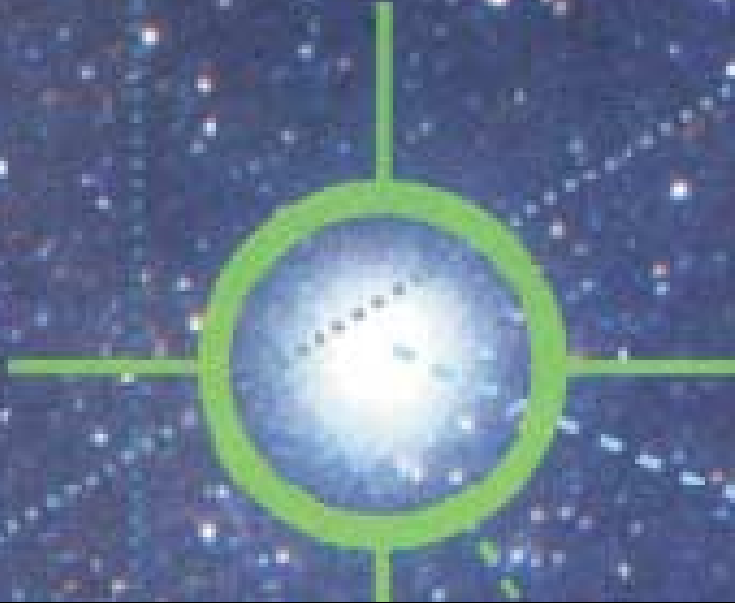


YILDIZLARA



NASA, yakınlardaki bir yıldızın çevresinde dolanan bir başka dünya bulabileceğimiz görüşünde. Ama böyle bir dünya bulsak bile, ona ulaşmak için onca ışık yılı nasıl aşacağız? Gökbilimciler, bunun düşündüğümüz kadar zor olmayabileceğini söylüyorlar.

Daha şu geçtiğimiz sekiz yıl içinde, gökbilimciler Güneş dışındaki yıldızlar çevresinde dolanan, şaşırtıcı sayı ve özellikle çeşitli dünyalar keşfettiler: kuyruklu yıldızlar gibi buharlaşacak kadar sıcak; yıldızlar gibi parlayacak kadar büyük gezegenler; yıldızları çevresinde eşzamanlı yörünge periyodu içinde dolanan ikiz gezegenler... Asıl bulamadığımız, bi-

zimkiyle ufak da olsa benzerliği olan bir gezegen. Nedeniyse, kullandığımız aygıtların yeterince duyarlı olmayışı. Ama yakında bu da değişecek. NASA, bundan 10 yıl kadar sonra uzaya bir Dünya Benzeri Gezegen Araştırmacı (Terrestrial Planet Finder) göndermeyi düşünüyor. Bu, başka bir dünya keşfetmek için özel olarak tasarlanmış bir uzay teleskopu. Görece yakın 150 kadar yıldızın incelenmesiyle, en azından bir dünya benzeri gezegenin keşfedilme olasılığının, çok da az olmadığı düşünülüyor. Bu kardeş dünya, olasılıkla başlangıçta pek birşeye benzemeyecek; olsa olsa yıldızının ışığı yanında sönük bir noktacık gibi görünecek.

Ancak bu yeni dünyanın kütlesi, sıcaklığı ve bileşimini incelemek için de bundan fazlasına ihtiyacımız yok. Bu kadarıyla bile, su buharıyla nemlenmiş, metanla yoğrulmuş bol oksijenli bir atmosfer gibi, yaşama ilişkin kimyasal işaretler aramamız mümkün. Aradığımızı bulmamız durumundaysa, artık başka bir gezegende de yaşamın çok büyük olasılıkla var olduğunu, evrende yalnız olmayabileceğimizi artık biliyor olacağız. Bu keşif, belki de insanlık tarihinin en büyük ve anlamlı keşfi olacak. Ama ya sonrası? Bundan 500 yıl önce Kolomb, koskoca Atlantiğin karşı kıyılarında yeni bir dünyanın varlığını muştuladıktan sonra, İngiltere,

YOLCULUK



Fransa, İspanya ve Portekizli kaşifler, batıya yelken açmakta hiç tereddüt etmemişlerdi. Yeni bir dünya bulmamız durumundaysa, inceleme ve araştırma isteğimiz, şimdiye kadar hiç olmadığı kadar zaptedilmez duruma gelecek. Oralara gidip daha fazlasını öğrenme dürtüsünü bastırma mümkün olabilir mi?

Böyle bir yolculuğun teknolojik açıdan gerektirecekleri düşünüldüğünde, Mars'a yolculuk bile oldukça kolay birşeymiş gibi görünüyor. Bize en yakın ve dolayısıyla da dünya benzeri bir gezegen bulmak için oldukça uygun bir yıldız sistemi olan Alfa Centauri'ye bile, 4,4 ışık yılı uzaklıkta. Bu, herhangi bir uzay sondasının

şu ana kadar katettiği uzaklığın 3000 kat fazlası. Güneş Sistemi'ndekilere benzer üç büyük gezegeni olan 55 Cancri yıldızıysa bunun da 10 katı uzaklıkta. Böylesine büyük uzaklıklara yolculuk, bugüne kadarkilerden çok daha ileri teknolojiye, ama yine de inşası olası sınırları içinde bulunan süper-hızlı uzay araçlarını gerektirecek. NASA'nın Jet İtme Laboratuvarı'nda yürütülmekte olan ileri itki araştırmalarının başındaki Robert Frisbee, "işin içine girecek olan fizik, aslında elimizin altında" diyor. Frisbee'nin hem işi hem de büyük düşü, yıldızlararası yolculuğun üstesinden gelebilecek bir yol bulmak. Şu sıralarda, bir astronotu 50 yıldan kısa sü-

rede Dünya'dan Alfa Centauri'ye götürebilecek beş ayrı itki teknolojisi üzerinde çalışıyor. "Söz konusu olan, bir fantezi değil" diyor Frisbee; "yalnızca gerçekleştirilene kadar bilim-kurgu olarak kalacak birşey." Başka bir dünyaya yolculuk, en az Apollo programının gerektirdiği kadar araştırma ve mühendislik çabası gerektiriyor. Frisbee'ye göre, benzer düzeyde bir çaba ve adanmışlık, Ay'a gitmek için geçen hazırlık süresi olan 10 yıl gibi bir süre sonunda, ilk yıldız gemimizi fırlatmamızla sonuçlanabilir. Böyle bir girişimin, insanlık tarihinin en pahalı girişimi olacağına kuşku yok. Ama aynı zamanda da en olağanüstü olanı...

GÖRELİLİKTE

Los Angeles Gökbilim Derneği'nin bir üyesi ve Güney California Üniversitesi'nde bilgisayar bilimci olan Brian Tung anlatıyor: "Teha ve küçük yerleşim bölgelerinde geçen çocukluğum sırasında, bahçede sırtüstü yatıp akşam karanlığını seyre koyduğum zamanları hatırlıyorum. Önce tek bir yıldız belirirdi; belki de Sirius. Sonra bir tane daha, bir tane daha, ve bir tane daha... Yıldızlar giderek artan bir sıklıkla görünmeye başlar, öyle ki bir süre sonra başımı her çevirdiğimde yeni bir yıldız beliriyormuş gibi gelirdi bana. Sonunda bütün gece gökyüzü, ufuk çizgisine kadar yıldızlarla dolardı. Göz kırpan minik ışıklarla dolu, bana yakın ve koskocaman bir kubbe... Elimi uzatsam yıldızlara dokunuvercektim gibi geldiğini, hayal meyal de olsa hatırlayabiliyorum.

Gezegener, bana tıpkı parlak yıldızlar gibi görünürdü. Eğer yıldızlara ulaşabilsem, gezegenlere de ulaşabilirdim; ya da tersi."

Tabii gerçekte, uzaklık bakımından arada büyük farklar var. Sözelimi Neptün ve Plüton, sıradan ölçütlere göre çok uzaktalar. Yaklaşık 5 milyar kilometre kadar. Ama ışık hızında yolculuk yapabileseydik, oraya ulaşma- mız birkaç saatimizden fazlasını almazdı.

Ne yazık ki, yıldızlar daha da uzaktalar.

Ay'a uzaklığımız, MÖ 2. yüzyıldan, Hipparchus zamanından beri oldukça büyük kesinlikle biliniyor. Güneş ve Güneş Sistemi'ndeki öteki gezegenlere uzaklığımızsa, % 10'un içindeki bir hata payıyla 1672'de Gian Cassini ve Jean Richer tarafından belirlenmiş. Öte yandan, en yakın yıldızlara olan uzaklığımızın belirlenmesi, 19. yüzyılın ilk yarısını beklemek zorunda kalmış.

Bunun bu kadar zaman almasının nedeni, uzaklıklar arasındaki farkların çok büyük olması. Güneş ve Dünya arasındaki uzaklık olan 150 milyon kilometreye karşılık gelen "astronomik birim (a.u.)", gezegenlere olan uzaklığımızı ifade etmek için oldukça elverişli bir birim. Buna karşılık en yakın yıldız bile, bize çeyrek milyon astronomik birimden daha uzakta. Bu da, ancak "ışık yılı" gibi bir terimin altına gönül rahatlığıyla gizleyebileceğimiz, çok büyük bir uzaklık. Bir ışık yılı yaklaşık 10 trilyon kilometre olduğuna göre, aşağı yukarı 40 trilyon kilometre kadar!

İşık yılını kullanmanın tek avantajı, bizi, uzaklıkları milyonlarca astronomik birimle ifade etmekten kurtarması değil. Gökbilimsel bilgi birikimimizin 'ergenlik' döneminde, bize hiçbir şeyin ışığın hızını aşacak kadar hızlandırılmayacağı öğretildi. Yani Sirius'a gitmeye

niyetleniyorsak, ona 8,6 yıldan daha kısa sürede ulaşamayacağımızı, gidiş-gelişin de 17,2 yıl alacağını bilmemiz gerekiyordu. 25 ışık yılı ötemizdeki Vega'ya gidip gelmemiz de yaklaşık bir insan ömrü kadar zaman alacaktı. Ama gökadamızın merkezi ya da diğer gökadalara yolculuk yapmak, ışık hızıyla sınırlı kaldığımız sürece, gerçekçi olmaktan hayli uzak hedefler olmaya mahkumdu.

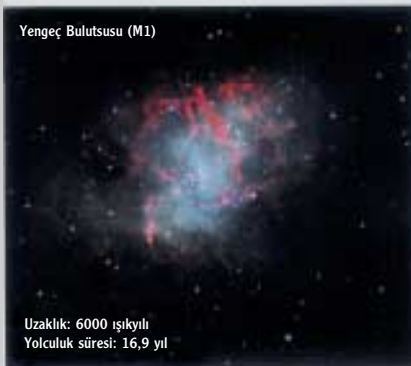
İyi de, ışığın hızı bizi sınırlamak zorunda mı? Bu, yalnızca bir sayı; değeri saniyede 300.000 km olan bir sabit. Tamam, ışığın inanılmaz ölçüde hızlı olduğu gerçeğini kabul ediyoruz; ama yine de neden ondan hızlı gidemeyelim?

Biraz Yavaş!

Albert Einstein, bu soruya 1905 yılında yayımlanan özel görelilik kuramıyla yanıt verdi. Bugün modern fiziğin temeli sayılan bu kuram, bütün delikeme karşı birçok yönüyle insanı deliye çevirecek bir mantığın da barınağı. Einstein, fizik yasalarının her yerde ve her zaman aynı olduğu, ışık hızının da sabit olduğu önermeleriyle işe başlıyor. Bunlarda fazla tartışılacak bir şey yok. Ama sonra da tutup, bu önermelerin de ışığında, yüksek hızlarda hareket eden cisimlerin hareket yönünde basıklaştığı, saatlerinin de yavaşladığı sonucuna varıyor. Üstelik oldukça tutarlı bir mantık silsilesi içinde. Yetmezmiş gibi, ışık hızına yaklaşmakta olan bir cismin momentumu da sınırsızca artıyor; hızda gerçekleşecek küçük artışların bile gerektirdiği muazzam enerji de, ışıktan hızlı yolculuğu olanaksız hale getiriyor. En azından şimdiki bilgilerimizle.

Bunu, 1'in 2'ye eşit olduğu ya da bir eşkenar üçgenin farklı uzunlukta kenarlar içerdiğini kanıtlamak için kullandığımız ve görünüşte çürütülemez bir mantık yürüttüğümüz paradokslara benzetmek mümkün. Ama bu örneklerin herbirinde, yürütülen mantık, hatalı bir varsayımdan yola çıkıyor. Görelilikteyse hem varsayımlar hem de içerilen mantık, deneysel olarak ve defalarca doğrulanmış durumda.

Ancak özel görelilik, bir yandan yolculuk edeceğimiz hızı sınırlama getirirken, bir yandan da bize bir kapı açıyor. Kurama göre, hareket eden bir cisim için zaman yavaşlar. Cisim hızlandıkça, bu yavaşlama ya da "zaman genişmesi" de o kadar artar. Bu genişleme, günlük standartlara göre oldukça hızlı sayılan cisimler için gözardı edilebilecek kadar küçük. Saniyede yaklaşık 17 km hızla hareket eden Voyager 1 uzay aracı için bile, 600 milyonda bir'lik bir oran söz konusu, ki bu, farzedilmeyecek kadar küçük bir oran. Kaldı ki



İşık hızına çok yakın hızlarda yolculuk yapmak, uzak yıldızlar ve gökadalara ulaşmak için geçecek olan süreyi azaltacaktır. Bu resimlerde, Dünya'daki yerçekiminin değeri olan 1 g ivmesiyle sürekli olarak hızlanmak koşuluyla, nereye ne kadar zamanda ulaşabileceğimizin örnekleri verilmiş.

UÇUŞ

sözünü ettiğimiz, gökadar-arası bir yolculuk.

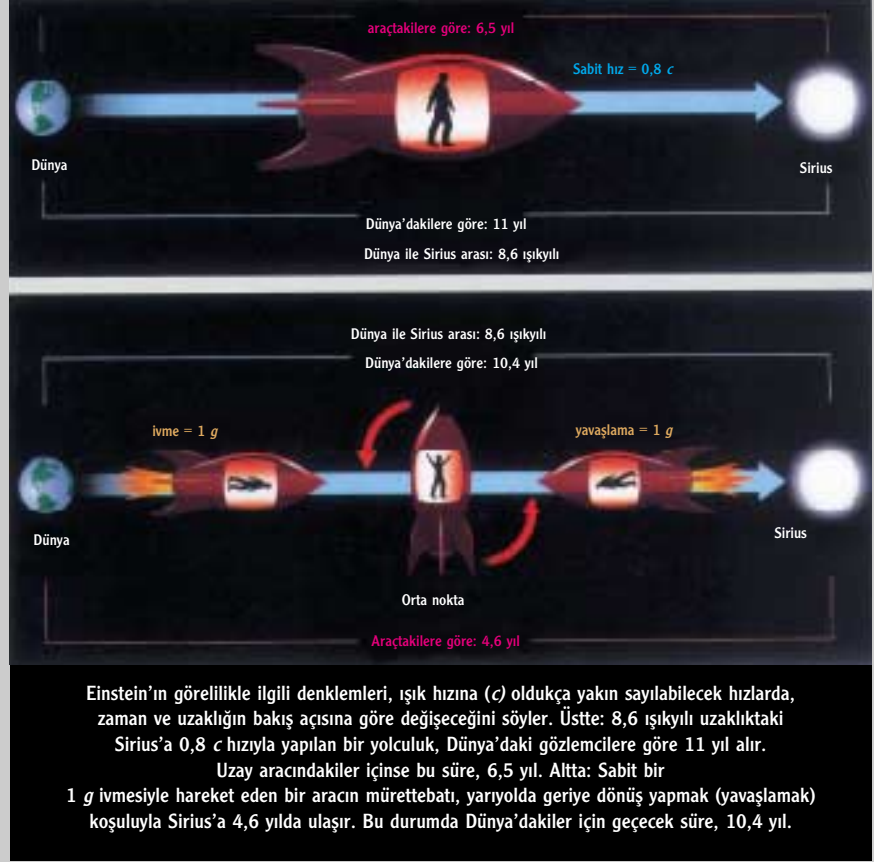
Bunun tek nedeni, ışık hızının (c) bu kadar büyük olması. Işık hızının önemli bir oranını oluşturan hızlardaysa bu genişleme fark edilir hale gelir. $0,8 c$, yani ışık hızının $4/5$ 'ü hızla ilerleyen bir uzay aracı, yaklaşık %40'lık bir yavaşlamaya maruzdur; öyle ki, Dünya'daki biri için 10 saat geçtiğinde, uzay aracı yalnızca 6 saat boyunca ilerlemiştir. Bu hızla Sirius'a giden bir uzay aracının yolculuğu da, Dünya'daki bir gözlemci için 11 yıl sürerken araç içindeki biri için yalnızca 6,5 yıl geçmiştir.

Tam bu nokta, özel göreliliğin ihlali gibi görünüyor; çünkü uzay aracı, Sirius'a olan 8,6 ışık yılı uzaklığı, 8,6 yıldan daha kısa sürede almış durumda. Bu bariz paradoksun çözümlüye, özel göreliliğin bir başka öngörüsünde yatıyor: "uzunluk kısalması". Dünya'daki bir gözlemci, aracın uzunluğunun % 40 oranında kısalmış olduğunu gözlerken, araçtaki gözlemci de Dünya ve Sirius arasındaki uzaklığın % 40 oranında, yani 8,6 ışık yılından yalnızca 5,2 ışık yılına kısalmış olduğunu gözleyecek. Her iki gözlemci de, aracın $0,8 c$ hızla hareket ettiği konusunda hemfikirler; ancak yolculuğun sonunda araç içindekiler, Dünya'daki gözlemciler için geçen 11 yıla karşılık, yalnızca 6,5 yıl yaşlanmış olacaklar. Ve Dünya'dakiler bu uyumsuzluğu zaman genişlemesiyle açıklarken, araçtakiler sorumluluğu uzunluk kısalması üzerine atacaklar.

Bi Genleşmiş Saniye Beklesene!

Bir uzay aracı, elbette $0,8 c$ hızına bir anda ulaşacak değil; bunun için sürekli bir şekilde ivmelenecek. Ne kadar hızlı ivmelendiği de önemli. $0,8 c$ hızına bir gün içinde ulaşmaya çalışırsa, Dünya'da alıştığımızın yaklaşık 300 katına ulaşacak olan ivme, araç içindekilerin ölümüne neden olacak. Bu nedenle, aracın ivmesini $1 g$, yani saniyenin karesi başına $9,8$ metre olarak alalım. Bu ivme, araç içindekilere uzayın derinliklerinde bile normal Dünya yerçekimi etkisi altında oldukları izlenimini verecek.

Başlangıçta hareketsiz olup $1 g$ ivmeyle yer değiştiren bir uzay aracı, her saniye, hızını saniyede $9,8$ metre artıracak. Bunun bir yıl sürmesi durumundaysa araç, ışık hızını geçecek. Ama, özel göreliliğin bir başka öngörüsü sayesinde bu da gerçekleşmeyecek. Bir kere araç, her saniye hızını saniyede $9,8$ metre oranında artıramayacak; çünkü son hız, hızları üstüste ekleyip toplayarak bulunamaz. Öyle olsaydı, aracın önünden $0,8 c$ hızla giden ışığın, araç arkasından $1,8 c$ hızla çıkması gerekirdi ki, bu da onun yapabileceği bir şey değil. Bu ışığın da, diğer ışıklar gibi c hi-



ziyla gitmekten başka şans yok.

Aynı şekilde, $0,8 c$ hızla hareket etmekte olan araç, saniyede $9,8$ metre oranında hızlandığında, son hızı $0,8 c$ artı $9,8$ metre/saniye değil, $0,8 c$ artı $3,5$ metre/saniye oluyor. Ayrıca ne kadar hızlanırsa, $1 g$ 'lik ivmenin sonucu olan hız artışı da o kadar küçülüyor; öyle ki, araç her zaman ışıktan yavaş hareket eder durumda kalıyor.

Yine de, yaklaşık bir yıl kadar sonra aracımız en azından ışık hızına yakın bir hızla yolculuk yapıyor olacak. Hatta öylesine yakın bir hızda ki, zaman genişlemesi de dahil olmak üzere, görelilik etkileri artık çok büyük oranda hissediliyor olacak. 25.000 ışık yılı uzaklıktaki Samanyolu'nun merkezine yapılan bir yolculuk, Dünya'daki birinin gözüyle 25.000 yıldan biraz fazla alacakken, araçtakiler için geçecek olan süre, 10 yıldan biraz fazlası.

Tabii araç $1 g$ ivmeyle sabit bir şekilde hızlanırsa, gökada merkezine geldiğinde öylesine büyük hızla hareket ediyor olacak ki, içinden geçip gitmek zorunda kalacak. Bu yüzden yolculuğun ilk yarısında $1 g$ oranında hızlanıp, ikinci yarısında da $1 g$ oranında yavaşlaması daha uygun olur. Yolcuların, ayrıca tüm eşyalarının yerden tavana 'düşmesini' istemiyorlarsa, araç yarıyolda ters yöne çevirmeleri gerekir. Bu, uçuşa büyük bir sekte vurmasa da, uzun yolculukların süresini neredeyse ikiye katlayabilir.

Yolculuk Programı

Çeşitli yıldızlararası hedeflere varmak için geçecek olan süreleri incelemek isteyenler için, yazar Brian Tung bir BASIC programı geliştirmiş. (Programı <http://skyandtelescope.com/resources/software/programs/rocket.bas> adresinden ulaşmak mümkün.) Yolculuk süresini hem Dünya gözlemcileri, hem de araçtakiler açısından hesaplayan programda yolculuk süreleri girdi olarak alınmış ve ivme $1 g$, geri dönüş noktası da yarıyol olarak varsayılmış. Programın bir başka mahareti de, aracın yarıyolda ulaşmış olduğu üst hızı hesaplamak. Aslında bu programla ortaya koyulan şey, ortalama insan ömründen yola çıkarsak, çok uzun yolculukların bile pekala mantık sınırları içinde olduğu. Buna göre gökadamız merkezine yapılacak bir yolculuk 20 yıl, bize yaklaşık 60 milyon ışık yılı uzaklıktaki Virgo gökadar kümesine yapılacak bir yolculuksa yalnızca 35 yıl sürecektir.

Tabii buna uygun bir uzay aracı yapmak da hiç kolay olmayacak. En azından, aracın yıllar boyunca $1 g$ ivmeyle hızlanması için gerekli yakıtın miktarı bile, inanılmayacak kadar büyük. Ayrıca, yolculuğun büyük bölümü boyunca ulaşılacak olan hızlarda, normalde zararsız parçacıklar, yolcuların gözünde yüksek enerjili kozmik ışınlarla dönüşecek. Ancak şimdilik arkamıza yaslanıp, uygulamada henüz olmasa da en azından fizik açısından mümkün olan bir düşü kurulumamızda hiç bir sakınca yok. Alacakaranlıkta gökyüzünü seyre daldığınız bir dahaki sefere, bunu da aklınızın bir köşesinde tutun.

ATOM

1903 yılında Rus fizikçi Konstantin Tsiolkovsky, yıldızlararası yolculuğun karşısındaki büyük engeli keşfetti: Bir roketin ulaşabileceği en yüksek hız, ekzosundan çıkan gazın hızının iki katıyla sınırlıydı. Uzay

Nükleer Filyon

Mühendisler, atom bombaları ve nükleer reaktörlere güç sağlayan filyonla 60 yıldır çalışıyorlar. Radyoaktif bir atomun çekirdeği parçalandığında, ortaya çıkan elektrik yüklü parçacıklar ışık hızının %3'üyle, yani saniyede 8000 km hızla sağa sola saçılıyorlar. Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı'ndan George Chapline yönetimindeki araştırmacılar da, işte bu yüksek hızlı parçacıkların enerjisini dizgin altına almak için bir "filyon parçacıkları" reaktörü tasarladılar. Reaktör silindirik biçimli bir kuleye giren bir vinil plak destesine benziyor. Her "plak" plütonyum ya da amerikyum gibi radyoaktif bir yakıtla kaplı grafitten oluşuyor. Yakıt döne döne kuleye girince içeride fazladan radyoaktif yakıtla karşılaşılıyor ve kontrollü bir zincirleme tepkime başlatıyor. Reaktör çevresindeki güçlü mıknatıslar, tepkime sonucu fırlayan nükleer parçacıkları tek bir doğrultuya yönlendirerek, roketi ışığınınin %6'sı bir hızla ivmelendiren bir ekzos itkisi oluşturuyor.

Avantajlar: Kısa dönemde gerçekleştirilebilir olması

Sorunlar: Çok ağır; işlenmiş yakıt gerektiriyor; ağır radyasyon kalkanları zorunlu; sınırlı maksimum hız ve menzili.

ışık hızının %10'unu geçmek için Frisbee, iki filyon roketi yapılmasını ve bunların iki kademe halinde üst üste yerleştirilmesini öneriyor. İkinci kademe roketin hızını ikiye katlayacağından, genişletilmiş versiyon ışık hızının %12'sinde yol alıyor. Yolculuğun sonunda yavaşlamak için iki kademe daha ekleyin ve 46 yıl sonra Alfa Centauri sisteminde kardeş bir dünyanın yörüngesine usulca yerleşiverin. Ancak, ne kadar kademe eklerseniz ekleyin, insan ömrü daha uzağa yapılacak yolculuklara yetmeyecektir. Yüklü en azda tutmak için amerikyum gibi hızlı bozunan bir nükleer yakıt gerekiyor. Amerikyum da doğada kendiliğinden bulunan bir element olmadığından, nükleer santrallerden çıkan yakıt atıkları yeniden işleyerek elde etmek zorundayız. Hadi radyasyondan korunmak için gereken kalkanları saymayalım, bir sonraki yıldızla ulaşabilmek için gereken amerikyumun ağırlığı 2 milyon ton. Daha ucuz uranyum ya da plütonyum yakıtları tercih edecek olursak yakıt kütlesi daha da artıyor. Ama tüm bu açmazlara karşın temel teknoloji yolculuğa hazır.

Nükleer Füzyon

Frisbee, ağır atomları parçalamak yerine hafif atomları birleştirerek güç sağlayan bir füzyon motorunun, filyon motoruna göre daha tercih edilir bir seçenek olduğunu söylüyor. Füzyon reaktörlerinin istenmeyen radyasyonu çok daha az üretme potansiyellerinin yanı sıra, bunlara yakıt sağlamanın daha kolay olacağı düşünülüyor: Bu reaktörler döteryum (ağır hidrojen) ve helyum 3 (sıradan helyumun daha hafif bir türü) ile çalışır ve bu izotopların her ikisi de hem Ay'ın yüzeyinde, hem de Jüpiter'in atmosferinde bol miktarda bulunur. Füzyon itkili bir gemi, başka bir yıldızla yönelmeden önce Güneş Sistemi içindeki bir "yakıt istasyonu"na uğrayabilir. Sorun, on yıllar süren yoğun çabalara karşın mühendislerin çalışır bir füzyon reaktörü yapmayı başaramamış olmaları. Bir hidrojen bombası içinde zincirden boşalmış füzyon tepkimesi oluşturmayı biliyoruz. Ama iş bu enerjiyi kontrol etmeye gelince, ortada gösterebileceğimiz herhangi bir şey yok.

Princeton'daki (ABD) Ulusal Küresel Torus Deneyi ve İngiltere'deki Avrupa Ortak Torusu gibi füzyon deney düzenekleri, güçlü mıknatısların yardımıyla döteryum çekirdeklerini simit (torus) biçimli bir tepkime odası içinde havada asılı olarak tutuyorlar ve milyonlarca dereceye (yaklaşık 150 milyon derece) ısıtıyorlar. Bu sıcak or-

tamda çekirdekler çarpıştıkça bazıları birleşiyor ve enerji açığa çıkarıyor. Sorun, deneylerde füzyonla elde edilen enerjinin iki katının, girdi olarak kullanılması. Yeni ve daha güçlü (ve de pahalı) düzenekler peşinde koşan araştırmacıların hedefi, bu oranı en azından eşitlik noktasına getirmek. Frisbee, kontrollü ve düzenli füzyon enerjisi sağlayacak teknolojinin yakında elde edileceği konusunda iyimser. Bilim adamları bir kez harcanan ve üretilen enerjiyi denge noktasına getirmeyi başarınca, tepkimelerde ortaya çıkan elektrik yüklü parçacıkları manyetik bir ekzostan dışarıya atabilirler. Füzyon reaktörün-

Avantajlar: Filyon motorundan daha hafif, daha az radyasyon, olası yakıt yenileme

Sorunlar: Ağırlık; sınırlı menzili; teknolojinin henüz uygulanabilirlik kazanmamış olması.

den çıkan parçacık yağmuru, ışık hızının %12'sine erişecek iki kademe bir roketle itki sağlayabilir.

Füzyon gücüyle elde edilecek yolculuk süresi, aşağı yukarı filyon enerjisiyle sağlanana eşit olacaktır: Hız,

en yakın yıldızla ulaşabilmek için yeterli olacak; ancak daha uzağı için yetersiz kalacaktır. Bir füzyon roketi de yolculuğu tamamlamak için 2 milyon ton yakıt gereksiz-

nim duyacak, ancak daha az radyasyon kalkanıyla yetinecektir. Araştırmacıların vurguladığı ek bir yarar: Bir füzyon roketinin geliştirilmesi, Dünya'da füzyon enerji santral tasarımlarının mükemmelleştirilmesi sürecine ivme kazandırabilir.

ROKETLERİ

mekibi, ekzos gazını saniyede beş kilometreden daha yavaş bir hızla püskürttüğünden, yukarıdaki hesap uyarınca saniyede 10 km hızdan fazlasına ulaşamaz. Bu hızla da Güneş'in en yakın

komşusu olan (4,4 ışık yılı uzaklıktaki) Alfa Centauri'ye ulaşmak 120.000 yılını alır. Bu yıldızla bir insan ömrü içinde varabilmek için, günümüzde kullanılan hidrojen ve kerosen (gaz yağı) gibi yakıtların

sağlayabileceğinden 300 kat daha hızlı seyretmek zorunda. Bu durumda Robert Frisbee, nükleer tepkimelerin muazzam enerjisine başvurulmasını öneriyor ki, bunun için üç farklı yol var:

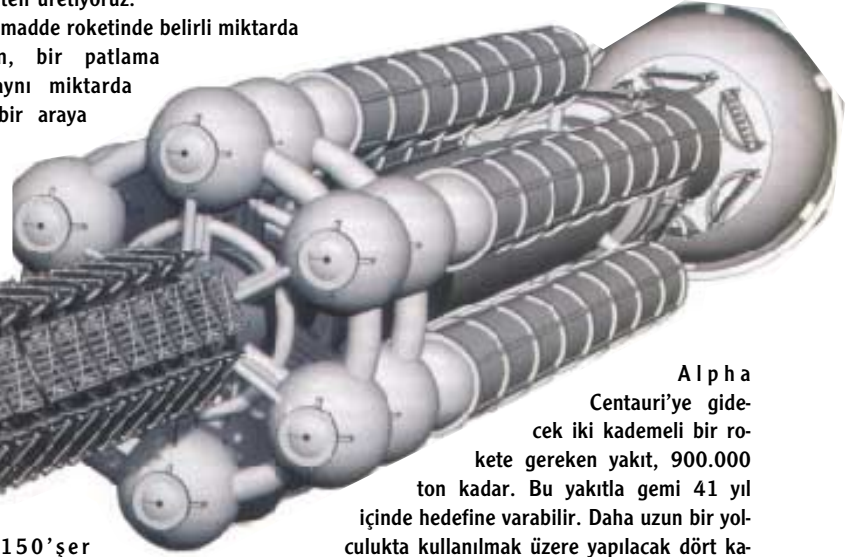
Karşımadde

Albert Einstein'ın ünlü $E=mc^2$ formülü, kütlelerin enerjinin yoğunlaşmış bir biçimi olduğunu gösteriyor. Filyon ve füzyon tepkimeleri, kütlelerinin ancak %1'den çok daha küçük bir bölümünü enerjiye çevirebiliyor. Ancak, maddeyi neredeyse %100 verimle enerjiye dönüştürmenin bir yolu var: Maddeyi, ayna görünümündeki ikiz kardeşiyle birleştirmek. Her parçacık için varolan bu kardeş antimatde ya da karşımadde deniyor. Fizikçiler atomaltı parçacıkları ışığına çok yakın hızlarda çarpıştırarak çok küçük miktarlarda karşı madde elde etmeyi başardılar. İsviçre'de bulunan Avrupa Parçacık Fizik Laboratuvarı CERN'de 1 milyon antihidrojen atomu yaratmayı

dolusu karşımadde elde etmek, altından kolay kalkılabilecek bir iddia değil. Ancak, Frisbee'ye göre "olmayacak bir şey de değil, çünkü gereken malzemenin bir kısmı hazır bile". "Gereksinim duyacağınız yakıt tanklarını, mıknatısları radyatörleri ve parçacık demetlerini zaten üretiyoruz."

Bir karşımadde roketinde belirli miktarda antihidrojen, bir patlama odasında aynı miktarda hidrojenle bir araya gelecek. Her ikisinden de yaklaşık

zos borusu) içinde mıknatıslarla hapsedilen bu parçacıklar, arkadan ışığın üçte biri hızla fırlayacaktır. Bu hızlı ekzosun gemiye kazandıracığı hız da ışık hızının %66'sı. Frisbee, "bu, yapılabilecek en güçlü roket" diyor.



Alfa Centauri'ye gidecek iki kademeli bir roket için gerekli yakıt, 900.000 ton kadar. Bu yakıtla gemi 41 yıl içinde hedefine varabilir. Daha uzun bir yolculukta kullanılmak üzere yapılacak dört kademeli (ikisi hızlanmak, ikisi de yavaşlamak için) bir roket, karşımadde avantajlarından daha iyi biçimde yararlanır. Frisbee'nin hesaplarına göre böyle bir roket, 38 milyon ton karşımadde yakıtı kullanır: ama 41 ışık yılı uzaklıktaki 55 Cancri yıldızına olan yolculuğun süresini göze alınabilecek 130 yıla indirir. Aynı yıldızla bir füzyon roketiyle yapılacak yolculuğun alacağı süreyle 400 yıl.

başardılar. Toplam kütle, bir kilonun katrilyonda birinden daha küçük; yine de yıldızlararası yolculuk için ideal bir yakıt. Deneyde kullanılan düzeneğin ölçeğini artırarak bir roket

150'şer gramının birbirini yok etmesi, 10 milyon ton dinamitin patlama gücündeki 10 megatonluk bir hidrojen bombasının yapabileceğinden daha fazla enerjiyi açığa çıkaracaktır. Bu muazzam enerjinin yanısıra, tepkime pion ve muonlardan oluşan bir atomaltı parçacık yağmuru da yaratıyor. Filyon roketine gereken türden bir manyetik nozül (basıncı ek-



ROKETLERİN ÖTESİ

Sıradan roketler, hatta karşımadde roketlerinin ortak sorunu her Mercury, Gemini, Apollo aracıyla, her uzay mekiğinin fırlatılışında ortaya çıktı: Uzay aracı, itki sağlayacak yakıtın kütlesi yanında cüceleşiyor ve sonunda roket itkisinin en büyük kısmı, kendi yakıtını yerden kaldırmak için harcanıyor. Bu ilkel yöntem Dünya yörüngesine çıkış ya da Ay yüzeyine kısa bir yolculuk için kabul edilebilir. Ancak, birçok uzay mühendisi, başka yıldızlara yolculuk için daha hafif, daha kullanışlı, ürettikleri hız tüm roketlerinkini aşan, hatta neredeyse ışık hızına yaklaşan yaratıcı itki sistemlerine gerek olduğu konusunda birleşiyor. Bu konseptlerden bir tanesi üzerinde yıllardır çalışılıyor ve denenmesi yakın. Birinin gerçeklik kazanmasıysa şimdilik Alfa Centauri kadar uzak.

Lazer Yelkeni

Avantajlar: Hızlı; yakıt yükü yok; Teknolojinin erimi içinde

Sorunlar: Çok büyük lazer düzeneği gerekmesi; ancak lazerin baktığı yöne gidebilmesi

O sıralar Hughes Havacılık Şirketi'nin fizikçilerinden olan ve artık aramızda bulunmayan Robert Forward, 1984 yılında yayımladığı önemli bir makalede, kökleri tarih öncesine kadar giden eski yelken teknolojisinde ufak bir değişiklik önerdi. Rüzgar nasıl bir bez yelkeni okyanus üzerinde itebiliyorsa, güçlü bir lazer de dev bir yelkeni uzayda itebilir. Lazer demetindeki fotonlar yelkene çarptıklarında momentumlarını yelkene aktararak yelkeni çarpma yönünde iterler. Uzay yelkenlisi, ağır ağır, ama sürekli biçimde hız kazanarak uzak dünyalara doğru koşmaya başlar; ona itki sağlayan laserse Güneş Sistemi içinde "demirli" kalır. Frisbee, bir uzay gemisini başka bir yıldızla ulaştırarak en olası projenin bu olduğunu söylüyor.

Aslında mühendisler, itkisini bir lazerden çıkan foton demeti yerine Güneş ışığından alan basit bir yelken yaptılar bile. Önümüzdeki aylarda popülar

gökbilimci ve uzayda akıllı uygarlıklar arayan SETI projesinin fikir babalarından Carl Sagan'ın dul eşi Ann Druyan tarafından yönetilen Planetary Society (Gezegen Araştırmaları Derneği) adlı özel kuruluş, öncülüğünü yaptığı Güneş yelkeninin denemesini gerçekleştirecek. Yaklaşık 25 kg ağırlığında, 30 metre çapında mylar adlı son derece ince, hafif ve dayanıklı bir malzemeden yapılmış olan kanatlarla bir rüzgar güllünü andıran Cosmos 1 adlı uzay yelkeni, Barents Denizi'ndeki bir Rus denizaltısından fırlatılacak bir roketle Dünya çevresinde yörüngeye oturtulacak. Uzaya çıktıktan sonra yelken, Güneş tarafından daha yüksek bir yörüngeye itilecek. NASA'nın Jet İtki Laboratuvarı'nda güneş yelkenleri baş mühendisi Hoppy Price, bu türden yakıtsız itkinin yepyeni gezegen seferlerine olanak sağlayacağı düşüncesinde. Ancak, Güneş ışığı, artan mesafeye bağlı olarak 10'un katlarıyla azaldığından, güneş yelkenleri Güneş'ten uzakta bir işe yaramıyor.

Buna karşılık, odaklanmış bir lazer ışığı demeti, bir aracı Alfa Centauri ve hatta ötesine rahatlıkla itebilir: Çünkü bir lazer demeti, mesafe uzadıkça güneş ışığı kadar dağılıp güç yitirmez. Frisbee, 55 Cancrı yıldızına yolculuk için Forward'ın konsepti üzerine oturan bir taslak hazırlamış. Uzay gemisi 1000 kilometre çaplı alüminyum folyodan yapılmış bir yelken ve ortasına yerleştirilmiş mürettebat



Cosmos 1

Lazer Yelkenliğe Giriş:



Adım 1: 10.500 km çapında bir ışık kolektörü Güneş ışığını bir lazere odaklar. Lazer, Güneş ışığını düzgün bir demet halinde uzayda konuşlanmış esnek bir düzeltici aynaya gönderir.



Adım 2: Aynanın daha çok yoğunlaştırıp daha ince bir demet haline getirdiği lazer ışığı, 1000 km çaplı bir yelkeni ışık hızının %22'sine kadar hızlandırır.



Adım 3: Yolculuğun sonuna doğru yelken ikiye ayrılır ve lazeri geri yansıtır; böylece iç kısım yavaşlamaya başlar.

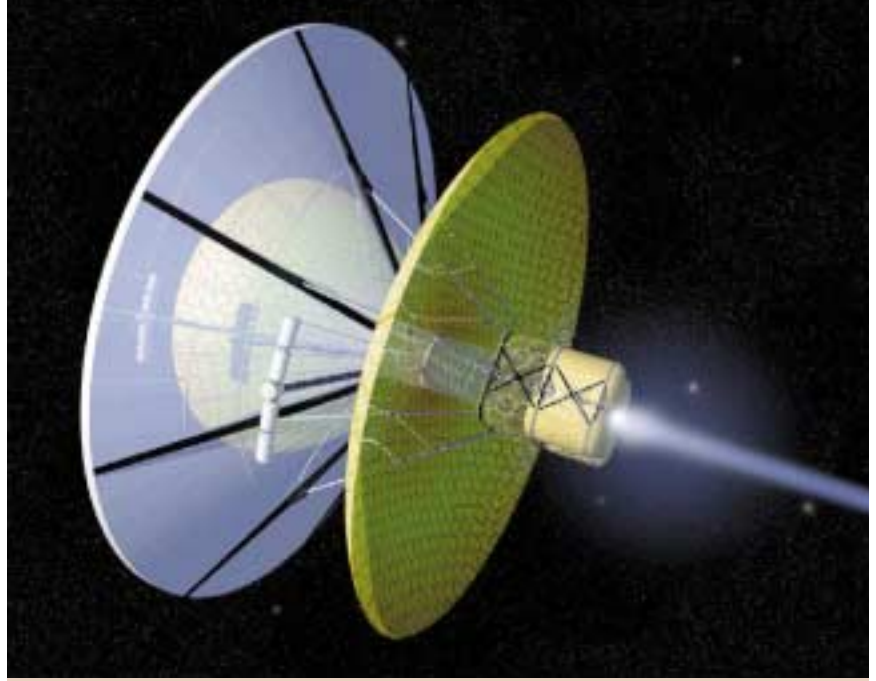
kabininden oluşuyor. Dünya yörüngesinde dolanan ya da Ay yüzeyine yerleştirilmiş güçlü bir lazer, önce yine 1000 km çaplı esnek bir aynaya yansıtılarak uzay gemisine gönderilecek. Böylece, odaklanan lazer yelkeni itebilecek. Uzay gemisinin seyir hızına erişebilmesi için önce birkaç yıl kesintisiz ışık pompalaması gerekecek. Daha sonra da birkaç yıl süreyle bu işi gemiyi yavaşlatmak için yapacak (Bkz: Aşağıdaki çizim).

Frisbee'nin yelkeninin böylesine geniş olmasının bir nedeni de gelen lazer demetinin muazzam enerjisini dağıtma gereği. Alüminyum, 660°C gibi görece düşük sıcaklıkta eriyen bir metal. Ancak, yelkenin uzayda yapılması halinde, mühendisler daha hafif ve daha dayanıklı malzemeler kullanabilirler. NASA'nın Glenn Araştırma Merkezi'nden Geoffrey Landis, yaklaşık 2500 °C sıcaklığa dayanabilen niobyumdan, ya da 1800 °C'de grafitte dönüşen elmadan yapılmış ince filmler üzerinde çalışıyor. Landis'e göre bu filmlerin kalınlığı, bir sabun köpüğününki kadar.

Yüksek sıcaklığa dayanıklı filmler, daha ince ve yoğun (dolayısıyla itme gücü daha yüksek) lazer demetlerinin kullanımına olanak sağlıyor. Frisbee'nin alüminyum yelkeniyle aynı yeteneklere sahip bir "elmas filmi" yelken, daha hızlı ivmelenme ve yavaşlama sağlayarak toplam yolculuk süresini kısaltabilir.

Ancak, ışın daha zor olan kısmı, yelkeni 55 Cancrı'ye kadar itebilecek lazer gücünü oluşturabilmek. Frisbee'nin hesaplarına göre bu, 17.000 terawatt (trilyon watt) gücünde lazer demetinin yıllar boyu gönderilmesi demek. Bu miktar, Dünya'da herhangi bir anda tüketilen toplam enerjinin 1200 katı!... Frisbee, böylesine muazzam bir enerji talebini karşılayabilmek için, Güneş pompalı bir lazer öneriyor. Bu, Güneş ışığını toplayıp, odaklı ve düzgün biçimde tek yönde gönderen bir düzeneğe Chicago Üniversitesi fizikçileri Roland Winston ve Joseph O'Gallagher şimdiden ışığı normalin 84.000 katına kadar yoğunlaştıran bir sistem geliştirmiş bulunuyorlar.

Frisbee "Güneş yelkenleriyle çalışma çalışa bir de bakacağız, lazer yelkeni sistemindeki sorunları çözmüşüz" diyor. Bu teknolojiyi bir kez oluşturduktan sonra, artık depomuzdaki yakıtın bizi nereye kadar götüreceği gibisinden tasarlara yer yok. Tasarımdaki ufak bir değişiklik, gemiyi yolculuğun sonunda yavaşlatıp durdurmayı bile başatabileceğiz. Ve en önemlisi, bir lazer yelkeninin maksimum hızı, yalnızca ışığın hızıyla sınırlı! Frisbee'nin çalışmasında bir lazer yelkeni yalnızca on yıl içinde ışık hızının yarısına kadar ivmeleniyor. Frisbee'nin hesaplarına göre 320 kilometre çaplı bir yelkenle Alfa Centauri'ye yalnızca 12,5 yılda varıyoruz. 55 Cancrı çevresinde dolanan bir gezegenle randevumuza yetişmek içinse 1000 km çaplı bir yelken ve 86 yıl gerekiyor.



Füzyon Ramjeti

Avantajlar: Işık hızına yakın hızlar; herhangi bir yönde sınırsız yıldızlararası yolculuk

Sorunlar: Fizikte ve mühendislik bilgilerinde önemli ilerlemeleri bekliyor olması

Yıldızlararası bir "rüya gemisi" halinde bir lazer yelkeniyle, sıradan bir roketin en iyi tarafını birleştireni olacaktır.

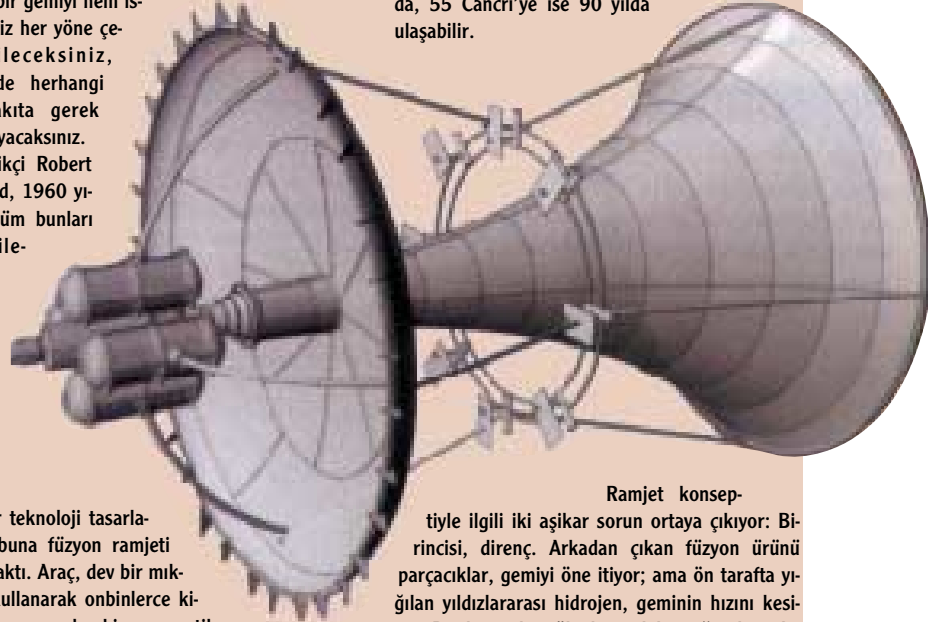
Böyle bir gemiyi hem istediğiniz her yöne çevirebileceksiniz, hem de herhangi bir yakıt gerek duymayacaksınız.

Fizikçi Robert Bussard, 1960 yılında tüm bunları yapabile-

cek bir teknoloji tasarladı ve buna füzyon ramjeti adını taktı. Araç, dev bir miktar kullanılarak onbinlerce kilometre çapında bir manyetik "hortum" yaratıyor. Hortum, yıldızlararası ortamda bulunan hidrojeni toplayıp yakıt olarak bir reaktöre indiriyor. Ağırlık yapan yakıt tankları olmadığından, füzyon ramjeti ışık hızına yaklaşabiliyor ve gökada içinde istediği her tarafa gidebiliyor.

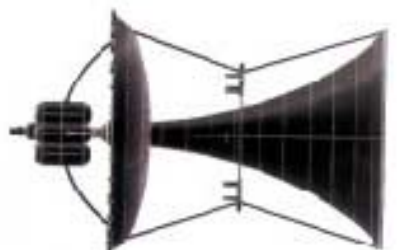
Bununla birlikte Frisbee, ramjet konseptinin

henüz yeterince olgunlaşmamış olduğu uyarısında bulunuyor ve "Bu noktada ayağı en az yere basan bu" diyor. Düzeneğin, ışık hızının %4'üne ulaşmaya kadar bir füzyon roketi modunda çalışmasının gerekeceği hesaplanıyor. Bu noktadan itibaren manyetik hortum, roket motorlarını düzenli olarak çalıştırmaya yetecek kadar hidrojen toplamış olacak. Frisbee'nin kaba tahminlerine göre araç Alfa Centauri'ye 25 yılda, 55 Cancrı'ye ise 90 yılda ulaşabilir.



Ramjet konseptiyle ilgili iki aşikar sorun ortaya çıkıyor: Birincisi, direnç. Arkadan çıkan füzyon ürünü parçacıklar, gemiyi öne itiyor; ama ön tarafta yığılan yıldızlararası hidrojen, geminin hızını kesiyor. Bu durumda, gökadanın daha yoğun kısımlarında yol alırken gemi neredeyse durma noktasına kadar yavaşlayabilir. Nitekim Pioneer Astonautics adlı bir firmanın yöneticisi olan mühendis Robert Zubrin, bir uzay gemisini ek yakıt harcamadan yavaşlatmak için benzer bir manyetik alanın fren olarak kullanılmasını önermiş bulunuyor.

İkinci sorunsu, günümüzün deneysel füzyon reaktörlerinde yakıt olarak kullanılan döteryum ve trityumun uzayda ender bulunması. Uzaydaki hidrojenin çok büyük bir bölümü, tepkimeye girme konusunda çok daha müşkülpeşent olan, tek protonlu sıradan tür. Frisbee, "hiç kimse, saf hidrojeni nasıl füzyona sokacağı konusunda doğru dürüst bir fikir sahibi değil" diyor. Ama öte yandan biliyoruz ki, bu evrenin her yerinde çok büyük miktarlarda gerçekleşiyor. Çünkü yıldızların yolunu biliyor!...





PERSONEL SORUNLARI

Bir astronotu 40 yıl yaşatmayı başarabilir miyiz?

Yıldızlararası yolculuklarda çözülmesi gereken insan denklemi de en az roket denklemi kadar çetrefil çıkabilir. Astronotları bir uzay istasyonunda nasıl sağlıklı tutacağımızı öğrenmiş olmamıza karşın, genellikle “nöbet” sürelerini birkaç ay süre ile sınırlandırıyor ve gezegenimizden onlara gereksinim duyabilecekleri her şeyi düzenli olarak gönderiyoruz. Oysa başka bir gezegene yapılacak keşif seferi, herhangi bir destek olmaksızın on yıllar boyunca küçük

bir mekan içinde yolculuk anlamına gelebilecek. Ay’a yapılan Apollo seferleri çağından önce bir insanı uzayda bu süreler boyunca sağ ve sağlıklı tutabilmek, üstesinden gelinemeyecek bir güçlük olarak nitelendirilmekteydi. Ancak, o günden bugüne, yaşam-destek bilimi de roket tasarımlarındaki gelişmelere taş çıkartacak bir hızla ilerledi. NASA’nın Integrity Projesinin yöneticisi ve Houston’daki Johnson Uzay Merkezi’nde yaşam-destek çalışmalarının kıdemli araştırmacısı Donald Henninger, yukarıdaki soruyla karşılaşınca gözünü bile kırpmıyor: “Elbette başarırız!”.

Çemberi Kapamak

Dünya, üzerindeki 6 milyar insanı, milyarlarca kilometre küp atmosfer, yüz milyonlarca kilometre küp hacmindeki okyanusları milyarlarca hektarlık ekilebilir topraklarıyla yaşatabiliyor. Henninger, bu muazzam sistemi, evrenin acımasız gerçeklerine karşı bir “tampon” olarak nitelendiriyor. Tabii ki Dünyamızın bu hava ve su kaynaklarının ancak çok önemsiz bir bölümü insanların içinden geçebiliyor. Bu da bir bakıma iyi; çünkü bir uzay gemisinin içindekilere sunacağı kaynaklar, bir gezegeninkilerle karşılaştırılabilecek bir şey değil. Bir uzay gemisinde insanın umabileceği en iyi şey, mütevazı su, oksijen ve yiyecek stoklarını neredeyse %100 verimle tekrar tekrar geri kazanılması. Uzay bilimcileri buna çemberi kapalı tutmak diyorlar. Yani geri kazanım sürecini 3 yıl ya da otuz yıl ya da daha fazla sürdürmek. Henninger, “süre önemli değil” diyor “Yeter ki tüm çemberleri kapadığınızdan emin olun”.

Yiyecek:

Uzay yolcularının karınlarının sefer boyunca dolu olması, gemide bitkilerin yetiştirilip hasadını gerektiriyor. Henninger’e göre uzayda çiftçilik o kadar zor değil. “sorun, yalnızca bunu ne kadar etkin biçimde yapabileceğimiz”. Araştırmacı, ekibiyle birlikte kalori çıktısı yüksek olan ve gelişim döngüsü kısa buğday ve patates gibi bitkilerle deneyler yürütüyor. Araştırmalar, bitkilerin büyük çoğunluğunun yüksek karbondioksit dozlarına maruz bırakıldıklarında daha hızlı geliştiklerini göstermiş bulunuyor. Karbon dioksit astromotların solunumuyla bol miktarda ortama bırakılıyor. Henninger, “kullanabileceğim kütle ve güç kullanımıyla ilgili sınırlamalar makul ölçülerde olsun, ve gıda üretimini yaşam-destek perspektifiyle gerçekleştirebiliriz” diyor. “Burada aşılamayacak bir durum sorun görünmüyor”. Yıldızlararası sefer için geliştirilmiş bir gemide makul güç de, makul kütle öyle sorun olacak şeyler değil. Uluslararası Uzay İstasyonu 179 ton çekiyor.



Bir yıldızlararası gemide bunun 10 katı ağırlıkta bir mürettebat bölümü, bir karşı madde roketinin kütlesini %10’dan daha az artırır. Frisbee’ye göre de bu “Kovaya düşen fazladan bir damla”dan başka bir şey değil.

Hava

Astronotlar ciğerlerine oksijen çekip karbon dioksit verirler. Mekanik emiciler karbon dioksiti ortamdaki havadan çekip alırlar; daha sonra da iki oksijen atomuyla bir karbon atomu arasındaki bağları kimyasal süreçlerle çözüp oksijeni hava döngüsüne yeniden sokabilirler. Henninger “Oksijen çemberini kapamak üzereyiz” diyor. Araştırmacılar çemberi yakında Uluslararası Uzay İstasyonu’nda kapayabilmeyi umuyorlar.

Su

Su çemberinin kapatılmasıysa, duş suyunun, sulama suyunun, idrarın, hatta terin saflaştırılarak tatlı su haline getirilmesini gerektiriyor. Gerçi uzay mekiğindeki astronotlar temiz suyu mekikte elektrik eldesi için hidrojenle oksijeni birleştiren yakıt hücrelerinin bir yan ürünü olarak sağlıyorlar; ama bu uzun vadeli bir çözüm değil. Yerdeyalıtım odalarıyla yapılan deneylerde NASA araştırmacıları havadaki buharı yoğunlaştırarak ve atık su ile idrarı yeniden işleyerek 90 gün süreyle temiz su elde etmeyi başardılar. Yıldızlararası bir yolculukta bir karşımadde roketi ya da yüksek güçte bir lazer bu işin daha büyük ölçeklerde gerçekleştirilmesi için gereken enerjiyi bol bol sağlayabilir.

Psikoloji

İlk yıldızlararası yolcular için dönüş yok. Gidiş bir insan ömrünün büyük kısmını alacak. Böyle bir yolculuğa seçilmek için astronotlara ne gibi yetiler gerekli? Gemi, kaç kişi taşımalı? Hedefe ulaşıldığında keşif yapacak genç insanların bulunabilmesi için yola çıkarken gemiye küçük çocuklar, ya da doğurgan yaşta çiftler mi alınmalı? Ve on yıllar sürebilecek bir yolculukta ortaya çıkması kaçınılmaz anlaşmazlıklar, kişilik çatışmaları ya da kapalı kalmaktan bulunma duygusuyla nasıl baş edeceksiniz?

Kütleçekim

Ağırlıksız ortamda birkaç aydan sonra kemikler erimeye başlıyor. Çünkü kemikler, Dünya’nın kütleçekiminden gelen sürekli baskıya direnmek için güçleniyorlar ve baskı ortadan kalktığında, güçlü kalmak için sarfedilen efor, ekonomik olmaktan çıkarıyor. Ama, gemide kütleçekimini yapay olarak yaratmanın bir yolu var. Silindirik bir mürettebat bölümü yapın ve bunu bir hamster tekerleği gibi döndürün. Merkezkaç kuvveti astronotları dış duvarlara doğru itecek ve bir ağırlık duygusu sağlayacaktır.

Radyasyondan Korunma

Elektrik yüklü enerjik parçacıklardan oluşan Güneş rüzgarı, Güneş sistemi çevresinde manyetik bir koza oluşturur. Şimdiye kadar hiçbir uzay gemimiz Güneş’in bu etki alanının dışına adım atmadığı için yıldızlararası ortam konusunda fazla net bir bilgimiz yok. Ancak bu ortamda ölümcül olabilen yüksek hızlardaki atomaltı parçacıklardan oluşan kozmik ışınlarla rastlayacağımız kesin. Filyon ve karşımadde roketleri de kendi radyasyonlarını üretiyorlar. Mürettebatı korumak için bir tür radyasyon kalkanına gereksinim var. Bunun için örneğin kurşundan ya da geminin kendi yakıtından yararlanılabilir.

Fiziki Tehlikelere Karşı Korunma

Yıldızlararası uzayın son derece boş olmasına karşın, bir uzay gemisinin referans çerçevesinden ışık hızının yarısı hızda seyreden mikroskopik bir toz parçasının çarpışı bile bir felakete sonuçlanabilir. Yıldızlararası uzayın daha ayrıntılı bir envanterinin çıkartılması, bize ne kadar ve ne tür bir kalkana gereksinimimiz olduğunu gösterecek.

Neden Yalnızca Bir Robot Göndermeyelim?

Bir başka yıldız yapılan bir seferin Dünyamızdaki bir kontrol merkezince yönetilme gibi bir lüksü yok. Alfa Centauri yakınlarından gönderilen bir imdat sinyalinin bize ulaşması 4,5 yıl alacak, bizim talimatlarımızın güç durumundaki mürettebata ulaşması da bir o kadar alacaktır. Uzay gemisinin bir robot tarafından yönetilmesi seçeneği, NASA’nın yapay zeka uzmanı Steve Chien’i zorluyor. Chien, “sisteminiz, her an ortaya çıkacak yeni yeni sorunlardan ayakta kalarak çıkabilecek kadar sağlam olmalı” diyor. Seferin sonunda da robotun işi bitmiyor. Dünya’dan talimat gelmesini beklemeden ayrıntılı bir bilimsel keşfi gerçekleştirmesi gerekiyor. Buna karşılık insan beyninin esnekliğini ve uyum sağlama yetisini taklit edebilecek bir yapay zeka, şimdiye kadar ortaya konabilmiş değil. Kansa bile, yardımcı pilot koltuğunda bir insanın varlığını tercih ederdik.

Weed, S.W., “Star Trek” Discover Ağustos 2003
Tung, B. “Relativistic Travel: To the Stars in a Lifetime”
Sky and Telescope, Şubat 2003
Zeynep Tozar