

Karşı-madde

Evrende Pek Varolmayan İkizimiz

Maddenin zamanda ters ilerleyen ikizi olarak yorumlar Richard Feynman karşı-maddeyi. Parçacık fiziği diyagramlarında karşı-maddenin zaman oku ters yöne çizilir. Fizikçilere hesaplama kolaylığı getirdiğinden olsa gerek, çabuk benimsenmiştir bu yorum. Halbuki zamanın okunu ters çizmek kolay, ama anlaması zordur.

*Ne içindeyim zamanın
Ne de büsbütün dışında;
Yekpare geniş bir anın
Parçalanmış akışında.*

Ahmet Hamdi Tanpınar



Paul Dirac, 24 yaşında Cambridge Üniversite-si'nde bitirdiği doktora teziyle kuantum fiziği dünyasının matematiksel yapısını değiştirmişti bile. 26 yaşında, geliştirdiği denklemlerden elektronun artı yüklü bir ikizi, yani karşı-maddesi (anti-maddesi) olması gerektiği sonucuna vardı. Parçacığın ismini pozitron koyan Dirac'ın doğrulanma-

sı sadece dört yıl alacaktı. 1932'de 27 yaşında bir Amerikalı olan Carl Anderson, Caltech'te pozitron parçacıklarını kozmik ışıklarda keşfetti ve insanlığın karşı-madde ile olan ilginç serüveni başladı. Keşifleri nedeniyle Dirac 1933 yılında, Anderson ise 1936'da Nobel Ödülü'nü aldıklarında henüz 31 yaşındaydılar.

Karşı-madde, maddenin zıt elektrik yükü taşıyan ikizi. Yukarıda bahsettiğimiz gibi eksi yüklü elektronun karşı-maddesi, onunla aynı kütleye sahip olan fakat artı yük taşıyan ters ikizi yani, pozitron. Elektron ve pozitron örneği özel çünkü elektronun karşı-maddesinin kendi ismi var. Pozitronlarla, sağlık alanında özellikle onkolojide tümörlerin tanısında kullanılan PET yani pozitron emisyon tomografisi sayesinde bir tanışıklığımız var. Diğer parçacıkların karşı-madde ikizlerinin isimleri ise karşı kelimesiyle birleştirilerek veriliyor. Mesela protonun karşı-maddesi, karşı-proton. Artı yüklü protonla aynı kütleye sahip olan karşı-proton ise eksi yüklü. En basit karşı-atom ise bir karşı-hidrojen atomu: bir karşı-protonun yörüngesinde dönen bir pozitrondan ibaret. Diğer tüm elementlerin de karşı-maddesi olduğunu düşünerek hayalinizde karşı-maddeden yapılmış bir dünya hatta evren kurmak serbest... ama acaba gerçekçi mi?

Karşı-madde ilk keşfedildiği 1932 yılında değil, 2000 yılında, Dan Brown'ın CERN kurgusu üzerine yazdığı romanı *Melekler ve Şeytanlar*'la meşhur oldu. Arada geçen yaklaşık 70 yılda, çok araştırılmış, tartışılmış fakat bir türlü tüm sırlarını vermemişti insanlığa. CERN'de kitapta bahsedilen NASA'nın X-33 uçağından olmadığı gibi, çeyrek gram karşı-madde de bulunmuyordu. Peki romanda çoğu şey hayal ürünü olduğu halde hiç gerçek payı yok muydu uğruna iki Nobel Ödülü verilmiş karşı-madde konulu senaryonun arkasında?

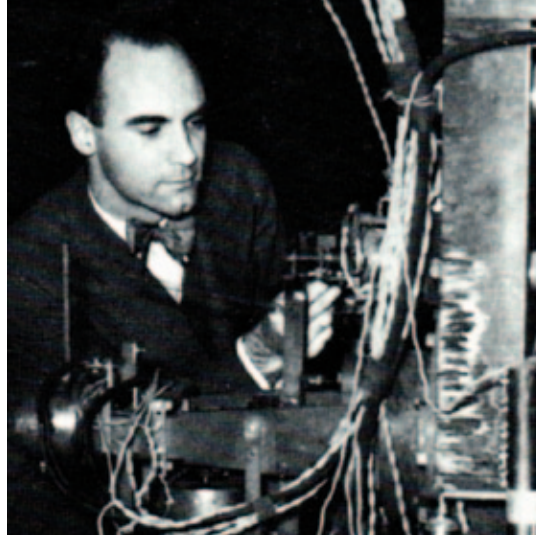
Mesela romanda bahsedildiği gibi, bir gram karşı-madde (karşı-hidrojen) bir gramlık maddeyle birleştiği zaman ortaya çıkacak olan patlama, Hiroşima'ya atılan 20 kilotonluk nükleer bombayla aynı enerjiyi taşır mıydı? Meşhur $E=mc^2$ formülünden kolayca hesaplanabilecek olan cevap, 42,8 kilotona eşdeğer olduğunu gösteriyor. Peki CERN'ün yarım gram karşı-hidrojen yapması ne kadar vakit alırdı? İşte kitabın kurgusu burada ortaya çıkıyor: CERN'deki deney düzeneklerinden gelecekte saniyede en fazla 10 milyon karşı-hidrojen atomu ortaya çıkabilir. Fakat bir gram karşı-hidrojen Avogadro sayısı kadar yani 6×10^{23} karşı-hidrojen atomu olması lazım. Bu kadar karşı-hidrojen atomu yapabilmek için 6×10^{16} saniye gerekli ki bu da yaklaşık 2 milyar yıl demek! Sizin de bizim de o kadar bekleyemeyeceğimiz açık! Zaten bunu gerçekleştirmenin de bilimsel bir nedeni yok. Peki neden CERN karşı-madde üretiyor? Bunun cevabını nasıl yapıldığını anlattıktan sonra verelim.

CERN'de karşı-madde nasıl yapılıyor? Maddenin kendi başına karşı-maddeye dönmesi imkânsız. Maddeyi (yani kütlesini) önce enerjiye dönüştürmek, sonra da o enerjiden bazı karşı-madde parçacıklarının

çıkmasını gözlemlemek gerekiyor. Maddenin enerjiye dönüşme formülü Einstein'ın meşhur $E=mc^2$ formülünden başkası değil. Aslında formülün manası, maddenin kütlesinin enerjinin çok yoğun bir hali olduğu. Yani kütlenin kendisi enerjiyi teşkil ediyor. Peki bu enerjiyi nasıl ortaya çıkarabiliriz? Bunu bir örnekle anlatalım: Büyük meteorlar dünyamızın atmosferine ortalama saniyede 30 km'lik bir hızla giriyorlar. Meteorun hareket yahut kinetik enerjisi atmosfere sürtünmesinden dolayı ısıya dönüşüyor. 100.000 °C'ye kadar ısınabilen meteor eriyor. CERN'de meteorların yerine doğanın en küçük yapı taşları olan protonlar kullanılıyor. Bu parçacıklar, özel hızlandırıcılarda saniyede 300.000 km'lik hıza yani yaklaşık olarak



Paul Dirac (1902-1984), karşı-maddenin varlığını tahmin ettiği için 1933'te Nobel Ödülü'ne layık görüldü.



Carl Anderson (1905-1991), karşı-maddeyi keşfettiği için 1936 yılında Nobel Ödülü'nü aldı.

ışık hızına kadar hızlandırılıyorlar. Bu hızda giden bir parçacık bir cisme çarptığında, onun enerjisi sayesinde 10.000.000.000.000 °C'lik bir sıcaklık ortaya çıkabiliyor. Çarpışma noktasında ortaya çıkan enerjinin artık yeniden maddeye dönüşmesi serbest.

Fakat doğanın bu dönüşüm için belirlediği bazı kurallar var. Bir madeni para fabrikası düşünelim.



Doç. Dr. Melahat Bilge Demirköz, İstanbul Amerikan Robert Lisesi'ni bitirdikten sonra, burslu olarak gittiği MIT'de fizik bölümünü müzik ve matematik bölümlerinden sertifika alarak 2001 yılında bitirdi. MIT'de yaptığı lisans ve yüksek lisans araştırmalarında AMS projesinde görev aldı. Doktorasını Dorothy Hodgkin bursunu alarak Oxford Üniversitesi'nde ATLAS projesinde üç yılda tamamladı. 2006 yılında Research Fellow unvanıyla CERN'ün elemanı olarak kabul edildi. CERN'deki görevine Cambridge Üniversitesi'nden sonra Barcelona Üniversitesi adına devam etmektedir.

Eriyik metalden basılan bozuk paranın bazı birimleri var: 1, 5, 10, 25, 50 kuruş ve 1 lira gibi. Doğa da enerjiyi maddeye dönüştürürken, bazı birimler kullanıyor. Parçacık dünyasının bu birimlerinin en önemlisi tabii ki doğanın yapı taşı diye adlandırdığımız proton, nötron ve elektron. Ama bunların dışında da parçacıklar var: muon, tau, diğer hadronlar, ... Hepsinin kendine göre kütle ve elektrik yükü özellikleri olduğu gibi, diğer parçacıklarla nasıl etkileşeceklerini belirleyen başka özellikleri de var. Bir eriyik metal bandından, yani varolan enerjiden, kuruş, mesela proton bastığımızı düşünelim. Basılan kuruşun bıraktığı boşluğu karşı-kuruş olarak düşünebiliriz, yahut karşı-proton. Yani kuruş ve karşı-kuruş gibi, proton ve karşı-proton aynı anda oluşuyor. Bu şimdiye kadar yapılan deneylerle örtüşüyor. Doğa enerjiyi hep madde ve karşı-madde çiftleri halinde kullanmayı tercih ediyor. Yukarıda bahsedilen çarpışmalarda ortaya çıkan enerji işte böyle madde ve karşı-madde çiftlerinin oluşumuyla son buluyor. Çıkan parçacıkların kinetik enerjisi yüksek olduğundan onlar çoğunlukla deney düzeneğininin çarpışma noktasından hızla uzaklaşıyorlar. Önlerine çıkan cisimlerin içinden geçerken enerji kaybedip, bir süre sonra duruyorlar. Etrafımızda sadece madde var olduğu için, çıkan karşı-madde parçacıklar, madde parçacıklar ile karşılaştığında yeniden enerjiye dönüşebiliyor. Fakat bu dönüşüm artık kinetik enerjisinin çoğunu kaybetmiş bir karşı-madde ve madde parçacığı arasında gerçekleştiğinden, yeni bir karşı-madde parçacığı oluşturamıyor. Yani yeniden bir kuruş ve karşı-kuruş çifti oluşturacak enerjiye sahip olmayan dönüşüm, enerjinin sadece ışığa dönüşmesine izin veriyor. *Melekler ve Şeytanlar* romanında

metrik olarak hem madde hem de karşı-madde için geçerli mi? Bir elektronun bir protonun elektrik potansiyelinde yakalanmasıyla oluşan hidrojen atomu gibi, bir pozitronun bir karşı-protonun elektrik potansiyelinde yakalanmasıyla karşı-hidrojen atomu yapmak da mümkün. Bu ilk olarak 1995'te CERN'de PS210 adı verilen bir deneyde gerçekleştirildi. Walter Oelert ve Mario Macri liderliğinde dokuz karşı-hidrojen atomu yapmayı başaran deney, CERN'deki LEAR1 (Low Energy Antiproton Ring-Düşük Enerjili Karşı-proton Çemberi) kullandı. Kısa bir süre sonra ABD'deki Fermi Laboratuvarı'nda 100 karşı-hidrojen atomu yapıldığı haberi geldi. İki deneyde de ortaya çıkan karşı-hidrojen atomları "sıcak"tı, yani hızları yüksek olduğundan hassas ölçümler için elverişli değildi. Bunun nedeni ise yapılaş şekilleriydi. Halbuki amaç onları durağan halde gözlemleyip kimyasal ve fiziksel özelliklerini ölçmektir. Çarpışmalardan ortaya çıkan karşı-protonları vakumda manyetik alanlar yardımıyla hapsederek tutmak, maddeyle etkileşimlerini azaltıp, onları uzun süre yaşatmak için çok önemliydi. Ama daha önemlisi onları yavaşlatıp, enerjilerini düşürüp, etraflarında bir pozitronu yakalamalarını sağlayıp, nötr hale getirmektir. Bunları başarmak için CERN'de hepinizin tanıdığı hızlandırıcıların yanı sıra, bir yavaşlatıcı kurulmaya başlandı. 1999 yılında çalışmaya başlayan AD (Antiproton Decelerator) yani Karşı-proton Yavaşlatıcısı, çarpışmalardan çıkan karşı-protonlardan enerji çalıp onların enerjisini 3,5 GeV'den 5,3 MeV'e kadar düşürmeyi başardı. Bu yavaşlatıcı üzerinde birçok deney düzeneği kuruldu. ATRAP, ATHENA ve ASACUSA gibi. Deney düzeneği karşı-protonları daha da yavaşlatmak için parçacıkları Penning tuzaklarına düşürüyor ve onları pozitronlarla buluşturuyorlar. Şu anda saniyede ancak 100 karşı-hidrojen atomu yapılabilir. CERN tahmini olarak bu sayının gelecekte 10 milyona kadar çıkabileceğini söylese de, halen karşı-hidrojeni uzun bir süre saklamak bir hayalden ibaret. Oluşan karşı-atomlar tuzaklardan çıkıyorlar ve en fazla onlarca saniye hayatta kalıyorlar. Yine de bu süre içinde onları spektroskopik olarak incelemek ve fizik yasalarını test etmek mümkün oluyor. Fizikçilerin amacı da zaten bu: Doğanın kuralları madde ve karşı-madde için aynı şekilde mi işliyor yoksa farklı mı?



bahsedilen kör edici ışık saçılması bu açıdan doğru. Durağan haldeki (yahut ciddi bir kinetik enerjisi olmayan) karşı-madde ve maddenin karşılaşmasından çıkan enerji çoğunlukla sadece ışık olarak salınıyor.

Peki yine romanda bahsedildiği gibi karşı-madde atomları yapılabilir mi? Yani kimyanın kuralları si-

Doğanın madde ve karşı-madde çiftlerini hep aynı anda yaratması, gözlemlediğimiz evreni anlama yolunda, fizikçiler için çok büyük bir engel teşkil ediyor. Gözlemlediğimiz evrende şimdiye kadar pek fazla karşı-maddeyle karşılaşmadık. Bu şu demek, karşı-maddeden yapılmış bir gezegen ve yıldız görmediğimiz gibi, karşı-maddeden yapılmış bir gökadanın ol-

Dan Brown'ın *Melekler ve Şeytanlar* romanının film uyarlamasının yönetmeni Ron Howard ve baş oyuncular Tom Hanks ve Ayelet Zurer CERN'ü filmin ilk gösterimi için ziyaret ettiler.

duğu yolunda bir verimiz de yok. Ama karşı-madde hayatımızın bir parçası. Uzaydan gelen kozmik ışınların yani yüksek enerjili parçacıkların atmosferimize çarpmasında oluşan parçacıkların bir kısmı da karşı-maddeden oluşuyor. Bu parçacıkların bazıları yeryüzüne ulaşıyorlar ve bizim içimizden geçiyorlar. Ortalama saniyede bir parçacık içinizden gelip geçiyor ve bu parçacıkların yaklaşık yarısı karşı-madde... Doğal olarak oluşan karşı-maddenin evrende büyük miktarlarda gözlemlenememesi, fizikçileri doğanın bir şekilde maddeyi tercih ettiği fikrine yönlendiriyor. Kozmik mikrodalga fon ışınması gözlemlerinden evrenimizin çok sıcak ve çok yoğun bir ortamdan geldiği sonucuna vardık. Büyük Patlama dediğimiz kuzamla bunun dışında birebir örtüşen birçok bilimsel veri var. Şu ana kadar bulgularımızdan, kozmik mikro dalga ışınmasının gerçekleştiği ortamdaki fizik yasalarının madde ve karşı-madde için eşit çalıştığını düşünmek gerekiyor. Büyük Patlama'nın 377.000 yıl sonrasındaki elektromanyetik yankısı olarak düşünebileceğimiz kozmik mikrodalga fon ışınmasında, o zamanda eğer evrende karşı-madde var olsaydı, karşı-madde ve maddenin etkileşmesinden ortaya çıkacak olan ışığı gözlemlemiş olurduk. Oysa böyle bir gözlem gerçekleşmedi. Bu da bizi o dönemde karşı-maddenin var olmadığı düşüncesine götürüyor. İki seçeneğimiz var: Evren ya başlangıcından itibaren karşı-maddeyi oluşturmadı ya da ilk saniyeler içinde varolan karşı-maddeyi bir şekilde maddeye çevirdi. Her ikisinde de karşı-maddenin henüz keşfetmediğimiz yüksek enerjiye bağımlı fizik yasaları tarafından tercih edilmediği sonucuna varıyoruz. Fakat bu fizik yasalarını keşfetmemiz lazım.

İşte fizikçiler karşı-hidrojen atomunun yapısını belki bu henüz keşfetmediğimiz fizik yasalarına ışık tutar ümidiyle inceliyorlar. Bu sorulara CERN'de birkaç koldan cevap bulunmaya çalışılıyor. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı deney düzeneklerinden LHCb deneyi madde ve karşı-madde arasında farklılık yarattığını bildiğimiz CP (Charge-Parity) denkliği yani yük ve parite denkliği ihlalini çalışmak üzere kuruldu. 1964'te keşfedilen bu yasa ihlali, James Cronin ve Val Fitch'e 1980 Nobel Ödülü'nü getirdiği ve madde ile karşı-madde oluşumu arasında bir fark yarattığı halde, bu fark evrende gözlemlendiğimiz durumu açıklamaya yetmiyor. Çünkü uzun yıllar boyunca başka parçacıklar için, Stanford Lineer Hızlandırıcısı'nda bulunan BaBar ve Japonya'daki Belle deney düzenekleri hassas bir şekilde bu farkı ölçtüler ve farkın gerçekten de küçük olduğunu buldular. LHCb ise yeni ihlal keşiflerinin peşinde koşacak. Yine CERN'de üzerinde çalışılan başka bir deney düzeneği ise bu yılın

sonunda uzaya yollanacak olan AMS (Alfa Manyetik Spektrometresi). AMS uzayda karşı-maddeyi aramayı ve şu ana kadar kuramlar üzerine konulan sınırları arttırmayı hedefliyor.



CERN'de karşı-hidrojen yapılması için çalışan AC yani karşı-proton alımcısı ve AA yani karşı-proton toplayıcısı makineleri gözükmekte.

Karşı-maddenin sırlarının peşinde koşan sadece CERN değil. 16 Mayıs 2010 Pazar günü, parçacık fizikçileri arasında bir hareketlenme gözlemlendi. Cuma günü ABD'deki Fermi Laboratuvarı'ndaki haftalık seminer websitesinde bu konuda kırmızı renkle işaretlenmiş bir konuşmanın olduğu görülmüş ve ne olabileceği konusunda tahminler başlamıştı. Beklenen sonuçlar D0 deney düzeneği tarafından Pazar günü ilan edildi ve evrendeki karşı-maddenin neden var olmadığını açıklamaya yarayacak, madde ile arasında fark yaratan yeni bir ipucu daha elde edildiği öğrenildi. Fakat hikâye sonlanmış değil. Sonuçların kesin olarak doğrulanması için daha fazla veriye ihtiyaç var ve görülen farkın neden olduğu bilinmiyor. Belki görülen fark bizlere yüksek enerjilerde başka parçacıklar keşfedeceğimizin işaretini veriyorlar. Halen çalışmakta olan Fermi Laboratuvarı'ndaki deney düzenekleri ile yeni çalışmaya başlayan CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı arasındaki zaman yarışı bu sonuçların açıklanmasıyla birlikte daha da kızıştı diyebiliriz...

Feynman'ın yorumuna göre karşı-madde maddenin zamanda ters ilerleyen ikiziyse ve CP denkliği ihlali söz konusu ise, şu halde zamanda düz gitmek ile ters gitmek arasında da bir fark var. Zamanın oku neden tek yöne akıyor sorusunun da cevabı burada gizli olabilir mi? Kim bilir önümüzdeki yıllarda doğa bizi daha nasıl şaşırtacak...

Kaynaklar

CERN'in Karşı-madde websitesi, <http://livefromcern.web.cern.ch/livefromcern/antimatter/>
CERN'in *Melekler ve Şeytanlar* açıklaması, <http://public.web.cern.ch/public/en/spotlight/>

SpotlightAandD-en.html
Fermilab Basın Açıklaması, http://www.fnal.gov/pub/presspass/press_releases/CP-violation-20100518.html