

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

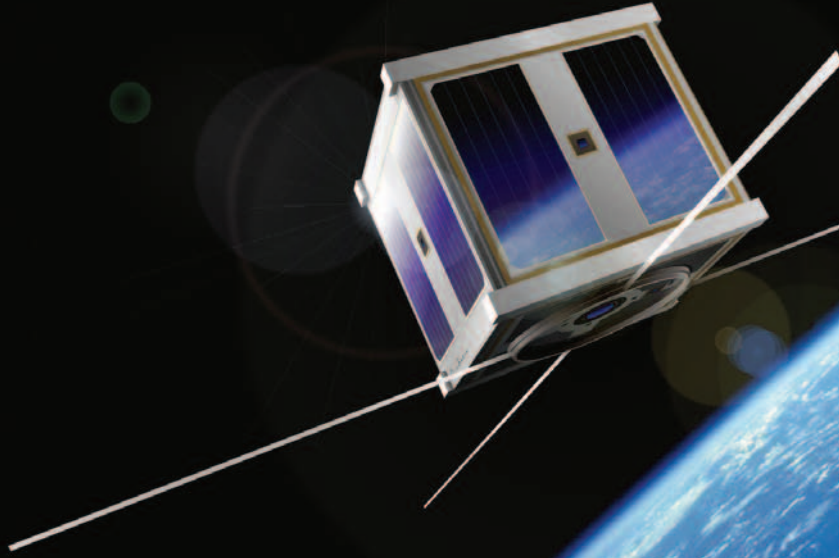
BİLİM ve TEKNİK



YENİ UFUKLAR UYDU SİSTEMLERİ

HAZİRAN 2005 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : VURAL ALTIN - Bilim ve Teknik Dergisi Yayın Kurulu Üyesi



Roketler tarihte ilk kez, MÖ.3. Yüzyıl'da Çin'de, barut kullanan havai fişekler şeklinde geliştirilmiş; 11. Yüzyıldan sonra savaşa da uyarlanmıştı. Top namlusundaki basınç düzeyleri, roket çeperindekinden çok daha yüksek olduğundan ve dolayısıyla hayli ileri bir metal teknolojisi gerektirdiğinden, teknolojisi roketlerden sonra gelişmiştir. Avrupalıların roketlerle tanışması, Osmanlılar tarafından İstanbul'un fethi sırasında kullanılmasıylaadır. Bundan sonraki birkaç yüzyıl boyunca, Batı'da merak konusu olmuşlardır. Fakat bunlar, bilimsel kavrayışa dayalı üretimler değildi.

Roketler aracılığıyla uzaya tırmanışa ilgili ilk bilimsel çalışma, 1910 yılında Rusya'da bir lise öğretmeni olan Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935) tarafından yapıldı. bu durumu betimleyen 'roket denklemi'ni çözdü. Tsiolkovsky, roket denklemini çözmüştü. Çalışması ülkesi dışında pek dikkat çekmedi. Bu çalışmayı, kıta Avrupasındaki bağımsız diğerleri izledi. Almanlar II. Dünya Savaşı sırasında, Peenemünde'de bir roket araştırma merkezi kurmuş ve 1943 yılından itibaren, pek de isabetli olmayan V-2 roketlerini İngiltere'deki sivil hedeflere karşı kullanmışlardır. Savaş bittiğinde mütte-

fikler, adeta birbirleriyle yarış halinde Peenmünde'ye ulaştı. Merkezdeki, Nazi Partisi üyesi olan roket uzmanlarından çoğu, aralarında Dr. Wernher von Braun da olmak üzere, ABD vatandaşlığına alınmıştı. Bir kısmı da İngiltere'ye ve Sovyetler Birliği'ne götürüldü. Soğuk Savaş'ın başlamasından sonra, ilişkiler gerildi. ABD savaşta zaten, bir nükleer güç olarak çıkmıştı. Sovyetler Birliği'nin 1953 yılında kendi nükleer denemesini gerçekleştirmesinden sonra silahlanma yarışı kızıştı. ABD tarafından önce 'Komünizmin Sınırlanması' ('Containment of Communism'), ardından da 'Komünizmin Geri Yuvarlanması' ('Roll

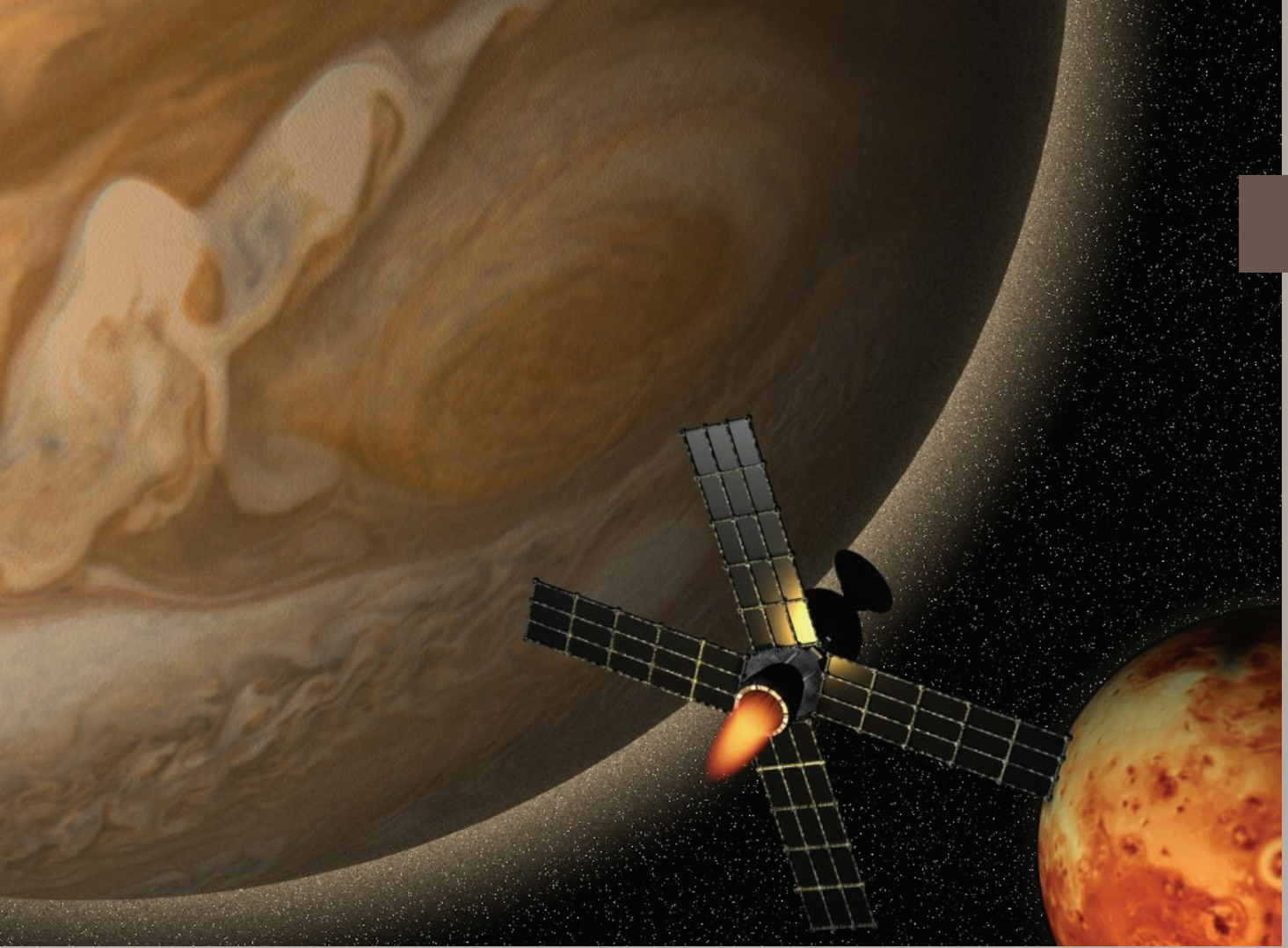
UYDU SİSTEMLERİ

Back of Communism') doktrinleri ilan edildi. SSCB, özellikle Avrupa sınırları boyunca kuşatılmıştı. Fakat kuşatmanın başını çeken ABD, Sovyet silahlarının erimi dışındaydı. Stalin yönetimi, ABD'yi nükleer tehdit kapsamına almak kararındaydı. Bunun için bir roket geliştirilmişti. İlk uygulama olarak, yörüngeye bir uydunun yerleştirilmesi hedeflendi. Fırlatma tarihi olarak, Sovyet Devrimi'nin 40. yıldönümü olan 4 Ekim 1957 günü seçilmiş ve günü geldiğinde, fırlatma başarıyla gerçekleştirilmişti. Sputnik adlı uydunun yörüngeye yerleştirildi. Bu, yaklaşık 60 cm çapında ve 83 kilogram ağırlığında bir metal top şeklindeydi. Basınç dengesini sağlamak amacıyla içi nitrojen gazıyla doldurulmuştu. Üzerinde dört adet saplama anten, içinde bir termometre ile bir radyo vericisi vardı. Termometre sıcaklığı ölçüyor, radyo vericisi de, ölçülen sıcaklıklarla orantılı periyodlarla atımlar yayınlıyordu; sıcaklık yükseldikçe sıklaştı. Olay Moskova tarafından açıklandığında, bazı Batılı merkezler tarafından yalanlanmıştı. Ertesi gün tüm dünya şaşkınlık içerisindeydi. Çünkü, radyo alıcıları, bugünkü 27 MHz'lik 'Vatandaş Ban-

dı'nın hemen altında ve hemen üstündeki kısa dalga frekanslarında, uzaydan gelen ve anlam verilemeyen 'bip bip' sesleri alıyordu. ABD olayın gerçekliği kabul etmek zorunda kaldı. Fakat Başkan Dwight D. Eisenhower, basına yaptığı açıklamada, Sputnik'in askeri bir anlamı olmadığını iddia etti. Moskova yanıtında, yörüngeye uydu oturtabilen roketlerin nükleer başlıklar taşıyabileceğini ve nitekim ellerinde, kıtalararası balistik füzelerin bulunduğunu açıklıyordu. Sputnik'in yayını, aküsü bir ay sonra bitince durdu. Kendisi de 92 gün sonra, yerçekimine yenik düşerek, atmosfere girip yandı. Ancak, Sputnik'in fırlatılışından 30 gün sonra, içinde yaşamı için gerekli hava stoğuyla birlikte Laika adlı bir köpeğin bulunduğu, bu sefer 500 kg ağırlığındaki ikinci bir uydu yörüngeye oturtulmuştu. Bu uydu da, 1958 yılının Nisan ayında atmosfere girip yandı. Bu aynı zamanda, SSCB'de ilk 'hot dog'un yapıldığıydı. (kara mizah)

Bilim ve teknolojiye Sovyetler'in gerisinde kalmış olduğu hissine kapılan ABD'nin bu gelişmeye karşı tepkisi, adeta bir seferberlik şeklinde oldu. Bilim ve teknolojiye planla-

maya geçildi, kamu fonlarıyla desteklenen ulusal araştırma laboratuvarları ve uzay araştırma merkezleri kuruldu. 1961 yılına gelindiğinde Başkan John F. Kennedy "on yılın bitiminden önce Ay'a insan" indirme kararını açıklıyordu. Nitekim, 16 Temmuz 1969'da Neil Armstrong; yandaki şekilde görülen Saturn V roketiyle gerçekleştirilen Apollo 11 uçuş planının parçası olarak, ayda yürüyen ilk insan oldu. Ama bunlar tarih oldu. Yakın zamanlara kadar askeri amaçlı olarak donanmada seyrisefer (navigasyon) ve gizli bilgi toplamada kullanılan uydular, artık hayatımızın bir parçası haline geldi. Zor durumdaki gemilerin ve düşen uçakların acil durum radyo sinyalleri, kurtarma ekiplerine uydu aracılığıyla aktarılırken, bazı gazeteler metin ve grafik içeriklerini yerel basımevlerine uydu aracılığıyla gönderiyor. Kablolu TV yayınlarını evimize gelen kablolara indirmeden önce uydu aracılığıyla dağıtılıyor. Mal ve ürün dağıtımını yapan ulaşım şirketleri taşıma araçlarını 'Küresel Konumlandırma Sistemi' (GPS) aracılığıyla yönetirken, bazı taksi ve limuzin servisleri dahi bu teknolojiyi kullanıyor. Nasıl şey bu uydular?...



Sanırım hepimiz, birden fazla kez; bir ipin ucuna taş bağlayıp, diğer ucunu da parmaklarımızla kavrayıp, taşı başımızın üzerindeki yatay bir düzlem üzerinde döndürmeye çalışmışızdır. Taşı ne kadar hızlı çevirirsek çevirelim, ip, taşıdığı ağırlık nedeniyle tam olarak yatay hale gelemmez ve sivri ucu parmaklarımızın ucunda bulunan, hayli basık bir koninin yan yüzeyini tarar. Taş ise, bu koninin dairesel tabanını sınırlayan çemberin üzerinde döner. Söz konusu daire, yarıçapı diyelim r , bulunduğumuz noktada yere teğet olan düzleme paraleldir. Taşı döndürmek için uyguladığımız ve parmaklarımızın ucunda hissettiğimiz kuvvetin, yatay ve dikey olmak üzere iki bileşeni vardır. Dikey bileşen (F_D), iple taşın ağırlığını dengelemekte, yatay bileşen (F_Y) ise, taşın sabit süratli dairesel hareketini sürdürmesi için gereken merkezi ivmeyi sağlamaktadır ($F_Y = mv^2/r$). İp de zaten bu yüzden gergin durur ve taşın, dairesel bir yörünge üzerinde hareket ettiği söylenir.

Taşın dairesel hareketini sürdüren yatay kuvvetin sağlanması için; illa da kendisine bir ip bağlanmış olup da, ipin diğer ucundan parmak uçlarıyla çekiliyor olması gerekmez. Benzeri

bir çekme kuvveti, farklı yöntemlerle sağlanabilir, farklı nedenlerden kaynaklanıyor da olabilir. Örneğin, başka ve kendisinden daha büyük bir cismin kütleçekim kuvveti tarafından. Örneğin Dünya ile; oluşumundan kısa bir süre sonra ve 4 milyar yıldan biraz fazla önce, yaklaşık Mars büyüklüğünde bir gök cisminin, daha henüz kabuk bağlamış bulunan Dünya'ya çarparak eritip gökyüzüne fırlattığı görece hafif kabuk malzemesinin zamanla topraklaşıp oluşturduğu Ay ikilisinde olduğu gibi... Aralarındaki kütleçekimi kuvveti ($GM_D m_A / r^2$), Ay'ın Dünya etrafında dolaşırken tabi kaldığı merkezi ivmeye (v^2/r) karşılık gelen merkezi kuvveti ($m_A v^2/r$) sağlar ve Ay bu sayede, dünya etrafındaki dönme hareketine devam eder. Ancak; yukarıdaki ip örneğinde, cisim bir daire üzerinde hareket ediyor ve parmak uçları dairenin merkezinde yer alıyor iken; Ay'ın Dünya etrafındaki yörüngesi, daireye çok yakın bir elips şeklindedir ve Dünyamız bu elipsin iki odağından birisinde, hatta neredeyse merkezindedir. Ay'ın, Dünyamızın 'doğal uydusu' olduğu söylenir. Dünya'nın daha küçük, 'yapay' uyduları da olabilir. Böyle bir yapay uyduları da olabilir. Böyle bir yapay uyduları da olabilir. Böyle bir yapay uyduları da olabilir.

yüzüne doğru fırlatmak gerekir. Alabildiğince uzağa...

Bir taşı yer düzeyinden fırlatmak istersek, önce bir silo kazmamız lazım. Diyelim boyumuz artı kolumuzun uzunluğu kadar derin, yeterince enli bir çukur açtık ve dibine, birbirinin aynı taşlar koyup, içine atladık. Çukurun dibinde durup, taşları birer birer alacak ve kolumuzu kaldırıp kaldırıp fırlatacağız. Böylelikle taşlar yolculuklarına, boy artı kol yüksekliğinden değil de, tam yer düzeyinden başlamış olacak. Her taşı fırlatırken, elimizde iki adet (skaler) kontrol değişkeni vardır: Taşa verdiğimiz ilk hızın büyüklüğü ve bu hızın yatayla yaptığı açı. Ya da, bu ikisine eşdeğer olarak, ilk hızın yatay ve dikey bileşenleri (V_Y , V_D). Her taşı fırlattıktan sonra, zıplıyor ve çukurun kenarına tutunup, taşa bakıyoruz. Yukarı doğru yükselen taş, yerçekimi nedeniyle, dikeyde giderek yavaşlar ve bir süre sonra durup, alçalmaya başlar. Havada kavisli bir patika izleyip, sonunda yere düşecektir. Taşın seyahat süresi, hızının dikey bileşenine bağlıdır. Çünkü; yükselirken yavaşlamasının, yarı yolda durmasının, geri dönüp yere düşmesinin nedeni hep, yerçekiminin neden olduğu, aşağı doğru ivme-

UYDULAR

dir. Fırlatmadaki dikey hız bileşeni ne kadar büyükse, yerçekimi ivmesi hızın bu bileşenini o kadar geç sıfırlayabilir ve taşın tırmandığı yükseklik o kadar fazla, dolayısıyla seyahat süresi de o kadar uzun olur (Δt). Taş bu arada yatayda, hızın yatay bileşeni sayesinde bir mesafe kateder. Havanın sürtünme kuvveti gözardı edilecek olursa, hızın bu yatay bileşeni sabittir ve taş sonuç olarak, ilk hızın yatay bileşeniyle havada kalma süresinin çarpımı kadar uzağa düşer ($v_y \Delta t$). İzlediği patika, bir parabol şeklindedir. İki ucu var; birincisi fırlatma noktası, yani çukurun ortası, diğeri de taşın düştüğü yer. Bu iki nokta arasındaki uzaklık, taşın erimi veya menzildir.

Diyelim şimdilik, taşları olan gücümüzle ve hep aynı ilk hızla fırlatıyor ve ne kadar uzağa düştüklerine bakıyoruz; olası en uzun erimi yakalamak için. Hızı sabit tuttuğumuza göre, elimizde tek bir kontrol değişkeni kalmış oluyor: Hızın yatayla, yani fırlatma noktasında yere teğet olan düzlemlerle yaptığı açı. Eğer bu açıyı olası en düşük değerinde, yani sıfırda tutar ve atışı yere paralel, yani 'yatay atış' olarak yaparsak; taş çukurun kenarına çarpıp kalır. Çarpmasa da pek bir yol katedemez ve erimi sıfıra yakındır. Öte yandan; eğer açıyı olası en yüksek değerinde tutar ve atışı gökyüzüne doğru bir 'dikey atış' olarak yaparsak, taş dik bir doğru üzerinde yükselir. Yeterince büyük bir hızla fırlatabilseydik eğer, yerçekiminden kurtulur ve atmosferi terkeder, kimbilir nerelere giderdi. İyi de ederdi. Çünkü aksi halde; bir süre

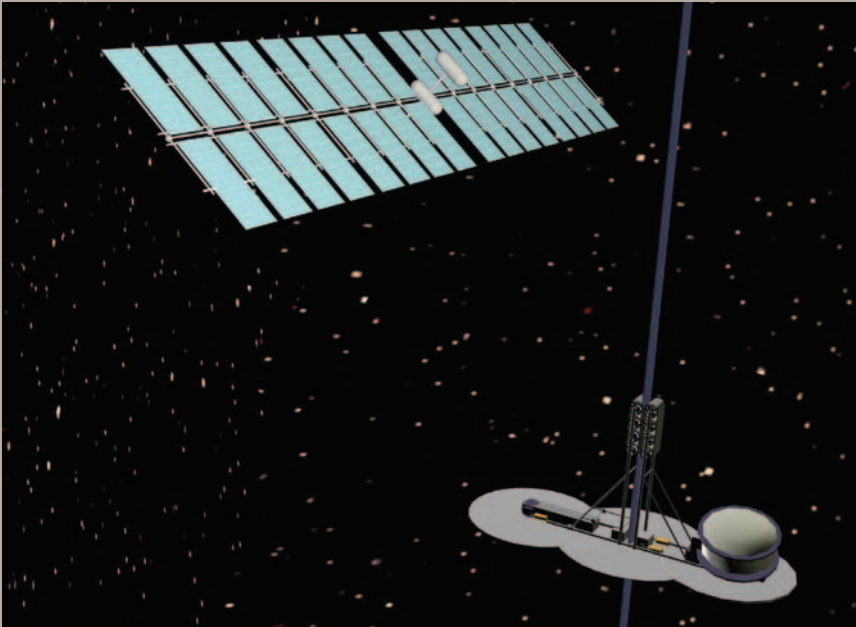
sonra durup, geri dönecek ve aynı doğru üzerinden inip, kafamıza düşecektir. Çukurda kaçacak yer olmadığından, bunu istemeyiz. Kaldı ki taşın erimi, yine sıfırdır. Yatay ve dikey atışlar sıfır erim verdiği göre, en uzun erimi sağlayacak olan fırlatma açısı; bu ikisinin arasında bir değerde olsa gerektir. Örneğin 45 derece? Gerçekten de öyle. Çünkü; erim hızın yatay bileşeniyle seyahat süresinin çarpımına eşit olduğuna ve seyahat süresi de hızın dikey bileşeni tarafından belirlendiğine göre, her iki hız bileşenine eşit önem vermemiz, yani açıyı 45 derece seçmemiz gerekir. Belli bir hız için en uzun erimi veren açı bu...

Şimdi diyelim taşları hep 45 dereceyle atıyoruz ve fakat, ikinci skaler kontrol değişkenini de devreye sokup, fırlatma hızını giderek arttırıyoruz. Taşı ne kadar hızlı fırlatırsak o kadar uzağa gider ve hatta, yeterince hızlı fırlatabilseydik eğer; 'dünyanın kenarı'ndan aşağı, boşluğa doğru düşerdi. Düşerken de izlediği patika, yani parabolün; dünyaya doğru az veya çok, daha doğrusu hızla veya yavaş bükülürdü tabii, yerçekimi nedeniyle. Hızla bükülmesi halinde parabolün uzak ucu, yani taş; yeryüzünün bir başka noktasında yere değer, çok yavaş bükülmesi halinde de, dünyadan git gide uzaklaşıp, yoluna uzayda devam ederdi. Bu ikisi arasındaki bir durum, en ilginç olanı: Eğer taşın izlediği patika, yerçekiminin etkisiyle sürekli olarak dünyaya doğru kıvrılıp duruyor ve fakat taş, yerçekiminden kurtulup kaçmadığı gibi, kendisinden kaçıp duran

yeryüzeyine de bir türlü ulaşmıyor-sa?...

Bu durumda patika kendi üzerine kapanmış ve yerde başlayıp yerde sona eren iki uçlu bir parabol olmaktan çıkıp, atmosferde asılı duran kapalı bir eğri şeklini almış demektir. Çünkü izlediği patikanın eğriliği nedeniyle taşın, patikanın herhangi bir noktasında tabi olduğu merkezi ivme, o noktadaki yerçekimi kuvveti tarafından sağlanmaktadır. Taşın bir yörüngeye oturduğu söylenir. Bu yörünge bir daire veya elips şeklinde olabilir. Dünyamızın merkezini odak noktalarından birisi veya merkezi olarak alan ve dünyamızı çevreleyen herhangi bir daire veya elips, bir yörünge olabilir. Herhangi bir cisim, bu yörüngelerden, istenen herhangi birisine oturtulabilir: Yeter ki, uygun açı ve hızla fırlatılabilirsin. Çünkü; yerçekimi kuvvetinin patika boyunca sağlayacağı ivme değerleri belli ve değişmez olduğundan; izlenecek patikanın hangi hızla büküleceğini bu iki değişken; yani fırlatma açısıyla hızın büyüklüğü belirler. İki skaler... Onlar da zaten, vektörel hıza eşdeğer...

Bir cismin yerçekiminden kurtulması için sonsuza kadar uzaklaşması, bunun için de cisme; sonsuz mesafede ikenki ve yeryüzeyindeykenki potansiyel enerjilerinin arasındaki fark kadar kinetik enerji sağlanması gerekir. Potansiyel enerji sonsuzda sıfır alındığından ve dolayısıyla yeryüzünde negatif olduğundan, bu kinetik enerji miktarı, cismin yeryüzeyindeki potansiyel enerjisinin mutlak değerine eşittir. Yani: $mv^2/2 = GM_D m/R_D$. Ki bu bize, 'kaçış hızı' için, $v_{\text{kaçış}} = (2GM_D/R_D)^{1/2}$ ifadesini verir. Görüldüğü üzere, kaçış hızı cismin kütesinden bağımsız olup; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg/s}^2$, $M_D = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_D = 6,374 \times 10^6 \text{ m}$ değerlerinin yerleştirilmesiyle elde edilen; $v_{\text{kaçış}} = 11.200 \text{ m/s}$ veya $11,2 \text{ km/s}$ değerine sahiptir. Örneğin kütlesi 1kg olan bir cisme, bu kaçış hızına ulaşması için verilmesi gereken kinetik enerji miktarı; $(1/2) \times 1 \times v_{\text{kaçış}}^2 = 6,27 \times 10^7 \text{ J}$ kadardır. Bu kadar enerji, enerji yoğunluğu yaklaşık 50MJ/kg olan petrolün 1,25kg'ında vardır. Tabii; cismi sonuza götürmek yerine, bir



yörüngeye oturtmak için gereken enerji miktarı, bundan çok daha azdır. Diyelim yörünge dairesel ve yarıçapı r . Cismin bu yörüngede, üzerindeki yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezi ivmeyle dönmesi gerekir. Yani; $GM_Dm/r^2=mv^2/r$ veya $mv^2/2=GM_Dm/2r$ olması. Dikkat edilecek olursa, yörünge yarıçapı büyüdükçe, yörüngedeki hız azalıyor. Sonuç olarak, cisme başlangıçta verilecek kinetik enerji; hem cismin potansiyel enerjisindeki artışı $[GM_Dm(1/R_D-1/r)]$ karşılamak, hem de yörünge hızına karşılık gelen kinetik enerjiyi sağlamak zorundadır. Yani, $GM_Dm(1/R_D-1/2r)$ ye eşit olmak durumunda. Ki bu da, örneğin Halley teleskopunun 600 km yüksekliğindeki yörüngesi için, cismin kilogramı başına 340 kJ kadardır. Kaçış enerjisinden çok daha az...

Ancak, havanın sürtünme kuvveti hesaba katılınca, durum değişir. Bu kuvvet; havanın yoğunluğu (ρ), içinde seyahat eden cismin hızının karesi ve hareket yönüne dik kesit alanı (A) ile, bir sürtünme katsayısı (C_D) aracılığıyla doğru orantılıdır ($F_D=\rho AC_D v^2$). Hızın karesiyle artan bu kuvvet, atmosferin en yoğun alt katmanlarında büyük değerlere ulaşır ve bu kuvvete karşı yapılması gereken iş, yani 'sürtünme kayıpları', izlenen uçuş planına bağlı olarak, cismin yörüngeye oturtulması için gereken enerji miktarından çok daha fazladır. Hal böyle olunca, 45 derecelik fırlatma açısı, en akıllı tercih olmaktan çıkar. Çünkü sürtünme kayıplarını bir an önce azaltmak için, cismin, atmosferin en yoğun olduğu ilk 100 km'lik katmandan en kısa yoldan çıkartılması gerekir. Bu ise fırlatma

açısının, dikeye yakın olmasını gerektirir. Halbuki dikine fırlatılan bir cisim; ilk hızı 11,2 km/s'yi aşarsa boşluğa kaçır, aksi halde geri gelir. Dolayısıyla; yörüngeye oturtulması için cismin hızına, atmosferin dışına çıkmasından sonra müdahale edilebilmesi gerekir. Bir sorun daha var...

Cismi yörüngeye oturtana kadar harcanması gereken enerji, sürtünme kayıpları nedeniyle bu denli yükselip de, her kilogramı başına kilolarca petrolün enerji içeriğine ulaşınca, cisme bu enerjiyi başlangıçta ve bir defada vermek, neredeyse imkansızlaşır. Mesele buraya kadar gelip kilitlenir ve bütün bunlar, Newton yasalarının keşfinden sonra biliniyordu. Bu yüzden, Jules Verne'in "Ay'a Yolculuk" romanında dile getirdiği, bir uzay aracını bir topun namlusuna yerleştirip aya fırlatma fikri, ancak bir bilim kurgu öyküsü olarak algılanabilir. Halbuki, cismin arkasına bir yakıt tankı ekleyerek, yani roket kullanarak, cisme yol boyunca itki sağlamak mümkündür. Bu durumda her yakıt zerresini yanma anına kadar taşımak gerektiğinden, toplam yakıt maliyeti artar; fakat yol boyunca, kalan yakıt miktarı azalıp da toplam kütle azaldıkça, ilave yakıt gereksinimi de azalır. Böylelikle hem de; roketi dikeye yakın fırlatıp hedeflenen yörünge yüksekliğine ulaştıktan sonra, ikinci bir müdahaleyle hızını değiştirip yörüngeye oturtmak mümkün hale gelir. Bir kolaylık daha var...

Dünya kendi etrafında batıdan doğuya doğru, yaklaşık 1 günlük periyodla döndüğüne ve ekvatordaki çeperi yaklaşık 40.075 km olduğuna gö-

re; ekvatordaki sabit bir nokta, dünyanın merkezi etrafında ve onun dönme yönünde, $40.075/24=1.670$ km/saat'lik, sestem bile büyük bir hızla hareket halindedir. Dolayısıyla, ekvator-dan fırlatılan bir uydu, bu kadarlık bir yatay hız bileşenini, sıfır yakıt maliyetiyle edinmiş olacak ve yörüngeye ulaştığında, yörünge hızına katkı olarak kullanacaktır. Bu yüzden, uyduların genellikle, örneğin Fransız Guyanası gibi, ekvatora yakın noktalardan fırlatılması ve yörüngedeki hareket yönünün, dünyanın spiniyle aynı yönde, yani batıdan doğuya doğru olması tercih edilir. Maliyetsiz hız bileşeni diğer enlemlerde, örneğin α enleminde; dönme yarıçapı küçüldüğünden, $\cos\alpha$ çarpanıyla azalır. Örneğin Ankara'nın yaklaşık 40° enleminde, $1.670 \times \cos(40^\circ)=1.279$ km/saat. ABD'nin Florida eyaletindeki Kennedy Uzay Üssü'nün, $28,5^\circ$ kuzey boy-lamında bulunan Cape Canaveral fırlatma üssünde ise, saatte 1.471 km. Ekvatordaki değerle arada 229 km/saat fark var, ki bu dahi önemli. Çünkü, 1kg'lık kütleyle bu fark kadarlık hızı kazandırmak için 0,2 kg petrol eşdeğeri 2.023 J enerjiye, bu enerji kaynağını da keza ivmelendirmeye gerek var. Dolayısıyla, enerji tasarrufu büyük önem taşır. Buna karşın, sonuç olarak; yakıt ve tankları, motorları da dahil olmak üzere, fırlatılan toplam kütle; yörüngeye oturtulacak olan ve 'yük' de denilen kütlelerin 40 ile 60 katı kadardır. Dolayısıyla, bu oranı olabildiğince düşük tutabilmek için, uydu taşıyan roketler, ekvatora yakın enlemlerden, yere dik olarak fırlatılır. (Bknz. Uydu Fırlatma)



UYDU FIRLATMA

Uydular roket aracılığıyla atmosferin dışında bir yüksekliğe fırlatılarak veya Uzay Mekiği'nin güvertesinde seyahat sonrasında yörüngeye oturtulur. Dolayısıyla, yörünge hızına ulaşmaya kadar ivmelendirilmeleri gerekir. Bazı ülke veya kuruluşların roket fırlatma yetenekleri vardır ve birkaç tonluk uyduları düzenli olarak yörüngeye oturtabilir.

Çoğu uydu, başlangıçta yere dik olarak fırlatılır. Bu, atmosferin en yoğun katmanlarının en kısa sürede geçilmesini sağlar ve yakıt tüketimini en aza indirir. Daha sonra roket kontrol mekanizmaları, yönlendirme ('inertial guidance') sistemini kullanarak, roketi uçuş planına uygun şekilde eğilendirmek üzere, çıkış ağızlarına ('nozzle') uygulanması gereken ayarlamaları hesaplar.

Çoğu uçuş planı, roketin doğuya doğru fırlatılmasını öngörür. Çünkü, dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönme (spin) hızı, aracın yörüngedeki son hızına, yakıt maliyetsiz bir katkı sağlar. Bu önemli bir katkı. Çünkü roketlerin yükü zaten ağır olabiliyor. Örneğin 11 Şubat 2000'de, 'Mekikle Radarlı Topoğrafya Seferi' ('Shuttle Radar Topography Mission') için fırlatılan Endeavor'ın toplam ağırlığı 2.050.447 kg'dı.

Yörünge hızı yörünge hızının yüksekliğine bağlı olup, bu yükseklik arttıkça azalır ve kaçış hızı olan $V_{esc}=40.320$ km/saat'den çok daha düşüktür: 200 km yükseklikte 27.400 km/h, 35.786 km yüksekliğindeki geostasyoner bir yörüngede 11.300 km/h. Yörünge yüksekliği 384.400 km olan Ay'ın yörünge hızı ise 3.700 km/h.

Aracın doğudan farklı bir yönde veya ekvatordan uzak bir yerden fırlatılması, daha yüksek eğimli bir yörüngeyle sonuçlanır. Yüksek eğimli yörüngeler, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinin sağladığı başlangıç hızından daha az yararlanabilirler. Dolayısıyla, aracın yörünge hızına ulaşması için gereken enerjinin daha büyük bir kısmını veya hatta tamamını, kendisinin sağlaması gerekir.

Enerji açısından en verimli, yani en az yakıt miktarı gerektiren yörünge, düşük eğimli ve dünyanın dönmesiyle

eşyönlü bir 'düz' yörünge'dir. Yüksek eğimli yörüngeler enerji yönünden daha az verimli olmakla birlikte, bazı uygulamalar açısından diğer yörüngelere üstündür. (Bknz. Yörünge Tipleri)

Serbest Uçuş:

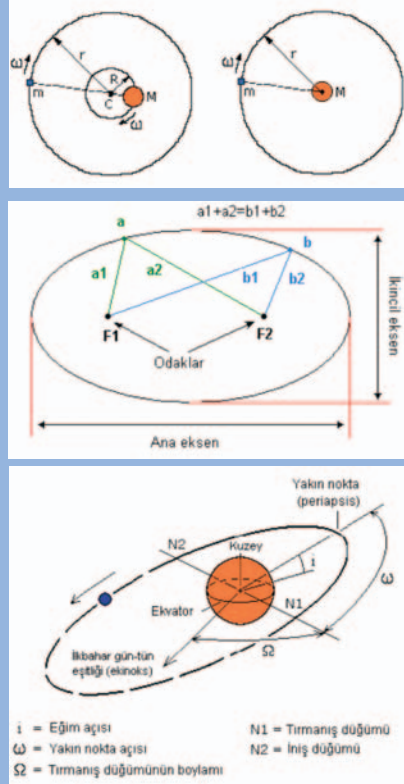
Araç, atmosferin 200 km kadar yüksekliğindeki son derece seyrelmiş havaya girdiğinde, roketin yönlendirme ('navigasyon') sistemleri, küçük roketleri ateşleyerek aracı yatay bir duruma getirir ve uydu bırakılır. Roketler tam bu aşamada, araçla uydunun birbirinden ayrılmasını garantilemek için yeniden ateşlenir. Tahrikli

uçuş sona ermiş olup, bundan sonrası serbest uçuştur. Aracın serbest uçuşa başladığı andaki konum ve hız vektörleri, yörüngesini belirler. Yörünge üzerindeki konum ve hız; r , v , ϕ değişkenleriyle betimlenebilir. Buradaki ϕ açısı, hız vektörüyle; ya konum vektörü, ya da ikinci şekilde görüldü gibi, konum vektörüne dik olan vektör arasındaki açı olarak alınabilir. Bu ikincisine, 'uçuş patikasının açısı' denir. Elips yörüngedeki bir noktanın konumu, 'ortalama anomali' ile de ölçülür. Ki bu; periyodun, 'yakın nokta'dan o noktaya kadar geçmiş olan kesridir.



YÖRÜNGE DEĞİŞKENLERİ

Gök cisimlerinin hareketleri insanlara ilgisini, yazı öncesi 'Bilinmeyen Zemin'den ('Terra Incognita') beridir çekmişti. Yazının keşfinden sonra, yapılan gözlemler kayda dökülmeye başlandı. Claudius Ptolemy'nin (85-165) bu gözlemlere dayanarak MÖ 2. Yüzyıl'da oluşturduğu dünya merkezli sistem, 13 asırdan fazla süreyle genel kabul gördü. Nikolai Copernicus'un (1473-1543) 15. Yüzyıl'da ortaya koyduğu, bir 'devrim' niteliğindeki 'güneş merkezli sistem' bu modeli yıktı. Ardından Johannes Kepler (1571-1630), Tycho Brahe'nin (1546-1601) yaşamı boyu süren titiz gözlemlerinin kayıtlarından hareketle, kendi adıyla anılan yasaları keşfetti. Bunlardan birincisi; gezegenlerin, odaklarından birinde güneşin bulunduğu elips yörüngeler üzerinde seyahat ettiğini, ikincisi; herhangi bir gezegeni güneşe bağlayan bir doğru parçasının eşit zaman aralıklarında eşit alanlar taradığını, üçüncüsü ise; herhangi bir gezegenin güneş etrafındaki yörünge periyodunun karesinin, gezegenin güneşten ortalama uzaklığının küpüyle orantılı olduğunu ($T^2 \approx r^3$) belirtiyordu. Gerçi Kepler, güneşin gezegenler üzerinde, manyetizma benzeri bir etkisinin olabileceğinden söz etmişti. Fakat sonuç olarak yaptığı, Brahe'nin gözlemlerinden genellemeler çıkarmak olmuştur. Bu genellemelere yol açan mekanik ve kütleçekimi yasalarını, kendisinden bir asır kadar sonra, Isaac Newton (1642-1727) keşfetti. Newton'un mekanik yasalarından birincisi; üzerinde kuvvet bulunmayan cisimlerin sabit hızla hareket ettiğini, ikincisi; F kuvvetinin etkisi altındaki bir cismin kütlesiyle ters orantılı olarak ivmelendiğini ($F=ma$) saptıyordu. "Etki eşittir tepki" şeklinde de özetlenebilecek olan üçüncüsü, iki cismin birbirlerine etki ettirdiği kuvvetlerin eşit büyüklükte ve zıt yönde olduğunu belirtiyordu. Newton'un kütleçekimi yasası ise, birbirinden r uzaklığında bulunan M ve m kütleli iki cisim arasındaki kütleçekimi kuvvetinin büyüklüğünü, $F=G Mm/r^2$ ifadesiyle veriyordu. Kepler'in genellemelerini, bu yasalardan türetmek mümkündür.



Newton yasaları, birbirleriyle kütleçekimi aracılığıyla etkileşimde bulunan iki cismin hareketinin düzlemsel olmasını gerektirir. Bu hareket, hayali bir 'indirgenmiş kütle'nin iki cismin kütle merkezi etrafındaki yörüngesiyle betimlenir. Aslında her iki cisim de birbirinin etrafında hareket ediyor olmakla beraber; örneğin güneş ve dünya ikilisinde olduğu gibi; kütlelerden birinin diğerine oranla çok büyük olması halinde, cisimlerin kütle merkezi büyük cismin merkeziyle neredeyse çakışır. Dolayısıyla, iki cismin hareketini yaklaşık olarak; büyüğü kütle merkezinde sabit duruyormuş da, küçüğü onun etrafında dolanıyormuş gibi incelemek mümkündür. Bu durumda; büyük cismin 'birincil' ya da 'asıl' kütle, diğerinin 'uydu' olduğu söylenir ve küçük cismin büyüğü etrafındaki yörüngesi, genelde bir elips şeklindedir.

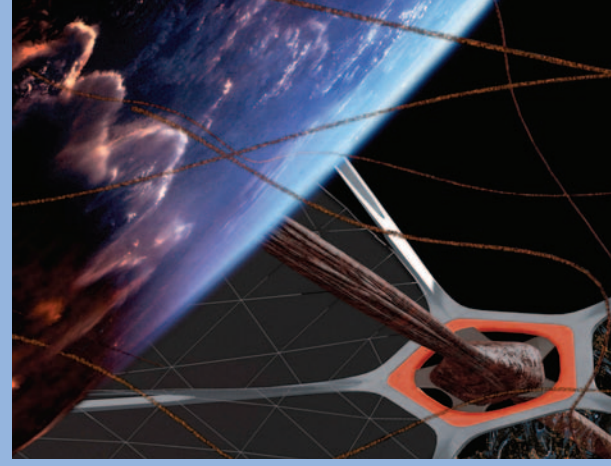
Elipsin bilindiği üzere, iki odağı vardır. Birincil kütle bu odaklardan birinde yer alırken, uydu elips üzerinde dolar. Elipsi oluşturan her noktanın, odaklara olan uzaklıklarının toplamı aynıdır. Odaklardan geçen doğrunun, elipsle kesişme noktaları arasında ka-

lan parçasına, 'ana' ('major') eksen, bu eksene çıkan orta dikmenin elipsle kesişme noktaları arasında kalan parçasına da 'ikincil' ('minor') eksen denir. Ana eksenin yarı uzunluğu a, ikincil eksenin yarı uzunluğu b ile gösterilir ve elipsin x-y düzlemindeki cebirsel denklemi en basit olarak $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$ ile verilir. Odaklar arasındaki uzaklığın, ana eksen uzunluğuna oranı, yörüngenin 'eğriliği'ni ($e=b/a$) verir ve $e=0,1$ değerleri, yörüngenin daire veya doğru olması durumlarına karşılık gelir.

Bir uydunun yörüngesi, başlangıç konumu ve hızı tarafından belirlenir. Birincil kütleyle göre betimlemesi, çeşitli değişkenlerle yapılabilir. Örneğin yandaki şekilde; birincil kütlenin ekvator düzlemiyle, uydusunun yörünge elipsi görülüyor. Ekvator düzleminin yönünü belirleyen normal, sağ el kuralına göre; bu elin diğer parmakları asıl cismin kendi etrafında dönüğü 'spin' yönüne kıvrıldığında başparmağın işaret ettiği yönde alınır: Batıdan doğuya doğru dönen dünya örneğinde, kuzey kutbu doğrultusunda. Yörünge düzleminin normali ise, yine sağ el kuralına göre; bu elin diğer parmakları uydunun yörünge üzerindeki hareketi yönüne kıvrıldığında başparmağın işaret ettiği yöndedir. Yörünge düzlemiyle ekvator düzlemi arasındaki açı (i), yörüngenin 'eğim açısı'nı oluşturur. Eğim açısı i'nin 0° olması halinde, yörünge ekvator düzlemiyle çakışır. Uydu, asıl cismin ekvator düzlemi üzerinde olup, onun spiniyle aynı yönde dönmektedir. Böyle bir yörüngenin 'düz' ('prograde') olduğu söylenir. Eğimin 180° derece olma durumunda, yörünge düzlemi ekvator düzlemiyle yine çakışmakta, fakat uydu bu sefer, asıl cismin spin yönünün tersi yönde dönmektedir. Böyle bir yörüngenin 'ters' ('retrograde') olduğu söylenir. Eğim 90° ise, yörünge ekvator düzlemine diktir ve böyle bir yörüngenin 'kutupsal' ('polar') olduğu söylenir. Yörüngenin ekvator düzlemini kestiği noktalar, 'düğüm' ('node') veya 'kesişme' noktalarıdır. Uydunun güney yarımküreden kuzey yarımküreye tırmanırken geçtiği kesişme noktasına 'tırma-

niş düğümü’, kuzeyden güneye inerken geçtiğine de ‘iniş düğümü’ denir. Genel olarak; yörüngenin asıl cisme en yakın noktasına ‘periapsis’, en uzak noktasına ‘apoapsis’ denir. Ancak özelde, bu terimlerin ikinci kısmı, asıl cismin adına göre, örneğin dünya için; ‘apogee-perigee’, güneş için ‘apohelion-perihelion’, Ay için ‘apolune-perilune’, Jüpiter için ‘apojove-perojove’ vb. şeklinde değiştirilir. Uydunun ekvator düzleminden geçtiği noktalara ‘eşitlik noktaları’ (‘equinox’) denir. Örneğin, güneşin dünya etrafındaki hayali yörüngesi için bu noktalar, ilkbahar (‘vernal’) ve sonbahar ‘gün-tün eşitlikleri’dir. Uydunun yörüngesi üzerindeki çeşitli noktaların açısıl konumu, ilkbahar ekinoksunun gökküredeki boylamına göre ölçülür. Örneğin, yakın noktanın ilkbahar ekinoksuyla yaptığı açı ‘yakın nokta açısı’ (ω), tırmanış düğümününüki ‘tırmanış düğümünün boylamı’ (Ω).

Bu tanımlardan hareketle yörünge tiplerini inceleyebiliriz. (Bknz. Yörünge Tipleri)



Yörünge Tipleri

Yeruyumlu yörüngeler (‘Geosynchronous, GEO’): Periyodu 24 saat olan, dairesel ($e=1$) yörüngeler. Eğiklik derecesi $i=0$ ise, ‘yere göre durağan’ (‘geostasyoner’) olduğu söylenir. Geostasyoner bir yörüngedeki uydusu, ekvator üzerinde hareket-siz asılı görünür. Durağan uyduların çoğu, ekvator boyunca uzanan, yaklaşık 35.779 km yükseklikteki bir şeritte yer alır. Bu mesafe, aya olan uzaklığın onda biri kadardır. Ekvator üzerindeki bu ‘uydu park alanı’, yüzlerce televizyon, meteoroloji ve iletişim uydusu barındırdığından kalabalıklaşmıştır. Bu kalabalık, uydulardan herbirinin, sinyallerinin yakın diğer uyduların sinyalleriyle karışmaması için duyarlı bir biçimde yerleştirilmesini gerektirir. Televizyon, iletişim ve meteoroloji uyduları hep durağan yörüngeler kullanır. DSS uydusu TV anteni bu yüzden, genellikle aynı konumda sabitlenir.

Eğik geosenkron yörüngedeki bir uydusu ise, her turunda 8 çiziyor görünür. Uzak aracını geosenkron bir yörüngeye çıkarmak için, araç önce, uzak noktası 35.786 km olan eliptik bir yörüngeye çıkartılır. ‘Geosenkron aktarma yörüngesi’ (‘geosynchronous transfer orbit –GTO’) denilen bu yörünge daha sonra, aracın motorlarının uzak noktada ateşlenmesiyle daireleştirilir.

Kutupsal yörüngeler (‘polar orbit-PO’): Eğiklik derecesi $i=90$ olan bir yörüngede, uydusu genellikle alçaktan uçar ve her turunda kutupların üzerinden geçer. Böyle bir ‘kutupsal yörünge’, dünya bu yörünge içinde dönerken, uzayda sabittir. Dolayısıyla, dünya yüzeyinin büyük bir kısmı, yeryüzündeki hemen her nokta, kutupsal yörüngedeki bir uydunun altından geçer. Kutupsal yörüngeler, geniş kapsama alanına sahip olduklarından, haritalama, gözetim ve fotoğraf uyduları için uygundur.

Dolaşan (‘walking’) yörüngeler: Yörüngedeki bir uydusu, çeşitli kütleçekim etkileri altındadır. Örneğin, gezegenler tam bir küre olmadığı gibi, kütleli dağılımları da her yerde aynı (tekdeğerli) değildir. Uydusu ayrıca, güneş, ay ve diğer gezegenlerin kütleçekimsel etkisi altındadır. Bu etkileri uygun bir planlamayla kullanmak suretiyle, uydunun yörünge düzleminin salınmasını (‘precession’) sağlamak mümkündür. Böyle bir yörüngeye ‘dolaşan’ veya ‘salınan’ yörünge denir.

Güneşuyumlu yörüngeler (‘Sunsynchronous, SSO’): Salınım (‘precession’) periyodu, gezegenin güneş etrafındaki yörünge periyoduna eşit olan bir ‘dolaşan yörünge’ye denir. Böyle bir yörüngedeki uydusu her turunda, en yakın noktayı, yaklaşık olarak aynı yerel zamanda geçer. Bu, gezegen yüzeyine düşen güneş ışınlarının açısına bağlı olarak çalışan aygıtları taşıyan bir uydusu için yararlıdır. Tam bir ‘senkron’ zamanlamayı devam ettirebilmek için, arada bir yörünge ayarına yönelik itki manevraları yapmak gerekebilir.

Aktarma Yörüngeleri:

Molniya yörüngeleri: Periyodu 12 saat kadar olan, hayli eğik dünya yörüngeleridir. Yörünge eğimi, en yakın noktanın değişmeyeceği, dolayısıyla yakın ve uzak noktaların aynı enlemler üzerinde tutulabileceği şekilde seçilir. Ki bu durum, $63,4$ ve $116,6^\circ$ eğimlerde mümkündür. Bu yörüngelerin yakın nokta açıları genellikle, güney yarımkürededir. Dolayısıyla uydusu her turunun yaklaşık 11 saatini, uzak nokta civarında kuzey yarımkürenin üzerinde geçirir. Dünya yörüngesinin içinde dönmekte olduğundan, bu durum yüksek kuzey enlemleri için, yeryüzeyel kapsama alanını genişletir.



Hohmann aktarma (‘transfer’) yörüngeleri: En düşük yakıt tüketimine yol açan gezegenlerarası yörüngelerdir. Bir uzay aracını, Mars gibi bir dış gezegene yönelik bir Hohmann transfer yörüngesine oturtmak için; aracı dünyanın güneş etrafında döndüğü yönde fırlatarak, hem dünyanın çekiminden kurtulmasını ve hem de güneşin etrafında, hedef gezegenine eşit bir ‘uzak nokta’ya (‘aphelion’) sahip bir yörüngeye ulaşmasını sağlayacak olan hıza kadar ivmelenmek gerekir. Aracın hedef gezegene ulaştıktan sonra yavaşlatılması lazımdır. Ki, gezegenin kütleçekimi tarafından yakalanıp yörüngeye oturtulabilsin.

Bir uzay aracını, Venüs gibi bir iç gezegene göndermek için; araç, dünyanın güneş etrafında döndüğü yönün tersi yönde fırlatılıp ivmelendirilir, yani aslında yavaşlatılır. Ta ki, güneş etrafında, iç gezegenin yörüngesinininkine eşit bir ‘yakın nokta’ya (‘aphelion’) sahip bir yörüngeye oturana kadar. Araç dünya ile aynı yönde, fakat dünyadan daha yavaş hareket etmektedir.

Aracın bir gezegene ulaştırılması, gezegenlerarası yörüngeye doğru zamanda yerleştirilmesini gerektirir. Ki, araç gezegenin yörüngesine ulaştığında, gezegen araçla aynı noktada olsun. Bu durum, futbolda bir oyuncunun topu, önünden koşmakta olan arkadaşının daha da ilerisine düşürerek, topla buluşmasını sağlamasına benzetilebilir. Bir aracın, amacını başarabilmesi için fırlatılması gereken zaman aralığına ‘fırlatma penceresi’ denir.

Gezegenler arası fırlatmalarda, uydusu ivmelenmek için, komşu gezegenlerin kütleçekimine dayanan ‘sapan etkisi’nden yararlanılır. Şöyle: Bir uydunun, durağan bir gezegene yaklaştıktan sonra uzaklaşıp yoluna devam ettiğini varsayalım. Uydusu, bu gezegene doğru ‘düşerken’ kinetik enerji kazanacak, fakat aynı kinetik enerjiyi, gezegenden uzaklaşırken kaybedecektir. Dolayısıyla, gezegenin uyguladığı kütleçekiminin net etkisi sıfır olur. Halbuki, gezegen hareket halinde ise, uydusu bu davranışından, gezegenin hareket hızı kadar hız kazanıp kazançlı çıkabilir. Örneğin Jüpiter’in güneşten uzaklığı 806 milyon, yörünge çeperi ise 5,06 milyar km’dir. Jüpiter bu mesafeyi yaklaşık 12 yılda kapsadığından, ortalama hızı saatte 48.000 km’dir. Bir uydusu eğer, Jüpiter’in kendi yörüngesinde hareket ettiği yönde hareket ediyorsa, hızını 30.000 km/h kadar artırabilir ve bu çarpıcı hız artışı maliyetsizdir. Ancak, ‘kütleçekimi yardımı’ndan faydalanmak için, gezegenlerin birbirlerine göre uygun dizilimini bekleyip, fırlatmayı belli zaman pencereleri içerisinde gerçekleştirmek gerekir.



YÖRÜNGE ÜZERİNDEKİ DIŞ ETKİLER

Uydu üzerindeki dış etkenler, yörüngeyi betimleyen değişkenlerde, 'seküler' denilen doğrusal veya periyodik değişikliklere yol açar. Sonuçta, nominal yörünge zamanla değişime uğrar. Periyodik değişikliklerden, periyodu yörünge periyodundan küçük olanlara 'kısa', büyük olanlara da 'uzun periyotlu' değişiklikler denir. Yörünge'nin tam tarifi periyodik değişimlerin de hesaba katılmasını gerektirmekle beraber, seküler değişimler uzun vadede değişim biriktirdiklerinden, daha önemlidir. Ki bunlar da şunlar:

1. Güneş ve Ay gibi üçüncü cisimler, yörünge parametrelerinde periyodik ve seküler değişimlere yol açar. Seküler değişimler, yörünge'nin ekliptik bir kutup etrafında jiroskopik salınımından ('precession') kaynaklanır. Tırmanış düğümünün boyları ve yakın nokta açısındaki seküler değişimler, özellikle yüksek yörüngeler için önemlidir.

2. Dünyanın ekvatorunda yayvan, kutuplarda basık olması ve kütle dağılımının her yerde aynı olmaması, yörünge parametrelerinin tümünde periyodik değişimlere yol açar. Ama baskın olan etki, tırmanış düğümünün boyları ve yakın nokta açısındaki seküler değişimlerdir. Dünya için bir potansiyel fonksiyon tanımlandığı takdirde, uydunun ivmesi, bu fonksiyonun gradiyentinden hesaplanabilir. En yaygın olarak kullanılan geopotansiyel fonksiyon, enleme ve 'yerel (zonal) katsayılar' da denilen geopotansiyel katsayılara bağlıdır. Molniya yörüngelerinde yakın nokta açısı değişmez.

3. Uydu, atmosfer içerisindeki hareketi sırasında, akışkan havanın 'sürüklenme' ('drag') kuvvetine tabidir. Bu kuvvet, fırlatma ve atmosfere yeniden giriş sırasında en yüksek olmakla beraber, alçak yörüngedeki bir uzay aracının ince atmosferdeki seyahati sırasında da vardır. Bu kuvvet, aracın zamanla bir spiral çizerek atmosfere girmesine, sonuç olarak parçalanma veya yanmasına yol açar. 120-160 km yüksekliğe inen bir uzay aracı, birkaç gün içerisinde düşer ve son parçalanma, yaklaşık 80 km yükseklikte yer alır. Öte yan-

dan, 600 km'nin üzerinde, bu kuvvet o denli zayıftır ki, yörünge 10 yıldan fazla süreyle ayakta kalabilir. Bu 'bozunma süresi' genellikle, uydunun işlevsellik yaşamından fazladır. Dolayısıyla genelde, uydu ne kadar yüksekse, yörünge-sinde kalış süresi de o kadar uzundur. En dış katmanlar için yüzlerce yıl. Örneğin ay, milyarlarca...

Sürüklenme kuvveti $F_D = C_D \rho v^2 A / 2$, atmosfer yoğunluğu ρ , aracın hızı v ve hareketi yönündeki yüzey alanı A 'ya bağlıdır. Öte yandan, aradaki ilişki katsayısı C_D ; araç hızı v 'nin, atmosferdeki ses hızı c 'ye oranı olan Mach sayısı N_M ile değişir. T sıcaklığındaki atmosferde, $c = (kRT)^{1/2}$.

Dünya atmosferinin 90 km'den yüksek kısmına 'termosfer' denir ve burada, Güneş'ten gelen aşırı morösten ışınların soğurulması, sıcaklığın yükseklikle birlikte hızlı artışına yol açar. Günlük ortalama değeri 600 ile 1.200 K ara-

sında değişen sıcaklık, 200-250 km yükseklikte bir sınır değerine ulaşır.

Güneş patlamaları atmosfer yoğunluğu üzerinde etkili olup, daha yüksek yoğunluklara yol açar. 150 km'nin altındaki yoğunluklar fazla etkilenmemekle beraber, 500-800 km arasındaki yükseklikler için yoğunluk, etkinliğin en yüksek ve en düşük durumları arasında 100 katı kadar değişebilir. Yoğunluk değişimlerinin büyük olması, uydu yörüngelerinin, güneş etkinliğinin en yüksek olduğu dönemlerde daha hızlı, en düşük olduğu dönemlerde de daha yavaş bozunması anlamına gelir.

Güneşin radyasyon basıncı, tüm yörünge parametrelerinde periyodik değişimlere yol açtığı gibi, aracı da yavaşlatır. Uğranılan hız kaybı açısından; 800 km'nin altındaki uydular için atmosfer sürtünmesi, 800 km'nin üstündekiler için ise, güneşin radyasyon basıncı daha baskındır.

Yörünge Yükseklikleri

5.000-10.000 km asenkron yörüngeler.

Bilimsel araştırma uyduları bazen 4.800-9.700 km yükseklikten topladıkları verileri, radyo telemetre sinyalleri aracılığıyla dünyaya gönderirler. Söz konusu bilimsel araştırmalar şu uygulamaları içerir:

- Bitkiler ve hayvanlar hakkında araştırmalar, yabanıl yaşamın izlenmesi,
- volkanların gözetimi gibi yerbilim araştırmaları,

• Kızılaltı Astronomi Uydusu'nun kullanımıyla astronomi,

• NASA'nın güneş fiziğini inceleyen Ulysses Seferi ve mikrogravite incelemeleri gibi fizik çalışmaları.

10.000-20.000 km asenkron yörüngeler.

• ABD Savunma Bakanlığı, navigasyon amacıyla GPS'yi ('Global Positioning System') kurdu. Bu sistem, 10-20 bin km yükseklikteki uyduları kullanarak, alıcıların konumunu belirliyor. GPS alıcısı; denizde bir gemide, diğer bir uzay aracında, bir uçak veya otomobilde, ya da cebinizde olabilir. GPS alıcıları, fiyatları düştükçe haritalara rakip olacak ve tanımadık kentlerde araç kullanımı kolaylaşacak.

• ABD ordusuyla müttefikleri, 'Çöl Fırtınası Harekatı' sırasında 9.000'den fazla GPS alıcısı kullandı. ABD'nin Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetim Örgütü ('National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA') Washington Anıtı'nın yüksekliğini ölçmek için GPS'den yararlandı. (Bknz. GPS Nasıl Çalışır?)

35.780 km, yere göre durağan, 'geostasyon' yörüngeler.

• Hava tahminleri ve fırtına uyarıları için kullanılan görüntüleri sağlayan meteoroloji uyduları, bu tür yörüngelerde dolaşıyor.

• Veri, televizyon, görüntü ve bazı telefon aktarımları, bu tür yörüngelerdeki iletişim uydularının aracılığıyla gerçekleşiyor. Tipik uydu telefon bağlantıları, 550-650 milisaniyelik çift-yönlü gecikmeye yol açtığı için, uzun mesafe görüşmelerinde pek tercih edilmiyor. Halen 'internet' üzerinden görüşmeler de benzer, fakat uzaklık değil de sayısal sıkıştırma ve bant aralığı sınırlamalarından kaynaklanan bir gecikme sorunu yaşıyor.

• İletişim uyduları esas olarak, uzaydaki radyo röle istasyonlarından ibaret. Uydular, 'odaklanmış radyo ayakizi' ('focused radio footprint') ve 'kazanç tipi anten'ler ('gain-type antenna') sahip daha güçlü vericilerle donatıldıkça, uydu çanakları küçülüyor.

Bu uyduların abonmanlarının kullanımları arasında;

- basın ajanslarının haber akışı,
- borsalar, iş dünyası ve finans piyasalarıyla ilgili bilgiler,

• kısa dalga yayından kaçınıp uzaklaşan veya kısa dalga yayınlarını, 'uydu bağlantılı mikrodalga akışları'yla ('microwave uplink feeds') destekleyen uluslararası radyo yayıncıları,

- CNN ve BBC gibi küresel televizyonlar,
- CD kalitesinde yayın yapan 'sayısal radyo'lar var.

YÖRÜNGE MANEVRALARI

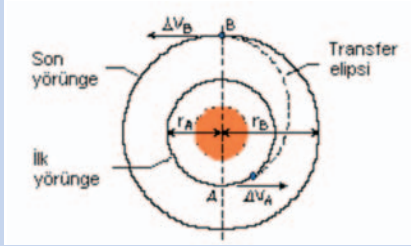
Bazı aşamalarda, uzay araçlarının yörünge parametrelerinden bazılarının değiştirilmesi gerekir:

1. Aracın başlağıçta park edildiği yörüngeden görev yörüngesine transferi sırasında,

2. Bir başka araçla buluşması veya karşılaşması için,

3. Yörünge bozulmalarını gidermek amacıyla parametreleri düzeltmek için.

Çoğu kez, yörünge yüksekliğinin, düzleminin veya her ikisinin birden değiştirilmesi gerekir.

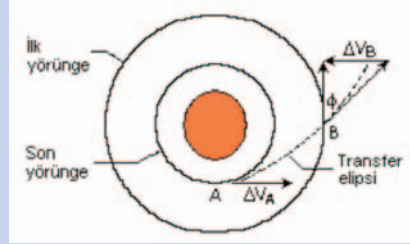


Aracın yörüngesini değiştirmek için, hız vektörünün büyüklük veya yönünün değiştirilmesi lazımdır. İtki sistemleri çoğu kez, yörünge periyoduna oranla sadece kısa bir süre için çalıştığından, manevrayı, konum sabitken hızda yer alan bir 'impuls' değişimi olarak ele almak mümkündür. Bu nedenle, aracın yörüngesini değiştiren herhangi bir manevranın, ilk yörüngeye son yörüngeye kestiği noktada gerçekleşmesi lazımdır. Yörüngelerin kesişmemesi halinde, her ikisini birden kesen bir ara yörünge kullanılması gerekir. Bu son durumda manevra, en az iki ateşleme itkisi gerektirir.

Yörünge düzleminde en sık yapılan manevra, yörüngeye büyüklük ve enerjisini, genellikle alçak bir park yörüngesinden, örneğin yeruyumlu daha yüksek bir görev yörüngesine değiştirir. İlk ve son yörüngeler kesişmediğinden, manevranın bir transfer yörüngesine gereksinimi vardır. Sağda bir Hohmann transfer yörüngesi görülüyor. Bu durumda, transfer yörüngesinin elipsi, ilk ve son yörüngelere, transfer yörüngesinin yakın ve uzak noktalarında teğettir. Yörüngeler teğet olduğundan, hız vektörleri eşyönlüdür ve Hohmann transferi, aynı düzlemde yatan dairesel iki yörünge arasındaki en enerji verimli aktarımı temsil eder. Küçük yörüngeden büyüğüne transfer sırasında, hız değişimi hareket yönünde, bü-

yükten küçüğe transfer sırasında da, hareket yönünün tersi yönde uygulanır. Yörünge transferi için hızda yapılması gereken toplam değişim, transfer elipsinin yakın ve uzak noktalarındaki hızların vektörel toplamıdır. Bu hız vektörleri eşyönlü olduklarından, toplam hız değişimi, ilk ve son yörüngelerdeki hızların büyüklüklerinin toplamına eşittir.

Yörünge Yüksekliğini Değiştirme:



Olağan olarak bir uzay aracının, mümkün olan en az miktarda enerjinin kullanımıyla transferi istenir. Ki bu genellikle, bir Hohmann transfer yörüngesinin kullanımıyla sonuçlanır. Fakat bazen bir uyduyu yörüngeler arasında, Hohmann transferinin gerektirdiğinden daha kısa bir sürede transfer etmek gerekir. Yandaki şekil, 'Tek Tanjantlı Yanma' denilen daha hızlı bir transferi gösteriyor. Bu durumda, transfer yörüngesi ilk yörüngeye teğettir. Son yörüngeye kesme açısı ise, transfer yörüngesinin, kesişme noktasındaki 'uçuş patikası açısı'na eşittir. İlk yörüngeye teğet sonsuz sayıda transfer yörüngesi vardır ve bunlar son yörüngeye değişik açılarla keser. Dolayısıyla, transfer yörüngesi; transfer yörüngesinin büyüklüğünü, transferin açılal büyüklüğünü veya transfer süresi için gereken zamanı belirtmek suretiyle seçilebilir. Daha sonra, transfer yörüngesi betimlenir ve gereken hızlar hesaplanır. Transfer yörüngesinin büyüklüğü örneğin, Hohmann transfer elipsininkinden daha bü-

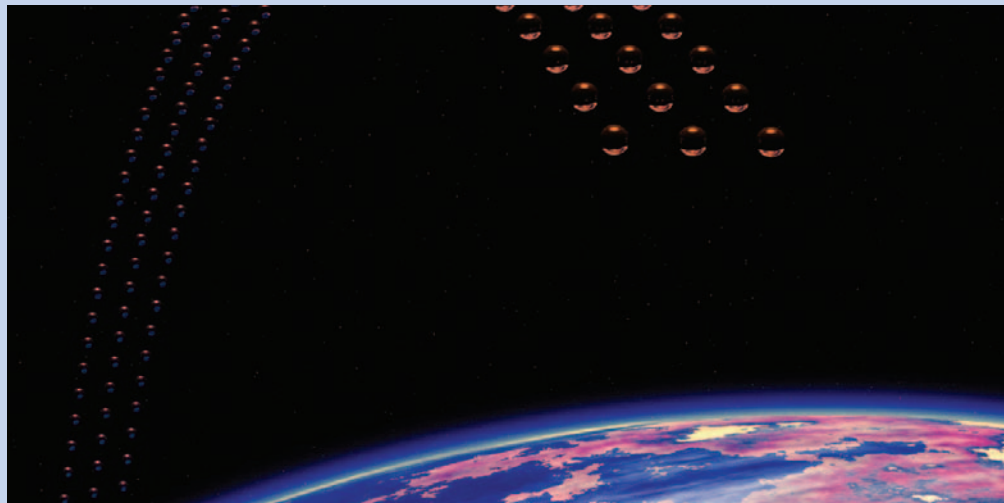
yük herhangi bir ana eksen uzunluğu seçmek suretiyle belirlenebilir. Ana eksen bilindiğinde, eğrilik (eksantirisite), transfere kadar kapsanan açılal mesafe, transfer için gereken hız değişimi ve transferin tamamlanması için gereken süre hesaplanabilir.

Yörünge Düzlemini Değiştirme:



Bir uydunun yörünge düzleminin yönelişini, çoğunlukla eğimini, değiştirmek için hız vektörünün yönünün değiştirilmesi gerekir. Bu manevra, ΔV 'nin yörünge düzlemine, dolayısıyla da başlangıçtaki hız vektörüne dik bir bileşeninin olmasını gerektirir. Eğer yörünge büyüklüğü aynı kalırsa, manevraya 'basit düzlem değişimi' denir. V_F 'nin V_I 'ye eşit olması halinde, bu ifade $\Delta V = V \sin(\theta/2)$ olur. Ki burada, V , yanmadan önceki ve sonraki hız, θ da gerekli olan açı değişimidir.

Yukarıdaki eşitlikten görüldüğü üzere, açı değişimi eğer 60° ise, hızdaki gerekli değişim, ilk hızla eşittir. Düzlem değişimlerinin, hızdaki gereken değişim ve sonucu olan yakıt tüketimi açısından maliyeti çok ağırdır. Bu maliyeti en aza indirmek için, yörünge düzleminin, uydunun hızının en düşük olduğu noktada gerçekleştirilmesi lazımdır. Yani elips bir yörünge için, 'uzak nokta'da ('apogee'). Bazı durumlarda, uyduyu önce daha yüksek bir yörüngeye oturtup, yörünge düzlemini 'apogee'de değiştirdikten sonra, ilk yörüngesine geri döndürmek daha az maliyetli olabilir.





Meteoroloji uyduları: TIROS, COSMOS VE GOES gibi, dünyada hava tahmini için kullanılan fotoğrafları gönderen, yere göre sabit ('geostationer') olan veya kutupsal yörüngelerde dolaşan uydular.

İletişim uyduları: Telefon ve veri alışverişlerini aktaran, Telstar ve Intelsat gibi uydular. Genellikle yeruyumlu (geosenkron). En önemli özellikleri, yüzlerce veya binlerce 'transponder' içermeleri. Transponder, belli bir frekanstaki konuşmayı alıp büyüttükten ('amplify') sonra, başka bir frekansta tekrar yeryüzüne aktaran radyo.

Yayın uyduları, iletişim uydularına benzer ve TV sinyallerini bir noktadan diğerine iletirler.

Bilimsel uydular, değişik bilimsel işlevlere sahip. Hubble Uzay Teleskopu en ünlüsü. Pek çok diğeri, güneş lekelerinden gama ışınlarına kadar çeşitli unsurları inceliyor.

Ulaşım (navigasyon) uyduları, uçak ve gemilerin rota tayinine yardımcı. En ünlüleri GPS ve NAVSTAR uyduları.

Kurtarma uyduları, acil durum sinyallerine yanıt veriyor.

Dünya gözetim uyduları, yeryüzünün sıcaklığından, orman alanlarına ve buzullara kadar çeşitli unsurlardaki değişimleri gözetliyor. En ünlüleri LANDSAT serisi.

Askeri uydular. Uygulamaları gizli olmakla beraber, yüksek teknoloji düzeyli elektronik ve fotoğraf donanımıyla, sınırsız gözetim imkanına sahipler. Uygulamalar arasında:

- Şifreli iletişimin aktarımı,
- Nükleer gözetim,
- Rakip askeri güçlerin hareketleri,
- Füze ateşlemeleri hakkında erken uyarı,
- Yeryüzü radyo bağlantılarını dinleme,
- Radarla görüntü alma,
- Büyük teleskopların kullanımıyla, askeri açıdan anlamlı alanların fotoğraflanması.

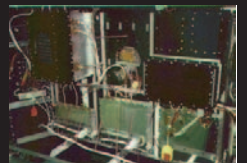
AMSAT: Amatör radyo işleticilerinin dünya çapındaki, kar amacı gütmeyen örgütü olup, üyelerinin aidatlarıyla desteklenen uyduları kullanıyor.

Resmi adı 'Radio Amateur Satellite Corporation'. AMSAT üyelerinin şimdiye kadar katıldığı etkinlikler:

- 40'tan fazla uydunun geliştirilmesi ve yapımı,
- uydunun yörüngeye oturtulmasından sonraki 'yer kontrolü',
- uyduları aracılığıyla sözlü iletişim ve uyduları radyo röle bağlantısı olarak kullanarak başkalarını dinleme.

AMSAT uyduları, bir kısa dalga alıcısı veya radyo tarayıcısı ('scanner') kullanılarak dinlenebiliyor. 'Ham operatörleri' doğal afetler sırasında, kara bağlantıları ve cep telefonu ağları kesildiğinde ya da aşırı yüklendiğinde uyduları kullanıyor.

AMSAT yapımı uydular, boş yer ('payload') kaldığı takdirde yerleştirme ilkesine göre fırlatılıyor. 1961'de yörüngeye yerleştirilen ilk uydusu, OSCAR ('Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio'). İzleme yazılımları ('tracking software') kişisel bilgisayarlar için mevcut ve bazı AMSAT



UYDU TÜRLERİ

uyduları, veri, görüntü ve ses yeteneklerinin bir karışımına sahip.

Yandaki resimde, Phase 3D AMSAT uydusunun donanım güvertesindeki elektronik modüller görülüyor. Sol üstte kamera donanımı, alt sırada ise çeşitli alıcılar var. Temmuz 2000'de Ariane 507 ile fırlatılmış. (Foto: AMSAT)

Uyduların Ortak Donanımı:

- Araç ('bus') denilen, metal veya kompozit malzemeden bir gövde. Fırlatmaya dayanıklı olup, herşeyi bir arada tutuyor.

- Genellikle güneş gözelerinden oluşan bir güç kaynağı ve depolama için aküler. Göze dizileri, şarj edilebilir bataryalara güç sağarken, yeni tasarımlarda yakıt hücreleri var. Çoğu uydusu için güç, sınırlı olduğundan çok kıymetli. Diğer gezegenlere gönderilen araştırma uydularında nükleer güç



de kullanıldı. Güç sistemleri sürekli olarak gözetlenip, güç ve diğer sistemler hakkındaki veriler, telemetri sinyalleri şeklinde dünyadaki üslere gönderiliyor.

- Hepsinin gövdesinde, çeşitli sistemlerin denetim ve gözetimi için bir bilgisayar.

- Radyo sistemi ve anten. Çoğu uydusunun en azından, yer ekibinin durum

bilgilerini isteyebilmesi ve uydunun sağlık durumunu izleyebilmesi için radyo verici/alıcısı var. Çoğu uydusu, yörünge değişiminden, bilgisayar sisteminin yeniden programlanmasına kadar pek çok işlemin yapılabilmesi için, yerden kontrol edilebilir haldedir.

- Hepsinde, uydusu doğru yönde tutan 'yöneliş kontrol sistemi' ('attitude control system-ACS') bulunuyor.

- Hubble Uzay Teleskopu, saatte 27.359 km hızla seyahat ediyor olmasına karşın, teleskopu saatler boyunca uzaydaki aynı bir konuma yönelik tutmaya yarayan ayrıntılı bir kontrol sistemine sahip. Sistem; giroskoplar, ivmeölçerler ('accelerometer'), dengeleyici tepki tekerleği sistemi, itkiciler, yıldızları gözleyerek uydunun konumunu belirleyen sensörlerden oluşuyor.

- 1993'te fırlatılmış olan İleri İletişim Teknolojisi Uydusu, dar ışın vericisi olarak çoklu anten kullandı.

KH GÖZETİM UYDULARI:

Kod adı 'Kennan' olan 'Keyhole' sınıfı (KH) gözetim uyduları, 30 yıldan fazladır yeryüzünü gözetliyor ve askeri amaçlı fotoğraflar çekiyor. Bir KH-12, Hubble Uzay Teleskopu'na benzeyen, fakat uzay yerine yeryüzünü gözetleyen 1 milyar ABD\$'lık bir uydusu. Güvenlik gerekçesiyle yörünge programı açıklanmıyor. 15 tonluk Lacrosse sınıfı radar görüntü uydularıyla desteklenmiş haldeler.

Bir KH uydusu, yörüngeye oturtulmuş, çok büyük mercekli dev bir sayısal fotoğraf makinasına benzetilebilir. Optik görüntülü gözetim uyduları, 320 km yükseklikten, dünyaya geri gönderilmek üzere hazırlanan fotoğrafı oluşturan görüntüleri 'yük eşlenikli aygıt' ('charge coupled device-CCD') kullanarak topluyor. Uydular yörüngede dolaştıklarından, belli bir bölge üzerinde fazla duramıyor ve dolayısıyla, gerçek zamanlı video görüntüsü kaydedemiyor.

Uydular genellikle NASA'nın Uzay Mekiği seferleriyle veya Titan 4 roketleriyle gizli yörüngelere yerleştirilip, Ulusal Gözetim Ofisi ('National Reconnaissance Office, NRO') tarafından işle-

tiliyor. Uydulardan gelen sayısal görüntüler, Ulusal Yer-Uzay İstihbarat Ajansı'nın ('National Geospatial-Intelligence, NSA') güçlü bilgisayarlarında incelenip, işlenerek birleştiriliyor. Siyah beyaz görüntüler askeri ve sivil örgütler tarafından kullanılıyor. Bu sınıf uydular hakkındaki bilgiler gizli tutulmakla beraber, her an için yörüngede birkaçının bulunduğu biliniyor. 10-15 cm'lik görüntü çözünürlüğüne sahip olup, bir evin bahçesindeki bisikleti görebilirler. Uzaydan yeryüzünü haritalamakta ilk kullanılan Corona uyduları, 1,8 m'lik görüntü çözünürlüğüne sahipti. 1960-1972 yılları arasında, CIA ve ABD Hava Kuvvetleri ile anlaşmalı olarak Lockheed Martin tarafından üretilip, 100'den fazlası fırlatıldı. Görüntü işleme uzmanları uydusu verilerini kullanarak, yerdeki toprak şekillerinin ve yapıların üç boyutlu görüntüsünü oluşturabiliyor. Bu görüntüler, savaşan ülkelerin barış görüşmelerinde kullanılıyor. Veya bir ülkenin herhangi bir etniklik hakkındaki savlarının doğru olmadığı kanıtlanabiliyor. Aynı teknoloji, suçluların olası kaçış yollarının belirlenmesinde de kullanılıyor.

California'daki Vandenberg Hava Üssü, ABD'nin Soğuk Savaş sırasındaki ve şimdiye kadarki gözetim uydularının fırlatıldığı ana üs oldu. İlk uyduların güvertelerinde, film tomarlarının dünyaya geri göndermek üzere tüpler bulunduruyor ve atılan tüpler, Hava Kuvvetleri ekipleri tarafından Pasifik Okyanusu üzerinde yakalanıyordu. 1958 yılından sonra Lockheed Martin tarafından imal edilen özel uydular, Ulusal Gözetim Ofisi ('National Reconnaissance Office') ile anlaşma çerçevesinde artık Boeing tarafından yapılıyor.



GPS SİSTEMİ

Varsayalım ki düzlem üzerinde yaşıyorsunuz ve yolunuzu kaybettiniz, nerede olduğunuzu bilmiyorsunuz. Ancak, elinizde bir telefon var ve konumlarını bildiğiniz bazı arkadaşlarınıza ileti gönderebiliyorsunuz. Arkadaşlarınızdan her biri, her nasılsa, gönderdiğiniz iletiden nerede olduğunuzu anlayıp, size kendisinden ne kadar mesafede olduğunuzu bildiriyor. Diyelim 1., 2. ve 3. arkadaşınız; r_1 , r_2 , r_3 mesafelerini bildirdi. Eğer 1. arkadaşınızı merkez alan r_1 yarıçaplı bir daire çizerseniz, bu daire üzerindesiniz demektir. 2. arkadaşınızı merkez alan r_2 yarıçaplı daire, birinci daireyi iki noktada keser ve sizin, bu noktalardan birinde olmanız gerekir. Nihayet, 3. arkadaşınızı merkez alan r_3 yarıçaplı daire, bu iki noktanın birinden geçer ve o nokta, sizin bulunduğunuz konumu verir. Küresel Konumlandırma Sistemi KKS, ('Global Positioning System, GPS'), buna benzer şekilde çalışır.

Bir GPS Uydusu (ABD)

Ancak, üç boyutlu uzayda bir nokta belirlemek için, üç daire yerine, dört küre gerekir. Çünkü, iki küre bir çember üzerinde kesişir. Üçüncü küre, bu çemberi iki nokta üzerinde keser ve bu noktalardan hangisinde bulunduğunuzu belirleyebilmek için, dördüncü bir küre daha gerekir. Aslında, KKS için gerekmez. Çünkü; eğer bu noktalardan birisi yeryüzünde ise, ki siz yerde olduğunuza göre öyle olmak zorundadır, diğeri havada veya toprağın altında olacağından, devre dışı kalır. Dolayısıyla, dünya yüzeyinde konum belirlemek için, üç küre yeterlidir. Fakat, emniyet payı olarak dördüncü küre de kullanılır. Bu şu demek: yeryüzündeki herhangi bir nokta her an için, 24 elemandan oluşan KKS sisteminin en az dört uydusunun kapsama alanına girmektedir. Aygıtınız, uyduların dördünden aldığı imgelerden hareketle, her birinin uzaklığını ayrı ayrı hesaplayabilirse ve konumlarını da biliyorsa eğer; her birini merkez alan ilgili küreleri inşa edip, kesişme noktasını alarak, konumunuzu da belirleyebilecektir. Soru şu tabii: Uyduların uzaklıkları nasıl hesaplanacak?

Uyduların her biri bunun için; belli bir andan, diyelim tam geceyarısından itibaren, upuzun bir 'rasgelelmsi sayısal dizi' ('digital pseudocode') yayınlamaya başlar. Dizinin basamakları arasındaki süreler sabit olup, nanosaniye (10^{-9} s) düzeyindedir. Alıcınız da aynı diziyi, keza tam geceyarısından itibaren üretmeye başlamıştır. Bir konum belirlemesi yapmaya giriştiği anda, önce saatine bakar: Diyelim t. Sonra, uydudan gelen diziyi kendisinininkiyle kıyaslar. Uydü yayınları, ışık hızıyla da seyahat etseler, gecikmeye uğradıkları için; iki dizi arasında bir miktar kayma olmuştur. Alıcınız, kaymanın kaç basamaktan oluştuğunu sayarak, uydudan gelen imgenin gecikme süresini hesaplayabilir: Diyelim Δt . Uzaklığı bulmak için yapması gereken, Δt farkını alıp, ışık hızıyla çarpmaktır. Ancak, uydü merkezli küreyi çizebilmesi için, uydunun t- Δt anında nerede olmuş olduğunu bilmesi gerekir. Bu nasıl olacak?...

Her uydü, sabit olması gereken bir yörünge üzerinde periyodik bir hareket yapmakta olduğundan, kuramsal olarak; gelecekteki her an için konumu bellidir. Dolayısıyla her uydü, her an için

hangi konumda bulunacağını, zamanın fonksiyonu olarak, önceden hesaplayıp çizelgeler ('almanac') hazırlamıştır. Bu çizelgeleri periyodik olarak yayınlar ve çizelgeler, alıcının hafızasında vardır. Alıcı, uydunun t- Δt anındaki konumunu, o uydunun çizelgesine bakarak belirler. Geriye küreleri çizip, kesişme noktalarına bakmak kalmıştır.

Ancak, uydulardan gelen imgelerin seyahat süresi çok kısa olduğundan, Δt ölçümlerinin çok, nanosaniye düzeyinde duyarlılıkla yapılmış olması gerekir. Aksi halde, küreler tek bir noktada kesişmez. Nanosaniye düzeyinde duyarlı zaman ölçümü, sadece atom saatleri tarafından yapılabilir. Nitekim uyduların her birinde, birer atom saati vardır. Fakat, bu saatlerin fiyatı 50-100 bin dolar arasında olduğundan, alıcılarında kullanılmaları mümkün değildir. Alıcılar, bildiğimiz basit kuartz saatlerini kullanır. Dolayısıyla; uydular zamanı duyarlı bir şekilde belirlerken, alıcılar Δt gecikmelerini hatalı ölçmektedir. Ne olacak şimdi?...

Aslında bu öyle bir hatadır ki, kendisinden hareketle düzeltilebilir. Çünkü; diyelim aygıtın saati, atom saatlerine göre geride kalıyor: $\Delta t'$ leri küçük ölçer, hepsini aynı miktarda. Uzaklıkları ek sık hesaplar: Hepsini aynı miktarda. Hal böyle olunca, daireler tek bir noktada kesişmez. Bu durumda aygıt, yeni bir hesap yapmak üzere, $\Delta t'$ leri büyütür: Hepsini aynı miktarda, diyelim Δt_H kadar. Yeni $\Delta t'$ lerle yeni yarıçaplar hesaplar. Uyduları merkez alan yeni daireler, tek bir noktada kesişmezlerse eğer, başka bir Δt_H daha dener. Ta ki daireler tek bir noktada kesişinceye kadar. Bu olduğu anda; hem konumu belirlemiş, hem de saatindeki gecikme miktarını bulmuş olur: Δt_H . Saatini ayarlar ve atom saatleriyle uyumlu hale getirmiş olur. Alıcınız açık olduğu süreçte, bu ayarlamayı sürekli yapar ve saatini, uydulardaki atom saatleriyle uyumlu tutar.. Peki: Ya saati ileri gidiyorsa?... Gerçi aygıt her iki olasılığı da, Δt_H için hem artı hem eksi işaretli değerler kullanarak halledebilir. Ama şunu düşünmeye değer... Aygıtın saati ileri gidiyorsa, daireler olması gereken daha büyük, geri kalıyorsa daha küçüktür ve her iki durumda da, tek bir noktada kesişmezler. Ama acaba; tek bir noktada kesişmemenin bu iki halinin geometrileri arasında niteliksel bir fark var mıdır ve varsa nedir? Neyse...

Sistem aslında biraz daha karmaşık. Çünkü, her ne kadar uyduların sabit yörüngeler üzerinde hareket ettikleri varsayılıyor ise de, bu yörüngeler; başta Ay olmak üzere gök cisimlerinin çekim kuvveti veya yörünge yüksekliğinde çok seyrelmiş de olsa, atmosferin sürtünme kuvveti nedeniyle, zaman zaman 'bozulma'lara uğrar. O zaman da



alıcınız, hafızasındaki uydü konum çizelgelerinden hareketle yaptığı hesaplarda yanılır. Buna karşı önlem olarak, ABD Savunma Bakanlığı uyduların konum ve hızlarını aralıklı olarak yeniden ölçüp, o andan itibarenki yörünge profillerini hesaplayarak, yeni konum çizelgeleri hazırlamakta ve bu çizelgeleri, uydü bilgisayarlarının hafızasına yükleyip, güncellenmelerini sağlamaktadır. Ki uydular da alıcılara iletir, konum çizelgelerini güncelletsinler diye... Öte yandan, aygıtınızda tek bir alıcı varsa, dört uydudan alınan imgeler, ardı ardına işleme tabi tutulur ve bu zorunluluk, konum hesabında belirsizlik doğurur. Daha iyisi; aygıtın, uyduların her biri için ayrı alıcılar kullanarak, hesaplarını paralel olarak yapmasıdır. Bazı aygıtlar bu donanımına sahiptir.

Son olarak ve fakat önemsiz de olmayarak; uydulardan gelen elektromanyetik dalgalar ışık hızıyla seyahat ediyor olmakla beraber, bu hız; özellikle iyonosferdeki iyonlaşma ve troposferdeki, yoğunluk ve nem oranı farklılıkları gibi nedenlerle, az da olsa değişir. Ayrıca, sinyaller, özellikle metal ağırlıklı gökdelenler tarafından yansıtılmakta ve uyduları, aslında olduklarından daha uzakta göstermektedir. Dolayısıyla, alıcılar bazen hesaplamalarında yanılabilir. Bu olumsuzluklara karşı, KKS sisteminin 'ayırımı' ('differential') biçimi kullanılır. DGPS ('Differential Global Positioning System') olarak bilinen bu sistemde, uydü imgeleri önce bir yer istasyonu tarafından alınır. İstasyon bu bilgilerden hareketle, tıpkı alıcıların yaptığı gibi, kendi konumunu hesaplar. Fakat, sabit olan kendi konumunu zaten bilmektedir. Hesap sonucunu, bilinen bu değerle kıyaslar ve aradaki farktan hareketle, uyduların gerçek konumlarını belirleyip, civarındaki, bu sistemi kullanan alıcılara iletir. Peki ne işe yarar KKS?...

Tabii, belirlediği enlem ve boylamı kullanarak, bulunduğunuz konumu bir harita üzerinde bulabilirsiniz. Hatta bazı aygıtlar, hafızalarına harita dosyalarının indirilmesine veya dosya kartuşları aracılığıyla yüklenmesine izin verir. Bu dosyalar, bir bilgisayara aktarılıp, ekrana yansıtılabilir. Bazı alıcıların kendi ekranı vardır. Hesaplanmış olan konum ekranda, ışıldayan bir noktayla gösterilir. Keza, aracınızla seyahat sırasında, alıcıyı açık tuttuğunuz süreçte; bulunduğunuz konum ve izlediğiniz rota, ekrandaki harita üzerinde sergilenip, alternatif seyahat yolları belirtilebilir. Bu durumda aygıtın; ne kadar süredir seyahat etmekte olduğunuzu ve ne kadar yol katetmiş bulunduğunuzu gösterme ('odometre'), anlık ve ortalama hızınızı belirtme yeteneği de vardır. Ayrıca, hedefinizi belirtmeniz halinde, kalan yolunuz ve o ana kadarki ortalama hızınızdan, hedefinize varma süre ve saatinizi de belirleyebilir. Yandaki şekilde böyle bir aygıt görülmüştür.



FIRLATMA PENCERESİ, BULUŞMA

Buluşma: Uzay aracının bir başka araçla buluşması gerektiğinde, yörünge transferi daha karmaşık bir hal alır. Çünkü, buluşacak olan araçla buluşacağı hedefin randevu noktasına aynı anda varmaları gerekir. Bu duyarlılık bir 'faz ayarı yörüngesi'nin kullanımını gerektirir. Faz ayarı yörüngesi, bir Hohmann transferinin başlatılabilmesi için buluşacak aracın hedefe göre alması istenen geometriyi yakalamasıyla sonuçlanan herhangi bir yörüngedir.

Eğer ilk ve son yörüngeler; dairesel, farklı büyüklüklerde ve eşdüzlemsel iseler, faz ayarı yörüngesi, buluşacak olan aracın ilk yörüngesidir zaten. Buluşan araç ('interceptor'), iki aracın görelili hareketi istenen geometriyi yakalayan kadar kendi yörüngesinde kalır ve tam o anda, bir Hohmann transfer yörüngesine geçirilir.

Fırlatma penceresi: Uyduyu, hedeflenen işlevlerini yerine getirebilmesi için

oturması gereken yörüngeye yerleştirmek üzere dünya yüzeyinden fırlatmak için en uygun zaman aralığına denir. Bu aralığın belirlenmesi, buluşma problemine benzer bir problem oluşturur. Yörünge düzlemi başvuru sistemi yerde olan bir uzayda sabit bulunduğundan, 'fırlatma penceresi', yeryüzündeki fırlatma üssünün dünyayla birlikte yörünge düzlemi içinde döndüğü süredir. Fırlatma zamanı; üssün enlemi ve boylamına, uydu yörüngesinin eğiklik açısına ve tırmanış düğümünün boylamına bağlıdır. Fırlatma penceresinin, kötü hava koşulları veya arıza gibi herhangi bir aksaklık nedeniyle kaçırılması halinde, bir sonraki pencere beklenir. Aksi halde, uydu, görevinin gerektirdiği yörüngeye yerleştirilemeyebilir.

Uzay Mekiği uçuşlarında fırlatma penceresinin seçimini belirleyen önemli bir etken, sorun çıkması halinde ekibin güvenle yere indirilebilmesi sorunudur.

Böyle bir durumda mekiğin iniş için kullanacağı TransAtlantik iniş bölgesinin, kurtarma ekiplerinin rahatça çalışabilmesi açısından gün ışığında olması gerekir.

Diğer tür, örneğin gezegenlerarası araştırma uçuşları için, fırlatma penceresinin, aracın hedefine en verimli patika üzerinden varmasını sağlayabilmesi gerekir.

Başka bir gezegene gönderilecek olan bir uyduyu taşıyan Uzay Mekiği misyonu, farklı bir örnek oluşturur. Mekikten bırakılan uydunun yolculuğunu, güvertesindeki mevcut motor ve yakıtla tamamlayabilmesi için, dünya ile diğer gezegenin belli göreceli konumlarında olması lazımdır. Ki bunun için, herhangi bir ayda yalnızca birkaç günlük bir fırlatma penceresi bulunabilir. Örneğin MIR buluşma misyonu STS-71'in, yalnızca 5 dakikalık bir fırlatma penceresi vardı.

Yörünge Onarımı, Hız Değişimi (ΔV) Bütçesi

Yörünge onarımı: Çoğu uydu, bir kez yörüngeye oturduktan sonra, ilave bakım gerektirmez. Fakat, bozucu dış etkiler yörünge parametrelerini değiştirdiğinde, uydunun görev gereksinimleri bu parametrelerin düzeltilmesini, bu da manevrayı gerektirir. Yeryüzünde belli bir hattı izlemesi gereken uydularla, yere göre durağan uydular, bunun iki özel örneğini oluşturur.

Bir uydunun görevini tamamlamasından sonra, yörüngesine bağlı olarak, çeşitli seçenekler uygulanabilir. Alçak yörüngelerin bozunmasına ve uydunun atmosfere 'yeniden giriş' yapmasına izin verilebilir. Hatta, bir hız değişimi uygulamak suretiyle bu süreç hızlandırılabilir. Başta 'yeruyumlu' yükseklikler olmak üzere, herhangi bir yükseklikteki uydular, uzaydaki aktif araçlarla çarpışmaları olasılığını azaltmak amacıyla, 'zararsız yörünge'lere çıkartılabilir.

ΔV bütçesi: Yörünge tasarımcısı için, her uzay misyonu, bir dizi farklı yörüngeden oluşur. Bir uydu; örneğin alçak bir park yörüngesinde salındıktan sonra, görev yörüngesine aktarılabilir; bir dizi faz ayarlama veya alternatif görev yörüngesinde seyredebilir ve işlevsel ömrünü doldurduktan sonra, nihai bir yörüngeye geçebilir. Bu yörünge değişimlerinin her biri enerji gerektirir. ΔV bütçesi, bu enerjinin muhasebesi için kullanılır. Uzay misyonu süresince gerekli olan tüm hız değişimlerinin toplamı olup, genel anlamda, o misyonun yörünge senaryosunun maliyetini temsil eder

NOTLAR:

Maliyet: Bir 'hortum gözetleme uydusu' 290 milyon, 'füze uyarı uydusu' 682 milyon ABD\$. Uyduların bir diğer maliyet unsuru fırlatma: 50-400 milyon ABD\$. Birkaç uyduyu birden yörüngeye taşıyabilen bir mekik seferi, yarım milyar dolar kadar. ABD firmaları: Hughes, Ball Aerospace & technologies Corp., Boeing, Lockheed Martin.

Uydu gözleme: PC'ler için hazırlanmış özel uydu yazılımları, mevcut uyduların yörüngelerini öngörebiliyor. Yazılım, Kepler tipi veriler kullanarak her yörüngeyi tahmin ediyor ve uydunun hangi zamanda görüneceğini gösteriyor. En son 'Kepler' İnternet'te, amatör radyo uydularının kullanımına açık. Uydular konumlarını belirlemek için, ışığa duyarlı değişik sensörler kullanıyor ve konumunu yer istasyonuna iletiyor.

Gözleme yöntemi: Alman Uzay Operasyonları Merkezi'nin uydu takibi için hazırlanmış olduğu bir web sitesi (satellite tracking Web site), yörüngedeki bir uydunun nasıl görülebileceğini gösteriyor. Verilmesi gereken enlem ve boylam koordinatları için USGS Mapping Information veya Topozone sitesine başvurulabilir. Yörünge geçişlerini öngörebilmek için, uydu izleme yazılımları mevcut. Geçiş zamanı not edilip, açık bir gecede ve ay parlak değilken dürbün kullanılabilir. Saatin bilinen bir zaman standardına (time standard) uygun şekilde ayarlanmış olduğundan emin olunması gerekir.

Uzay çöpü: Dünyanın etrafında halen, 'uzay çö-

pü' olarak nitelendirilen 26.000 civarında yapay uydu; infilak etmiş, yanlış yörüngeye oturtulmuş veya aküsü tükenmiş uydular, roketlerin terkedilmiş ek yakıt tankları, uzay yürüyüşlerinde düşürülmüş aygıt, parça vb'den oluşuyor. Avrupa Uzay Ajansı, (European Space Agency), 10 cm'den büyük boyutlu 7.500 kadarını izliyor. Uzay Mekiği uçuşlarının yörüngelerinde, pencereleri arkada kalacak şekilde uçuşmasının bir nedeni de, ekibi bu cisimlere karşı korumak olabilir. Çünkü, o yörüngedeki bir uydunun geçmişteki tamiri sırasında düşürülmüş bir tornavida, saniyede 10 km hızla dolaşmıyor olacaktı. En yüksek yörüngedekiler, varlıklarını en uzun süreyle sürdürürler. Uzay hurdalarıyla çarpışmaların uzun vadeli sonuçlarını incelemek amacıyla, özel bir NASA uydusu ('Long Duration Exposure Facility-LDEF') uzaya gönderildi ve daha sonra incelenmek üzere Uzay Mekiği ile geri getirildi.

