bu noktada, kavramsal içerik, özellikle önemli oluyor.

Kavramsal açıklamaya günlük hayattan başlayalım. Top atma, lastik bandı germe, bir fizik kitabını kaldırmak örnek olarak verilebilir. Her bir örnekte, sistemin kütlesi artıyor (kaldırılan kitapta, sistem kitap ve dünyadır). Ancak enerji artışı sadece birkaç joule olduğundan, kütle artışı birkaç joule'ün c^2 'ye oranı olarak ortaya çıkıyor. Çok çok küçük olan bu artışı gözlemlemek imkansız yada çok zor olabilir. Öte yandan, kuram her bir sistemin kütlelerinin arttığını belirtiyor. Böylesine bir sonuçta şaşırtıcı. Bir kase çorbayı ısıttığınız zaman, çorbanın kütlelerini bir gramın milyarda biri kadar artırarak, 105 joule mertebesinde bir enerji verirsiniz. Bu şaşırtıcı durum fark edilemez. Günlük hayatımızda bu basit örnekler, enerji değiştiği zaman kütle-

nin de değişeceğini niçin fark edemediğimizi gösteriyor. Aynı zamanda, bu örnekler " $E=mc^2$ 'nin sadece nükleer fiziğe uygulanabildiği" gibi yaygın bir kavram yanılığını da ortadan kaldırmakta.



Bu durumu, bir çift mıknaş ve birkaç interaktif kavram testi kullanarak ortaya çıkaralım. Bu iki mıknaş birbirlerine tutturarak işe başlayalım. Daha sonra bu mıknaşları birbirlerinden uzaklaştırın, tutturun, ayırın ve dengede bırakın. Şimdi soruyoruz: "Mıknaş sisteminin enerjisi, arttı mı? azaldı mı? yada değişmedi mi? Bu konuda ne söyleyebilirsiniz?". Doğru cevap, mıknaşları ayırırken iş yaptığınız için, enerji artmıştır. Diğer bir soruya: "Sisteme verdiğimiz fazla enerji nereye gitti?" olacaktır. Bu sorunun doğru cevabıysa mıknaşlar arasında bulunan uzaydadır, yani manyetik

alandaki alanlar bile kütleyle sahiptir. Kuşkusuz ilginç bir durum! İlginçliğinin yanı sıra, elektromanyetik alanların fiziksel varlığını da ispat ettiğini söyleyebilirsiniz.

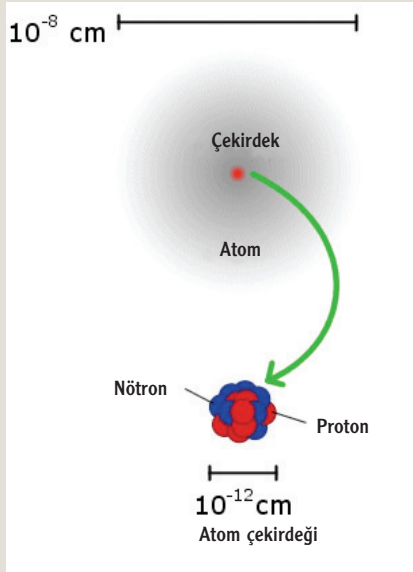
$E=mc^2$ formülü, nükleer reaksiyonlarda enerji değişimi çok büyük olduğu için doğrulanabilir. Örneğin, Uranyum parçalanıp, termal enerjisi açığa çıkarılırsa, kütle kaybı oranı yaklaşık %0,1 düzeyindedir ve bu kolayca fark edilebilir. Benzer şekilde iki döteryum çekirdeği Helyum çekirdeği oluşturmak üzere birleştiği zaman kütle kaybı yaklaşık %0,6 düzeyindedir.

$E=mc^2$ 'nin anlamı, mıknaşlar örneğiyle çok kolay anlaşılabilir: Enerjiye sahip olan bir sistem kütleyle sahiptir. Üstelik, kütleyle sahip sistem enerjiye sahiptir. Bu son ifade en iyi şekilde madde-antimadde yok olması ile gösterilir. Örneğin, her birinin kütlesi M olan elektron-pozitron yok olduğu zaman iki parçacıkta kayboluyor. Bu durumda: "Onların yerinde hiçbir şeyin olmadığı söylemek mümkün müdür?" sorusu akla gelir. Eğer, $E=mc^2$ ise; enerji korunduğu için enerjinin başka bir çeşidi ortaya çıkmalı. Aslında, ölçümler $2Mc^2$ 'lik enerjiye sahip radyasyon ortaya çıkardığını göstermekte (Bu değere parçacıkların başlangıç kinetik enerjisi dahil eklenmiştir). Elektron-pozitron çifti durgun olsa bile, bu çift yapısında $2Mc^2$ 'lik enerjiyi depolanmış iş olarak bulunduruyor.

Aynı zamanda, durgun kütleli olan maddenin durgun kütlesi olmayan radyasyona dönüştüğünü söylemek mümkün.

Kütlesiz Kütle

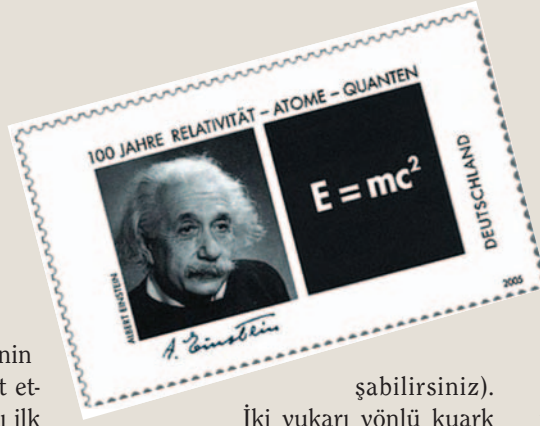
Temel fizikten bildiğimiz kütlelerin ortadan kaybolma olasılığına işaret etmek için “kütlesiz kütle” kavramını ilk defa John Wheeler türetti. Bu kavram, tüm sahalarda temel parçacıkların kütlelerini anlatıyor. 20. yüzyılın ilk yılları



Bir atomun kütlesinin %99,9'u çekirdekte toplanır. Çekirdeğin boyutu 1 cm'nin trilyonda 1'i kadardır. Çekirdeğin çapı, atomun çapının 1000'de 1'i kadardır. Bundan da atomların ve dolayısıyla bildiğimiz maddenin çok büyük bir bölümünün boş uzay olduğu anlaşılır.

rında Hendrik A. Lorentz ve diğerleri, elektromanyetik alan cinsinden tam olarak elektronun kütlesini açıklama çabası içine girdiler. Fakat çok geçmeden, Lorentz'in klasik teorisinin yerini kuantum fiziği aldı. Bugün bile elektrona kütlesini veren nedir bilinmiyor. Fakat kısa süre önce, Lorentz'in bu hayaline ulaşıldı ve bir maddenin neredeyse tamamına yakını oluşturulan protonlar ve nötronların kütlelerinin (kısaca nükleonlar), onları oluşturan kuarkların renk alanlarının neredeyse tamamından meydana geldiği görüldü.

Eğer standart model parametrelerine bir göz atacak olursak, eğlendirici birkaç şey keşfedebiliriz. Burada, yukarı ve aşağı yönlü kuarkların kütleleri listelenmiş ve bunlar sırasıyla 3 Mev/c² ve 6 Mev/c² değerinde (Öğrencilerinizle bu kütlelerin birimini tartış

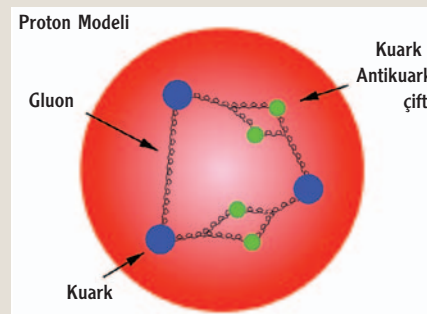


şabilirsiniz).

İki yukarı yönlü kuark ve bir aşağı yönlü kuarktan oluştuğu söylenen protonun kütlesi ise 938 Mev/c². Bazı şeylerin böyle doğrudan toplanmadığı açık. Proton kütlesinin hemen hemen %99'a yakın miktarı olan bu fark, kuarkların kuvvet alanlarının enerjilerinden ortaya çıkıyor. Benzer şekilde bir nötron kütlesi, üç kuark (bir yukarı, iki aşağı) kütlelerinin toplamından daha büyük. Buradan hemen denilebilir ki, bir nükleon kütlesinin %99'u, tıpkı iki ayrı mıknatıs parçasının enerjilerinin, kendilerinin manyetik alanlarından doğması gibi, bu tip alanlardan doğmakta. Bu %99'luk kütlelerin gerçekten kuarkların arta kalan kütlelerinden bağımsız.

Nükleonun kuarklarının görece küçük kütleleri, nükleon modelinin araştırılmasını kolaylaştırıyor. Bu modelde bütün kuark durgun kütleleri sıfıra eşit alınır. Gluonlar (kuarklara ek olarak nükleonların arta kalan bileşenleri) sıfır durgun kütleyle sahip olduğu için buna “saf alan” modeli denir. Bu model nükleon kütlelerini hesaplamak için kullanıldığı zaman, sonuçlar %10'luk oranda doğrulanmakta. Kütle elbette $m=E/c^2$ 'den ortaya çıkar. Burada E, kütlesiz kuark ve gluonların hareket ve alanlarının enerjisini anlatıyor. Maddenin kütlesinin %99'undan daha fazlası nükleonlardan meydana geldiği için, bu model; maddenin kütlesinin en az %99'unun “kütlesiz kütle” olduğunu belirtir.

Geri kalan %10'u benzer şekilde meydana gelir. Parçacık fiziğinin stan-



dart modeli, “Higgs Alanı” denen bir alanın, evrenin her yerinde varlığını ileri sürer. Higgs alanına doğrudan delil, Higgs alanının kuantumu olan Higgs bozonun keşfiyle ya da keşiften sonraki birkaç yıl içerisinde bulunabilecektir. Higgs alanı doğrulanırsa, o zaman bu alan ve parçacıklar arasındaki etkileşme enerjisi cinsinden temel parçacıkların (örneğin elektronlar ve kuarkların durgun kütleleri) kütleleri açıklanabilecek. Bu yüzden, alanlar yardımıyla maddenin kütlesinin tamamının açıklamasını yapmış olabileceğiz.

Böylece modern fizik, en azından maddeye bakarken “kütlesiz kütle”nin yüzyıllık görüşünü doğrulamanın eşiğinde. Madde parçacıklarının uzayda sadece kuvvet alanları olduğunu belirten bu görüş, “alan gerçeği”ni ifade etmekte. Bu fikir; çağdaş fiziğin de içinde olan rölativistik kuantum alanlar teorisinin doğruluğunu gösteren bir görüş. Örneğin, Nobel ödülü almış önde gelen kuantum alan kuramcılarında Steven Weinberg'in de ifade ettiği gibi: 1920'li yıllarda geliştirilen fizik kuramlarına göre, temel parçacıkların her bir tipi için bir alan olması gerekiyor. Bu kuramlarda evrende yaşayanların, elektron alanı, proton alanı, elektromanyetik alanlar gibi alan durumları olduğu düşünülmüş. Aslında, bu bakış açısı, bugün bile geçerli ve kuantum alan teorisinin temel kabulünü oluşturuyor. “Temel kabulün alanlar takımı olduğu” fikri, kuantum mekaniği ve özel görelilik kurallarıyla uyum içinde.

Bu görüşe göre, hiçbir yerde hiçbir şey yok. Elektronlar ve diğer parçacıklar, iki manyetik kutup arasındaki alana benzeyen boş uzayda yalnızca birer kuvvet alanı. Bu görüş, her şeyin hareket halinde ve etkileşim içerisinde olduğunu vurgulamakta. Karşılıklı etkileşmeler, birbirleri arasında etkileşim halinde olduğunu sandığımız parçacıklardan daha temel. Bu görüş, parçacıkları temel alan Newton mekaniğinden çok daha farklı, yeni bir bakış açısı getiriyor. Öğrencilerimizin de bu konu hakkında bilgilendirme hakları bulunuyor.

Art Hobson*, *The Physics Teacher*, 2005
*Arkansas Üniversitesi, Fizik Bölümü, USA.
Çeviri: Doç. Dr. Metin Orbay

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Amasya Eğitim Fakültesi.