

ÇEVİRENİN NOTU :

86. yıl 1961, 8 numaralı, Alman Harita dergisinde çıkan bu yazı, özellikle suni-
peyklerin geodezideki kullanılmalarının temel prensiplerini, tarihçesini ve bu alanda
uluslar arası çeşitli çalışmaları içinde bulundurmaktadır.

Analitik açıklamalarda, matematiğin derinliklerine girip, aslında geniş olan
konuyu dağıtıp genel bakışı kaybetmeden, özlü bilgi veriş ve açıklamaları bakımın-
dan, dört sene önce yazılmış olmasına rağmen kıymetini ve öğretici özelliğini mu-
hafaza etmektedir.

Peyklerle geodezik alanda yapılan denemeler hakkında genel bilgi edinmede
olacağı gibi, 1961 yılından bu yana olan ilerlemeleri incelemeye de faydalı olacağı
kanaatindeyim.

SUNİPEYKLERİN GEODEZİDEKİ ÖNEMİ

Yazan : Ord. Prof. R. SİGL
Münih Tek. Ün.

Tercüme eden : İlhan ÖZDİLEK

ÖN SÖZ

"Milletlerarası Geodezi ve Geofizik Birliği" nin Helsinki'deki XII.
genel toplantısı, 7-8-1960 da sona erdi. 1300'e yakın kongre üyesi, iki
haftalık zaman içinde, son üç senelik ilmi çalışmaları hakkında bilgi
vermek, sonuçları ortaya koymak, edindikleri bilgileri görüşmek ve iler-
deki milletler arası birleşik çalışmaların emniyeti için tavsiye ve dilekle-
rini "Yedi Milletler-arası Kurul"a açıklama fırsatını buldular.

"Milletlerarası Geodezi Kurulu" (IAG)'nın kendi beş bölümü; (niren-
gi, nivelman, geodezik astronomi, gravimetri, geoit) içinde görüşülecek
çok zengin oturum programı vardı. Geodezi ve bilhassa yüksek geodezinin
ilerdeki gelişmesinde büyük rol oynayacağı için bir hususun özellikle ön
plânda incelenmesi gerekiyordu. Alışılacağı gibi, görevde bulunan
Assassation oturumun gıdaşatı üzerine bilgi vermeleri sırasında, III. Assas-
sion başkanı R¹/. ROELOFS, IAG. nin son genel toplantısında aşağıdaki
hususlu kapsayan bir teklifte bulundu: "Sunî peyklerin geodezideki öne-
mini incelemek üzere, IAG. 'e üye olan milletlere, yörünge üzerindeki
seyrinin şekil ve gereç bakımından özel şartları taşıyacak, dünyaya ya-
kın mesafede hareket edecek olan sunî bir peykin atılması faydalı ola-
caktır."

Açıklamalarının sonunda R. ROELOFS başkanlıktan çekileceğini bildirip, yeni başkan seçimini rica etti. Bugüne kadar olanları kısa olarak açıklayalım. Şimdiye kadar astronomik-azimut, enlem, boylam, zenit uzaklığı ve milletlerarası enlem tayini görevi ve soruları ile uğraşan III. Şb. 'ye yepyeni bir görev yani, sunipeyklerin geodezide kullanılmalarını inceleme görevi de düşüyordu. 1957 de IUGG. 'nin, Toronto'daki XI. genel toplantısında son söz olarak; "geodezik astronomi'den bahs olunmuş ve hatta sunipeyklerin geodezik rasatlarından teori olarak tartışılmıştı. Yalnız o zamanki sunipeyk atmanın da, yenilmesi henüz imkânsız görülen güçlükleri yüzünden, pratik sahadaki uygulanması uzak ihtimâl olarak görülüyordu. 1957 senesinin Şubatında böyle düşünülürken aynı senenin Ekim ayında Sputnik I'in uzaya atılması, dünyayı hayretler içinde bıraktı ve o günden bu yana ABD., SSCB. bizlere çok sayıda suni peyk örnekleri verdiler. Bu yüzden de 1960 da Helsinkide ortaya konulan çok sayıdaki deneme sonuçları şaşırtıcı değildir.

Bugüne kadar edinilen sonuçları şu şekilde toplayabiliriz : Sunipeyker, yer şeklinin, büyüklüğünün ve durumunun bulunmasında geodeziye yeni araç ve yollar kazandırmıştır.

Akla, bu yeni araştırma sahasının geodezinin hangi dalına bağlanacağı sorusu gelebilir. Yüksek geodezi, modern anlayışla; astronomik, fiziki geodezi olmak üzere iki büyük kısma ayrılır. Bunlardan astronomik geodezi, yer çekimi "ağırlık kuvveti" teorisinin derinliğine fazla girmemek üzere, daha ziyade geometrik teori olarak Şâkûl sapmaları bilimini kapsar. Ön plânda geniş ölçüdeki astrononik-geodezik şebekelerin tasarlanıp kurulmaları ve projeksiyon yolu ile dünyanın normâl şekli üzerinde hatasız ağların ne şekilde elde edileceği soruları ile uğraşır. Rasat sonuçlarının "hipotezsiz" indirgeme yüzeyine indirgenmelerinde; fiziki geodezinin merkezi problemi olan : "Ortalama yer elipsoidi" nin belirtilmesi ve bunun fiziki yerden veya geoitten olan ayrılımı" hususunun çözülmüş olduklarını kabul etme problemi ortaya çıkar.

Sunipeyklerin geodezide kullanılmalarını incelemekle fiziki geodezinin konularından biri haline gelir.

Aşağıda, sunipeyklerin geodezide kullanılmaları ile rasatlarına ait soruların dayandıkları temel düşünceleri inceleyeceğiz. Yalnız başlangıçta, karşılaşılabilecek bir güçlüğü açıklanması gereklidir. Yer yüzü, şeklinin matematik ve fiziki incelenmesi "potensiyalteori" ye yani "girdapsız alanlar" teorisine dayanır. Bizim incelemelerimizin gayesine uygun olarak, mümkün olduğu kadar az matematikle izah edilecek konuların bu sebeple tam ve kesin olarak açıklanmaları mümkün değildir.

2 Sunipeyklerin hareketleri :

Gök mekaniğinin konusu olarak, sunipeyk yörüngelerinin tasarlanması başlangıçta çok kolaydır. Peyklerin, dünyaya nazaran küçük bir kitle olarak kabul edildiklerinde; "merkezi hareket" yani bir noktanın yaklaşık olarak, küresel simetrik bir çekim alanındaki hareketi söz konusu olur. Bu merkezi hareketin denklemi, KEPLER denklemleridir. Fakat gerçekte, kısmen yok edilebilecek olan bir çok bozucu etkiler ortaya çıkar, Kepler denklemlerinden elde fazla bir şey kalmaz.

Bu etkiler :

1 — Dünyanın "çekim alanı" : Bu etki sferik olmayıp sferoidiktir. Bundan başka güneşin, ayın ve gezegenlerin devamlı değişen durumları yüzünden, bu alan sabit değildir. Aslında denizlerin yükselme ve alçalmaları sonucu, deniz ve karaların değişen kitle durumlarını da hesaba katmak gerekir.

2 — Havanın karşı koyması yüzünden peyklerin ataletindeki azalma : Bu etki, dünya-sunipeyk uzaklığı arttıkça azalır ve incelenmesi kolaylaşır.

3 — Göktaşı etkileri : Sunipeykin ataleti, uzaydaki toz ve gök taşı parçacıklarından ortaya çıkan "ışınal basınçdan" ötürü de azalır. Bundan başka sunipeyk, dünyanın yer yer değişen manyetik alanında, bu değişikliklerden meydana geldiği bilinip henüz tam olarak keşfedilmeyen fakat göz önünde tutulmayabileceği sanılan "bozucu akımlar" ın yavaşlatıcı etkileri ile hareketine devam eder.

4 — Genel "izafiyet teorisi" nin sonuçlarından ortaya çıkan, göz önünde tutulmayan sapmalar :

Şimdi de peyk hareketinin nasıl olduğunu gözden geçirelim :

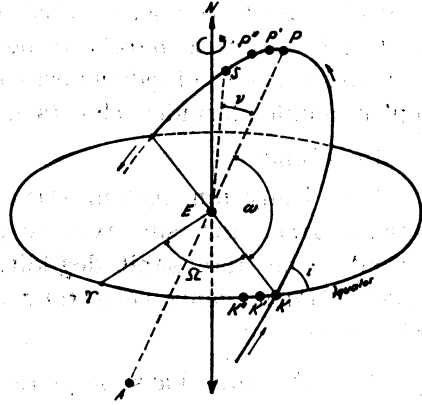
Bir odak noktasına dünyanın merkezinin düştüğü temel "elips yörüngenin" dünya ile olan bağıntısı, altı bağımsız eleman ile açıklanır.

Şekil 1.'e ait açıklamalar :

E	= Dünyanın ağırlık merkezi = Yörünge elipsinin odak noktası
NS	= Dünyanın dönme eksenini
γ	= İlkbahar noktası
K	= Yükselen düğüm noktası
EK	= Düğüm çizgisi
P	= Perigeum = Yörüngenin yere en yakın olan noktası
A	= Apogeum = Yörüngenin yerden en uzak olan noktası
PA	= Apsit çizgisi.

Yörünge'nin veya peykin yerinin belirtilmesi için kullanılan alışlagelmiş terimler (büyüklükler) :

- i = Yörünge eğimi,
- Ω = Yükselen düğüm noktasının rektazsensiyonu
- a = Yörünge elipsinin büyük yarım eksen
- e = Yörünge'nin sayısal (numerik) basıklığı
- ω = Perigeum'un argümenti
- v = Peykin gerçek anomalisi.



Şekil : 1

Yere yakın bir Peykin yörüngesi

Elips geometrisinin ortaya koyduğu daha başka parametreler de pek tabii olarak kullanılır. Özellikle büyük eksen a'nın yerine, uzaklıkları; EP ve EA (perigeum ya da opegeum'un yüksekliği) kullanılır. Eğer dünya, atmosferi olmayan bir küre olsaydı, sunipeykin yörüngesi Kepler elipsi olacak ve birinci Kepler kanununda, güneş yerine dünyayı, dünya yerine peyki yerleştirebilecektik. Fakat dünyanın kutuplarda basık olması yüzünden karakteristik iki yörünge değişimi ortaya çıkar. Elips yörünge'nin kendi şeklini az değiştirmesi yüzünden, yörünge'nin yönünde devam eden değişiklik yani düğüm ve apsidin doğrusundaki dönüş, birinci değişikliği teşkil eder. Doğru istikamette $i < 63,4$ ile uzaya atılmış sunipeykin, dünya etrafındaki ilk dönüşünden sonra, düğüm noktası K, K'ne, ikinci dönüşünden sonra K'' ne gelir ve böylece perigeum da P' ve P'' durumlarını alır. $i > 63,4$ olduğu zaman P zıt doğrultuda hareket eder. Düğüm noktalarının rektazsensiyonlarındaki ya da perigeumun argümentindeki, zamana bağlı $\frac{d\Omega}{dt}$ ve $\frac{d\omega}{dt}$ değişiklikler olan bu dönmeler, yapılacak rasatlar yolu ile elde edilip, dünyanın basıklığının hesabında kullanılabilirler.

Düşüncelerin aksine, sunipeyk havanın karşı koyması yüzünden git-tikçe hızlanır. Havanın yoğunluğunun üstlü fonksiyon olarak azalmasın-

dan dolayı, sunipeyk perigeum civarında yani dünyaya en yakın olduğu yerde frenlenir ve böylece; asıl eksen ve sayısal (numerik) basıklığı azalan, yörünge üzerinde kısalan dolaşma zamanı ile harekete mecbur kalır. Bu durum yörünge gittikçe çember şeklini alışına kadar devam eder. Sonunda yükseklik üslü fonksiyon olarak azalırken havanın karşı koyması da artar ve Kepler yörüngesi, “balestiki eğri” şekline girer. Yörünge çember şekline girmesi ile açık olarak görüleceği gibi aksa-malar başlar; Sunipeyk apogeum civarında da artık soğuyamaz ve akkor haline gelir.

Yukarıda anlatılan, düğüm noktalarının ve apsiden doğrularının dönüşlerinin, peyk hareketinin sonuna yakın zamana kadar aynı şekilde kaldığını düşünürsek, Kepler, elipsinin peyk yörüngesini anlatmağa fazla uygun olmadığını görürüz. Bu sebeple yörünge için gök mekaniğinin alışıl gelmiş “Oskulirende elips” i kullanılır. Bu değimden; sunipeykin bir zaman noktasından başlayan, bozucu etkilerden uzak olarak, üzerinde hareket edeceği Kepler elipsi anlaşılır. Öyleyse değişik her zaman nok-tası için “oskulirende elipsler”, kendilerin içten teğet olan ve üzerinde yörüngeyi bulunduran “doldurma eğrisi = hüll kurve”nin etrafındaki sayısız derecede çok, devam edegelen elipslerdir. Bu “oskulirende elipsler” devamlı değişen yörünge paramentrisi ile analitik olarak ifade edilirler. Seküler (= uzun zaman aralıklarında bir kere ortaya çıkan), peryodik ve tesadüfi değişmeler bir birlerinden ayırt edilirler.

Şans eseri olarak, dünyanın dönüşünün, yörünge üzerinde etkisi ol-mamakla beraber, belli bir noktadan, belli bir zamanda sunipeykin görül-mesinde düşünülmesi gerekir.

Bu kısa açıklama ile, kendisine geodezik rasat yapılacak sunipeyk için, rasatta kullanılacak yükseklik, azimut, kulminasyon gibi rasat ge-recine bağlanacak kıymetlerin alınacağı eferitlerin bu kısa zaman içinde, istenilen doğruluk derecesinde hazırlanmasının ne derece zor olduğu gö-rülür. Özellikle uzaydaki ilk hareket sırasında büyük zorluklarla karşıla-şılır. Çünkü atılmadan önce beklenen yörünge parametrisi tam olarak bilinemez. Bu sebeple de başlangıçta daha fazla amatör rasatlar yapılır, fakat daha sonra devamlı rasatlar zaruridir. Aksi halde önceden alınacak bilgiler öylesine yanlış olabilirki, sonunda sunipeykin kaybedilmesi müm-kündür.

3 Sunipeyklerin geodezide kullanılma esasları.

Sunipeyklerin geodezide kullanılmalarını şu şekilde özetleyebiliriz :

1 — Dünyanın, nirengi ağırları ile az kapanmış veya hiç kapanmamış bölgelerinde geodezik durumun belirtilmesi, başka deyimle, gidilmesi mümkün olmayan yerlerle kıtalararası, ayrı ayrı kurulmuş olan geodezik ağların bağlanması.

2 — Sunipeykin yörüngesinden faydalanarak “yer basıklığı”nın daha doğru hesaplanması.

3 — Değişik yörüngeli, çok sayıdaki sunipeyklerden faydalanarak uzun süreli rasatlarla çeşitli bölgelerin “gravite anomali”lerinin hesabı.

3. 1. Geodezik durum tesbiti :

Geodezik durum tesbiti için iki genel metot vardır.

3. 1. 1. Sunipeyk, çeşitli rasat istasyonlarından aynı anda ve devamlı olarak rasat edilir. Bu arada peyk, uzak mesafeli nirengide olduğu gibi, ışık sinyalleri veren araç olarak kullanılır.



Şekil : 2

Bir Peykin çeşitli istasyonlardan aynı anda rasatı

Bu metod, “Vaisala—Stellartriangulation” ışık kaynağı taşıyan bir balonun ve gökküresi üstündeki yıldızların, koordinatları bilinen 3—4 noktadan ve koordinatları hesaplanacak yeni noktalardan, belli bir anda çekilen fotoğrafları ile yapılan nirengi’ de olduğu gibi, peykin arka plânında görünen yıldızların fotoğrafı ile kozmik nirengi yapımını sağlar. Tertibinde ve yapımında fazla titizlik istiyen hazırlıklara, lüzum gösterdiğinden tatbiki güçtür.

3. 1. 2. Yörünge özellikleri bilinen, başka deyimle, geodezik gayelere yetecek doğruluk derecesinin önceden söylenebileceği suni peyke devamlı ve belirli zamanlarda yapılan rasatlar : Suni peykin herhangi bir anda bilinen durumu, gerçek bir nirengi yapımında yardımcı unsur olur. Bu “Yörünge metodu” denilen kullanma şekli; şimdiye kadar atılan peykerin gösterdiği gibi, kısmen yok edilebilen çok sayıdaki (bozucu) dış etkiler sebebi ile, kısa zamanda istenilen doğruluk derecesindeki efemeritlerin hazırlanmasının zorlukları yüzünden, güç uygulanacak durumdadır. Gerçekten de, suni peyker yardımıyla geodezik durum tayini için hazırlanan denemeler istenilenlere yetmemiştir.

3. 2. Dünyanın basıklığının tayini :

Bilindiği gibi, yeryüzü üstündeki ağırlık kuvveti potansiyeli, katsayıları dünyanın kitle ve şekline bağlı olan bir küresel fonksiyon yardımı ile inkişaf ettirilir. Bu katsayıları, sunipeykin yörüngesinden sayı olarak tesbit etmek üzere çeşitli metodlar geliştirilmiş ve bu metodlar eskiden atılmış sunipeykerlerden bazılarına ve mevcut olan sunipeykte tatbik edilmiştir. Bu hususu ilerde yeniden inceleyeceğiz. Yukarda açıkladığımız metotla hesaplanan basıklık kıymetlerinden bazılarını gösterdik. 1/297,9 ile 1/298,3 arasında değişen bu kıymetler KRASSOWSKY elipsoidinin basıklığına çok yaklaşmaktadır. HAYFORT international elipsoidinin basıklığı 1/297 dir.

3. 3. Bölgesel ağırlık anomalilerinin hesabı :

Peykin yüksekliği, havanın karşı koymasını hesaba katmayacak seviyeye erişince güneş ve ayın çekim etkileri de elimine edildiğinde, sunipeykin hareketini bozan esas etki kaynağı olarak yalnız dünyanın düzgün olmayan çekim alanı kalır. Sunipeykin hızı ve yüksekliği o derece büyüktür ki; ayrı ayrı olan ağırlık anomalilerinin etkilerini ortalama olarak alıp, büyük bölgeler için peykin yörünge bozulmalarından ortalama ağırlık anomalilerini bulma temayülü mevcuttur. Bu şekilde yetinilecek ağırlık anomalileri tesbiti için çeşitli karekterdeki yörüngeler üzerinde hareket edecek sunipeyker lâzımdır. Bugüne kadar bu hususda elde edilmiş pratik deneye dayanan sonuçlar henüz elde edilmemiştir.

4. Geodezik çalışmaların gayesine uygun rasat metodları ve peyk tipleri :

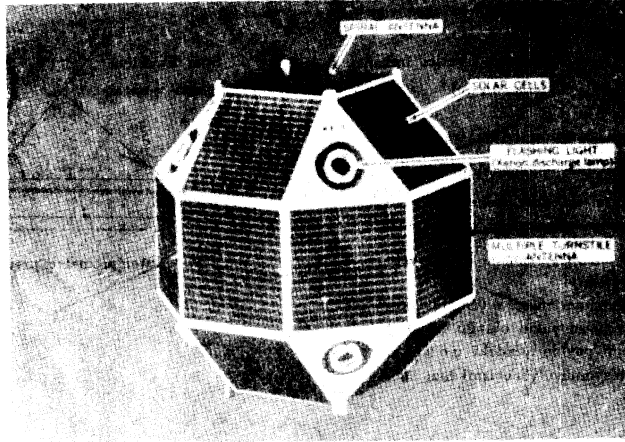
U.S. Coast and Geodetic Survey'in bir programı :

Açıklandığı gibi, sunipeykerin geodezik mevki tesbitinde kullanılmalarına genel olarak şüphe ile bakılmaktadır. Bu tema, bu yüzden peyk rasatına ait birkaç sorunun cevaplandırılması ile kısa kesilecektir.

Çünkü, Geodezik peyk deneyleri, diğer bilim dallarına ait olan deneylerden kısmen ayrılmaktadır. Geofizik, meteoroloji, aeronomi ve diğer ilim dalları, peykler daha ziyade gidilmesi mümkün olmayan yerlere âlet taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Bir Sunipeyk yörüngesinin yaklaşık olarak bilinmesi, içindeki ölçü gereçlerinin yerlerinin bilinmesi bakımından yetecek durumdadır. Fakat geodezik peyk denemelerinin başarısı, yörünge üzerindeki hareketlerin tamamen tanınmasına bağlıdır. Bu da geodezik gayeler için uzaya atılacak peyklerin daha özel yapıda olmalarını, daha iyi ve doğru rasat tekniğini lüzumlu kılmaktadır.

4. 1. Geodezik gayelere uygun peyk tipleri :
Geodezi ve denizcilik gayelerine uygun sunipeykin sahip olması gereken özellikler şunlardır :
 - 1 — Küresel Şekil : Aerodinamik bakımından bu şekil pek uygun olmakla beraber, hareket yönünde her zaman aynı sürtünme yüzeyi gösterir.
 - 2 — 1600 Km. civarında perigeum yüksekliği (yani dünyaya olan en yakın uzaklığın) bu hududun altına inmemesi ve havanın karşı koymasını azaltmak için, yüz ölçümüne nazaran yüksek yoğunluğa sahip olması.
 - 3 — Maksimal yörünge eğimi ile minimal basıklık : Maksimal yörünge eğimi yüksek enlemli noktalardan rasat imkânı, minimal basıklık da daireye yakın yörünge ve dolayısı ile sunipeyk hareketine ait olan efemeritin konstruksiyonunu sağlar.
 - 4 — İçine yerleştirilecek olan ölçü gereçlerinin kitlerinin sferik simetrisi.
 - 5 — Yetecek derecede parlak ışık sinyalleri verecek düzenin mevcut olması.
 - 6 — Radyo ile yer tayinini sağlayacak sinyalleri (radyo sin.) verecek düzenin olması^{1/}. Mümkün olduğu zaman Shoran ve Hiran prensipleri ile uzaklık ölçümü yapılır.
 - 7 — Zaman sinyalleri gönderecek olan bir kuarz saatinin bulunması. Bu sayede yerdeki hareketli rasat istasyonlarının, tam doğru saat bulundurmamalarına lüzum kalmaz, bu da ayrı istasyonlardan aynı anda yapılan rasatlarda büyük kolaylık sağlar.

Bu tipde bir peyk halen ABD. 'nde WERNHER von BRAUNS'un idare ettiği NASA (National Aeronautical and Space Administration) da hazırlanmaktadır. Şekil 3. de bu peykin bir modelinin resmi görülüyor.



Şekil : 3
Geodezik Peyk modeli

4. 2. Peyk rasatı :

Sunipeyklere geodezik maksatlarla yapmak için ve optik metodların her ikisi de lüzumludur. Peyklerle yapılan diğer çalışmalarla, geodezik çalışmaların arasındaki temel fark; burada da kendini gösterir. Elektronik yollarla önceden bilinmiyen yörünge hakkında yaklaşık bilgi edinilirken, geodezik gayeler için doğru rasatlar yalnız optik yolla sağlanır.

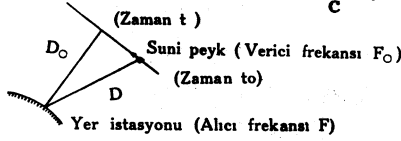
4. 2. 1. Peyk rasatı için elektronik metodlar :

Çift etki (Doppler effekt) metodu : İle yaklaşık yörünge tesbiti mümkündür. Yalnız "interferometer" ve radar yardımı ile yörünge tayininde radyo dalgalarının ionosferdeki yansımaları büyük hatalara sebep olabilir.

Bu güne kadar ekseri ölçümler, çift etki (doppeler effekt) yardımı ile yapılmıştır. Peyk, devamlı olarak, module edilmemiş, sabit frekanslı "Fo" bir dalga gönderir ve yer istasyonlarında alınan devamlı sinyaller, yer istasyonu ile peykin izafi hareketlerinden ötürü, değişik frekansa "F" sahiptirler. Alma frekansı, vericinin gönderme frekansının, dalgala-

rın yayılma hızı c 'nin ve rasat istasyonu ile peykin arasındaki uzaklık D nin değişme hızı dD/dt nin bir fonksiyonudur. (Bu hız değişimi : Radial= merkezden geçen doğru üstündeki hız değişimidir) :

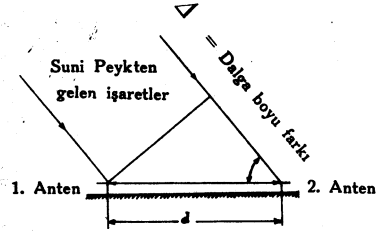
$$F = F_0 \left(1 + \frac{dD}{dt} \cdot \frac{1}{c} \right) \quad (1.)$$



Resim 4 : Doppler — ölçmesinin prensibi

- F_0 F = Verici ve alıcı frekansları
 c = Radyo dalgalarının yayılma hızı
 $\frac{dD}{dt}$ = D nin her zaman birimindeki değişmesi
 D_0 = Minimum mesafe (Suni peykin Arz'a en yakın olduğu mesafe)
 v = Suni peykin yerdeki gözlem istasyonuna göre izafi hızı

Şekil : 4



5 — Interferometre prensibi.

Şekil : 5

Çift etki

Peykin dünyaya yaklaşması ile uzaklaşması sırasında kaydedilen F yardımı ile dD/dt bulunabilir. Peykin yere en yakın olduğu anda radial hız kaybolup izafi hız rasat doğrultusuna dik olacağından, yere olan uzaklık ve izafi hız " v " bulunabilir. Peykin dönüş zamanı da; aynı istasyondan, ard arda iki geçiş sırasında yapılacak rasatlarla elde edilir. Yalnız dünyanın dönüşü yüzünden, rasatın peyke nazaran ortaya çıkacak durum değişikliğinin düzeltilmesi (hesapla) gerekir.

Çift etki ölçümleri ile yapılan yörünge tayininin doğruluk derecesi; yalnız rasat istasyonlarının dünya üzerindeki dağılışı ile, peyke olan uzaklıklarına bağlıdır. Bu yoldan bulunacak kıymetler, en uygun durumlarda, açı birimi olarak "dakikalık" sıhhat derecesi verebilir.

Bu hız ve uzaklık ölçen çift etki sistemine karşılık, "Interferometer" sistemi, peyke olan istikametler hakkında bilgi verir. Bu metotla çalışmada; birbirinden 50-100 m. uzaklıktaki antenlerle alınan radyo sinyallerinin interferenz modelinden faydalanılır. Peykin yere olan uzaklığına nazaran, antenlerin arasındaki uzaklık çok küçük olduğundan, peykten gelen dalgalar paralel olarak kabul edilebilir. Yol farkı " Δ " nın, dalga

uzunluğu “ λ ” nin yarısı olacağı “ ϕ ” açısı ile peykten gelen dalgalar, interferenz durumuna getirilmiş olacaklarından antenlerde birbirlerini yok edeceklerdir. Bu istikamet açısı “ ϕ ”, (2.) eşitlikle bulunabilir.

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} d \cdot \cos \phi \quad (2.)$$

Açık olarak görüleceği gibi; yol farkı “ Δ ” nın, “ $\lambda/2$ ” katları olduğu her durumda interferenz olayına rastlanacağı için, bu şekilde istikamet tayininde tek çözüm olmayıp, bu zorluğu yenmek için, d’ uzaklığında ikinci bir anten sistemi gerekmektedir.

Konunun derinliğine girmeden şu hususun belirtilmesi faydalıdır : Bu gaye için özel olarak yapılmış gereçlerle, teker teker interferenzler değil, istikamet açısı ϕ nın devamlı kıymetleri elde edilir.

Birinci anten sistemi ile elde edilen istikamet açısına ek olarak ikinci bir istikamet açısı da, ilk anten sistemine dik olarak kurulacak başka bir anten sistemi ile elde edilebilir.

Bir peykin yörüngesini tayin ederken, ya böyle birden fazla interferometer istasyonları, ya da bunlara ek olarak çift etki ölçülerinin kombinasyonları kullanılır. Şimdiye kadar yapılan bir çok denemeler, meselâ; Amerikan “Minitrack” ya da “Microlock” rasat sistemleri ile yapılan denemeler, havanın karşı koyması ve ionosfer yansıtımalarının düzeltilmesi yapılmış yörüngelerde birkaç dakikalık farkların ortaya çıktığını göstermiştir ki, bu da geodezik gayelere yetecek sıhhat derecesi değildir. Buna rağmen bu rasat metodu çok iyimser olarak kıymetlendirilmekte ve yapılacak çok sayıdaki rasatlarla iyi bir ortalama kıymet elde edileceği iddia edilmektedir. Yalnız geodetlerin yakinen bildiği gibi; fazla sayıdaki rasatlarla iyi bir ortalama kıymet elde edileceği iddia edilmektedir. Yalnız geodetlerin yakinen bildiği gibi; fazla sayıdaki rasatlarla sıhhat derecesinin yükseltilmesi çok dar bir sınır içinde mümkün olup, ancak bu sınırın içinde manâ ifade etmektedir.

Bu konu ile ilgili son söz olarak şu hususu da belirtmek gerekir : Bu aktiv elektronik yer tayini metodu, iç ve dış sebeplerle ortaya çıka-

cak olağan üstü bozukluklara karşı hassastır. Meselâ; peykteki verici her hangi bir sebeple sustuğu anda bütün rasatlar son bulur.

Popüler yazı ve kitaplarda konu olan "Radar metodu"nu da kısaca gözden geçirelim. Peykin "Radyo-teleskop" yansıtıcısı olarak kullanılabileceği tabiidir. Bu metodun iyi tarafı; rasatların, peykin içindeki gereklere bağlı olmamasıdır. Zorluğu ise; peykin yörüngesi iyice bilinmeden, radyo teleskobun yöneltmesi ile, yüzeyi küçük olan peykten yansımının teminindedir. Bu zorluklara ek olarak; gök cisimlerinin yansımaları ve kuzey ışınlarının bozucu etkileri ile, radyo teleskobun taşınmasındaki zorluklar gelmektedir.

Halen, anten yükseklikleri 15-20 m. olan birçok radyo istasyonları bulunmaktadır. En büyük radar cihazı, (İngiltere) Jodrell-Bank'ta bulunmakta olup anten sisteminin çapı 25 m. dir. Ondan da büyük bir radyo teleskop, (Amerika) Sugar - Grove da, U. S. Naval Research Office için yapılmakta olup, çapı 200 m. den fazla olacaktır.

Yüksek verimli radyo teleskopların, astro-fizik keşiflerindeki büyük hizmetlerine karşı (geodezi için önemi olan "ay'ın uzaklığı" da, kısa zaman önce radar yardımı ile bulunmuştu), suni peyklerin zamana bağlı rasatlarında geri plânda kalmaktadır.

Buraya kadar gördüğümüz metotların dışında, yere yakın peykler için, televizyonla birlikte kullanılan (infroriy) tekniği, shoran ve hiran ...v.s. gibi diğer bir çok metotlarında geliştirilmiş olduğunu, bu paragrafı kapatmadan önce söylemek gerekir.

4. 2. 2. Peyk rasatları için optik metotlar :

Milletler arası Geofizik Yılı sırasında, A.B.D. 'nde, Baker-Nunn kameralarından kurulmuş bir ağ üzerinde optik rasat sistemi kullanılmıştı. Hassas bir kuvarz saatinin de bağlandığı, 80 cm. lik küresel aynalı bu kamera, özel bir "Schmidt-Sistemi" dir.

Bu, kurulduğu yerde kalan istasyon teçhizatı ile, 6. büyüklük derecesinde ve saniyede 1° lik açısal hızla hareket eden peyklerin resimleri çekilir. (6. büyüklük derecesi; 2500 km. de 50 cm. lik, ya da ay-dünya uzaklığında 6 m. lik kürenin görünüş büyüklüğüdür.) Bu teçhizatla erişilecek sıhhat derecesi; peykin hareket yönünde $\pm 5''$, bu doğrultuya dik yönde $\pm 2.3''$ dir.



Şekil : 6

Baker-Nunn Kamara

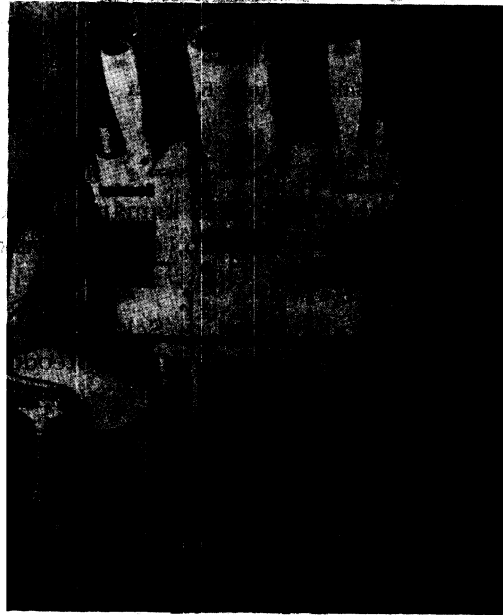
Portatif Hareketli düzenler :

Geodezik gayeler için hareket eden kameraların önemi büyüktür. Şekilleri normal foto-teodolitler gibi olup, çeşitli fabrikasyon ve yapılaşta olanları vardır.

Şimdiye kadar en çok kullanılan tip; Şekil 7. deki, elektrik motoru ile hareket eden, Tip Kth 58/E Askania - Kinoteodolit'dir. Bu gereçle ölçülen tek açının ortalama hatası $\pm 20''$ ($\pm 0,02$ saniyelik zaman hatası ile) dir. Bu kıymetlerden görüleceği gibi, kino-teodolitler geodezik gayeler için yetecek derecede sıhhatli sayılamazlar. Hareket eden başka bir kamera tipi de, normal olarak raketlerin rasatlarında kullanılan "Balestiki kamara" dır. Bu tip gereçlerin de çeşitli firmalar tarafından yapılmış cinsleri vardır. Meselâ : Firma Wild, Zeiss - Aerotopograph . . v. s. Şekil 8. de firma Zeiss - Aer. in balestiki ölçü kamerası "BMK2" görülmektedir. Geodezik çalışmalara en uygun görülen gereç; Wild'in BC-4 (Şekil 9) kamerasıdır. Bu gereç, normal Wild T4 universal teodolitinin yatay ve düşey açı ölçme taksimatlarını bulunduran ali-

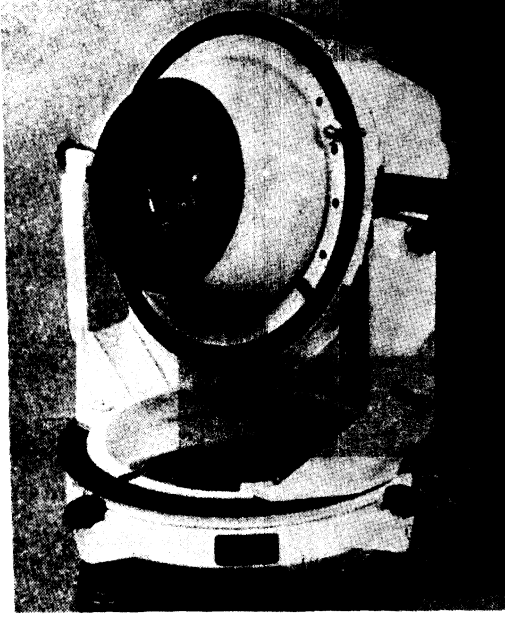
datına yerleştirilmiş özel bir kamaradan meydana gelmiştir. Işıklı peykerlerin rasatı sırasında, Astrotar mercek sistemi ($f=304$ mm., açıklık=117. mm.) gereçe eklenmek sureti ile rasat yapılır. Balestiki kamaralar, aşağıda anlatılan çözüm yoluna uygun olacak şekilde, çift ya da guruplar halinde kullanılır. Her kamara belirli zamanlarda, ışıklı peyk ile arka plandaki yıldızların resimlerini çeker ve belli yıldız durumlarından faydalanılarak peykin durumu bulunur. Foto camlarının hassas ölçüleri için özel komparatorlar kullanılır. Bu komparatorlar, rasatları takip eden hesaplarda kullanılacak kıymetleri, elektronik hesap makinalarına verilecek şekilde delikli kartlar olarak kullanmağa hazır, çıkarır. Her kamaradan bulunacak azimut ve yükseklik açıları ile peykin uzaydaki durumu devamlı olarak tesbit edilebilir.

"Instrument Corporation of Florida", BC-4 Wild kamara + zaman ölçme ve diğer gereçleri + foto camlarının banyo ve ölçme gereçlerini bir araya getirecek, Şekil 10 da görülen düzeni hazırlamıştır. Bu komple düzenle yapılan rasatlarda 0,1 - 0,2" lik doğruluk derecesine erişilir ki; bu da geodetik çalışmalar için istenene yetecek durumdadır.



Şekil : 7

"Askania" Kinotheodolit Kth 58 E



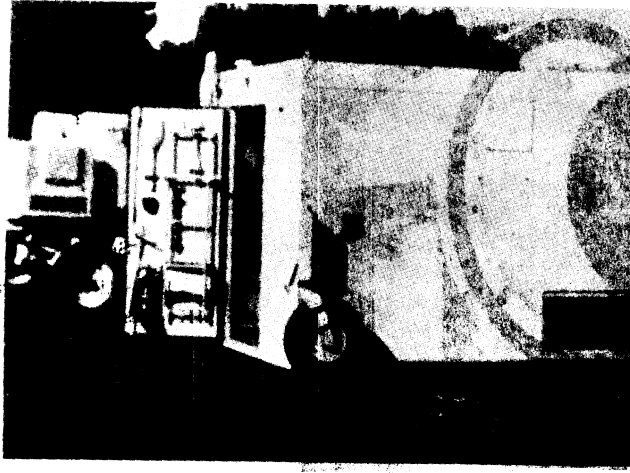
Şekil : 8

Balestik kamara
BMK Zeiss-Acrotopograph



Şekil : 9

Balestik kamara
BC-4 "Wild"



Şekil : 10
Hareketli Peyk rasat düzeni
"Florida Instrument Co"

Optik rasatlar, görüş imkânları bakımından hava şartlarına bağlı olmakla beraber, bu kusur, uzun ömürlü satelitlerin rasatlarında büyük güçlükler ortaya çıkarmaz.

4. 3. 1961 yılı için US-Coast and Geodetic Survey'in Sunipeyk programı :

US—Coast and Geodetic Survey ile NASA, 1961 yılında yapılacak peyk denemeleri için bir plân (Operasyon plânı) hazırlamışlardır. Bu plânda yapılması kararlaştırılan denemeler için, yukarıda anlatılan rasat teçhizatlarına sahip, dünya üzerine dağılmış 100 kadar istasyonun, mümkün olduğu kadar aynı şekilde kurulması gerekmektedir. Şayet, önceden tasarlandığı gibi, uzaya atılacak peykin peryodu 400 gün civarında olursa, mümkün olduğu kadar rasat gereçleri ikişer istasyona yerleştirileceklerdir.

Program, milletlerarası birlikte çalışma esasları altında yürütülecek olup, tamamen ilmi gayeler için hazırlanmaktadır. Bu sebeple elde edilecek sonuçlar topluma açıklanacaktır.

5. Dünyanın basıklığının hesabı :

5.1. Tarifler :

Bu bölüme başlarken bazı kavramları açıklamak lüzumludur. Bu gün ekseri üç ayrı basıklıktan söz edilmektedir. "Dinamik basıklık"

$$H = \frac{C-A}{C} \quad \frac{C-A}{C} \text{ formülü ile ifade edilir. A ekvatorial, C kutupsal atalet}$$

momentidir. "Statik basıklık" $\frac{C-A}{Ma^2}$, A, C atalet mom. lerini, M dün-

yanın kitlesini, (a) da büyük yarım ekseni ifade etmektedir. Statik ba-

sıklık, ayın ve peykerin dünya etrafındaki hareketlerinde büyük rol oy-

namaktadır. "Geometrik basıklık" $\alpha = \frac{a-c}{a}$ a büyük-, c kutupsal ya-

Bu ayrı üç basıklığın arasında sıkı bir fiziksel bağlantı bulunmaktadır. Peyk rasatları ile ilk olarak statik basıklık elde edildiğinde, geodetlerin hedefi bundan faydalanıp, sonuç olarak geometrik basıklığı hesap etmektir.

5.2. Dünya basıklığının hesap metotlarına kısa bakış :

Dünya basıklığı hesabının tarihçesine bakmak, geodezi bilimindeki gelişmelerin aynası olduğu için pek enteresandır. 1669 yılında ilk olarak Fransız matematikçi JEAN PICARD nirengi yardımı ile "Derece yayı" nı (x) ölçmeyi denedi. İtalyan asıllı, yine Fransız matematikçilerden CASSINI'ler, Picard'ın metodunu düzelterip daha uzun derece yayı kullandılar. O zaman kullanılmakta olan açı ve uzaklık ölçme gereçlerinin ilkel oluşları ile kolayca izah edilecek sonuç olarak; kutupları sivri bir dünya şekli bulundu. Bu sonuç, bilindiği gibi, NEWTON ve HUYGENS'in isbat ettikleri dünyanın da dönen bir cisim olarak kutuplarda basık olacağını söyleyen teoriye aykırıydı. Bu yüzden çıkan anlaşmazlıklara son vermek için, biri Lappland, diğeri Peru'ya gitmek üzere, Academie Royal de Paris iki derece yayı ölçme ekibi tertip etti. Ekipler 1737 ve 1743 yıllarında geriye döndüklerinde, NEWTON teorisinin doğruluğunu gösteren sonuçları getirdiler. VOLTAIRE, CASSINI'lerin yenilgelerini şu cümle ile anlatmıştı : Lappland ekibinin başkanı MAUPERTIUS, sade dünyanın kutuplarını değil, Cassinilerin başlarını da yere bastırdı. Zamanla bu geometrik basıklık, DELAMBRE, BESSEL, AIRY, CLARKE, HELMERT, HAYFORD, KRASSOWSKY gibi tanınmış şahsiyetlerin düzeltmeleri ile, yer elipsoidinin klasik olarak belirtilmesinde en yüksek noktasına ulaştı.

Yer elipsoidi, geodezik çalışmalarda hesap, projeksiyon ve çizim yü-

zeyi olduğu halde, gerçek yer yüzü ile arasında fiziki bir bağıntı olmadığı için, dünyanın şekli ile ilgili bütün problemlerin çözümüne elverişli değildir. Yer yüzü şekli, birtaraftan erozyon, diğer taraftan yıldızların etkilerinden denizlerin alçalıp yükselmeleri ile devamlı değişmektedir. Bu sebepler dünyanın gerçek şeklini bulma, bir belli an için düşünülecek problemdir. Yalnız yer çekimi kuvvetindeki değişiklikler çok küçük olup, ancak pek hassas gereçlerle fark edilecek derecededir. Bu özelliği yüzünden, geodezide çekim kuvveti zamana bağlı olmayan bir büyüklük olarak alınır.

Bu sınırlamalar içinde yer çekimi ve dünyanın dönmesinden meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin bileşkesi olan kuvvetin, dünya üzerindeki her nokta için belli bir doğrultusu (çekül doğrultusu) vardır. Aynı şekilde her nokta için bu bileşke kuvveti ile ağırlık kuvvetlerinin değerleri sabittir. Açıklanan bu özelliklerin yardımı ile gerçek yer şeklinin geometrik tarifini hemen yapmak mümkün olur. Dünya üzerinde bütün noktaların çekül doğrultularının belli olduğunu kabul edelim. Her hangi bir noktadan başlamak üzere öyle bir yüzey geçirelim ki, bu yüzey bütün çekül doğrultularına dik olsun. (Bu şekilde elde edilen yüzeye "Nivo yüzeyi" denir.) Bir sıvı yüzeyinin, kendini etkileyen kuvvetlerin bileşke doğrultusuna dik durumda olduğunu hatırlarsak; bozucu etkilerden uzak deniz yüzeyinin de bir nivo yüzeyi olduğunu görürüz. Kıtaların altında da devam ettiğini düşünebileceğimiz bu özel nivo yüzeyi, gerçek yer şekli, yani geoidtir.

Geometrik olarak tarif ettiğimiz nivo yüzeylerinin fiziki anlamları da vardır : Bunlar, "Yer ağırlık kuvvet alanları"nın nivo yüzeyleri ile identiktir ve kuvvetler fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Yani, ağırlık kuvveti, bu kuvvetler fonksiyonunun çekül doğrultusu (nun çizgi elemanı) na göre türevi olarak ifade edilebilir.

(x) Meridyen üzerinde, belli bir merkezi açıya karşılık olan yayın büyüklüğü.

Orta noktası, dünyanın orta noktasında olan ve uygun seçilmiş bir elipsoitle geoit arasındaki fark, şans eseri olarak fazla değildir. En son yapılan araştırmalarda bulunan sonuçlara göre, çap uçlarındaki maksimum fark 100 m. yi geçmemektedir.

Geodin şekil olarak düşünülmesi ne kadar kolaysa, analitik olarak, kuvvetler fonksiyonu yardımı ile ifadesi okadar zordur. Ağırlık kuvveti potansiyeli için, alıngılgelmiş olarak :

$$W = U + \Omega = U(\tau, \Phi, \lambda) + (x^2 + y^2) \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad \text{yazılır.} \quad (4.)$$

U = Yerçekimi potansiyali

Ω = Merkezkaç kuvveti "

τ, Φ, λ = Kutupsal koordinatlar

x, y = Dönme eksenine indirgenmiş dik koordinatlar

ω = Dünyanın açısal dönüş hızı

Peyk denemelerinde de kullanılmaya başlandığı gibi, analitik araştırmalar için, yerçekimi potansiyali U 'ya küresel fonksiyon serisi geliştirilir. Genel şekli ile :

$$U = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \tau - n - \wedge S_n(\Phi, \lambda) \quad (5.)$$

$\Phi = 90^\circ - \varphi$ (φ = Enlem), λ = boylam, A_n = Sabit terim, S_n = Küreyüzeyi fonksiyonu dönen bir cisim için yazılan fonksiyonun γ 'ya bağlı olmadığını ve gerçek yer şeklinin, merkezkaç kuvveti ile çekim kuvvetlerinin dengesinde bulunduğunu kabul edersek, dünyanın şekli ve potansiyali ekvatora göre simetriktr.

Bu sebeple 5. formül şu şekilde yazılabilir.

$$U = \frac{k.M}{r} \sum_{n=0}^{\infty} J_n \left(\frac{R}{r} \right)^n P_n(\cos \Phi) \quad (6.)$$

M = Dünyanın kitlesi, R = Ekvator yarıçapı, k = Çekim Grav.) sabitesi.

J_n = Sabit terim, P_n = Legendre Polinomu

$\cos \Phi$ argument olarak bulunduğu zaman, Legendre polinomu şu şekli alır:

$$P_n(\cos \Phi) = \frac{\wedge}{2^n n!} \frac{d^n}{d \cos^n \Phi} \cdot (\cos^2 \Phi - \wedge)^n \quad (7.)$$

6. Dereceden terimler alındığında, geçit bütün engebeleri ile gösterilebilir.

Yüksek dereceli terimlerin J_n emsalleri çok küçük olup, aslında da hesaplanamayacakları için, (küçük peykler mevcut olduğu müddetce, ikinci dereceden küre fonksiyonlarının koefisiyentleri yetecek doğrulukta hesaplanır) geodezi araştırmalarında 6. ncı derecedeki, terimler kesilerek, elde edilen n ' inci dereceden nivo sferoidi, geoid yerine alınacak cisim olarak kullanılır.

Nivo sferoidinin geometrisine, nivo sferoid ile geoid ve ortalama yer elipsoidinin aralarındaki bağıntılara girmeden, küre fonksiyonlarının geliştirilmelerinde en önemli koefisiyent olan J nin, yere yakın peyklerin yörünge bozulmalarından bulunacağını söylemek gerekir. Bütün çift dereceli terimler (bölgesel), anlatılan seküler bozulmalara, yani düğüm noktalarının salınımı (prosesyon) ile apsoden doğrusunun dönüşünü verir. Tek dereceli terimler de, yörünge unsurlarının periyodik değişmelerini ortaya çıkarırlar. KING-HELE, yörünge bozulmaları ile aranan koefisiyentlerin aralarındaki tam bağıntıyı fonksiyon olarak, yakın zaman önce vermişlerdir.

Kendi buluşları olarak ortaya koydukları entegral ve diğer hesap yollarıyla hem ağırlık kuvveti potansiyalinin küresel geliştirilmiş fonksiyonu, hem de n 'inci dereceden nivo sferoidinin geometrik basıklığı bulunur.

$$\alpha = -\frac{3}{2} J_2 + \frac{\omega^2 R^3}{2 k M} + \alpha^2 - \alpha \frac{\omega^2 R^3}{k M} - \frac{5}{8} \cdot J_4 \quad (12.)$$

Burada, peyk rasatlarından kıymetleri bulunan, J_2 den J_6 ya kadar olan koefisiyentlerin bildirilmeleri bir tarafa bırakılarak, (12.) eşitlik yardımı ile hesaplanan, 4. dereceden nivo sferoidinin basıklık kıymetleri verilmiştir.

α nin aşağı cetveldeki kıymetleri önemli olup, güvenilecek durumdadır.

Peyk yörünge bozulmalarından, 4. dereceden nivo sferoidi için hesaplanan basıklık kıymetleri :

Yazar	Satellit	Özel işareti	$1/\alpha$ 12. eşitliğe göre
Jacchia [2]	Sputnik 2	1957 β_1	298,17
	Vanguard 1	1958 β_2	$\pm 0,11$
King-Hele und Merson (Cook [1])	Sputnik 1	1957 β_1	298,15
	Vanguard 1	1958 β_2	$\pm 0,03$
	Explorer 4	1958 ϵ	
Kozai [5], [6]	Vanguard 1	1958 β_2	298,31
O'Keefe, Eckels, Squires [4]	Vanguard 1	1958 β_2	298,23
			$\pm 0,02$
King-Hele [3]	Sputnik 2	1957 β_1	298,24
	Vanguard 1	1958 β_2	$\pm 0,02$
	Explorer 7	1959 ι_3	

Hayford elipsoidinin basıklık kıymeti 1 : 297,3 olmasına karşılık,

burada α için ortalama kıymetin 1 : 298,2 olduğu kolayca görülür. Aradaki farkın sebebini, peyk rasatlarının emin olmayışı şeklinde yorumlanamaz. Çünkü 1942 yılında F. N. KRASSOWSKY de basıklık kıymeti olarak 1 : 298,4 bulmuştu. CLAIRAUT'un teoremi yardımı ile yapılan ağırlık ölçmeleri, derece yayı ölçmelerinden bulunan kıymetler, astronomik-geodezik ya da gravimetrik metotların aksine, bütün dünya için gerçek ortalama kıymetleri verip, bölgesel anomalilerle hatalandırılmış olamaz.

Buraya kadar olan açıklamalardan şu toplu sonuca varılabilir : Geodezik peyk denemelerinin kesin olarak değerlendirilip sonuçlandırılmaları bu gün için mümkün değildir. Buna rağmen, geodezinin en önde gelen hedefi olarak, yer yüzü şeklinin toplam problemlerini çözmede ve bütün dünyadaki ölçme sonuçlarının birimsel bir geodezik sistemde temsilinde, geodezik peyk denemelerinin, ağırlık kuvveti potansiyalinin sayı olarak hesaplanmasına ve hidrostatik bakımdan dengesi sağlanmış yeryüzü şeklinin teminine imkân vereceğine emin gözlerle bakmak yerindedir.



$$W = U + \Omega = U(\tau, \Phi, \lambda) + (x^2 + y^2) \cdot \frac{\omega^2}{2} \text{ yazılır.} \quad (4.)$$

U = Yerçekimi potansiyali

Ω = Merkezkaç kuvveti "

τ, Φ, λ = Kutupsal koordinatlar

x, y = Dönme eksenine indirgenmiş dik koordinatlar

ω = Dünyanın açısal dönüş hızı

Peyk denemelerinde de kullanılmaya başlandığı gibi, analitik araştırmalar için, yerçekimi potansiyali U 'ya küresel fonksiyon serisi geliştirilir. Genel şekli ile :

$$U = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \tau - n - \Delta S_n(\Phi, \lambda) \quad (5.)$$

$\Phi = 90^\circ - \varphi$ (φ = Enlem), λ = boylam, A_n = Sabit terim, S_n = Küreyüzeyi fonksiyonu dönen bir cisim için yazılan fonksiyonun γ 'ya bağlı olmadığını ve gerçek yer şeklinin, merkezkaç kuvveti ile çekim kuvvetlerinin dengesinde bulunduğunu kabul edersek, dünyanın şekli ve potansiyali ekvatora göre simetriktir.

Bu sebeple 5. formül şu şekilde yazılabilir.

$$U = \frac{k \cdot M}{r} \sum_{n=0}^{\infty} J_n \left(\frac{R}{r} \right)^n P_n(\cos \Phi) \quad (6.)$$

M = Dünyanın kitlesi, R = Ekvator yarıçapı, k = Çekim Grav.) sabitesi.

J_n = Sabit terim, P_n = Legendre Polinomu

$\cos \Phi$ argument olarak bulunduğu zaman, Legendre polinomu şu şekli alır:

$$P_n(\cos \Phi) = \frac{\Delta}{2^n n!} \frac{d^n}{d \cos^n \Phi} (\cos^2 \Phi - \Delta)^n \quad (7.)$$

6. Dereceden terimler alındığında, geçit bütün engebesi ile gösterilebilir.

Yüksek dereceli terimlerin J_n emsalleri çok küçük olup, aslında da hesaplanamayacakları için, (küçük peykler mevcut olduğu müddetce, ikinci dereceden küre fonksiyonlarının koefisiyentleri yetecek doğrulukta hesaplanır) geodezi araştırmalarında 6. ncı derecedeki terimler kesilerek, elde edilen n ' inci dereceden nivo sferoidi, geoid yerine alınacak cisim olarak kullanılır.

Nivo sferoidinin geometrisine, nivo sferoid ile geoid ve ortalama yer elipsoidinin aralarındaki bağıntılara girmeden, küre fonksiyonlarının geliştirilmelerinde en önemli koefisiyent olan J_2 nin, yere yakın peyklerin yörünge bozulmalarından bulunacağını söylemek gerekir. Bütün çift dereceli terimler (bölgesel), anlatılan seküler bozulmalara, yani düğüm noktalarının salınımı (prosesyon) ile apsoden doğrusunun dönüşünü verir. Tek dereceli terimler de, yörünge unsurlarının periyodik değişmelerini ortaya çıkarırlar. **KING-HELE**, yörünge bozulmaları ile aranan koefisiyentlerin aralarındaki tam bağıntıyı fonksiyon olarak, yakın zaman önce vermişlerdir.

Kendi buluşları olarak ortaya koydukları entegral ve diğer hesap yollarıyla hem ağırlık kuvveti potansiyalinin küresel geliştirilmiş fonksiyonu, hem de n 'inci dereceden nivo sferoidinin geometrik basıklığı bulunur.

$$\alpha = -\frac{3}{2} J_2 + \frac{\omega^2 R^3}{2 k M} + \alpha^2 - \alpha \frac{\omega^2 R^3}{k M} - \frac{5}{8} J_4 \quad (12.)$$

Burada, peyk rasatlarından kıymetleri bulunan, J_2 den J_6 ya kadar olan koefisiyentlerin bildirilmeleri bir tarafa bırakılarak, (12.) eşitlik yardımı ile hesaplanan, 4. dereceden nivo sferoidinin basıklık kıymetleri verilmiştir.

α nin aşağı cetveldeki kıymetleri önemli olup, güvenilecek durumdadır.

Peyk yörünge bozulmalarından, 4. dereceden nivo sferoidi için hesaplanan basıklık kıymetleri :

Yazar	Satellit	Özel işareti	$1/\alpha$ 12. eşitliğe göre
Jacchia [2]	Sputnik 2	1957 β_1	298,17
	Vanguard 1	1958 β_2	$\pm 0,11$
King-Hele und Merson (Cook [1])	Sputnik 1	1957 β_1	298,15
	Vanguard 1	1958 β_2	$\pm 0,03$
	Explorer 4	1958 ϵ	
Kozai [5], [6]	Vanguard 1	1958 β_2	298,31
O'Keefe, Eckels, Squires [4]	Vanguard 1	1958 β_2	298,23
			$\pm 0,02$
King-Hele [3]	Sputnik 2	1957 β_1	298,24
	Vanguard 1	1958 β_2	$\pm 0,02$
	Explorer 7	1959 ι_2	

Hayford elipsoidinin basıklık kıymeti 1 : 297,3 olmasına karşılık,

burada α için ortalama kıymetin 1 : 298,2 olduğu kolayca görülür. Aradaki farkın sebebini, peyk rasatlarının emin olmayışı şeklinde yorumlanamaz. Çünkü 1942 yılında F. N. KRASSOWSKY de basıklık kıymeti olarak 1 : 298,4 bulmuştu. CLAIRAUT'un teoremi yardımı ile yapılan ağırlık ölçmeleri, derece yayı ölçmelerinden bulunan kıymetler, astronomik-geodezik ya da gravimetrik metotların aksine, bütün dünya için gerçek ortalama kıymetleri verip, bölgesel anomalilerle hatalandırılmış olamaz.

Buraya kadar olan açıklamalardan şu toplu sonuca varılabilir : Geodezik peyk denemelerinin kesin olarak değerlendirilip sonuçlandırılmaları bu gün için mümkün değildir. Buna rağmen, geodezinin en önde gelen hedefi olarak, yer yüzü şeklinin toplam problemlerini çözmede ve bütün dünyadaki ölçme sonuçlarının birimsel bir geodezik sistemde temsilinde, geodezik peyk denemelerinin, ağırlık kuvveti potansiyalinin sayı olarak hesaplanmasına ve hidrostatik bakımdan dengesi sağlanmış yeryüzü şeklinin teminine imkân vereceğine emin gözlerle bakmak yerindedir.

