

Antimadde Dünyası

Doğada bulunan her parçacığın tuhaf yansıma dünyasında bir antimadde eşi var. İkisi biraraya geldiğinde büyük bir ışınım yayarak birbirlerini yok ediyorlar. Fizikçiler artık deneylerinde kullanmak üzere antiparçacıklar ve antimadde atomları üretebiliyorlar.

Alman fizikçisi Werner Heisenberg'e 20. yüzyılın en şaşırtıcı buluşunun ne olduğu sorulduğunda, 1930'larda öngörülen antimaddenin keşfi olduğunu belirtiyordu. Antimadde, sanki evrene tutulan büyülü bir ayna gibiydi; içinde madde dünyasındaki parçacıkların çoğu özelliğinin ters yüz edilmiş halini yansıtan bir ayna. Daha da ilginç madde, yansıması olan antimadde ile karşılaştığında, şiddetli bir gama ışınımı parlamasıyla yok oluyordu.

Bulunuşundan beri antimadde, fizik araştırmalarında en ön sıralarda yerini aldı. Parçacık fizikçileri, temel fizik yasalarını test etmek ve deneylerinde kullanmak için bu maddeden yeterli miktarda ürettiler. Antimadde, tıbbi tarama teknolojisinde de önemli bir rol oynadı. Bilim adamları ve bilim-kurgu yazarları, bir gün antimaddenin tek enerji kaynağı olacağını ve uzay araçlarında kullanılabileceğini söylüyorlar.

Antidünya İpuçları: Pozitronu Yakalama

Antimaddeye ilişkin ilk ipuçları 1920'lerde İngiliz fizikçisi Paul Dirac'ın fizik dünyasındaki en son fikirler olan Einstein'ın özel görelilik teorisi ve kuantum fiziğini biraraya getirmeye çalışmasıyla ortaya çıktı. Özel görelilik teorisi, cisimlerin hızlarının ışık hızına yaklaştığı durumları; kuantum fiziği ise parçacıkların küçük ölçeklerde nasıl davrandıklarını tanımlar. 1925'ten önce bu iki teori birbirinden bağımsız geliştirdi. Fakat atomun içerisindeki elektronun hareketini tanımlamak için her ikisine de ihtiyaç duyuldu. Çünkü elekt-

ronlar ışık hızına yakın hızda hareket ediyorlardı.

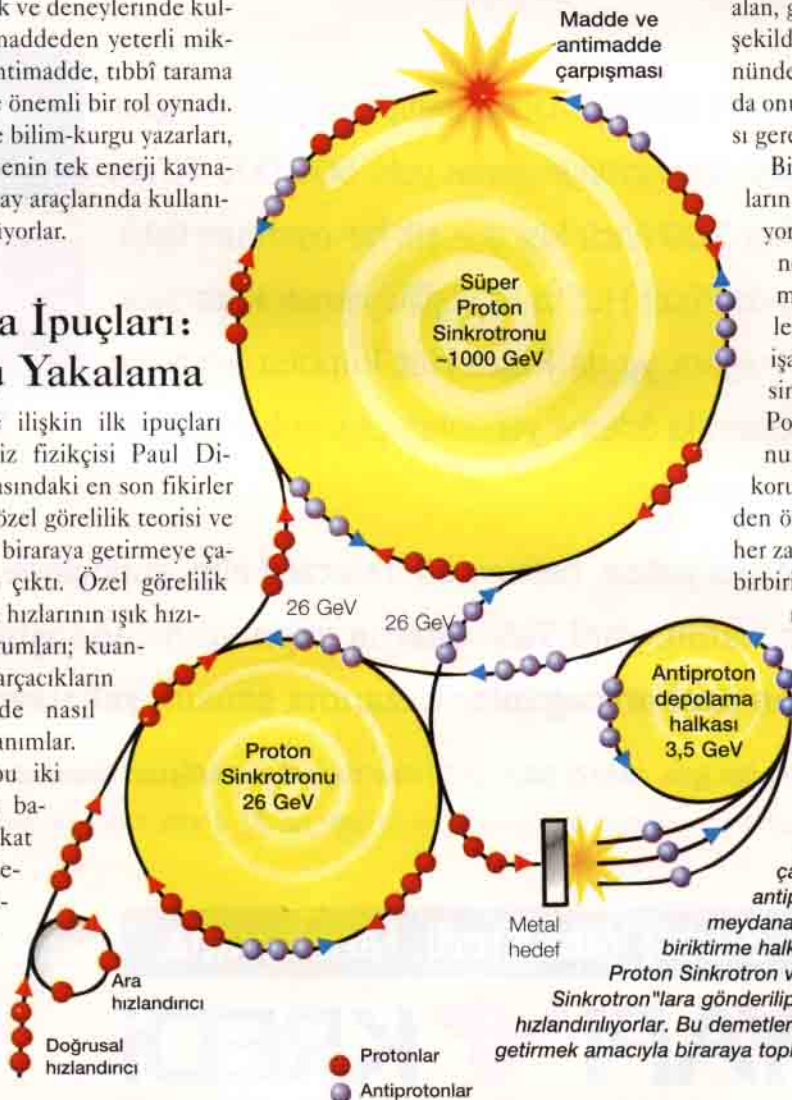
Sonuç olarak Dirac her iki teoriyi birleştirerek "Dirac Denklemi" olarak bilinen, elektronun görelilik kuantum teorisini ortaya koydu. Işın garip tarafı, Dirac'ın, denkleminde elektronla aynı ağırlıkta ancak zıt yüklü bir parçacığın olması gerektiği üzerinde durması idi. Dirac 1931'de, anti-elektronun diğer adıyla pozitronun varlığından söz ediyordu. Dirac, pozitron ile elektron biraraya geldiğinde gama ışını yayarak bu çiftin yok olduğunu belirledi. Bu işleme yok olma (annihilation) deniliyor.

Pozitronun varlığı 1932'de Amerika- lı fizikçi Carl Anderson tarafından doğrulandı. Anderson, kozmik ışın adı verilen uzaydan gelen yüksek enerjili bir parçacığın, atmosferdeki moleküllerle çarpışmasıyla antiparçacıkların meydana geldiğini farkettiler. Atomaltı parçacıklardan biri olan pozitronun sis odası yardımıyla izlenen hareketleri şekil-2 de gösterilmiştir. Garip olan, saptanan izin, protonun çizdiği izlere göre daha zayıf olmasıydı; bu durum bilim adamlarını, parçacığın elektron olması gerektiği yönünde düşünmeye yönlendiriyordu. Fakat sis odasının çevresindeki manyetik alan, gizemli parçacığı beklenmeyen bir şekilde elektronun hareketinin zıt yönünde hareket etmeye zorluyordu. Bu da onun pozitif yüklü bir parçacık olması gerektiğini gösteriyordu.

Bilim adamları artık bütün parçacıkların bir antimadde eşi olduğunu biliyorlar; protona karşılık bir antiproton, nötrona karşılık antinötron vb. Bu madde-antimadde çiftleri eşit kütleye sahip fakat kuantum sayılarının işareti ters. Elektronlar lepton ailesinden geliyorlar ve lepton sayısı 1. Pozitronun ise lepton sayısı elektronunkine göre zıt, -1. Lepton sayısı korunumlu bir nicelik, yani etkileşimden önce ve sonra bu sayıların toplamı her zaman aynı. Bir elektron ve pozitron birbirini yok ederken açığa çıkan fotonun lepton sayısı ise 0.

Antimaddenin keşfiyle çoğu şa-

Şekil 1: CERN'deki bilim adamları parçacık hızlandırıcılarında kullanılmak üzere antimadde ürettiyorlar. Doğrusal hızlandırıcı, ara hızlandırıcı ve "Proton Sinkrotron"larında protonlar hızlandırılıp metal levhaya çarpıtılıyor. Bu çarpışmalar, antiproton gibi yeni temel parçacıkların meydana gelmesini sağlıyor. Antiprotonlar biriktirme halkalarında toplanıp, demetler halinde Proton Sinkrotron ve sonra da "Süper Proton Sinkrotron"lara gönderilip, burada birbirlerine zıt yönde hızlandırılıyor. Bu demetler sonra birtakım parçacıklar meydana getirmek amacıyla biraraya toplanarak çarpıştırılıyor.

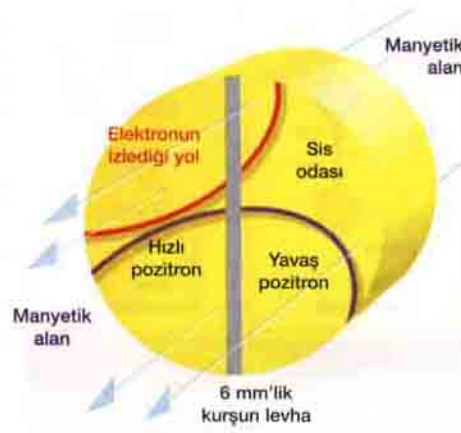


şırtıcı sonuç açıklığa kavuştu. Örneğin kararsız bir çekirdek beta bozunumu adı verilen süreçle bozunur ve bir elektron açığa çıkar. Bilim adamları, çekirdek bozunurken her ne kadar belirli bir enerji değişimi olsa da, açığa çıkan elektronların belirli bir maksimum noktaya kadar enerji spektrumlarının sürekli olduğunu buldular. Bu, maksimum noktanın altında bir enerjiye sahip elektronların olması durumunda eksik olan enerjiye ne olduğu konusu fizikçileri epey düşündürdü. Hatta Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, beta bozunumunun enerjinin korunumu yasasını ihlal ettiğini düşünmüştü. Ancak 1930'da, Avusturya asıllı İsviçre'li fizikçi Wolfgang Pauli bir çözüm önerdi: Eksik enerji, gözlenemeyen bir parçacık tarafından taşınıyordu, parçacığın adı da nötrino'ydu.

Bugün beta bozunumu sırasında ortaya çıkan elektrona eşlik eden parçacığın antinötrino olduğu biliniyor. Beta bozunumuyla +1 lepton sayılı elektron ortaya çıkıyor. Eğer bu işlem yalıtılmış bir ortamda gerçekleşmiş olsaydı lepton sayısı korunumu ihlal edilmiş olacaktı. Bu nedenle çekirdek aynı zamanda -1 lepton sayılı bir antilepton da açığa çıkarmalı ki bu da antinötrindir. Bu antileptonun diğer özellikleri, örneğin spin ve elektrik yük farkı, benzer korunum yasalarından çıkarılabiliyor. Pauli'nin varsayımı 1950'lerde antinötrinoların deneysel olarak bulunmasıyla doğrulanmış oldu.

Fizikçiler, aynı yıllarda antiproton ve antinötronu, parçacık hızlandırıcılarında yapılan şiddetli çarpışmalar sonucunda ortaya çıkardılar. Bu çarpışmalar sırasında, hızlandırılmış parçacıkların kinetik enerjileri Einstein'ın ünlü $E=mc^2$ denklemine göre kütleye (m) dönüşüyordu. Burada E çarpışan parçacıkların toplam enerjisi ve c ışık hızını temsil ediyor. Eğer çarpışan protonlar yeterli enerjiye sahiplerse, baştaki protonlara ek olarak proton-antiproton çiftleri oluşturabiliyorlar.

İlke olarak, yüksek enerjili gama ışınları kendiliğinden, bir parçacıkla onun antimaddesini meydana getirebilir. Bu süreç çift oluşturma (pair creation) olarak adlandırılıyor. Einstein denklemine göre, bunun olması için gama ışınlarının en az $2mc^2$ kadar bir enerjiye sahip olması gerekir. Burada m, parçacığın (ya da antiparçacığının) kütlesini temsil ediyor. Bu işlemin tersi yok değildir.



Şekil 2: Pozitron ilk olarak, izlediği yolu gözler önüne seren sis odasında gün ışığına çıktı. Bir manyetik alan, parçacığın yükü ve hızına göre izlediği yolu saptırır. Kurşun bir yaprak parçacığı yavaşlattıktan sonra izlenen yolun kavisi büyür; bu, parçacığın izlediği yolun yönü konusunda bilgi verir. Carl Anderson elektrona eş kütleli bir parçacığın izlediği yolun elektronla aynı ancak ters yöne doğru olduğunu buldu; şekilde bu artı yüklü olarak gösterilmiştir.

Diğer taraftan, gerçekte çift oluşumu ya da yok olması, yalıtılan bir ortamda tek başına tek bir fotonun soğurulması veya açığa çıkmasıyla oluşmuyor (Şekil-3). Şekilde elektron ve pozitron eşit fakat zıt momentumlara sahip ve sistemin toplam çizgisel momentumu sıfır. Fotonun momentumu E/c , yani tek bir fotonun yok olması ya da yaratılması, sıfırdan farklı bir momentum yaratacak ve bu da momentumun korunumu yasasına aykırı olacak. Genelde yok olma, iki fotonun açığa çıkmasıyla sonuçlanır. Tek fotonla sonuçlanan olaylar ancak çekirdeğin, geri tepme momentumu (recoil momentum) soğurmak için mevcut bulunması halinde meydana gelebilir.

Antimaddenin ilginç bir özelliği de, 1965 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşan Amerikalı fizikçi Richard Feynman tarafından bulundu. Feynman, antimaddelerin zaman içinde geriye doğru hareket ettiğini gösterdi. Bir antimadde, zaman içinde geriye doğru hareket ederken, özellikleri önemli ölçüde tersine çevriliyordu. Örneğin bir elektron, negatif yüklü geçmişten geleceğe hareket ettiriyorsa, geriye doğru olan elektronun onu gelecekte geçmişe hareket ettirmesi gerekiyor. Bu aslında artı yüklü bir parçacığın davranışdır; yani zaman içinde geriye doğru hareket eden bir elektron bize artı yüklü görünecektir. Feynman'a göre bir pozitron, zaman içinde

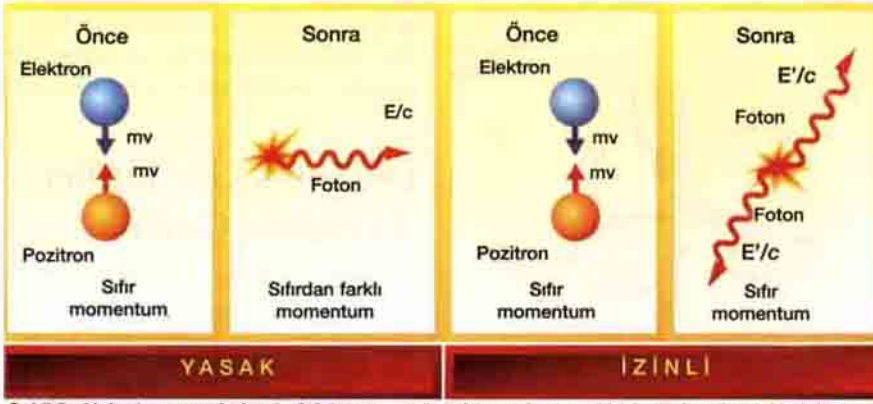
geriye doğru hareket eden bir elektrondur, dolayısıyla madde ve antimadde arasında zaman tersinmesi ilişkisi vardır.

Değişmiş Görüntüler: Aynadaki Çatlak

Dirac ve Feynman'ın antimadde tanımlarında, antiparçacığın özellikleri ona karşılık gelen parçacıklar tarafından, tıpkı bir maddenin aynadaki yansıma görüntüsünü belirlediği gibi belirlenir. Madde ve antimadde arasındaki bu ilişki simetri dönüşümüne (symmetry transformation) bir örnektir. Bir parçacık bir antiparçacığa yükünün işaretini, spin ve kuantum sayılarını değiştirerek veya zamanı tersine çevirerek (time reversal) dönüşür. Teori ayrıca, bir aynanın, bizim hareketlerimizi yansıtması gibi, antiparçacık reaksiyonlarının herhangisi bir parçacık reaksiyonlarını yansıttığını söylüyor.

Fakat şaşırtıcı bir şekilde, deneylere göre bu her zaman doğru değil. Yüksüz kaon adı verilen bir parçacığın bozunumu madde ile antimadde arasında bir asimetri olduğunu gösteriyor. Bu da antimadde yansımada bozukluk olduğunu kanıtıyor. Bu ilginç sonuç, kaonun geçmiş ile geleceği ayırdedebildiğini (çünkü antimadde reaksiyonları, zaman içinde geriye doğru hareket eden madde reaksiyonlarına denk geliyor) gösteriyor. Yani makroskopik yönde görünen günlük yaşamdan bildiğimiz tersinmezliğe (bir bardağı kırmak, onu kırık parçalarından tekrar meydana getirmekten daha kolaydır) ek olarak bir de atomaltı zaman yönü (subatomic "arrow of time") var.

Antimadde, günümüzün modern teknolojisinde anahtar rolü oynuyor. Tıpta, pozitron salma tomografisi (positron emission tomography-PET) taramaları, beyin ve kalp fonksiyonlarının saptanmasında kullanılıyor. Hastaya pozitron yayan radyoaktif bir madde enjekte ediliyor. Pozitronlar, yakındaki elektronlarla bir araya geldiklerinde parçacıklar yok oluyor ve bir gama ışını meydana getiriyorlar ve bu ışın, PET tarayıcısı tarafından algılanıp organların görüntülenmesinde kullanılıyor. Daha büyük ölçekte, fizikçiler her saat milyarlarca antiparçacık meydana getirip bunları parçacık hızlandırıcılarındaki deneylerinde kullanıyorlar.



Şekil 3: Yok olma genel olarak, 2 fotonun açığa çıkmasıyla gerçekleşiyor. Aynı hızdaki elektron ve pozitron kafa kafaya çarpıştığında, sistemin toplam momentumu sıfırdır. E/c (foton enerjisinin ışık hızına bölümü) momentumuna sahip bir fotonun açığa çıkması, sıfırdan farklı bir momentum değeridir. Ancak herbiri E'/c' momentumuna sahip iki foton zıt yönlerde doğru yayılabilirler.

En güçlü hızlandırıcılardan biri, Cenevre yakınlarındaki Avrupa parçacık fiziği merkezi CERN'de bulunan LEP (Large Electron Positron Collider), elektron ve pozitron demetlerini yeralında bulunan 27 kilometre uzunluğunda bir halka boyunca birbirine zıt yönde hızlandırıyor. Her elektron ve pozitron saniyede yaklaşık 11 000 kez halkayı doluyor ve birbirleriyle çarpışıp yok olunca, ilk enerjileri bir çeşit ağır elektron olan muon gibi yeni parçacıklar oluşturmaya yarıyor. Bu hızlandırıcıdan başka Fermi Ulusal Laboratuvarı'ndaki (Fermilab) Tevatron gibi proton-antiproton çarpıştırıcıları da var.

CERN gibi hızlandırıcılarda kullanılan pozitron ve antiproton gibi parçacıkların kendileri de hızlandırıcılarda meydana getiriliyor. Eğer bir proton demeti, tipik olarak lityum gibi hafif bir metalden yapılan sabit bir hedefe çarparsa protonlar arası çarpışmalar meydana geliyor. Eğer çarpışma enerjisi yeterince yüksekse, başlangıçtaki kinetik enerjinin bir kısmı yeni parçacıklara dönüşecektir. Korunum yasaları (yük ve lepton sayısı korunum yasaları gibi) madde ve antimaddenin eşit miktarlarda oluşacağını söylüyor.

CERN'deki Süper Proton Sinkrotron (SPS) hızlandırıcısında (Şekil 1), 26 GeV (Gigaelektronvolt; 1 gigaelektronvolt=1 milyar voltluk potansiyel altında, hızlandırılan tek bir yüklü parçacığa aktarılan enerji) enerjiye sahip protonlar, sabit bir hedefe çarpıtılıyorlar ve antiprotonlar çarpışma kalıntıları arasında toplanıp inceleniyor. Antiprotonları şiddetli bir demet şeklinde odaklamak için "stokastik soğutma" (stochastic cooling) adı verilen bir teknik uygulanıyor. Bu, düzgün olmayan demetin, de-

ğişik noktalardan kontrol edilmesini, odaklama ve yoğunlaştırmayı sağlıyor. Stokastik soğutmadan sonra, antiprotonlar özel antiproton biriktirme halkalarında 3,5 GeV'lik ışın demetleri meydana getiriyorlar. Bundan sonra antiprotonlar daha hızlandırılmak üzere Proton Sinkrotronlarına (PS) gönderiliyorlar ve en son olarak da 315 gigaelektronvolta son kez hızlandırılmak üzere SPS'lere gönderiliyor ve burada antiproton grupları ters yönden gelen proton gruplarıyla çarpışıyor. Bu çarpışmalarda yaratılan parçacıklar arasında ilginç madde-anti-

madde melezlerine (hibrid) rastlamak mümkün. Elektron ve pozitron biraraya geldiğinde mutlaka birbirlerini yok etmeleri gerekmiyor. Birisi diğerinin yöresine girerek daha çok hidrojene benzeyen ve pozitronyum adı verilen bir pseudo-atom (sözde atom) oluşturabilir. Eğer elektron ve pozitronun spinleri antiparalel ise (toplam spin 0), bu pozitronyumun 8 nanosaniyelik bir ömrü vardır. Eğer spinleri paralel ise (toplam spin 1), 7 mikrosaniyeye yakın bir ömrü olur. Aradaki farkın nedeni; spin-0 durumu bir çift fotona bozunabilirken (her biri spin 1 değerinde), spin-1 durumundaki momentum ve açısal momentumunu korumak için en az 3 fotona bozunmak zorundadır ki bu çeşit bozunmalara daha az rastlanıyor.

Birarada Tutma: Antihidrojen Yapılması

Bir diğer madde-antimadde melezi ise yüksüz pionlardır. Bu, pozitronyuma benzer bir şekilde gama ışınlarına bozunan mezondur (kuark-antikuar çifti) ve bu bozunmanın ömrü yaklaşık 10^{-15} saniyedir. Bu süre pozitronyumu-

Nihai Yakıt Arayışında

Bilim-kurgu yazarlarının gözde temalanndan biri madde ve antimaddenin kontrollü olarak yok olmasının sağlanması ve bunun uzay araçlarının yıldızlar arası yolculuklarında yakıt olarak kullanılması. Yok olma burada Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine göre E kadar bir enerji veriyor. Burada m yok olan parçacıkların külesini, c de ışık hızını temsil ediyor.

Bilim ve Teknik Dergisinin bir kopyası yaklaşık 200 gram geliyor. Yani bu okuduğunuz dergi yaklaşık olarak size 2×10^{16} joule'lük bir enerji veriyor. Bu aslında muazzam bir enerji ve büyük bir elektrik santralinin (1 gigawatt) yaklaşık 7 ayda ürettiği enerjiye ve 1 milyar tonluk kömürün yanmasıyla elde edilen enerjiye eşdeğer.

Eğer biz yakıtın külesini tamamen enerjiye dönüştüren bir enerji santrali inşa etsek, o zaman dünyanın enerji gereksinimini her yıl sadece birkaç ton madde harcayarak karşılayabiliriz. Einstein'ın denklemine göre her ne olursa olsun ister deniz suyu ister diğer endüstrilerin toksik maddeleri, sonuç olarak her şeyi yakıtla dönüştürebiliriz. Maddenin tümü yakıtla dönüşeceğinden hiçbir atık ya da zararlı madde olmayacaktır.

Tabii bu arada bir problem var. Korunum yasalarına göre radyoaktif bozunma ya da nükleer fisyon gibi herhangi bir dönüşümde bazı niceliklerin değerleri başta ve sonda aynı olmak

zorunda. Peki elektron, enerjiye dönüşürse yüküne ne olur? Elektronun kaybettiği negatif enerjinin protonun kaybettiği pozitif enerjiyle dengelenmesi mümkün değil.

Başka problemler de yok değil. Proton ve nötronlar baryon adlı bir parçacık ailesine ait ve bütün nükleer reaksiyonlarda bu parçacıkların baryon numarası 1; ayrıca bu sayıların toplamı reaksiyonun başında ve sonunda aynı olmalıdır. Sıradan maddelerin birbirlerini yok ederek gama ışınlarına (baryon numarası 0) neden olması baryon sayısı korunumu yasasına aykırı olacaktır.

Sıradan bir maddenin tamamen enerjiye dönüşmesi için tek yol, bu maddelerin yükleri ile baryon ve lepton numaraları gibi kuantum numaraları kendileriyle zıt işaretteki antimaddelerle biraraya gelmeleri. Gereken, aynı tür ve eşit miktardaki madde ve antimaddelerin kontrollü bir şekilde birbirlerini yok etmeleri (belki bir şekilde gama ışınını soğurarak turbojeneratör sularını istabiliriz). Bu şekilde tüm süreç korunum yasalarına uymuş olacaktır.

Diğer taraftan büyük miktardaki antimaddeyi dünyada meydana getirerek yakıt amacıyla kullanmak anlamsız. Sıradan maddelerle birbirlerini yoketmelerini sağlamak amacıyla antimadde üretmek için gereken enerji, birbirlerini yok ederken çıkaracakları enerjiden çok daha fazla enerjiyi gerektirecektir. Çevremizdeki evrenin de görüldüğü kadarıyla %100 maddeden oluştuğunu düşünürsek madde-antimadde enerjisi santralleri kurmak ve dünyanın enerji problemini bu şekilde çözmek mantık dışı olacaktır.

