

Antimadde

Evrende bir yerlerde antimadde toplayabilseydik her halde çok hoş olurdu. Zira madde ile antimadde karşılaştıklarında birbirlerini yok etmeleri sonucu bunların durgun kütle enerjilerinin en az iki katı kadar ($2mc^2$) enerji açığa çıkaracağı için bu yeni ve müthiş bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkardı.

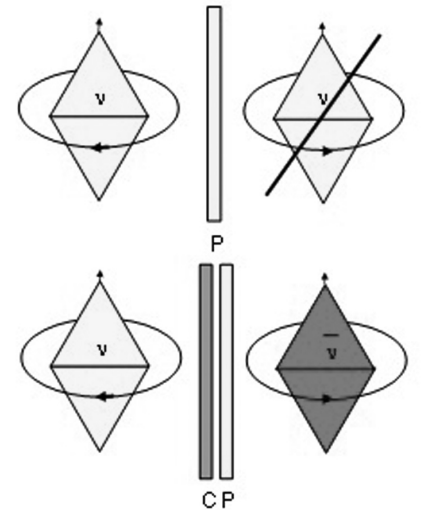
1. Fiziksel simetri ve korunum yasaları

Simetri insanoğlu için hep büyüleyici bir olgu olagelmıştır. Bu kavram ilk olarak geometrik bağlamda ortaya çıkmıştır. Bizim bu yazıda konumuz çerçevesinde ele alacağımız simetritler doğadaki nesnelere sahip oldukları simetritler değil, fiziksel evrenin işleyiş kurallarını belirleyen temel yasaların sahip oldukları simetritlerdir. Bir cismin simetrik olup olmadığı genellikle herkes tarafından kolayca anlaşılabilir bir estetik algı konusudur. Şöyle ki, doğadaki simetrik şeylere bakmaktan büyük zevk alırız. Ancak bir fizik yasasının simetrik olmasının ne anlama geldiği o denli aşikar bir kavram değildir. Bu bağlamda fizikçilerin yaptığı şey, doğadaki nesnelere sahip olduğu geometrik simetrisinin uyandırdığı duyguya benzer bir duyguyu fizik yasaları için duyumsayarak ona yasaların simetrisi adını vermektir. Şimdi simetri kavramına nasıl işlevsel bir tanım getirebileceğimize kısaca değinelim. Sözgelimi, kare diye bildiğimiz geometrik şekle sahip bir nesnenin simetrik olması ne demektir? Bu nesne özel bir simetriye sahiptir ve onu kedisine dik bir eksen etrafında 90 derece döndürürsem de gene aynı görünür. Matematikçi Weyl simetri için genel kabul görmüş şu tanımını vermiştir: Eğer bir nesne üzerin-

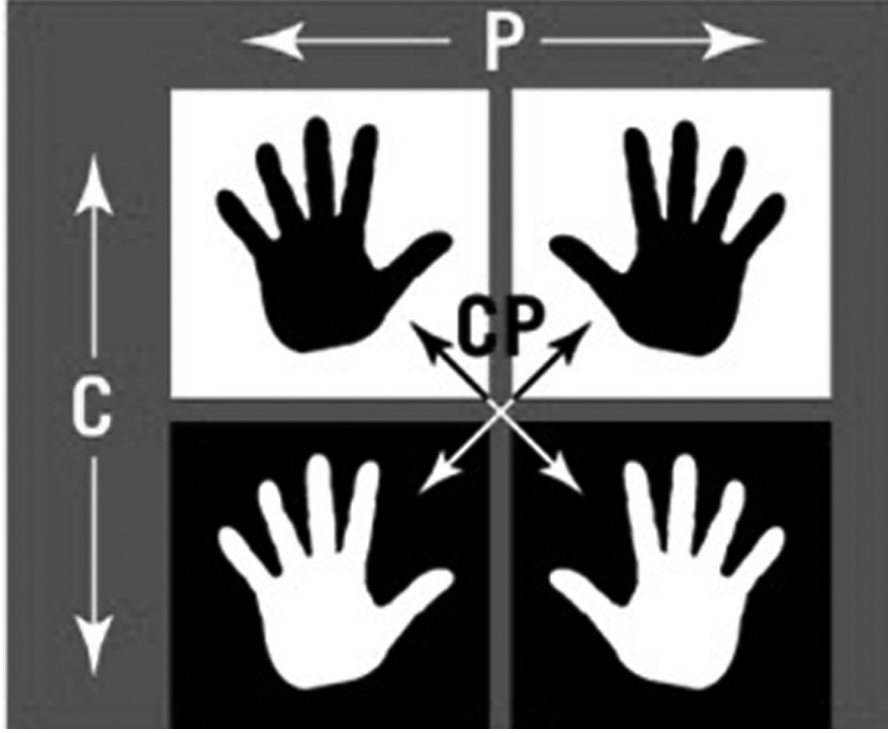
de bir işlem yaptıktan sonra o nesne ilk halinde görünüyorsa o nesneye simetrik denir. Esas olarak nesnelere geometrik simetrisi üzerine kurulmuş olan bu tanım fizik yasalarının simetrisine de kolayca genellenebilir. Şöyle ki fizik yasaları üzerinde onları hiç bir şekilde değiştirmeyen 'bazı işlemler' yapabiliyorsak bu yasalar o işlemler altında simetriktir diyoruz.

Bu tür simetriterin basit örnekleri uzayda ötelenme, zamanda ötelenme (belki de ertelenme desek daha alışılmış gelecek) ve uzayda sabit dönmedir. Yer kısıtı nedeni ile uzay ve zamana ilişkin bu olağanüstü önemli simetriterin teknik ayrıntısına burada giremeyeceğiz. Yalnızca ne den-

Fizikçilerin yaptığı şey, doğadaki nesnelere sahip olduğu geometrik simetrisinin uyandırdığı duyguya benzer bir duyguyu fizik yasaları için duyumsayarak ona yasaların simetrisi adını vermektir.



CP Dönüşümü altında Nötrino Parçacığı



CP Bozunması
Sol Elli Parçacık=>Sağ Elli anti-parçacık

li önemli olduklarına bir tek örnek olarak şu kadarını söylemekle yetineyim: İki cismin arasındaki uzaklıktan söz edebiliyorsak bu fizik yasalarının uzayda ötelenmeler altında simetrik olmasındandır.

Şimdi fizik yasalarının sahip olduğu simetrimlerle korunum yasaları arasındaki ilişkiye kısaca değinelim. Öncelikle korunum yasasından ne anladığımızı görelim. Fizikteki korunum yasası şöyle tanımlanır: Herhangi bir anda bir fiziksel nicelik için hesaplama sonucu bir değer bulduğumuzu düşünelim. Daha sonra pek çok şey olup bittikten sonra bu niceliği yeniden hesapladığımızda aynı değeri buluyorsak bu niceliğin korunduğu anlamına gelir. Korunan bu tür niceliklere en bilinen örnekler enerji, momentum ve açısal momentumdur. Ancak doğada başka tür korunum yasaları da vardır. Bir tek örnek vermek gerekirse bunların en bilineni ve en kolay anlaşılır olanı elektrik yükünün korunumudur. Hemen belirtelim ki,

parçacıkların mikro evreninde yükün korunumu ile aynı türden pek çok korunum yasası vardır. Korunum yasaları ile simetri yasaları arasında son derece derin bir bağlantı vardır. Şöyle ki, örneğin uzay ve zaman içindeki ötelenmeler ve uzayda sabit dönmele fizik yasalarının sahip olduğu simetrimler ise (yani fizik kanunları bu işlemlerin yapıldığını farketmiyorsa), bunlara karşı gelen korunan nicelikler vardır ve bunlar sırasıyla momentum, enerji ve açısal momentumdur. Özetlersek, bir süreçte fiziksel bir büyüklük korunuyorsa o fiziksel süreç matematiksel olarak bir simetriye sahiptir ve bunun tersi de doğrudur.

Uzay ve zamana ilişkin simetrimlerle bunlara karşılık gelen korunum yasaları arasındaki ilişki Klasik Fizik çerçevesinde oldukça iyi bir şekilde anlaşılabilir, ancak elektrik yükünün korunumu ve benzer korunum yasalarının tümü birden gözönüne alındığında bu ilişkinin en iyi anlatım ortamı Kuantum Mekanikidir. Kendi

başına son derece ilginç ve derin olan bu konuya bir nokta koyup Kuantum Mekanikisi ile Özel Görelilik Teorisinin zorunlu olarak bulunduğu parçacıkların mikro evreninde karşımıza çıkan son derece ilginç ve derin bir konuya, anti madde ve CP simetrisi konusuna, dikkatimizi çevirelim.

2) Parçacıkların mikro evreni ve simetrimler

Simetri ve korunum yasaları arasındaki ilişkinin en basit örneği elektromanyetizmanın elektrik yük değişmezliği ile ilgili olan simetridir. Bunun bir adım ötesi "izotopik spin" olarak adlandırılan simetridir. Bu simetrimin temeli, proton ve nötronların çok benzer parçacıklar olmalarıdır. En belirgin farkları ise taşıdıkları elektrik yüklerindedir. Diğer fark ise son derece küçük de olsa kütleleri arasındadır. Bunlar dışındaki diğer tüm özellikleri aynıdır. Dolayısı ile elektrik yüklerinin farklılığını ayırt edecek elektromagnetik kuvvetlerin bir şekilde söndürüldüğü bir ortamda, protonlarla nötronları birbirleriyle değiş tokuş ettiğimizde kuvvetli etkileşmelerin değişmemesini bekleyebiliriz.

Şimdi konumuz çerçevesinde simetrimler arasındaki önemli bir ayırımdan bahsedelim: Global ve lokal simetrimler. Global simetrimler fiziksel bir teorinin evrenin her noktasında aynı anda ve daima sahip olduğu simetrimlerdir. Lokal simetrimler ise evrenin her

Parçacıkların mikro evreninde yükün korunumu ile aynı türden pek çok korunum yasası vardır. Korunum yasaları ile simetri yasaları arasında son derece derin bir bağlantı vardır.

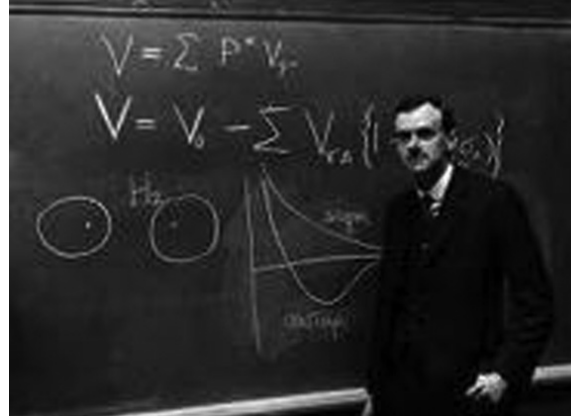
noktasında ve zamanın her anında birbirinden bağımsız olarak yapılan dönüşümler altında sahip olunan simetridir (bu duruma kimi fizikçilerce bir hoşluk olarak nükleer demokrasi yakıştırması yapılmıştır).

Lokal bir simetri üzerine bir (ayar) alan teorisi inşa ederken, yani maddeyi temsil eden, söz gelimi, fermiyonlardan (kuark ve leptonlar) başlayarak bir alan teorisi inşa edilirken, bu lokal dönüşümler altında değişmezliği sağlamanın yolu ona yeni bir “şey” eklemektir. Bu yeni şey kuvvet, daha kesin bir ifadeyle, bu kuvveti taşıyacak alandır.

Doğanın yapısını ve işlevini anlamak en temel düzeyde elementer parçacıkların birbirleriyle nasıl etkileştiklerini anlamayı gerektirir. Bu tür bir teori bir anlamda doğanın temel kuvvetlerinin teorisidir. Şu ana kadar doğada dört farklı tür kuvvetin mevcudiyeti biliniyor.

Bu kuvvetlerden ikisi, elektromanyetizma ve gravitasyon, sonsuz menzillidir ve bu nedenle de herkes tarafından etkileri hissedilebilmekte ve çok iyi bilinmektedir. Kısaca “zayıf” ve “güçlü” olarak adlandırılan diğer ikisi doğrudan algılanamaz. Çünkü etkileri çok kısa menzillidir, atom çekirdeği ölçeğinin ötesine erişemezler. Güçlü etkileşme atom çekirdeği içindeki proton ve nötronu birbirlerine bağlar; bir başka bakış açısından

Einstein’in Özel Görelilik Teorisi çerçevesinde enerji, momentum ve kütleyle birbiriyle ilişkilendiren bağıntı Newton fiziğindeki farklı olarak bu üç büyüklüğün kuadratik ifadelerini içermektedir.



V. FITCH - J. CRONIN (1980 Nobel Ödülü)

da protonu ve nötronu oluşturduğu düşünülen kuarkları birbirlerine bağlar. Zayıf etkileşmeler ise esas olarak bazı parçacıkların bozunmalarından (atom çekirdeği ölçeğinde radyoaktif bozunmalardan) sorumludur.

Fizikçilerin çok eskilere uzanan düşü tüm bilinen etkileşmeleri (kuvvetleri) içeren (tek bir çatı altında birleştiren) bir master teori oluşturmaktır. Lokal simetriye sahip ilk birleşik ayar teorisi Maxwell tarafından 1868 yılında geliştirilen elektromanyetizma teorisidir. Tam anlamıyla bir birleştirme henüz gerçekleştirilmiş değil; ancak geçen 30-40 yılda bu doğrultuda çok önemli adımlar atılmıştır.

Bu konularda çok fazla teknik ayrıntıya girmek bu dergi formatında kuşkusuz mümkün değil. Ancak şu kadarını söylemek gerek: Bu teorilerin ortak özelliği kuvvetlerin doğanın lokal simetridir ile ilişkilendirilmesidir. Şöyle ki, farklı kuvvetler farklı simetridir. Bu kuvvetler bir anlamda matematiksel olarak bu simetridir aracılığıyla tanımlanır. Bir elektron bir foton ışıdığı anda elektrik yükü korunur. Kuarklar gluonlar aracılığıyla etkileştiğinde korunan ise “renk” yüküdür.

3) Özel Görelilik Teorisi’nde negatif enerji sorunsalı

Einstein’in Özel Görelilik Teorisi çerçevesinde enerji, momentum ve

kütleyi birbiriyle ilişkilendiren bağıntı Newton fiziğindeki farklı olarak bu üç büyüklüğün kuadratik ifadelerini içermektedir. Bu da ışığın hızının, kaynağın ya da gözlemcinin hareketinden bağımsız olarak evrensel bir sabit olması ve evrenin uzayla zamanı aynı statüye yükselten dört boyutlu yapısının bir sonucudur. Bu ifade kullanılarak enerji, momentum ve kütle cinsinden ifade edilmek istenirse, bir kare kök alma işlemi gerçekleştirileceğinden enerji için pozitif bir değer yanında bir de negatif değer buluruz. Zira her sayının iki tane kare kökü vardır. Örneğin 1 sayısının kare kökü olarak iki değer vardır: +1 ve -1. Gerçekten de bu iki sayının da karesi alındığında (kendileriyle çarpıldığında) 1 bulunur. Yani pozitif bir sayının “diğer” karekökü hep negatif bir sayıdır.

Einstein’in matematiksel olarak kuadratik karakterde olan enerji-momentum bağıntısından elde edilen enerji değerinin hep pozitif olması mı gerekir? Enerji için negatif değeri elde ettiğimiz matematik çözümün fiziksel bir anlamı var mıdır? Varsa nedir?

Sağ duyumuz bize enerjinin, özellikle de hareketsiz bir kütle için enerjisinin (mc²) pozitif değerde olması gerektiğini söyler. Bu nedenle de fizikçiler özel görelilikle 100 yıl kadar önce ilk uğraşmaya başladıklarında bu negatif enerjiyi saçma bularak bu

matematiksel değere doğada herhangi bir fiziksel gerçekliğin karşı gelmediğini düşünmeyi tercih ettiler.

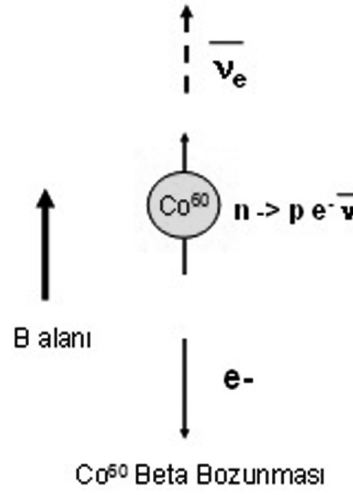
Ancak şu sorunun er ya da geç sorulması kaçınılmazdı: Acaba böyle negatif enerjili parçacıklar da doğada bulunabilir mi? Yanıt evet ise bu parçacıklar hareketsizken, yani sıfır momentumda, bu tür bir parçacığın enerjisi $-mc^2$ olacaktır. Bu da bu tür parçacıkların momentumları arttıkça enerjilerinin azalacağı anlamına gelir. Acayip bir sonuç. Ancak sağ duyu bağlamındaki tek acayıplık bu olsa iyi. Şöyle ki, diğer parçacıklarla çarpıştıkça sürekli olarak enerji kaybedecekler ve foton yaydıkça hızlanacaklardır. Yani enerjileri gittikçe daha fazla negatifleşecek ve sonunda sonsuz derecede negatif olacaktır. Bu tür parçacıklar sürekli olarak hızlanacak ve en sonunda bir sonsuz enerji kuyusuna düşeceklerdir. Sonunda da tüm evren bu sonsuz derecede negatif enerjiye sahip acayip parçacıklarla dolup taşacaktır.

Bu tuhaflığın arkasında Özel Görelilik Teorisinin temel özellikleri yatmaktadır. Aynı özelliklerin hareketli saatlerin yavaşlaması ve harekete paralel uzunlukların büzülmesi gibi fiziksel olarak test edilmiş ve doğruluğu kanıtlanmış olguların da temelini oluşturduğu hatırlanınca, bu tuhaf negatif enerjili parçacık konusunu hemen elimizin tersiyle bir tarafa atmıyoruz.

4) Kuantum Teorisi Özel Görelilik'le buluşuyor: Antimadde

Ne var ki, bu tuhaflık görelilik hızlarda hareket eden bir elektronun (spin adını verdiğimiz içsel bir açısal momentum taşıyan ve evrendeki atomların temel yapı taşlarından olan bir parçacık) Kuantum Teorisini inşa etmeye çalıştığımızda daha da rahatsız edici hale gelir.

Göreceli olmayan kuantum mekaniği 1923-1926 yılları arasında inşa



Parite Bozunması 1957

edilmiştir. Bu sürecin hemen ardından bu kuantum mekaniğin göreceli hızlar bölgesine genelleştirilmesi konusu ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda ilk önemli kazanım Dirac tarafından ortaya atılan ve kendi adını taşıyan denklemdir. Bu denklem göreceli enerji momentum bağıntısını sağlayan serbest elektronların hareketini betimliyordu. Bu denklem tüm basitlik ve güzelliğine karşın, çok önemli bir sıkıntıyı da beraberinde getirmişti. Şöyle ki, her bir pozitif enerjili çözüme ilaveten bir de negatif enerjili çözüm mevcuttu. Bu durumda matematiksel tutarlılık için enerji-momentum bağıntısındaki negatif işaretli enerji karekökünün mutlaka hesaba dahil edilmesi gerekir. Dolayısı ile negatif enerjili durum da elektronun mümkün bir kuantum durumu olarak karşımıza çıkmaktadır. Böyle negatif enerji taşıyan parçacıklar fiziksel dünyada gerçekten varsa, bunlar bir dış alanın etkisi altında elektronların tersi yönünde ivmeleneceklerdir. Dirac denkleminde bir dış alanın etkisi altında pozitif enerjili bir durumdan negatif enerjili bir duruma geçiş olasılığı sıfırdan farklıdır. Böyle geçişlerde enerji korunum yasası gereği dışarı bir enerji yayılacaktır.

Bu bizi hemen çok ciddi bir so-

runla karşı karşıya getirmektedir; şöyle ki, artık en basit hidrojen atomu bile kararlı olmayacaktır. Daha açık söylersek, bütün fiziksel durumlar daha düşük enerjili durumlara doğru evrilme eğiliminde olduğundan, pozitif enerjili elektron elektromagnetik ışığa (foton) yayarak $2mc^2$ enerji değerine kadar iner ve bu durumda bir negatif enerjili elektrona dönüşerek sonsuz negatif enerji kuyusuna düşüşüne başlar. Açıkça görülmektedir ki, negatif enerjili durumların mevcudiyeti bütün evrenin kararsız olduğu sonucuna ulaştırmaktadır. Özetlersek, elektrik yükü taşıyan dolayısı ile elektromagnetik etkileşmelere girebilen elektronun Einstein'ın Özel Görelilik Teorisi ile uyumlu Kuantum Teorisini inşa girişimlerinin ilk aşamalarında negatif enerjili durumlar konusu en büyük sorunlardan birisini oluşturmuştur. Hemen hatırlatalım ki, hidrojen atomunun görelilik olmayan kuantum mekaniği çerçevesindeki (örneğin Schrödinger) formülasyonunda böyle bir sorunla karşılaşılmamıştı. Dolayısı ile bu sorun Kuantum Teorisinden değil, görelilik teorisinden kaynaklanıyordu.

Böyle bir şeye fiziksel evrende rastlanmadığına göre, bu sonsuz enerji yayarak boşluğa düşüş sürecini teorik

Elektrik yükü taşıyan dolayısı ile elektromagnetik etkileşmelere girebilen elektronun Einstein'ın Özel Görelilik Teorisi ile uyumlu Kuantum Teorisini inşa girişimlerinin ilk aşamalarında negatif enerjili durumlar konusu en büyük sorunlardan birisini oluşturmuştur.

olarak yasaklamanın bir yolu bulunmalıydı. Bu sorunu çözme işi de bu teorinin mimarı olan Dirac'a düştü. Dirac'ın 1926'da öne sürdüğü çözüm Pauli'nin dışarlama ilkesine dayanıyordu. Fizikğin en derin kanunlarından biri olan bu ilke, iki elektronun (ya da daha genel bir ifadeyle iki fermiyonun) aynı kuantum durumunda olamayacağını söylemektedir. Yani bir elektron bir kuantum durumunu işgal etmişse o durum dolmuş ve başka bir elektrona yer kalmamış demektir. Hemen hatırlatalım ki bildiğimiz madde evreni (yani bu evreni oluşturan atomlar ve moleküller) bu ilke hükümleri çerçevesinde inşa edilmiştir.

Dirac'ın çözüm olarak önerdiği düşüncesine göre negatif enerjili durumların tümü (sonsuz sayıda) elektronlarla doludur. Bu durum düzgün (uniform) bir durum olduğu için, başka hiç bir şey üstüne bir etkisi yoktur; dolayısıyla farkına varamayız. Pauli ilkesi gereği artık pozitif enerjili bir electron, negatif enerji bölgesinde girebileceği boş bir durum olmadığı için bu bölgeye geçiş yapamaz. Altını bir kez daha çizersek, Pauli dışarlama ilkesi, fiziksel dünyada gözlemediğimiz elektronların yalnızca pozitif yük-



C.S. WU

lülük elektronlar olmalarını gerektirir. Atomlarda bulunan bu pozitif enerjili elektronlar artık foton yayarak bu negatif enerji durumlarına doğru düşmeyeceklerdir; zira bunu yapmaktan dışarlanmış ya da alıkonulmuşlardır. Bu açıdan boşluğun kendisi negatif enerjinin olası tüm momentum öz durumlarını içinde barındıran dev bir hareketsiz atom olarak bile düşünülebilir. Dirac'ın bu önerisi negatif enerjiyle ilgili tüm tartışmalara son noktayı koyuyor gibi gözükmekteydi.

Ancak, hikayenin burada bitmediğini Dirac da farketmişti. Zira teorik olarak bu "boşluğu uyarmak" mümkündü. Örneğin, negatif enerjili bir elektronu boşluktan (sonsuz negatif enerji denizinden) koparıp çıkarmak ve pozitif enerjili bir duruma yükseltebilecek bir enerji aktarmayı düşünebiliriz. Böylece boşluk içinde bir delik (deşik mi deseydik?) yaratılacaktır. Bu delikte artık negatif enerjili bir elektron yoktur; yani delik aslında pozitif bir enerjiye sahiptir. Bu durumda aynı zamanda negatif elektrik yüklü bir parçacıktan da 'yoksun' olduğu için pozitif yüklü bir parçacık olarak da yorumlanabilirdi. Vurgulamak için tekrarlayalım: Boşaltılmış negatif enerjili bir durum bir pozitif enerjili durum olarak gözükecektir. Zira, bu durumu ortadan kaldırmak için (doldurmak için) ona negatif enerjili bir elektron yerleştirmemiz gerekir. Benzer şekilde "deliğin" elektrik yükü pozitif enerjili parçacığın yükünün tersi olacaktır.

Bu nesneye günümüzde "pozitron" adını veriyoruz. Bu pozitronlar elektronların antiparçacıklarıdır. Bu delik hareketsizken, m elektronun kütlesi olmak üzere, tam olarak $E=mc^2$ kadar bir enerji değerine sahip olmalıdır. Özel görelilik ve Kuantum Teorisi doğru ise, (ki, bu iki teorinin doğruluğu ortaya atıldıkları yirminci yüzyılın ilk çeyreğinden bu yana yüzlerce deneyle kanıtlanmıştır),

Doğada antimaddenin mevcudiyeti süreksiz (kesikli) bir simetrisinin varlığına işaret etmektedir. Yük eşleniği adı verilen bu yeni simetri C ile gösterilmektedir ve herhangi bir fiziksel süreçteki parçacıkların ilgili antiparçacıkları ile değiştirilmesi işlemine karşı gelmektedir.

elektronların bu şekilde betimlenmiş antiparçacıkları olan pozitronlar da fiziksel parçacıklar olarak doğada mevcut olmalıydılar.

Bu parçacıklar ilk kez Dirac'ın 1926'daki öngörüsünden 7 yıl sonra 1933'te Anderson tarafından sis odasında bir noktada ortaya çıkan elektron ve pozitron çiftlerinin farklı yönlerde bükülmüş yörüngeler üzerinde hareket ettiklerini gözlemleyerek keşfedilmişlerdir. (Dirac teorisi çerçevesinde parçacık-antiparçacık çifti yaratılabilir. Eğer bir gamma ışınının enerjisi bir elektronu negatif enerjili durumdan pozitif enerjili duruma yükseltecek derecede yeterince yüksekse, - Kritik değer $2mc^2$ - çift yaratmak mümkün olacaktır.) Sis odası eskiden kullanılan bir çeşit parçacık hızlandırıcısıdır. İçinde yüksek bir magnetik alan ve su ya da alkolle aşırı derecede doyurulmuş hava bulunmaktadır. Yüklü parçacık sis odası içinde hareket ederken yolu üzerindeki doymuş buharı küçük damlacıklara yoğunlaştırarak parçacığın izlediği yolu belirtir; bu izlerin fotoğrafı çekilerek ve bu fotoğraflar üzerinde ölçümler yapılarak analiz çalışmaları yürütülür. Burada magnetik

alan yüklü parçacıkların yörüngesinde bükülmeye neden olarak bunları yüksüzlerden ayırmaya yaramaktadır.

Parçacıklar anti parçacıklarıyla çarpıştığında, ortaya (başka tür parçacıkların enerjileri olarak) belli miktarda enerji çıkararak, yok olurlar. Örneğin elektronlar deliklerden atlayarak “sonsuz Dirac denizindeki” yerine geri dönerler ve ortaya foton ve küçük kütleli parçacıklar şeklinde enerji çıkar.

5) Zamanın tersine dönme değişmezliği ve antimadde

Şimdi antimaddenin uzay ve zamanın tersine dönme simetrisi ile olan ilişkisini ele alacağız. Bu yöndeki ilk adım 1949’da Feynman tarafından atılmıştır. Dirac’ın yorumundan on üç yıl sonra yapılan bu yeni yorum çerçevesinde antiparçacık bir parçacığın zamanda geriye hareket etmesi olarak tanımlanıyordu. Kimilerince anti parçacıkların bu yeni yorumu, Dirac’ın sonsuz negatif enerji denizindeki bir delikten daha fiziksel nitelikli bir yorumdu.

Doğadaki her parçacık için bu parçacığa karşılık gelen bir antiparçacık bulunmaktadır. Daha önce bu bağlamda pozitron elektron ilişkisinden bahsetmiştik. Bu iki parçacık çarpıştığında ikisi de ortadan yok olur; geriye çarpışma öncesi sahip olunan toplam enerji ve momentumu taşıyan fotonlar çıkar. Benzer süreçler proton hızlandırıcılarında da gerçekleşmektedir. Örneğin, A.B.D. deki Fermi Laboratuvarındaki hızlandırıcı (Te-

vatron) protonları bir yönde hızlandırırken diğer yönde de antiprotonları hızlandırır ve bunlar özel olarak belirlenmiş bir yerde kafa kafaya çarpışırlar. Bu tip çarpışmalarda yeni madde-antimadde çiftleri de yaratılabilir; örneğin kuark-antikuark çiftleri gibi.

Doğada antimaddenin mevcudiyeti süreksiz (kesikli) bir simetrisinin varlığına işaret etmektedir. Yük eşleniği adı verilen bu yeni simetri C ile gösterilmektedir ve herhangi bir fiziksel süreçteki parçacıkların ilgili antiparçacıkları ile değiştirilmesi işlemine karşı gelmektedir. Bu simetri bize parçacık dünyasındaki fizik yasalarının antiparçacık dünyasında da aynı olduğunu söylemektedir. Örneğin, bir antiproton ve antielektron (pozitron) oluşan bir antihidrojen atomu normal hidrojen atomu ile (örneğin, enerji düzeyleri, pozitron yörüngelerinin boyutları vb bakımlardan) aynı özelliklere sahip olacaktır.

“Kesikli” simetrisinin önemlilerinden bir tanesi de P ile gösterilen parite simetrisidir. Bir fiziksel sürecin ayna simetrisine dönüştürülmesi (bütün konum koordinatlarının eksi değerleri ile değiştirilmesi) anlamına gelen bu simetri elektromagnetik ve kuvvetli etkileşimler tarafından korunuyorsa da zayıf etkileşimler bölgesinde korunmamaktadır; yani bir simetri olmaktan çıkmaktadır. Benzer bir diğer simetri de T ile gösterilen



A. SAKHAROV, 1975 Nobel Barış Ödülü

Evrendeki Baryon Asimetrisi ile CP Kırılması arasındaki ilişki 1967

$$(n_B - n_{\bar{B}}) / n_\gamma = 6.1 \times 10^{-10}$$

ve zamanın akışını tersine çevirme işlemine karşı gelen bir simetridir. Bu işlem tüm fiziksel denklemlerimizde “t” yerine “-t” koymak anlamına gelmektedir; yani bu işlemle başlangıçla bitiş konumlarının yeri değiştirilmektedir. Bu işlem, sürecin bir simetrisi ise fiziksel sonuçlarda herhangi bir değişikliğe yol açmamalıdır.

Dikkat edilirse P ve T işlemleri uzay-zamandaki işlemlerdir. Halbuki C ile gösterdiğimiz işlem bir anlamda bunlardan tamamen farklı tabiiatta bir işlemdir ve bir parçacık yerine antiparçacığının konulmasına karşı gelmektedir. Şimdi şu soruyu soralım kendimize: Bu simetri acaba parçacık ve antiparçacıkların taşınması gereken özellikleri birbirleri ile ilişkilendirmemize olanak verebilir mi? Dirac teorisi

Kuantum mekaniğinin olasılıksal yorumunun doğru olması ve pek çok fiziksel süreci başarıyla açıklayabilmesi CPT simetrisinin bir sonucudur.

çerçevesinde C simetrisi bu nesnelerin kütlelerinin aynı olduğunu söyler. Acaba spinleri hakkında da herhangi bir şey söyleyebilir mi?

Bu konuyu enine boyuna tartışmak amacıyla yukarıda giriş kesiminde sözettiğim etkileşmelerden zayıf etkileşmelere geri dönmek istiyorum. Bu çerçevede en iyi bilinen örnek P'nin korunmadığı bir zayıf bozunma süreci olan eksi yüklü pionun müona bozunma sürecidir. Bu sürece C işlemi uygularsak karşımıza parçacıklar yerine antiparçacıkların geçtiği bir süreç çıkar; ama spinler ve momentumlar orjinal süreçteki ile aynı kalmıştır. Teknik ayrıntıya giremesek de

burada antiparçacık sürecinde yaratılan antimüonun helisitesinin (spinin momentum doğrultusundaki bileşenin) negatif olması gerekir.

Paritenin zayıf etkileşmelerde korunmadığının keşfinden sonra bu süreç 1957'de bir deneyle sınırdan deney sonucunda antimüonun helisitesinin negatif değil pozitif olduğu gözlemlendi. Dolayısıyla pion ya da müon bozunması gibi parite simetrisinin ihlal edildiği zayıf etkileşme süreçlerinde C simetrisinin de ihlal edildiği gözlemlenmiştir. Yani belli bir fiziksel süreçteki parçacıkların yerine antiparçacıkları koymak bu sürecin bir simetriğini vermez; çünkü deney sonuçlarında

Eğer CPT simetrisi kırılırsa bu durumda kuantum mekaniksel olasılık korunmayacak yani mikroevrenin işleyiş kuralları yeniden gözden geçirilmek zorunda kalınacaktır.

helisiteler C simetrisi çerçevesinde beklenenlerin zıt işaretli olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu sonuç hemen şöyle kolaycı bir çıkış yolunu akla getirmektedir. Sürecin P-dönüşümünü alırsak (yani tüm helisiteleri tersine çevirirsek) ve aynı anda C işlemi ile parçacıklar yerine antiparçacıklar koyarsak, bu kombine CP işlemi doğadaki korunumlu bir simetriye karşı gelir mi? Yani zayıf etkileşme süreçlerinde P ve C tek başlarına korunmuyorlarsa da belki de bunların CP bileşkesi korunuyordur diye düşünebilir miyiz? Hemen belirtelim ki negatif yüklü ve negatif helisiteli bir müona CP işlemi uygularsak karşımıza pozitif yüklü ve pozitif helisiteli bir antimüon çıkacaktır. Artı yüklü pion bozulması sürecinde yaratılan antimüonun 1957'deki deneyde gerçekten de pozitif helisiteye sahip olduğu gözlemlendiğine göre, kombine CP'nin zayıf pion bozunma sürecinin bir simetrisi olduğunu rahatça söyleyebiliriz.

Ancak, böyle bir simetriye ulaşmanın mutluluğu çok uzun sürmedi. 1964'te Fitch ve Cronin tarafından yapılan çok önemli bir deneyle pionların yapı itibarıyla akrabaları olan K-mezonlarının (kuark ve antikuarktan oluşan nesnelere ve bileşimlerine giren kuarkların tabiatına bağlı olarak iki elektrik yüklü ve iki yüksüz olmak üzere dört tanedirler) yüksüz olanlarının zayıf bozunmalarında



Doğadaki simetrik şeylere bakmaktan büyük zevk alırız. Ancak bir fizik yasasının simetrik olmasının ne anlama geldiği o denli aşikar bir kavram değildir.

bu yeni kombine CP simetrisinin de korunumlu olmadığı gösterildi. Yani yüklü pilyonların zayıf bozunmalarında korunuyorsa da, kombine CP tüm zayıf etkileşme süreçlerinde değişmez değildi. CP simetrisinin bu yıkılışı günümüze kadar geçen 47 yıldır yüksek enerji fiziği araştırmalarının en önemli problemlerinden birisi olarak önümüzde durmaktadır. Bu kırılma mekanizmasının nasıl gerçekleştiğini tam olarak henüz bilmiyoruz. Bildiğimiz bir şey var ki, bu da bu simetrisinin iyiki kırılmış olduğu. Zira CP korunumlu bir simetri olsaydı, şu anda parçası olduğumuz evren tamamen bambaşka bir yer olurdu; içinde ne galaksilerin, ne yıldızların, ne güneş sistemimizin ve dolayısıyla ne de bizim olmayacağımız kozmik bir çöl. Yani doğada bir simetri yasası olarak CP'nin ihlal edilmiş olması insanlık açısından çok iyi bir şeydir.

CP simetrisinin ihlali karşımıza çok gizemli başka sorular çıkarmaktadır. Bunlardan en önemlisi şu: Bildiğimiz evren neden yalnızca maddeden oluşmaktadır da antimaddeden değil? Bunu tartışmak için evrenin günümüzdeki tüm laboratuvarlarda gördüğümüz tüm enerjilerden çok daha yüksek düzeyde inanılmaz derecede sıcak olduğu büyük patlama anına geni dönüşmesi gerekiyor. Teori

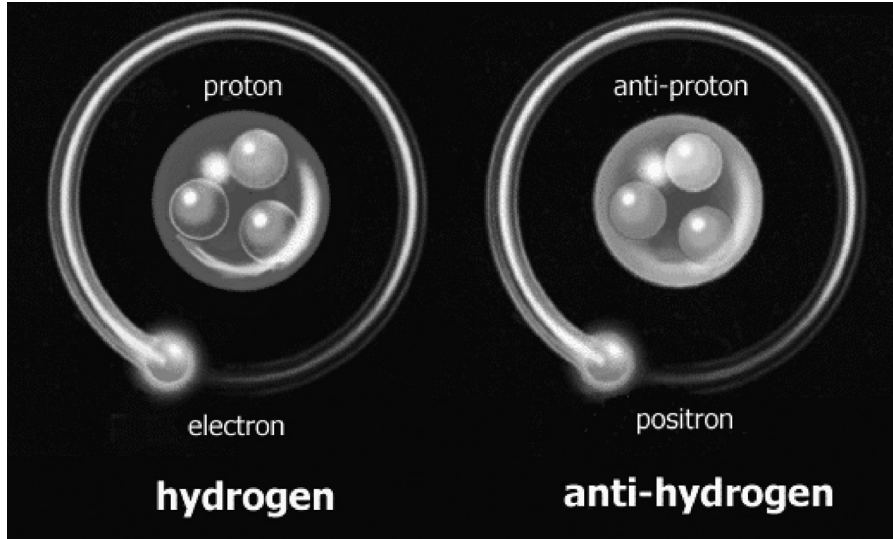
bize bu noktada bu çok yüksek sıcaklıktaki enerji plazmasında madde ve antimaddenin eşit miktarda olduğunu söylemektedir. Evren genişleyip soğudukça CP simetrisinin ihlali nedeniyle bazı çok ağır madde parçacıkları antiparçacıklarına göre daha farklı bir şekilde bozunmuş olabilir. Zira, CP simetrisinin ihlali aslında parçacık ve antiparçacıkların birbirlerinden biraz farklı davrandıkları anlamına gelmektedir. Belki de bozunmadaki bu davranış asimetrisi, genişleme-soğuma süreci boyunca devam ederek normal maddenin (örneğin hidrojen) antimaddeye (antihidrojen) göre biraz daha fazla üretilmiş olmasına neden olmuş olabilir. Ancak evren genişlemeye ve soğumaya devam ederken belli bir evrede (artık madde-antimadde çifti yaratılma enerji eşiği geçildikten sonra) madde ve antimadde birbirini yok etmiş ve geriye bir miktar "artık madde" kalmıştır. Bu asimetrik madde üretimi en sonunda evrende gördüğümüz herşeyi ve bizi üretmiştir.

Günümüzde üzerinde yoğun olarak çalışılan araştırma problemlerinden biri bu denli önemli sonuçları olan CP simetrisi kırılmasına neden olabilecek "yeni" tür bir etkileşme mekanizması olup olmadığıdır. Böyle bir mekanizma henüz keşfedilmemiş-

tir; ancak üç kuark ailesinin varlığı ve bunların kütlelerini oluşturmak için geliştirilen karışım mekanizmasında CP kırıcı bir faz açının doğal olarak yer aldığı gösterildiği mütevazı bir mekanizmaya (CKM) geçen yıl Nobel ödülü verilmiş olması konuya atfedilen önemin bir göstergesidir. İlk olarak yüksüz K mezonunda görülen CP ihlali, yenilerde ağır kuarklar içeren ve K mezonlarının bir bakıma kuzenleri niteliğinde olan pek çok ağır mezonların (B ve D mezonları) zayıf bozunmalarında da görülmektedir.

6) CPT simetrisi

Çok iyi bilinmektedir ki, mikroevrendeki süreçler kuantum mekanik yasalarına göre işlemektedir. Kuantum mekanik olasılıksal kavramlar üzerinde inşa edilmiş bir teoridir. Dolayısıyla bu çerçevede olasılık teorisinin aksiyomları merkezi bir rol oynamaktadır. Şöyleki, bir sürecin tüm sonuçlarının olasılıklarının toplamı 'bir' olmalıdır. Bu noktadan hareketle aksiyomatik yöntemler kullanılarak herhangi bir fiziksel süreç için kombine CPT işlemlerinin kesin bir simetri olduğu ispat edilmiştir. Bu şu anlama gelmektedir: Bu süreçte yer alan tüm parçacıkları antiparçacıklarla değiştirdiğimiz (C işlemi), aynadan yansıttığımız (P işlemi) ve kamera ile zamanı geri çevirerek gözlemlediğimizde (T işlemi) bulduğumuz sonuç, olayın normal ve kendiliğinden akışı ile bulacağımız sonuç ile aynı olmalıdır. Yani bir anlamda kuantum mekaniğinin olasılıksal yorumunun doğru olması ve pek çok fiziksel süreci başarıyla açıklayabilmesi CPT simetrisinin bir sonucudur. Son sıralarda bu kırılabileceği seçeneği üzerinde çalışmalar sürmektedir. Ancak CPT'nin ihlali konusunda elimizde herhangi bir deneysel veri bulunmamaktadır. Eğer CPT simetrisi kırılırsa bu durumda kuantum mekaniksel olasılık korunmayacak yani mikroevrenin

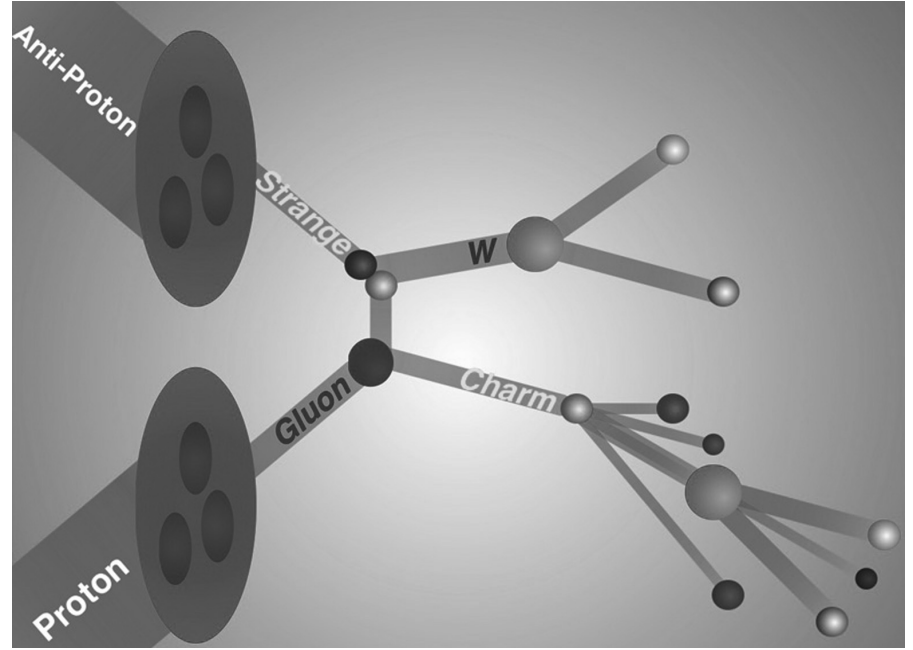


işleyiş kuralları yeniden gözden geçirilmek zorunda kalınacaktır. Yine de şunu sormadan edemiyoruz: Belki de CPT ihlali çok çok küçük ölçeklerde gerçekleşiyordur ve biz bugün bunu farkedebilecek teknik olanaklara henüz sahip değiliz. Bu deneysel bir sorun olarak karşımızda durmaktadır. Yenilerde ortaya çıkan komütatif olmayan uzaylarda (bu tür uzaylarda bir ölçeğin mevcudiyeti uzay-zamanın Lorentz simetrisinin ihlali anlamına geldiğinden bu yaklaşımda CPT ihlali ile Lorentz simetri ihlali arasında bir ilişki kurulduğu dikkatlerden kaçmamalıdır) kuantum mekanik kanunlarının inşa edilmesi çalışmaları bir bakıma bu tür düşünceler üzerine inşa edilmiştir. Son olarak şunu belirtelim: CPT simetrisi ve eğer varsa onun ihlalinin evrendeki daha derin ve gizemli konularla, örneğin evrenin gerçek kökeni ile bir ilgisi var mıdır? Bu soruların cevaplarını ne yazık ki henüz verecek durumda değiliz.

7) Antimadde üzerine teknolojik bir spekülasyon

Pozitronlar bazı nükleer çekirdeklerin bozunması ile doğal olarak üretilmektedir ve tıbbi görüntülemede yaygın olarak kullanılmaktadırlar (PET:Positron Emission Tomography). Şimdi dikkatimizi biraz daha spekülatif fakat dünyanın geleceği yamsal önemde bir konuya çevirelim.

Evrende bir yerlerde antimadde toplayabilseydik her halde çok hoş olurdu. Zira madde ile antimadde karşılaştıklarında birbirlerini yok etmeleri sonucu bunların durgun kütle enerjilerinin en az iki katı kadar ($2mc^2$) enerji açığa çıkaracağı için bu yeni ve müthiş bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkardı. Ne var ki günümüzde hâlâ nedenini anlayamadığımız bir şekilde evrende kullanılabilecek hazır bir antimadde kaynağı yoktur. Bir anlamda CP simetrisinin ihlali bunun neden böyle olduğu ko-



nusunda yeterince aydınlatıcı olabiliyor. Ama tüm bunların altında yatan kesin mekanizmaları bilmiyoruz. Bunun içinde yeni keşfedilecek fizik kanunlarını beklememiz gerekmektedir.

Dolayısı ile antimaddeyi bir enerji kaynağı olarak kullanabilmemiz için öncelikle onun hatırı sayılır miktarlarda üretilmesi gerekir.

Bu amaç için düşünülen "günümüzde uçuk sayılabilecek" projelerden bir tanesi güneş enerjisinin çok yoğun olduğu, örneğin güneşin yüzeyinden 1.5-2 milyon km uzaklıklarda bir yörüngede bir parçacık hızlandırıcısı inşa etmektir (bu uzaklıklarda 1m² ye güneşten yaklaşık 10 Mega Watt güç gelmektedir). Buradaki en önemli teknolojik sorun bu sıcaklıklarda erimeyen bir malzeme bulma sorunudur. Bu düzeneği kullanarak yüksek güneş enerjisi sayesinde yılda 500 kg mertebesinde antimadde toplayıp magnetik şişeler içinde dünyaya getirilebilir (yaratılan madde –antimadde çiftlerinden uygun bir mekanizma ile antimaddeyi ayırıp depolararak). Bunun dünyadaki uygun yeni tür enerji santrallerinde madde ile birleşerek yok olması ile 1000 kg lık bir kütleli durgun enerjisine denk ener-

ji ortaya çıkacaktır. Hemen hatırlatalım ki bu değer dünyanın en büyük enerji tüketicisi olan A.B.D'nin yıllık enerji gereksinimini karşılayabilecek kadar yüksek bir değerdir.

Antimaddenin tüm pratik kullanım alanlarının ne olacağının şimdiden görmemiz kuşkusuz mümkün değildir. Ancak emin olduğumuz bir şey var ki, ünlü fizikçi Faraday'ın elektriği ilk bulduğunda muhatap olduğu "peki bu ne işe yarar" sorusuna verdiği yanıtın esinlenerek rahatça söyleyebilirim ki, "gün gelecek, kapitalist ülkeler bundan da çok ciddi miktarlarda vergi gelirleri sağlayacaklardır".

Kaynaklar:

- 1) N. K. Pak, *Kuantum Teorisi- Mikro Evrenin Gizemli Şiiri, Bilim ve Ütopya*, 183, Eylül 2009, s. 08- 15.
- 2) N. K. Pak, *Görelilik Kuramı- Işığın Gizemli Evreni, Bilim ve Ütopya*, 188, Şubat 2010, s. 18- 27.
- 3) N. K. Pak, *Mikro Evrenin Standart Modeli ve Süpersimetri, Bilim ve Ütopya*, 167, Mayıs 2008, s: 22-31.
- 4) N. K. Pak, D. A. Demir, *Büyük Patlama ve Evrenin Genişlemesi, Bilim ve Ütopya*, No: 195, Eylül 2010,s:16-21.
- 5) N. K. Pak, *Evrenin Oluşumu, Bilim ve Ütopya*, No: 195, Eylül 2010,s:12-15.