



Herkes en düşük sıcaklık noktasını bilir: -273 derecedir. Benim merak ettiğim en yüksek sıcaklık noktası. -273 derecedeki bir maddenin molekülleri hareketsizdir. Bu maddeye ısı verelim, moleküller titrete hareketi yapacak, hareketlenmeye başlayacak. Isıyı arttırdım. Her hal değişiminde moleküllerin hızları sürekli artacak, öyle değil mi? Bu madde en son gaz halindeydi. Sürekli ısı vermeye devam edelim. Herhalde bu artış sonsuza doğru sürecek değil. Ben şöyle düşünüyorum: Einstein'ın teorisine göre hiç bir madde ışıktan daha hızlı gidemez. O halde bu moleküllerin hızları 300,000 km/sn'yi geçemeyecek. Yani en üst sıcaklık noktası belirlenmektedir. Ya sizce?

Yıldray GENÇ

Bir maddenin sıcaklığı moleküllerinin hızından çok sahip oldukları ortalama enerjiyle ilgili olduğu için bu sorunun yanıtı hayır. Maddeyi ısıtmaya devam ettiğiniz sürece sıcaklığı artacaktır.

Bu anlamda bir cismin hızının ışık hızı ile sınırlı olması oldukça aldatıcı. Konuyu görellilik kuramının bize kazandırdığı kütle ile enerjinin eşdeğerliliği kavramıyla daha iyi anlamak mümkün. Ünlü  $E=mc^2$  formülü kütle ve enerji ölçümlerinin arasındaki ilişkiyi veriyor. Böylece, örneğin bir gram suyu bir derece ısıttığınızda enerjisinin 1 kalori arttığını söyleyebileceğiniz gibi, kütlelesinin de  $4.7 \times 10^{-17}$  kg arttığını da söyleyebilirsiniz.

Bir cismi hızlandırmak için cisme vermek zorunda kaldığımız enerji için de aynı şey geçerli. Kinetik enerji olarak adlandırılan bu enerji türünün de bir kütlesi olduğundan, cisim hızlandıkça kütlesi de artar. Bu nokta çok önemli. Çünkü kütle, eylemsizliğin, yani hareketteki değişimlere karşı cisimlerin direncinin bir ölçüsü. Öyleyse, görellilik kuramına göre hareketli bir cismi hızlandırmak için daha fazla enerji harcamalıyız: Hem cismin orijinal kütlesi için hem de yeniden hızlandırmadan önce var olan kinetik enerjinin kütle eşdeğeri için.

Olayı biraz daha netleştirmek için bir oyuna benzetme yapabiliriz (en azından deneyebiliriz). Elinizde bir çuvala, bol çakıllı geniş bir alanda bulunuyorsunuz. Oyunun tek kuralı, her adım attığınızda yerden bir çakıl alıp çuvala atmak. Doğal olarak taşıdığınız yük arttıkça adım atmanız zorlaşıyor ve adım boyunuz küçülüyor. Soru şu: istediğiniz kadar uzağa gidebilir misiniz? Eğer çok uzakta bir noktayı hedef olarak seçmişseniz oraya kadar gitmeniz mümkün olmayabilir. Bir süre sonra yükünüz o kadar ağırlaşır ki adım atma-

nız ya da çuvalı sürüklemeniz imkansızlaşabilir. Kısacası bu oyunda gidebileceğiniz maksimum uzaklık kendiliğinden ortaya çıkıyor. Buna rağmen çuvalı istediğiniz kadar doldurabilir misiniz? Eğer çuvalınız yeteri kadar büyükse bu soruya yanıt evet olacaktır. Yani mesafe için bir sınır olmasına karşın yük için bir sınır yok.

Parçacık hızlandırma oyunu yukarıdaki oyuna (tamamen olmasa bile) oldukça benziyor. Sonuçta ulaşamayacağınız bir en yüksek hız, ışık hızı, ortaya çıkıyor. Bu hız istediğiniz kadar yaklaşabilirsiniz ama ulaşmanız ve geçmeniz mümkün değil. Üstelik taşınan çakıllara benzetebileceğimiz enerjiyi istediğiniz kadar artırabilirsiniz. Işık hızına erişmeniz sonsuz enerji gerektirdiği için, evrende de büyük olasılıkla sonlu miktarda enerji (kütle) olduğu için pratikte ve kuramda mümkün değil.

Modern parçacık hızlandırıcılar yukarıdaki oyuna oldukça benzer bir şekilde çalışıyorlar. Örneğin protonları hızlandırmak için, parçacıklar bir elektrik geriliminin yaratıldığı bir bölgeden geçiriliyor. Protonlar 1 voltluk bir gerilim farkını atlamak zorunda bırakılırsa enerjileri 1 eV (elektron volt) artar. Bu sonuç protonun hızına bağlı değil. Eğer protonları döndürüp dolaştırıp aynı bölgeden defalarca geçirebilirseniz, enerjilerini istediğiniz kadar artırabilirsiniz.

Örneğin, Fermilab'daki Tevatron'dan çıkan protonlar 800 GeV'luk inanılmaz bir enerjiye sahipler ( $\text{GeV}=\text{giga eV}=10^9 \text{ eV}$ ). Bu 0.983 GeV olan protonun durağan kütlelesinin (enerjisinin) 850 katı kadar! Bu durumda protonların hızı ışık hızının %99.99993'üne eşit. Bu kadar hızlı protonları daha da hızlandırmak mümkün. CERN'de 2005 yılında tamamlanması planlanan 'Büyük Hadron Çarpıştırıcısı' (Large Hadron Collider, LHC) 14 TeV'luk proton-



CERN



Fermilab

lar üretecek ( $\text{TeV}=\text{tera eV}=10^{12} \text{ eV}$ ). Bu Fermilab'dakilerden yaklaşık 17 kat fazla bir enerji demek. Çıkan protonların hızı ışık hızının %99.9999997'sine eşit olacak.

Bu kadar büyük enerji farkı olduğu durumda hızların birbirlerine çok yakın görünmesinin ne kadar aldatıcı olduğunu bir örnekle daha iyi anlayabiliriz. Bu hızlandırıcılardan çıkan protonları uygun bir kapta topladığınızı varsayalım. Elinizde bir Fermilab kabı bir de CERN kabı olsun. Hangi kaptaki proton gazının daha sıcak olduğunu anlamak için klasik bir yöntemi denemeye karar verdiniz: Bir elinizi bir kaba, diğer elinizi diğer kaba soktunuz. Hangi eliniz daha çok yanar?

Yanma, bir başka ifadeyle vücudunuzun kimyasal maddesindeki hasar, protonların size enerjilerinin ne kadarını aktardıklarıyla doğru orantılıdır. Yani daha fazla enerjisi olan protonlar elinizi daha çok yakacaktır. Hatta, elinizin protonları tamamen soğurduğunu düşünürsek, CERN'den gelen kaptaki protonların Fermilab'dan gelenlere oranla 17 kat daha fazla yaktığını da söylemek mümkün. Uzun lafın kısası, hızın önemi yok, CERN kabı çok daha sıcak.

Bu kadar yüksek enerjiye sahip protonlar normalde  $10^{15}$  derece sıcaklığında ortaya çıkabilirler. Bu sıcaklık derecesi ve hatta daha yüksek sıcaklıklar evrenimizi meydana getiren büyük patlamanın ilk anlarında oluşmuştu. Zaten, hızlandırıcılarla bu kadar yüksek enerjilere ulaşılmasının bir amacı da büyük patlamanın bu evresinde neler olup bittiğinin ve günümüz evrenini nasıl etkilediğinin anlaşılması.