

DÜŞMEDEN DÜŞMEYE FARK VAR..

YÖRÜNGEDE BİR TOP!..



TOPUN kullanıldığı hemen bütün sporlarda top şu veya bu zamanda balistik hareket yapar. Oynadığınız basketbol, futbol, hentbol, golf, tenis, su topu, veya her neyse, top atılır, tekmelenir, vurulur ve yeniden yere dönmeden önce kısa bir süre havada kalır.

Havanın direnci bütün bu topların izlediği yolu etkiler; ancak onları harekete geçiren ne olursa olsun ya da nereye düşerse düşsünler, bu yolu belirleyen, temelde Newton'un 1687'de hareket ve kütleçekim konusunda yayınladığı, devrimsel nitelikteki *Principia* eserinde yer alan basit bir denklem. Ondan birkaç yıl sonra da Newton, keşiflerini eğitim görmüş sıradan insanlar için yorumladığı, *Dünya'nın Sistem'i*ni yayımladı. Kitabın içerdiği olgulardan biri, bir taşın, her seferinde daha büyük hızla yatay olarak fırlatıldığında ne olacağıydı. Taşların, attığımız noktadan giderek daha uzağa, en sonunda ufuk ötesinde yere düşeceği barizdi. Ama eğer hız yeterince büyükse, taş hiç yere düşmeden Dünya çevresini dolaşa-

cak, sonra da gelip sizi ensenizden vuracaktı. O anda başınızı eğip taşı atlattırmamız durumundaysa sonsuza kadar, yörünge olarak bilinen izlek boyunca yoluna devam edecekti. Bu da kuşkusuz yapıp yapacağımız en iyi atış olurdu!

Alçak yer yörüngesinde dolanmak için gereken hız (yatay doğrultuda) saatte 29.000 kilometreden biraz daha küçüktür ve bir tur yaklaşık bir buçuk saat alır. Uzaya fırlatılan yapay uydu Sputnik 1, ya da Dünya atmosferi dışına yolculuk yapan ilk insan olan Yuri Gagarin, bu hıza erişmeselerdi, yörüngeye girmeyi de asla başaramazlardı.

Newton, kütleçekim etkisi oluşturan herhangi bir küresel nesnenin, bütün kütleleri merkezinde yoğunlaşmış gibi davranacağını da göstermişti. Buna göre Dünya yüzeyindeki iki kişinin birbirine attığı herhangi bir nesne de yörüngeye girer; ancak bu durumda izlek, yeryüzünü keser. Bu, 1961'de Alan B. Shepard'ın Mercury projesi uzay aracı Freedom 7'de yaptığı on beş dakikalık yolculuk için geçerli olduğu gibi, bir

golf vuruşu ya da bir kafa vuruşu için de geçerli. "Yörünge-altı" deyimi, bütün bu atışların izlekleri için kullanılıyor. Eğer önlerinde Dünya yüzeyinin oluşturduğu engel olmasaydı, bütün nesnelere Dünya merkezi çevresinde, biraz uzun olmakla beraber kusursuz yörüngeler izlerlerdi. Kütleçekim yasası bu izlekler konusunda fazla ayırım yapmasa da, NASA yapar. Shephard'ın yolculuğunda hava direnci çoğunlukla yoktu; çünkü ulaştığı yükseklikte zaten pek az hava vardı. Medyanın ona "Amerika'nın ilk uzay yolcusu" tacını giydirmesinin nedeni de bu.

Balistik füzeler için tercih edilen izlekler, yörünge-altı izleklerdir. Fırlatıldıktan sonra hedefe doğru balistik kavis çizen bir el bombası gibi, balistik bir füze de fırlatıldıktan sonra yalnız çekim kuvveti etkisiyle 'uçar'. Bu kitle imha silahları sestem hızlı, Dünya çevresinin yarısını kırk beş dakikada kat edecek bir hızla gittikten sonra, saatte binlerce millik hızla toprağa düşerler. Eğer balistik füze yeterince ağırsa, gökyüzünden yere düşmekle bile, taşıdığı

konvansiyonel bir bombanın patlamasından daha fazla yıka- ma yol açabilir.

Dünyanın ilk balistik füzesi, Wernher von Braun öncülü- ğünde bir grup Alman bilimci tarafından tasarlanmış ve İkinci Dünya Savaşı'nda Naziler tara- fından kullanılmış V-2 roketiy- di. Atmosfer dışına gönderilen ve mermi şeklinde büyük yüz- geçeri olan bu roket, bir nesil boyunca uzay gemisi tasarımla- rına esin kaynağı oldu. Müttefik kuvvetlerine teslim olduktan sonra ABD'ye getirilen von Bra- un, 1958'de fırlatılan ilk ABD uydusu olan Explorer'ın fırlat- ma çalışmalarını yönetti. Kısa süre sonra, yeni kurulmakta olan Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi NASA'ya gönderildi. Orada o zamana kadar yapılan en güçlü roket olan Saturn V'i geliştirerek, ABD'nin, Ay'a git- me düşünüyü gerçekleştirmesini olanaklı kıldı.

Yüzlerce yapay uydu Dünya çevre- sinde dönerken, Dünya da bir yandan Güneş'in çevresinde döner. 1543'teki dev eseri *De Revolutionibus* (Dönme Üzerine)'da Nicolaus Copernicus, Gü- neş'i evrenin merkezine yerleştirmiş ve o çağda bilinen bütün gezegenlerin - Dünya, Merkür, Mars, Satürn ve Jüpiter- onun çevresinde tam dairesel bir yörüngede hareket ettiklerini öne sür- müştü. Copernicus'un bilmediği bir şey vardı: yörüngeler, çok ender olarak çember biçimini alır; Güneş Sistemi- mizdeki hiç bir gezegenin yörüngesi de çember biçiminde değildir. Gezegen yö- rüngelerinin gerçek biçimleri Alman matematikçi ve gökbilimci Johannes Kepler'in 1609'da yayımladığı hesapla- malarıyla ortaya çıktı. Kepler'in geze- gen hareketleri için ilk yasası, gezegen- lerin Güneş çevresindeki yörüngeleri- nin eliptik olduğu yolundaydı.

Elips, basıklaştırılmış bir çemberdir. Basıklaşma derecesi "eksantriklik" de- nen sayısal bir nicelikle tanımlanır ve e harfiyle gösterilir. Eğer e sıfırsa, kusur- suz bir çemberiniz var demektir; e sıfır- dan bire doğru yaklaştıkça elipsiniz de giderek uzar. Öyleyse, e büyüdükçe bir başka yörüngeyi kesme olasılığı da ar- tar. Güneş Sistemi dışından gelen kuy- ruklu yıldızların yörüngelerinin eksant-



Gezegen yörüngelerinin eliptik biçimlerini ortaya çıkaran Kepler'e göre, gezegenlerin Güneş'e olan uzaklıkları, Öklid'in beş düzgün yüzü cisminin farklı düzenlenmeleriyle bulunabilir.

rikliği yüksektir. En eksantrik gezegen, Güneş çevresinde yaptığı her turda Neptün'ün yörüngesini kesen ve dolayısıyla bir kuyruklu yıldız gibi davranan Pluton'dur.

Uzunlamasına bir yörünge en uç örneği, Amerika'dan Çin'e kadar kazı- lan ünlü tünel örneğidir. Coğrafya me- raklılarının beklentilerinin tersine, Çin, yerküre üzerinde ABD'nin tam karşısı- na düşmez. Karşı konumda olan, Gü- ney Hint Okyanusu'dur. Üç kilometre derinliğindeki su kütleinin altından çıkmayı önlemek için, Montana'daki Shelby'den başlayıp dünyanın merke- zinden geçerek Hint Okyanusu'ndaki Kerguelen Adalarına doğru kazmamız gerekiyor.



Şimdi sıra eğlenceli bö- lümde. Tünelin içine atlayın. Önce ağırlıksız serbest düş- meyle Dünya'nın merkezine kadar sürekli hızlanarak gi- dersiniz. (Gerçi orada demir çekirdeğin korkunç sıcaklı- ğıyla buharlaşıp gidersiniz; ama bu önemsiz ayrıntıyı ge- çebiliriz...) Çekim kuvvetinin sıfır olduğu merkezden hızla geçtikten sonra da öteki tara- fa doğru düzgün biçimde yavaşlarsınız. Tünelin öteki ucuna vardığınızda hızınız da sıfıra inmiştir. O anda bir Kerguelen sakini sizi yaka- nızdan tutup da dışarı çıkar- mazza, yine delikten aşağıya düşmeye başlar ve bu git- gel'i yineler durursunuz. Böylece, bungee jumping (esnek halatla yüksek yer- den atlama sporu) ustalarını kışkırtmanın yanısıra, bir buçuk saatlik gerçek bir yö-

rünge de çizmiş olursunuz!

Bazı yörüngeler o denli eksantrikler ki, kapalı bir eğri çizmek için geriye dönmezler. Eksantrisite tam bir oldu- ğunda yörüngeler parabol, birden bü- yük olduğunda da hiperbol çizerler. Bu şekilleri gözünüzün önünde canlandır- mak için bir el fenerini yakındaki bir duvara yöneltin. Işık konisi duvarda bir daire oluşturur. Sonra el fenerini yavaş yavaş yukarıya doğru çevirin; eksant- rikliği giderek büyüyen elipsler görür- sünüz. Işık konisi dikey duruma geldi- ğinde, yakındaki duvara hâlâ düşmekte olan ışığın biçimi, tam bir paraboldür. El fenerini aynı yönde, yukarı doğru eğmeyi sürdürürseniz bir hiperbol elde edersiniz. (Kampa gittiğinizde farklı bir

oyununuz var artık.) İzleği parabol ve ya hiperbol olan bir nesne hiçbir zaman geriye dönemeyecek kadar hızlı gidiyor demektir. Eğer gökbilimciler bir gün bu tür bir yörüngede giden bir kuyruklu yıldız keşfederlerse, onun yıldızlararası uzayın derinliklerinden gelip Güneş Sistemi içinden bir seferliği geçtiğini biliyor olacağız.

Newton'un kütleçekim yasası, evrenin herhangi bir yerinde, neden yapılmış olursa olsun, küçük veya büyük, herhangi iki cisim arasındaki çekim kuvvetini ifade eder. Örneğin, Dünya-Ay sisteminin davranışını anlamak için Newton yasası yeterlidir. Ancak üçüncü bir cisim olduğunda -üçüncü bir kütleçekim kaynağı- sistemin hareketi hayli karmaşık bir hale gelir. Daha genel olarak "üç-cisim problemi" olarak bilinen bu üçlü sistem, izlenmesi bilgisayar gerektiren, çok çeşitli izlekler sergiler.

Bu probleme getirilen bazı ilginç çözümlere bakalım. "Sınırlandırılmış üç-cisim problemi"nde üçüncü cismin kütlelerinin öteki iki cisme göre çok küçük olduğunu varsayarak, onu denklemlerde yok sayarsınız. Böylece sistemdeki üç-cisim hareketlerini, biraz yaklaşık da olsa, güvenilir olarak saptayabilirsiniz. Bu bir aldatmaca değil. Gerçek evrende bu türden birçok sistem var. Örneğin, Güneş, Jüpiter ve onun küçücük uydularından biri. Güneş Sistemi'nden bir başka örnek de, Güneş çevresinde, Jüpiter'in 800 milyon kilometre önünde ve arkasında kararlı yörüngelerde hareket eden bir göktaşı ailesi. Aile bireylerinden her biri, Jüpiter ve Güneş'in çekim kuvvetiyle Güneş çevresindeki yörüngesine kilitlemiş durumda.

Üç-cisim problemi için bir başka özel durum, yakın geçmişte keşfedildi. Kütleleri eşit olan üç cisim alıp, onların birbirini ardından hareket ederek uzayda bir sekiz çizdiklerini düşünelim. Otomobil yarışlarında da sekiz çizen pistler vardır ve insanlar pistin kesiştiği noktada çarpışan arabalara sıklıkla tanık olurlar. Üç-cisim probleminin katılımcıları daha şanslı. Çekim kuvvetleri, kesişme noktasında sistemin her zaman "dengede" olmasını gerekli kılar; ayrıca karmaşık genel üç-cisim probleminden farklı olarak, bu sistemde bütün hareketler bir düzlem üzerinde yer alır. Ne yazık ki bu özel durum öyle tu-

haf ve enderdir ki, gökadamız içindeki yüz milyarlarca yıldız arasında belki de bir tane bile böyle sistem yoktur; evrenin tümündeyseniz birkaç örnek ya vardır ya yoktur. Bu bakımdan sekiz biçimli yörüngesi olan üç-cisim sistemi, astrofizik bakımından pek de önemli olmayan matematiksel bir yaratıktır.

Üç veya daha fazla cisim arasındaki çekim etkileşimi, 'düzgün' davranan birkaç örnek dışında, sonunda yörüngelerinin deyim yerindeyse yoldan çıkmasına neden olur. Bunun nasıl olduğunu görmek için Newton'un hareket ve kütleçekim yasalarını bilgisayarda kurgulayın. Sonra her bir nesneyi, ken-



Dünyanın bir ucundan diğerine kazılacak bir tünelde 'nasıl düşüleceği' sorusunu, matematikçi Lewis Carroll da ünlü karakteri Alice'e sordurmuştu.

disiyle kurgudaki diğer nesnelere arasındaki çekim kuvveti uyarınca itekleyin. Bütün kuvvetleri yeniden hesaplayın ve süreci yineleyin. Bu yalnızca akademik bir deney değil. Güneş Sistemi göktaşları, uydular, gezegenlerin olduğu çok-cisimli bir problem ve Güneş karşılıklı çekimlerin sürekli etkileşim yaptığı bir durumda. Newton, kağıt kalemle çözemediği bu problem konusunda hayli endişeliydi. Güneş Sistemi'nin tümüyle kararsız olduğunu ve sonunda gezegenlerinin Güneş'le kafa-kafaya çarpışacağını ya da yıldızlararası uzaya fırlatılacağını düşünürdü. Tanrının arada bir işlere el koyup her şeyi düzleteceğini varsayar.

Ondan yüz yılı aşkın bir zaman sonra, on sekizinci yüzyıl Fransız gökbilimci ve matematikçi Pierre-Simon de Laplace, *Mécanique Céleste* (Gök Mekaniği) çalışmasında Güneş Sistemi'nin çok-cisimli probleminde bir çözüm sundu. Bunu yapmak için bir sistemdeki küçük düzensizlikleri konu alan ve pertürbasyon kuramı olarak anılan matematiksel bakış açısını geliştirmesi gerekmişti. Buna göre, yalnızca bir tek büyük çekim kaynağı vardı ve bütün öteki kaynaklar ufak, ama sürekli olarak etkindi. Bu, tam da bizim Güneş Sistemimizde baskın olan durum. Laplace, Güneş Sistemi'nin gerçekten kararlı olduğunu çözümsel olarak kanıtlamış ve bunu yapmak için yeni fizik yasalarına gerek olmadığını göstermişti.

Peki, durum gerçekten öyle mi? Modern çalışmalar, yüzlerce milyon yıllık zaman ölçeğinde -Laplace'ın düşündüğünden çok daha uzun- gezegen yörüngelerinin kaotik olduğunu gösterdi. Bu durumda, Merkür'ün Güneş üzerine 'düşmesi' ve Pluton'un da Güneş Sistemi'nden fırlayıp gitmesi olasılığı var. Daha da kötüsü, Güneş Sistemi ilk oluştuğunda düzinelerle gezegeni olabileceği, çoğunun da uzun zaman önce yıldızlararası uzayda kaybolmuş olabileceği ihtimali. Copernicus'un masum basit çemberlerinin bulunduğu nokta, işte burası.

Eğer bir şekilde Güneş Sistemi düzleminden yükseğe çıkabilseydiniz Güneş'in yakınlarındaki her yıldızın saniyede on ila yirmi kilometre hızla ileri geri hareket ettiğini görebilirdiniz. Ancak yıldızlar bir bütün olarak saniyede 200 kilometreden büyük hızla, gökda-

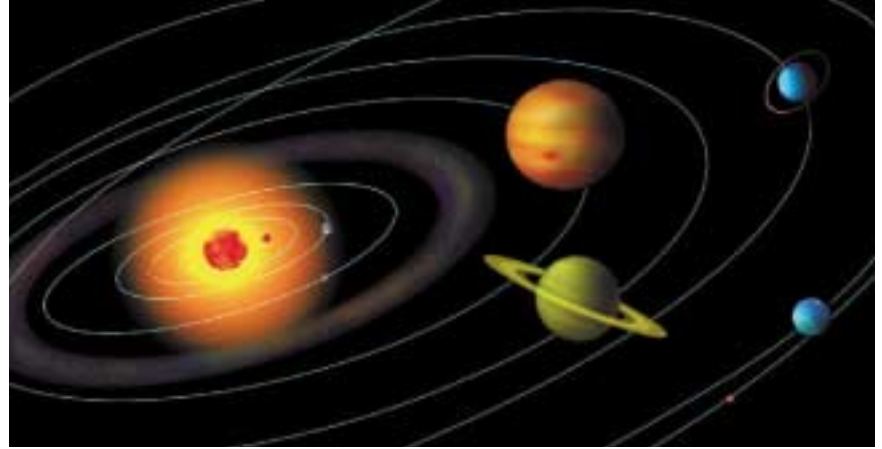
da geniş ve hemen hemen dairesel yörüngeler izlerler. Samanyolu gökadasındaki yüz milyar yıldızın büyük bölümü geniş, düz bir disk üzerinde yer alır ve -tıpkı öteki spiral gökadalarda yörünge izleyen nesnelere gibi- Samanyolu'nu oluşturan bulutsular, yıldızlar ve öteki öğeler, büyük dairesel yörüngeler üzerinde hareket ederler.

Yükselmeyi daha da sürdürürseniz, yalnızca 2,3 milyon ışık yılı uzaklıktaki güzel Andromeda gökadasını da görebilirsiniz. Bize en yakın spiral gökada odur ve günümüzde sahip olduğumuz bütün veriler, onunla çarpışma yönünde hareket ettiğimize, birbirimizin çekim alanına doğru giderek daha derinlemesine girdiğimize işaret ediyor gibi. Bir gün, etrafa saçılmış yıldızlar ve çarpışan bulutların burulmuş bir yıkıntısı haline geleceğiz. Yalnızca altı ya da yedi milyar yılımız var. Ne var ki, görelî hareketlerimizin daha iyi ölçülmesiyle, gökbilimciler bizi bir araya getiren hareket dışında, güçlü bir yan bileşenin de var olduğunu keşfedebilirler. Durum gerçekten buysa, Samanyolu ve Andromeda birbirlerinin yanından, uzayan bir yörünge dansıyla salınarak geçebilirler.

Balistik hareket, serbest düşmenin de var olduğu anlamına gelir. Newton'un, örneğinde izleklerini açıkladığı taşlardan her birinin hareketi serbest düşmeydi. Yörüngeye giren taş da Dünya'ya doğru serbest düşme yapıyordu; ancak, gezegenimizin yüzeyi onun düşme hızıyla orantılı biçimde eğikleşiyordu. Bunun nedeni, başlangıçta taşın çok hızlı olarak yanal hareket yapmasıydı. Uluslararası Uzay İstasyonu da Dünya'ya doğru serbestçe düşmekte. Ay da öyle. Newton'un taşları gibi bunlar da, yere düşmelerini önleyen olağanüstü yanal harekete sahipler.

Serbest düşmenin ilginç yanı, bu tür bir yol izleyen bir araç içinde, sürekli ağırlıksız durum olması. Serbest düşüşte, çevrenizdeki her şeyle eşit hızla düşersiniz. Ayaklarınızla taban arasına konan bir tartı aleti de dahil. Tartıya baskı yapan bir şey olmadığı için, gösterge sıfır konumunda olacaktır. Astronotların uzayda ağırlıksız olmasının tek nedeni bu.

Ne var ki, uzay aracı hızını artırdığında, dönmeye başladığında, ya da Dünya atmosferinin direncine maruz kaldığında serbest düşme sona erer ve



astronotların ağırlık göstergesi yükselebilir. Bilimkurgu meraklıları, uzay aracı olarak doğru hızla döndürülürse, ya da cisimlerin yere düşerken sahip olduğu ivmeyle hızlandırılırsa, astronotların ağırlıklarının da tartı üzerinde sıfırdan yüksek görüleceğini bilirler. O uzun, can sıkıcı uzay yolculuklarında, Dünya'nın çekim kuvvetini her zaman taklit edebilirsiniz.

Newton'un yörüngelerle ilgili mekanizmasının ilginç bir uygulaması da, sapan etkisi. Uzay araştırmacıları çoğu zaman Dünya'dan insansız uzay roketi fırlatırlar. Bu roketlerin yakıt kapasitesi, hedeflenen gezegen bölgesine ulaşmak için gerekenden çok daha az olur. Yörünge sihirbazları kurnazca, bunların izleklerini Jüpiter gibi hareketli ve büyük bir çekim kaynağının yakınından geçecek şekilde düzenlerler. Jüpiter'e doğru ve onun hareketiyle aynı doğrultuda hareket eden böyle bir roket, gezegenin yakınından geçerken yüklü bir



yörünge enerjisi çalmış olur ve ileriye doğru fırlar. Eğer yol, gezegenler bakımından doğru çizilmişse, aynı kurnazlığı Satürn, Uranüs ve Neptün'ün yakınından geçerken de yapar ve her yakın karşılaşmada daha fazla enerji elde eder. Yalnızca Jüpiter'e bir kez yaklaşmak bile, roketin Güneş Sistemi içindeki hızını iki katına çıkarır.

Gökadamızın en hızlı hareket eden yıldızları, Samanyolu'nun merkezindeki, olağanüstü kütleli karadeliğin yanından 'uçarak' geçen yıldızlardır. Bu karadeliğe (veya başka herhangi bir karadeliğe) yaklaşmak, bir yıldızın ışık hızına yaklaşan hızlara yükseltebilir. Başka hiçbir nesnede bunu gerçekleştirecek güç yoktur. Bir yıldızın izleği, karadeliğin kenarına doğru biraz yaklaşır, ama yıldız yutulmaktan kılpayı dönerse, hızı çarpıcı bir şekilde artacaktır. Şimdi de bu heyecan verici durumun, birkaç yüz ya da birkaç bin yıldızın başına geldiğini düşünün. Astrofizikçiler, birçok gökadamın merkezinde gerçekleştiği saptanan bu yıldızlar jimnastiğinin, karadeliğin var olduğunu kanıtı olarak görürler -karadeliğin dumanı tüten silahı olarak.

Ben her zaman, kütleçekiminin beyzbol topunun yörüngeye girmesine izin verecek ölçüde zayıf olduğu bir yerde yaşamak istemişimdir. Ve bu çok da zor değil. Topu ne denli yavaş atarsanız atın, Güneş Sistemi'nde bir yerde çekim kuvveti bunu olanaklı kılan bir gezegencik vardır. Ama yine de dikkatli fırlatın; eğer fazla hızlı atarsanız yörüngesinin eksantriklik değeri bir olur ve topu sonsuza kadar kaybedersiniz!

Çeviri: Nermin Arık
Tayson, N. G. Going Ballistic-The Many Varieties of Free Fall, Natural History, Kasım 2002