

ANTİMADDE YARIŞI KIRAN KIRANA

Evreni kateden uzay gemilerinin yakıtı olarak bilimkurgunun vazgeçilmez klişesi olan antihidrojen, laboratuvarında kontrollü olarak üretilmeye başlandı. Ancak Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı CERN’de yarışan iki rakip ekibin hedefi daha “dünyevi”. Birkaç ay aralıkla değişik yöntemlerle aynı başarıya imza atan ATHENA ve ATRAP ekiplerinin amacı, antihidrojenin içsel özelliklerini inceleyerek bunun getireceği muhakkak olan Nobel ödülünü almak.

Hidrojen, tümüyle Büyük Patlama’da yaratılan ve evrende en bol bulunan madde. Hidrojen, aynı zamanda en basit atom yapısına sahip bulunma ve en hafif element olma özelliklerini taşıyor. Hidrojen atomu, yalnızca tek bir proton ve onun çevresinde dönen tek bir elektrondan oluşuyor. Parçacık fiziğinin başarılı kuramı Standart Model’e göre, her madde parçacığının, temel özellikleri aynı, ancak elektrik yükü ters olan bir karşımadde parçacığı bulunuyor. Pozitif elektrik yükü taşıyan protonun karşıparçacığı, negatif yüklü antiproton. Elektrik yükü negatif olan elektronun karşıparçacığıysa, bunun pozitif yüklü kardeşi olan pozitron.

Gelgelelim, bu kardeşlik lafını gelişi. Bir kere bunlar birbirlerine son derece düşman. Bir araya geldiklerinde hemen birbirlerini yok ediyorlar. Büyük Patlama’da eşit miktarda yaratılmış olan madde ve karşımadde arasındaki kavga hemen ilk anlarda başlamış ve hemen sonuçlanmış. Dört temel doğa kuvvetinden biri olan zayıf çekirdek kuvvetinin taraf tutmasıyla kavgadan çok küçük bir farkla madde üstün gelmiş. Evreni dolduran tüm madde, gökadalara, yıldızlara ve biz canlılara, varlığımızı maddenin bu çok küçük farkına borçluyuz. Karşımaddeyse doğada –en azından bildiğimiz evren-

de- bulunmuyor; ancak parçacık çarpışmaları ya da bozunmalarında kısa süreyle ortaya çıkıp yok oluyor.

Fizikçiler evrenin resmini tam olarak oluşturabilmek için uzun yıllardır bu madde fazlalığının nasıl ortaya çıktığını çözümlenmeye çalışıyorlar. Standart Modele göre madde parçacıklarının elektrik yükünün değişmesi halinde öteki özelliklerinde hiçbir değişme olmaması gerekir (Charge Conjugation ya da Yük Birliği, kısaca C). Yine parçacıkların koordinatlarını değiştireniz, üsttekini alta alttakini üste getirseniz, sağa bakını sola çevirseniz, özelliklerinin değişmemesi gerekir

(Parity Inversion ya da eşleniklik tersinmesi, kısaca P). Parçacıklar zamanda ileri ya da geri gitse de özelliklerinin değişmemesi gerekiyor (Time Reversal ya da Zaman Tersinmesi, kısaca T). Bu üçüne birlikte CPT değişmezliği deniyor. Yani bu üç özelliğin birlikte işleme halinde aynı fizik kurallarının geçerli olması gerekiyor.

Ancak Standart Model’de herşey kitabına uygun gitmiyor. Bunun en açık kanıtı, maddenin, yani bizlerin varlığı. Bilinen dört temel doğa kuvvetinden üçü için (atom çekirdeklerinin içindeki parçacıkları bağlayan şiddetli çekirdek kuvveti, çekirdeklerle elektronları bağlayan, yani atomla-

Evrendeki Asimetrisinin Peşinde
Tümüyle simetrik bir evren, boş bir evren olurdu. Çünkü eşit miktardaki madde ve karşımadde, birbirini yok ederdi. Şimdiki bilgilerle görünen o ki, madde, evrende daha fazla. Fizikçilerse, asimetriyi açıklamak için parçacıkların davranışlarındaki küçük farklılıkların peşindedir.

1 MADDE ve KARŞIMADDE
Bilimadamları, parçacıkları birbirleriyle çarpıştırarak enerji patlamaları oluşturabiliyorlar. Bu tür patlamalarla hem madde hem de karşımadde oluşabiliyor.

B mezonlar
Madde ve karşımadde arasındaki farklılıkları belirleyebilmek için araştırmacılar elektronlara, bunların karşı parçacıkları olan pozitronları çarpıştırıyorlar.

B mezonlar ve karşı B mezonlar çarpışma ürünü
olarak ortaya çıkan ender parçacıklar. Bunlar kısa sürede çeşitli parçacıklara bozunuyorlar.

B mezonlar ve karşı B mezonlar çok küçük farkta hızlarla bozunabildiklerinden, araştırmacılar bunların milyonlarcasını üretip bu farkı değerini bulmaya ve bu sayede evrendeki dengesizliğin sırrını çözmeye çalışıyorlar.

Bozunma

Büyük Patlama
Madde Karşı Madde

Saf bir enerji durumundan kaynaklanan Büyük Patlama’da parçacık ve karşı parçacıkların aynı miktarda ortaya çıktığı ve daha sonra bunların birbirini yok ettiği düşünülüyor.

Bu dengesizliği açıklamak için geliştirilen kuramlar madde ve karşı maddenin davranışlarındaki farklılıklar üzerinde yoğunlaşıyor. Bu farklılıklar arasında madde ve karşı maddenin bozunma hızlarındaki küçük farklılık da bulunuyor.

Bir parçacık ve onun karşıparçacığı, karşılaştıklarında birbirlerini yok ederler; çarpışma enerjisiye ışınma dönüşür.

Protonun karşıparçacığı Karşıproton (Karşımadde) Kütle aynı, ancak zıt yük taşıyor.

Proton (Madde) Yok oluş

Elektron Pozitron

Karşı B mezonlar B mezonlar

Madde Karşı Madde

Madde Karşı Madde

Ancak, evren maddeyle dolu olduğuna göre, maddenin lehine, onun üstün gelmesini sağlayan bir dengesizlik olmalı

rı bir arada tutan elektromanyetik kuvvet ve yıldızların, gezegenlerin gökadalarnın dağılmasını sağlayan kütleçekim kuvveti) bu simetrisinin varlığı geçerli. Ne var ki, atomların bozunmasına yol açan zayıf çekirdek kuvveti sorunlu. CP ihlali denen bu simetri bozulması, zayıf etkileşimde kendini gösteriyor. K ve B mezonları denen ve kendileri ile karşımadde karşılıkları arasında gidip gelen parçacıklarla yapılan deneylerde zayıf kuvvetin, sürekli evsahibi takımın lehine düdük çalan bir hakem gibi, madde lehine karar verdiği görülüyor. Araştırmacılar, bu ihlalin değerini bile saptamış bulunuyorlar.

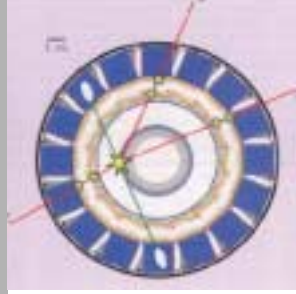
Sorun da bu değerden kaynaklanıyor. Bu değer son derece küçük ve evrende maddenin hakimiyetini tek başına açıklayamıyor. Bu nedenle fizikçiler, mezonlar yerine, baryon denen, proton ve nötron gibi sıradan maddelerde bu simetrisinin var olup olmadığını gözlemek istiyorlar. Örneğin bir kütleçekim alanında bir baryonla antimadde karşılığının aynı hızla düşüp düşmediğinin bilinmesi gerekiyor. Bu ve karşımadde başka özelliklerinin belirlenmesi için fizikçiler yıllardır birilerinin, hidrojen gibi en basit ve en hafif karşımadde "elementi" olan antihidrojeni oluşturup, incelenmeye uygun düzeyde bir hız ve sıcaklığa düşürmesini bekliyorlardı.

İşte CERN'deki rakip ekipler, bilime biraz yakını düşen keskinlikte bir rekabetle ve yaratıcı yöntemlerle bu işi başarmış bulunuyorlar.

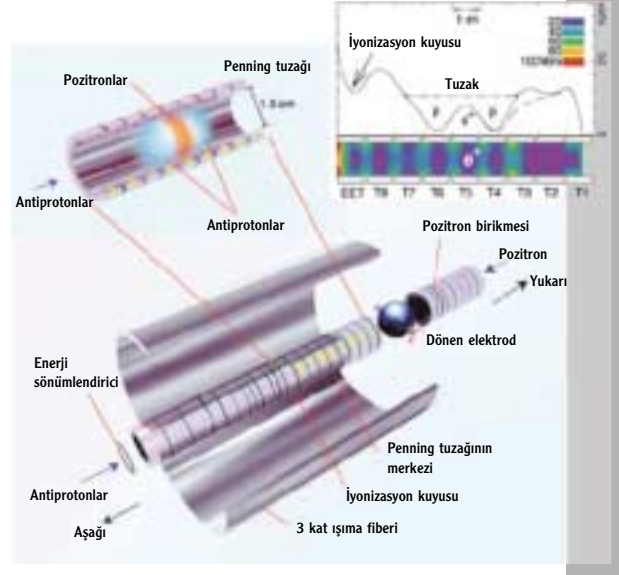
Gerçi antihidrojen, ilk kez elde edilmiyor. 1996 yılında önce CERN'de başka bir ekip dokuz adet antihidrojen atomu elde etmeyi başarmış, daha sonra da CERN'in baş rakibi olan ABD'deki Fermi Ulusal Laboratuvarı 30-40 antihidrojen oluşturmuştu. Bir antiproton demetinin ağır metalden bir hedefe çarptırılması sonucu, ortaya elektronlarla birlikte bir miktar pozitron da çıkıyor ve bunların birkaçı, ana antiprotonla aynı yönde ve aynı hızda yol alması koşuluyla antiprotona yakalanıp yörüngesine yerleşiyordu. Ancak böyle oluşan antihidrojenin özelliği, ışık hızına yakın hızda yol almasıydı ki, bu da araştırmacılara kendisini inceleme olanakları tanııyordu.

CERN'deki yeni deneylerin sonunda elde edilen karşıatomların özelliğiye, araştırmaya elverecek yavaşlık ve soğuklukta olmaları; bir de oldukça fazla miktarlarda elde edilebilmeleri.

Bu iş için yarışan CERN ekiplerinden, karşımadde atomlarını soğutan, yavaşlatan ve tuzaklayan teknolojileri geliştiren ATRAP ekibi olmasına karşın, bunlardan yararlanarak ipi geçtiğimiz Eylül ayında ilk göğüsleyen ATHENA oldu. Her iki ekip de, antiproton demetinin hızını düşürmek için ATRAP tarafından geliştirilen antiproton yavaşlatıcısından, bunları soğutup tuzaklamak için de gene ATRAP'ın damgasını taşıyan ve "Penning tuzakları" diye adlandırılan elektromanyetik silindirlere yararlandılar. Antiproton yavaşlatıcısında önce hızları ışık hızının onda birine düşürülen antiproton demeti, daha da yavaşlatılıp tuzaklanmak üzere ince bir alüminyum folyo tabakasından geçirilerek bir Penning tuzacağına



ATHENA ekibinin deneyinde ortaya çıkan antihidrojenin dolaylı kanıtları: Penning tuzacağı içinde oluşan, antihidrojen tuzak çeperinde maddeyle etkileşerek yok oluyor (sarı yıldız). Antiprotonun, protonla etkileşmesi sonucu 3 adet pion ortaya çıkıyor ve dedektörün iç kesimindeki silikon bantlarını iç ve dışta belirleniyor (yeşil daireler). Bu daireleri birleştiren doğrular, çarpışmanın olduğu yeri gösteriyor. Antiproton çevresinde dolanan pozitronun, bir elektronla etkileşmesi sonucu oluşan gama ışın fotonlarına, dış dedektördeki sezum iyodür kristallerinde saçılarak ışına yapıyor (yeşil çizgiler).



alınıyor ve mutlak sıcaklığın (-273,15 °C) birkaç derece üzerine kadar soğutuluyor. Bu silindirlere içinde elektromanyetik alanlar antiprotonları silindiri duvarına değmeyecek (dolayısıyla duvardaki protonla çarpışıp yok olmayacak) biçimde hapsederken, elektrik alanları da silindiri eksenine

zitif elektrik yüklü pozitronlar tek olarak gördükleri "vadi" (potansiyel kuyusu) içinde tutulurken, antiprotonlar da kendi vadileri (potansiyelleri) içinde ileri geri gidip gelerek pozitron bulutunun içinden geçiyorlar. Bu geliş gidişler sırasında da arada antiprotonların birkaçı, bir pozitronu yakalayıp yörüngesine alarak bir antihidrojen oluşturuyor.

Buraya kadar işler rakip ekipler için aynı yolda ilerliyor. Farklılık, antihidrojenlerin belirlenmesinde.

Yarışı Eylül ayında kazanan ATHENA ekibinin antihidrojenleri belirleme yöntemi dolaylı. Ayrıca elde edilen antiatom sayısı da görece sınırlı. Bir antiproton bir pozitron yakaladığında, ters elektrik yükleri birbirini götürdüğünden, oluşan yüksüz antiatom artık manyetik alanlarca tutulmuyor ve tuzak dışına kaçıyor. Daha doğrusu kaçamıyor; çünkü hem antiproton hem de pozitron, tuzak duvarındaki madde karşılıklarıyla (proton ve elektron) etkileşerek yok oluyorlar. Antiproton-proton yokoluşunda ortaya üç adet pion adlı parçacık çıkıyor. Bu pionlar, tuzak çevreleyen çok katlı bir dedektörün iç bölümünde bulunan silikon bant dedektörlerinin iç ve dış duvarlarını geçerken, ayrı ayrı saptanıyorlar. İç ve dış duvarlardaki izler birer çizgiyle birleştigindeyse proton-antiproton çarpışmasının gerçekleştiği nokta belirleniyor. Antiprotonların yörüngesindeki pozitronlar da kendi düşman kardeşi elektronla giriştiği ortak intiharda yok oluyor. Bu yokoluşun kanıtı da ters yönlerde çıkan, 511 Kev (kiloelektronvolt) tipik enerjisinde bir gama ışın foton çifti. Bu fotonlar da dedektör silindirisinin dış kısmında bulunan sezum-iyodür kristallerinden geçerken, saçılıp ışına yapılarak belirleniyorlar.

ATRAP ekibiye, önde götürdüğü yarışta anda kaybetmenin burukluğu içinde. Ama ilk finiş çizgisini rakibinden bir ay sonra geçmiş olsa da, temel hedef olan antihidrojen tayfının incelenmesine daha yakın olduğu görüşünde. Antihidrojen tayfı, Standart Modelin öngörülerine gö-



CERN'deki ATHENA deneyinde ortaya çıkan antihidrojen atomunun dolaylı belirtileri.

doğrultusunda tutuyor.

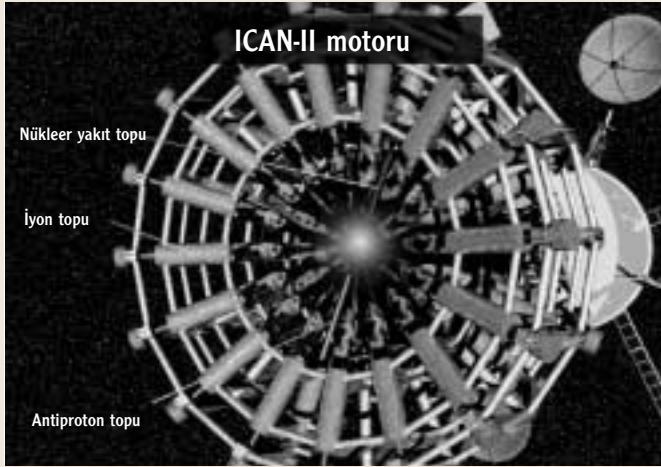
Radyoaktif sodyum-22 izotopunun doğal bozunumu sonucu ortaya çıkan pozitronlar da ince bir katı neon levhaya çarptırılıyor. Levhanın daha dar bir enerji aralığıyla yeniden yayınladığı pozitronlar, daha sonra gaz molekülleriyle etkileşip soğutulup başka bir Penning tuzacağına alınıyor. ATHENA ekibi her beş dakikalık döngüde 150 milyon pozitron tuzaklamayı başarmış.

Daha sonra, birinde antiproton, birinde de pozitron tutulan bu Penning tuzakları bir "karşıtma tuzakları"nın iki ucuna yerleştiriliyor. Bu tuzakların özelliği de ortasında iki farklı elektrik potansiyeli bulunması. Pozitronların gözüyle bu tuzak, iki tepeli çevrelenmiş bir vadi; antiprotonların gözüyleyse bir tepeli ayrılmış iki vadi. Po-

Fantaziden Gerçeğe Doğru



Uzay gemilerine karşınmadde itkisi, yakın gelecek için bir bilimkurgu fantazisi olarak kalmaya mahkum görünüyor.



ICAN-II motoru

Nükleer yakıt topu

İyon topu

Antiproton topu

Pennsylvania Eyalet Üniversitesi araştırmacıları, geliştirdikleri bir antimadde bitki tasarımı. Araştırmacılar, antiprotonların, atomun parçalanmasına yol açtığını keşfettiler. Bilinen nükleer fisyon, bir uranyum "kalpten" çevresindeki kimyasal yakıtla yalnızca ısı transfer ederken, antiprotonun katalize ettiği "mik-

rofisyon", çekirdek parçalanması tepkimelerinin tüm enerjisinin itki için kullanılmasına olanak sağlıyor. Sonuçta gezegenlerarası insanlı seferlerde kullanılabilen daha randımanlı bir motor ortaya çıkıyor. Pennsylvania Eyalet Üniversitesi'nde tasarlanan ICAN-II uzay aracı böyle bir motorla Mars'a insanlı uçuş için planlanmış. Uzay aracı, yalnızca 140 ng (nanogram) karşımadde ile 30 gün çalışacak bir motorla tasarlanmış.

re hidrojenle aynı olmalı. Ama eğer değilse, fiziğin temel ilkelerinden biri olan CPT simetrisini bir kenara atmak gerekecek. Bu da, fizikçileri atomaltı parçacıkların nitelikleri ve işleyişleri için yepyeni bir model kurmak zorunda bırakacak.

ATRAP, antihidrojenin yeterli biçimde incelenebilmesi hedefine kendini niçin daha yakın görüyor? Çünkü bir kere, antihidrojen üretimi daha yoğun. ATHENA ilk olarak 100 antiatom ürettiğini açıkladıktan sonra bu sayıyı sonunda 50.000'e kadar yükseltmiş. ATRAP ekibiye, deneyde 170.000 atom ürettiğini açıklıyor.

Sonra ATRAP, antihidrojeni farklı süreçlerden de kaynaklanıyor olabilecek dolaylı etkilerinden değil, doğrudan, alan iyonizasyonu denen bir yöntemle belirliyor. Süreç şöyle işliyor: Tuzağın merkezinde oluştuktan sonra yüksüz antihidrojen atomları, manyetik alanın etkisinden kurtulup istediği yere gidebiliyor. Bunlardan bazıları çevreyle etkileşip yok olurken, bazıları da "iyonizasyon kuyusu" denen bir bölgeye sürükleniyor. Bu böl-

gede güçlü elektrik alanları, antihidrojen atomunu iyonize ediyor. Yani pozitronunu antiproton çevresindeki yörüngesinden söküüp atıyor. Pozitron başka bir yere sürüklenip elektronla etkileşerek yok oluyor; antiprotonsa "tuzak içindeki tuzakta" hapis kalıyor. Demet içinde serbest dolaşan (pozitron yakalayıp nötr hale gelememiş), dolayısıyla negatif elektrik yükünü koruyan antiprotonlar, tuzaktaki manyetik alandan kurtulamadıkları için bu ikinci tuzağa yaklaşıyorlar bile. Tuzağa yakalanan antihidrojen atomları da iyonizasyon nedeniyle pozitronlarını kaybettiklerinden, araştırmacı, iyonizasyon kuyusu içinde hapsolmüş antiprotonları sayarak, hiçbir rastlantısal etki ya da hata payı olmadan, oluşmuş antihidrojen atomlarının minimum sayısını doğru olarak belirleyebiliyor.

ATRAP yönteminin ikinci bir avantajı, pozitronu yörüngesinden koparan elektrik alanının şiddetiyle oynayarak antihidrojen atomunun içsel (kuantum) durumu hakkında bilgi edinilmesine

olanak vermesi. Nitekim ATRAP deneyinde, yakalanan antihidrojen atomlarındaki temel kuantum sayısı (n) 43-55 aralığında belirlenmiş. Oysa, hidrojenin en düşük enerji düzeyi, n=1 değeriyle gösteriliyor. Bir başka deyişle ATRAP yöntemi, antihidrojen atomunda antiprotonun, pozitrona ne kadar güçlü bağlandığını da ölçebiliyor.

Bu, antihidrojenle ileride yapılacak deneyler bakımından önemli. Çünkü, antihidrojenin tayfının tam olarak belirlenebilmesi için, hidrojenin n=2 enerji durumundan n=1 (en düşük enerji) durumuna düşerken ölçülen tayfında belirlenen 100 trilyonda bir hata paylı kesinliğe erişilebilmesi gerekiyor. Oysa ATHENA ve ATRAP ekiplerinin deneyleri, antihidrojen oluşumunun mekanizmasını tam olarak açıklamadığı gibi (ör. hangi parçacıkların değiş tokuşuyla), ATRAP deneyinde gözlenen yüksek kuantum sayıları, pozitronların, antiprotonlar çevresinde yüksek orbitalerde dolandığını gösteriyor. Bu da, çekirdek ve pozitron arasındaki bağın gevşek olduğu bir yüksek enerji durumunun işareti. Fizikçilerin bu aşamadan sonraki ilk hedefi, bu yüksek enerji durumunun nedenini açıklayabilmek. Bir aday, "üç cisim tepkimesi" denen bir süreç. Bu, antiprotonun çevresinde dolanan ve bağlanma enerjisini dışarıya taşıyan fazladan bir pozitron bulunması demek.

Üç cisim tepkimesiyle oluşan atomlar genellikle yüksek enerji düzeylerinde oluyorlar, ve bunların en düşük enerji düzeylerine geçiş sırasındaki özelliklerinin ölçülebilmesi için, enerjilerinin düşürülmesi gerekiyor.

Bu da oldukça uzun bir zaman aldığından, tuzaklanan antihidrojen atomlarını çevreyle etkilenip imha olmadan önce dakikalar, saatler, hatta daha uzun süreler boyunca korumayı gerektiriyor. Araştırmacılara göre de elde var olan donanımla bu işi gerçekleştirmek olanaklı değil. Yeni deneyler için uzunca bir arayış zorunlu kılan bir başka neden de, rakip ekiplerin giriştikleri kıran kırana yarışta, ellerindeki antiproton stoklarını tüketmiş olmaları. Bu nedenle yarışın bir sonraki aşaması ancak gelecek yıl başlayabilecek, ve görünen o ki gene fazla uzun süremeyecek. Çünkü kaynaklarını fizikte çok büyük açılımlar yaratması beklenen Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın 2007 yılına kadar tamamlanması için seferber eden CERN'deki bütçe kısıtlamaları, antiproton yavaşlatıcısının bir yıl devre dışı kalmasına yol açacak.

Görülüyor ki, bilimkurgu filmlerindeki uzay gemilerinin antimadde itkisi için gerçekte gereken süpertankerler dolusu antihidrojenin elde edilmesi, öyle bugünün, yarının meselesi değil.

Ancak yine görülüyor ki, tüm bu cansıkıcı gecikmelere karşın antihidrojen yarışındaki ekiplerden birinin Nobel'i götürmesi yalnızca birkaç yılın meselesi...

Raşit Gürdilek

Kaynaklar
Seife, C., "Antihydrogen Rivals Enter the Stretch", Science, 15 Kasım 2002
Levi, B.G., CERN "Group Detects More than 100 Antihydrogens", Physics Today, Kasım 2002
Amerikan Fizik Enstitüsü Bülteni, 18 Eylül 2002
Amerikan Fizik Enstitüsü Bülteni 29 Ekim 2002