



# Not Defteri

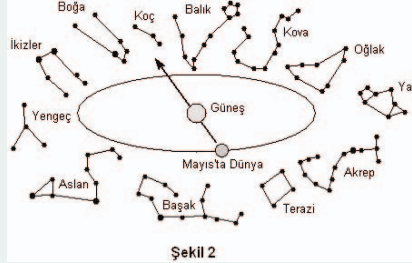
Vural Altın

## İznikli Hipparkos

Nerede kalmıştık: Güneş... Yıldızların Dünya'ya göre yalnızca günlük hareketi varken Güneş, Dünya'nın etrafındaki görünür hareketinde, doğudan batıya doğru günlük döngüsüne ek olarak, yılda bir kez de 'ekliptik' üzerinde, batıdan doğuya doğru bir tur dolanıyor. Dolayısıyla, görüntüsü yılboyunca, Şekil 2'de gösterildiği gibi, geri plandaki farklı takımyıldızların üzerine düşüyor. Bu durum, yıldızların insan kaderi üzerinde etkili olduğu yönündeki eski bir inanıştan kaynaklanan burçların konusu. Öte yandan Güneş, görünürdeki hareketinin günlük döngüsü sırasında doğudan batıya doğru giderken, yıllık döngüsü nedeniyle de, günde bir derece kadar doğuya kayarak gerilediğinden, 'güneş zamanı' yıldız zamanı'ndan daha yavaş çalışıyor.

Dünya'nın dönüş (spin) eksenini, yörünge düzlemine ('ekliptik') dik değil ve bu düzlemin normaliyile, yaklaşık 23,4 derecelik bir açı yapıyor. Neden böyle?... Dünya oluşurken spin açısal momentumunu bir yönde edinmiş, yörüngesel açısal momentumunu da farklı bir yönde. Toplam açısal momentum korunmak zorunda olduğundan, bugüne kadar öyle gelmiş. Ömrü boyunca uğradığı çarpışmalar nedeniyle, bu açısal momentum bileşenlerinde değişimler olmuş tabii: Sonuç bugünkü durum. Dünya'nın veya gökkürenin kuzey kutbundan bakıldığında, Dünya kendi etrafında da, Güneş'in etrafında da aynı ve saatin tersi yönde dönüyor. Bir başka deyişle, yörünge ve spin açısal momentumları aynı yönde. Yani yörüngesinde ilerlerken, 'ileriye doğru' dönüyor ve böyle bir yörüngeye, 'düzgün' ('prograde') yörünge deniyor. Güneş bu yüzden; Dünya'dan bakıldığında doğudan doğup, batıda batıyor görünür. Halbuki Dünya kendi etrafında bir, Güneş'in etrafında da bunun tersi yönde dönüyor olabilir. O zaman yörüngesinin 'ters' ('retrograde') olduğu söylenirdi. Böyle gezegenler de var: Venüs, Uranüs ve Plüton; Güneş'in çevresinde, diğer gezegenler gibi saatin tersi, fakat kendi çevrelerinde saat yönünde dönüyorlar. Oralarda Güneş; batıdan doğup, doğuda batıyor. "E o zaman; batıya doğu, doğuya da batı derim" diyemezdik de. Çünkü ayaklar güneye, baş kuzeye doğru ise, batı; sağ elin açıkken işaret ettiği yönde olmak zorunda. Pekî: Neden gezegenlerin çoğunun yörünge açısal momentumunu spiniyle aynı yönde de; azının, bu üçünün, geriye doğru?... Düzgün bir yörünge ters yörüngeden daha kararlıdır da ondan; böyle yörüngelerin oluşuktan sonra, varlıklarını sürdürmeleri olasılığı daha yüksek...

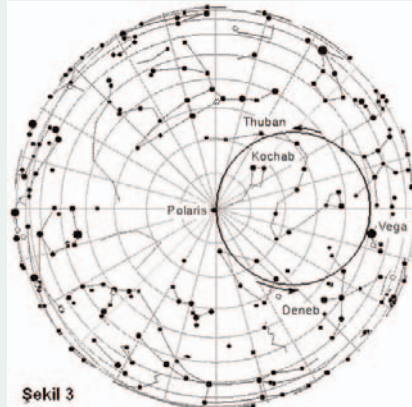
Dünya'nın hareketi, aslında bu kadar bile basit değil. Çünkü, Güneş'in ve diğer gezegenlerin etkisi bir yana, bir de Ay'ı var: Yarıçapı 3.474,8 km, kütlesi  $7,349 \times 10^{22}$  kg. Aralarındaki kütleçekimi nedeniyle birbirlerinin çevresinde; Ay'ın kütlesi Dünya'ninkinden çok daha küçük, %1,2'si kadar olduğundan, Dünya'nın içinde kalan, ama merkezile çakışmayan bir 'kütle merkezi' etrafında dönüyorlar. Sonuç olarak Dünya, Ay'la el ele vermiş, yörüngesi üzerinde dolanırken, küçük bir genlikle de olsa, valse benzer dansediyor. Ancak, Dünya'nın yörünge deviniminde, Ay'ın çekiminden kaynaklanan salınımlarının genliği, yörünge boyutlarına oranla gözardı



Şekil 2

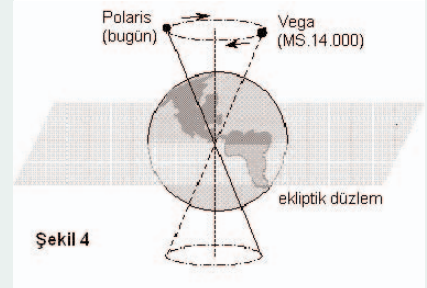
edilebilecek kadar küçük olduğundan, sanki sadece Ay, Dünya çevresinde dönüyormuş gibi görünüyor. Yörüngesi, daireye yakın bir elips. Yarıçapı 384.400 km. Periyodu 27 gün, 7 saat, 43,7 dakika; yaklaşık bir ay. Ay'ın Dünya etrafındaki yörüngesinin düzlemi de ekliptik düzlemle çakışmıyor. Aralarında 5 derecelik bir açı var ve Ay'ın spin vektörü, açısal momentum vektörüyle aynı açıyı yapıyor. Dolayısıyla, yörüngesi ekliptik düzlemle, ayda iki kez, karşılıklı veya zıt noktalarda kesiliyor. Eğer tam bu sırada; sivri ucunda Dünya üzerindeki bir noktada bulunan ve tabanı Güneş'in bu noktadan görünen dairesel kesitinden oluşan bir koninin tam içinden geçerse, o noktadan bakanlar için 'tam Güneş tutulması'na, koniyi kısmen keserse, 'parçalı Güneş tutulması'na yol açıyor. Aksi halde, sözkonusu koninin dışından geçip gidiyor. Yok eğer bu sırada, Dünya'nın Güneş'e göre ters tarafındaysa, bu sefer de kendisi tutuluyor. Dünya'nın 'gölge konisi' Ay'ındakinden çok daha büyük olduğundan, bu, Güneş tutulmasının aksine yaygın olarak gözlemlenebilir, fakat her ikisi de, her ay düzenli olarak gözlemlenmediğimiz ve Ay'ın Güneş tarafından aydınlatılan kısmının farklı açılardan görüntülerinden oluşan 'ayın evreleri'nden farklı bir durum. Spin periyodu 1 gün. Dünya'nın spin periyoduna kıilitlenmiş durumda. Bu yüzden, hep aynı yüzünü gösteriyor bize. Dünya'nın hareketini de etkiliyor...

Öte yandan, Dünya'nın tam bir küre olmaması ve Güneş etrafındaki yörüngesinin basık bir elips olması da, Güneş'in, yıldızların ve diğer gök cisimlerinin bize görünen hareket düzenini, yavaş çalışan bir şekilde etkiler. Başvuru sistemi olarak bir eylemsizlik ('inertial') sistemi alındığında, yani üzerinde net bir kuvvet ya da tork bulunmayan bir koordinat sisteminden veya böyle bir sisteme göre sabit hızla hareket eden 'eylemsizlik açısından eşdeğer' bir koordinat



Şekil 3

nat sisteminden bakıldığında; Dünya'nın spin eksenini sabit değil. Çünkü Güneş ve Ay, Dünya'nın ekvator bölgesindeki şişkinliği üzerinde, spin ekseninin yörünge düzlemine yaptığı açıyı azaltmaya çalışan bir kuvvet uyguluyorlar. Dünya'nın, üzerine etki eden kuvvetlerin simetrisini bozan bu etkiye karşı verdiği tepki sonucunda, spin eksenini; tıpkı spin eksenine dik yönde kuvvet uygulanan bir jiroskopun veya bisiklet tekerleğinin yaptığı gibi, ya da dönerken sürtünmeye maruz kalan bir topacınkine benzer şekilde, sabit kalamayıp yalpalar: "Presesyon". Şekil 3'te, eksenin yalpalarla çizdiği daire görülüyor. Ayrıca, yalpa açısının kendi de sabit kalamıyor ve Ay'la Güneş'in, Dünya'nın ekvator şişkinliği üzerindeki çekim kuvvetinin dağılımının, ekliptik düzleme göre simetrik olmayışı, spin eksenini kah biraz kaldırıp, kah biraz yarıyor. Yani yalpa açısı, periyodik olarak değişiyor: Nutasyon... Yalpa hareketinin periyodu 25.729 yıl kadar. Çok frekanslı bir salınım olan nutasyon ise, ana periyodu 18,6 yıl. Bu iki hareketi birlikte, spin ekseninin ucunun, bir yandan daire çizerken, diğer yandan da bu daire üzerinde minik elipsler çizmeye çalışması olarak düşünmek mümkün.



Şekil 4

Dönme ekseninin yalpalaması, Dünya'nın elips şeklindeki yörüngesinin, yani elipsin ana ekseninin, Güneş'in etrafında yavaşça dönmesine yol açıyor. Hareketin periyodu, yalpa periyodu, 25.729 yıl ve bu periyoda, 'Büyük Yıl' ('Platonik Yıl') deniyor. Döngü sırasında tabii gündönümü noktalarının gökküre üzerindeki konumları, yavaş bir şekilde de olsa, batıya doğru kayıyor. Örneğin, ilkbahar gündönümünün sağ açıklığı ve dik açıklık, her yüzyılda  $1,4^\circ$  kadar değişiyor. Tekrar üstüste gelmeleri için eliptik yörüngesinin dönme periyodunun tamamlanması gerektiğinden, 'Büyük Yıl'a aynı zamanda 'gündönümü döngüsü' de ('equinox cycle') deniyor. Bu durum belki ilk kez, MÖ.100 yılında İznikli Hipparkos tarafından, 'Kidinnu-Kalde-Babil' kayıtlarıyla kendisinininkiler arasındaki farklardan hareketle keşfedildi. Ptolemi'nin Almagest adlı eserinde aktardığına göre, Hipparkos ayrıca 850 kadar yıldızın konumunu 1000 yıl süreyle duyarlılıkla belirleyip listelemişti. Adı, kendisinden yaklaşık 2000 yıl sonra; Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 1989 yılında fırlatılan 'astrometri uydusu'na verildi. Bu sayede çalışmalarını farklı bir kimlikle 1996 yılına kadar sürdüren Hipparkos, 1 milyondan fazla yıldızın konumunu, sanyelik yayın binde 20-30'u duyarlılıkla ölçüp listeledi.

# Not Defteri

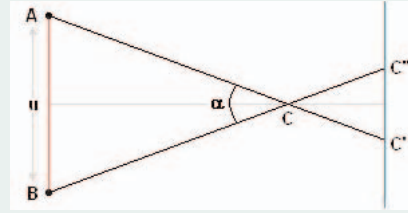
MÖ 2000 yılında, ilkbahar gündönümü Koç Takım yıldızı'ndaydı. 'Gökyüzü kuzey kutbu'na (gKK) en yakın yıldızsa, Ejderha ('Draco') Takımyıldızı'ndaki Thuban'dı. Milat dolaylarında, ilkbahar gündönümü Balık Takımyıldızına kaymışken, gKK'na en yakın yıldız, Küçük Ayı ('Ursa Minor') yıldızındaki 'Küçük Kepçe' ('Little Dipper') grubunun Kochab ('Evel-i ferka') yıldızıydı. Şimdiyse, gKK'na en yakın yıldız bizim Kutup Yıldızı diye adlandırdığımız Polaris. İlkbahar gündönümü, Balık ile Kova takımyıldızlarının arasında bir yerde. MS 2600 yılında, resmen Kova Takımyıldızı'na girmiş olacak. MS 10.000 yılında, Kuğu'nun ('Cygnus') kuyruğundaki parlak yıldız Deneb ('Zeneb-i Düccace'), kutup yıldızı olacak. MS 14.000'de sıra, Çalgı ('Lyra') Takımyıldızı'ndaki Vega'ya gelecek.

Fakat; başvuru sistemi olarak bir atalet sistemi değil de, Dünya'nın katı bünyesine sabitlenmiş bir koordinat sistemi kullanıldığında dahi, spin hareketinde hâlâ bir düzensizlik gözleniyor. Yer kabuğuna göre birkaç metrelik yer değiştirmelere karşılık gelen bu harekete, 'kutupsal hareket' deniyor. Bu bir 'yarı periyodik' hareket: 435 günlük bir serbest salınım (Chandler yalpası) ile, hava ve su kütlelerinin hareketinden kaynaklanan yıllık ortalama bir bileşenden oluşuyor. Ayrıca, Dünya'nın dönme hızı da zamanla değişiyor ve buna 'gün uzunluğunun değişimi' deniyor. Bütün bu hareketlerin Dünya'nın iklimi üzerindeki periyodik etkilerinin olacağı açık. Ancak, mevsimlere yol açan ana etken, Dünya'nın dönüş ekseninin, yörünge düzlemine olan eğikliği. Çünkü, yeryüzüne herhangi bir noktada teğet olan A alanında, Güneş enerjisinin soğurulma hızı, iki şeyin çarpımına eşit: Birincisi, ışınların geliş yönüne dik yöndeki birim alandan saniyede geçen fotonların taşıdığı enerji miktarı, yani enerji akısı ( $\phi$ ). Diğeri ise soğurma yüzeyinin ışınların geliş yönüne dik olan izdüşümünün alanı. Ki bu, eğer A'ya çıkılan dikmenin, ışınların geliş yönüyle yaptığı açı  $\alpha$  ise,  $\text{Asin}\alpha$  olur. O halde bu A alanının Güneş enerjisi soğurma hızı  $q = (\text{Asin}\alpha)\phi$ 'dir ve  $\alpha$  açısı yıl boyunca değiştiğinden, Dünya Güneş'in etrafında dolaştıkça,  $q$  periyodik olarak değişip durur. Yörüngenin yarısında kuzey, diğer yarısında da güney yarımküre Güneş'e 'daha dik' bakıyor olduğundan...

Peki, Dünya ile Ay bu karmaşık hareketlerde bulunuyor da, Güneş olduğu yerde mi duruyor? Hayır. Galileo'nun 400 yıl önce Güneş lekelerini gözlemlerken farketmiş olduğu gibi, onun da spini var. Fakat, Dünya gibi katı ağırlıklı bir yapısı olmadığından ve gazlardan oluştuğundan, tabakaları farklı hızlarda dönüyor. Dolayısıyla spin periyodu, örneğin kutuplara yakın tabakalar için 31, ekvator civarında 27 'dünya günü.' Bu dönüşü sırasında merkezinin gezegenlerine uyguladığı çekim kuvvetleri nedeniyle, ortalama bir konum civarında, tıpkı Dünya'nın Ay etrafındaki minik genlikli valsine benzer bir dans var. Dünya'nın yörünge elipsinin, yani elipsin ana ekseninin, Güneş'in etrafında yavaşça dönüyor olması bu yüzden zaten: Büyük Yıl.

Yıldızların açısız konumlarından bahsettik de, uzaklıklarından hiç söz etmedik: Nasıl ölçülür bunlar?... Örneğin biz, yakınımızdaki bir cisme bakarken, uzaklığını kestirebiliyoruz: Nasıl?... İki gözle birden bakıyoruz da ondan. Örneğin sağ elin başparmağını kaldırıp, gözler önünde dik tutmuşken; sağ gözü kapatıp sadece sol gözle bakarsak, parmağın görüntüsü sağa; sol gözü kapatıp sadece sağ gözle

bakarsak, sola kayar: Niye?... Açısız kayma bu, 'Paralaks': Neden?... Gözler arasında, cismin uzaklığına oranla gözardı edilemeyecek kadar bir mesafe var da ondan. Nitekim, parmağı uzaklaştırdığımızda, kayma miktarı azalır. Hatta, aynı işlemi uzak cisimler için yaparsak, hemen hiç kaymazlar, neredeyse oldukları yerde dururlar. Neden?... Gözler arasındaki mesafe, cismin uzaklığına oranla o kadar küçülmüştür ki, iki göz sanki çakışmış da aynı noktadan bakıyormuş gibidirler de ondan. Uzak cisimlerin görüntüsü kaymaz, yakındakilerin kayar. Zaten, yakındaki parmağın görüntüsü de, geri plandaki sabit gibi duran cisimlere göre sağa sola kayar. Peki ne işe yarar bu, açısız kayma, paralaks?...



Şekilde; A ve B gözlem noktaları, C' ve C'' de, C cisminin bu noktalardan görüntüleri. AC' ve BC'' arasında  $\alpha$  açısı var. Açığı ölçtüğümüzde diyelim: AB uzaklığı  $d$  ise, C cisminin uzaklığı  $(d/2)\sin(\alpha/2)$  olur. Cisim çok uzak ve  $\alpha$  radyan cinsindense eğer,  $u=d/\alpha$ . Dolayısıyla, görece yakın yıldızların uzaklığını bu yöntemle belirlemek mümkün. En yakın yıldız Güneş. Güneş'in, diyelim diskinin merkezini, Dünya'nın ekvatoru üzerindeki, merkeze göre zıt iki noktadan gözlemleyip açısız sapmasını bulabiliriz. Hatta bu iki gözlemi, ekvatordaki tek bir noktadan, sabah Güneş doğar ve akşam biterken de yapabiliriz; Güneş'in bu arada gökyüzünde doğuya doğru yarım derece kaydığını göz önünde bulundurmak kaydıyla... Görüntüsü oldukça büyük bir disk oluşturduğundan, Güneş için o kadar iyi bir yöntem değil bu aslında, daha duyarlı yöntemler de var. Ya diğer yıldızlar? Yöntem onlar için de geçerli: Hedef yıldızı altı ay arayla, Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesinin (ekliptik) merkeze göre zıt iki noktasında gözlemleyip, geri plandaki çok uzak yıldızlara göre açısız kaymasını ölçmek yeterli. Ekliptiğin çapını biliyoruz, Dünya'nın Güneş'e uzaklığının iki katı; uzaklığı hesaplarız. Yöntem, 200 ışık yılı mesafelere kadar çalışır. Ondan öte, açısız kaymaları ölçmek, bilinen aygıtlarla olanaksız. Ne olacak?...

Her elementin kendine göre bir elektron dizilimi ve elektronlarının, farklı enerji düzeylerine sahip yörüngeler arasındaki geçişlerinden kaynaklanan özgül bir ışımaya spektrumu var. Dolayısıyla, bir yıldızın toplam ışımaya spektrumundaki farklı elementlere özgül frekansları arayarak, yıldızın hangi elementlerden oluştuğunu, hatta, bu farklı elementlere özgül farklı frekanslardaki ışımaya şiddetlerinin oranlarını alarak, yıldızın bileşimini belirlemek mümkün. Öte yandan, bileşimi bilindiği takdirde gelişmesinin hangi aşamasında olması gerektiği ve dolayısıyla, büyüklüğü ve toplam ışımaya şiddeti hesaplanabilen, 'Sefeid değişkeni' bazı yıldızlar var. Işıma şiddeti önceden bilinen böyle bir yıldız bize, tıpkı 100 wattlık bir sokak lambasına benzer şekilde; ne kadar yakınsa o kadar parlak, ne kadar uzaksa o kadar sönük görünür. Hal böyle olunca; benzer "Sefeid değişkeni" iki yıldızın parlaklıklarının oranı, uzaklıklarının oranının karesinin tersine eşittir. Elimizde

eğer, uzaklığını açısız kaymayla hesaplayabildiğimiz, görece yakın bir 'Sefeid değişkeni' varsa, ki var; bu yıldızın çok daha uzaktaki bir benzerinin uzaklığını hesaplayabiliriz. O 'Sefeid'den hareketle, daha da uzaktaki bir başka 'Sefeid'inkini vb. Uzaklığı belirlenen yıldız, bir grup veya gökadayaya aitse, o grup ya da gökadanın ortalama uzaklığı da belirlenmiş olur. Kısacası; yıldızdan yıldız atlayarak, açısız konum gözlemleri ve uzaklık hesaplamaları sonucunda, yakın gökkürenin üç boyutlu dinamik bir haritası çıkartılabilir. Daha büyük uzaklıklar için başka yöntemler de var...

Ancak, eğer incelenen yıldız bize doğru yaklaşıyorsa, o zaman biz, yıldızdan gelen ışın dalgalarının üstüne üstüne gidiyoruz demektir. Bu durumda, dalga tepeleri arasındaki süre, yani periyot kısalmış, frekans artmış gibi görünür. Yıldız uzaklaşıyorsa eğer, bunun tersi olur ve frekans azalır. İşler karışır mı? Yoo; bir elemente ait özgül ışımaya frekanslarının hepsi aynı oranda değişir, ya da kayar: 'Doppler kayması.' Elementleri tanımak, hala mümkündür. Yıldız ne kadar hızlıysa, kayma o kadar büyüktür. E, o zaman; işler karışmadığı gibi, frekansların kayma oranından hareketle, yıldızın hızını da hesaplamak mümkün. Peki sonuçlar?...

Güneş'in Dünya'dan uzaklığı, bunu şuradan hatırlamak mümkün: Güneş ışınları dünyamıza 8 dakikada geldiğine ve ışığın boşluktaki hızı 300.000 km/s olduğuna göre,  $R=8 \times 60 \times 300.000$ , yaklaşık 150 milyon km. Güneş, gökadamızdaki yaklaşık 200 milyar yıldızın görece büyüklüklerinden biri. Gökadanın merkezine olan uzaklığı 27.700 ışık yılı. Bu merkez etrafında, gökadayla birlikte, neredeyse dairesel bir yörünge üzerinde dönüyor ve tabii, gezegenlerini de beraberinde götürüyor. Yörünge hızı 220 km/s, periyodu 226 milyon yıl. Samanyolu, 30 kadar yakın gökadanın oluşturduğu 'Yerel Küme'ye ait. Andromeda Gökadası ile birlikte, bu kümenin hakimi. Yerel Küme, 'Virgo Süperkümesi' de denen 'Yerel Süperküme'ye ait olup, bu süperküme içinde 40 km/s hızla hareket ediyor. Süperküme'nin boşluktaki hızı, 600 km/s kadar. Sahi... Geceleri biz yatağımızda uyurken hangi hızla hareket ediyoruz?...

Dünya'nın yarıçapı  $R_D=6.370$  km, çeperi  $2\pi R_D=40.000$  km. Spin periyodu 24 saat olduğuna göre, ekvatordaki sabit bir nokta, Dünya'nın merkez etrafında,  $40.000/24=1.668$  km/saat hızla hareket ediyor. Diğer enlemlerde bu hız, dönme yarıçapı küçüldüğünden, daha düşük. Örneğin Ankara'nın yaklaşık  $40^\circ$  enleminde,  $1.668 \times \cos(40^\circ) = 1.278$  km/saat. Bu bir şey değil: Bir de Dünya'nın yörünge hızı var. Yörünge yarıçapı  $R_Y=150.000.000$  çeperi  $2\pi R_Y=940.000.000$  km kadar. Periyot 365 gün = 8.760 saat olduğuna göre; yörünge hızı, 107.000 km/saat. İki hız, gündönümlerinde aynı doğrultudalar ve dolayısıyla üstüste binerler. Bu toplam hızın, Güneş Sistemi'nin gökada merkezine göre 220 km/s'lik hızına paralel olduğu anlar var. Keza, Samanyolu'nun Yerel Küme içindeki 40 km/s'lik hızına ve Yerel Küme'yi beraberinde sürükleyen Virgo Süperkümesi'nin boşluktaki 600 km/s'lik hızına paralel olduğu anlar da... Hepsini km/saat'e çevirip toplarsak eğer:  $1.278+107.000+(220 \times 3.600) + (40 \times 3.600) + (600 \times 3.600) = 3.996.278$  km/saat. Yani yaklaşık olarak, 4 milyon km/saat: "Gidiyoruz gündüz gece." Peki biz bu hızı niye hissetmiyoruz?... Madde hızı karşı tepki vermez de ondan, maddenin derdi.