TÜRK MATEMATİK DERNEĞİ YAYINLARI

Sayı : 32

Y. RYABOV

GÖK MEKANİĞİ

Çeviren :
Salih Murat UZDİLEK

İstanbul — 1967

TÜRK MATEMATİK DERNEĞİ YAYINLARI

Sayı : 32

Y. RYABOV

GÖK MEKANİĞİ

Çeviren :
Salih Murat UZDİLEK

İstanbul — 1967

Fen Fakültesi Döner Sermaye Basımevi

BU YAYINLAR HAKKINDA

Matematiğin kendi değeri yanında, fizik, kimya ve dolayısiyle mühendislik ve askerlik gibi pratik sahalara ve bilhassa son zamanlarda biyoloji, ekonomi ve hattâ sosyal bilimlere yardımı hızla arttığından, bu bilim her millet için hayatî bir önem kazanmıştır.

Öte yandan, matematik de bu bilimlerin problemlerini çözebilmek için gerek metod, gerek fikir bakımından gelişmek zorundadır.

Bundan dolayı birçok memleketlerde bu sahaya daha fazla sayıda yeni istidatları çekmek ve bunları erkenden keşfetmek, en nihayet bunların eğitimi için her türlü fedakârlığa katlanmak en önemli bir millî eğitim siyaseti olmuştur.

Yeni istidatları erkenden keşfetmek için düşünülen tedbirlerin başında matematik kültürünü geniş kitlelere yaymak gelir.

İkinci Dünya Savaşından sonra bir çok memleketlerde, gençlerin tecessüslerini tahrik etmek ve bunların matematik bilimlerine karşı ilgilerini arttırmak için yeni bir tip matematik literatürü meydana gelmiştir. Bu çeşit literatürde aranılan özelikler kısaca şunlar olmalıdır: a) Problem vaz'ı sunî olmamalı, b) Bunları anlatmak için fazla önbilgiye ihtiyaç bulunmamalı, c) Okuyucuyu aktif işbirliğine ve bir şeyler keşfetmeğe sevketmeli.

İşte Türk Matematik Derneği bu cereyanı memleketimize de getirmek maksadiyle bu yayınlara başlamış bulunmaktadır. Bu yayınlar, resmî müfredata bağlı ders veya yardımcı kitaplar olmayıp, konuları yukarıki

prensiplere uygun olarak seçilmiş eserlerdir. Bunların anlaşılması için lise matematiğinin bir kısmı ile okuyucunun sağduyusu ve iyi niyeti kâfidir.

Tamamen hizmet olan bu teşebbüsümüzün malî kaynağı, Millî Eğitim Bakanlığımızın ve Ford Foundation'un bağışlarıdır.

Türk Matematik Derneği

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
	GİRİŞ	1
1.	ESKİ İNSANLARIN GÜNEŞ, AY, YILDIZLAR VE GEZEGENLERİN HAREKETLERİNE DAİR DÜŞÜNCELERİ	3
2.	COPERNİCUS'TEN KEPLER'E KADAR GEZEGENSEL HAREKETLERİN GEOMETRİSİ	11
3.	GENEL ÇEKİM KANUNUNUN KEŞFİ	33
4.	MUHTELİF ŞEKİLDEKİ MADDESEL CİSİMLERİN ÇEKİMLERİ	46
5.	YERYÜZÜNDE MADDESEL CİSİMLER ARASINDAKİ ÇEKME KUVVETİNİN DENEYSEL TAYİNİ	53
6.	NEWTON KANUNU - GÖKTEKİ HAREKETLERİN TEORİK ESASLARI	57
7.	GÖKSEL HAREKET VE İKİ CİSİM PROBLEMİ	67
8.	GÖK MEKANİĞİNDE PERTÜRBE OLAN HAREKET MEFHUMU VE PRATİK ASTRONOMİ	74
9.	PERTÜRBASYON HAREKETİNİ TARİF EDEN YOLLAR, YÖRÜNGEDE DEĞİŞİKLİKLER	78
10.	GÜNEŞ SİSTEMİNDEKİ HAREKET PROBLEMİ	81
11.	GÖK CİSİMLERİNİN HAREKETLERİNİN TEORİSİNE TATBİK EDİLEN ARDARDA YAKLAŞIKLIKLAR	86
12.	NEPTÜN'ÜN KEŞFİ	97
13.	PERYODİK VE ASIRLIK PERTÜRBASYONLAR	99
14.	GÖK MEKANİĞİNDE SAYISAL METOTLAR	108
15.	PEYK TEORİSİ	111
16.	SUN'İ ARZ PEYKLERİ VE BUNLARIN HAREKETLERİ	115
17.	ASTROİTLERİN HAREKETLERİ	129
18.	GEZEGENLERİN DÖNME HAREKETİ	134
19.	GÖK MEKANİĞİNE AİT KALİTATİF PROBLEMLER	148
20.	YILDIZ HAREKETLERİ VE GENEL ÇEKİM KANUNU	160
21.	GENEL ÇEKİM NEDİR ?	166
	EK	175

GİRİŞ

Başımızı kaldırıp, gök küresi dediğimiz boşluğa bakacak olursak bu boşluğun sayılamıyacak kadar çok, parlak yapılarla dolu olduğunu görürüz. Bu yapıları, Güneş, Ay, Yıldızlar ve Gezegenler teşkil ederler. Bunların hepsi uzay içerisinde ve kendilerine mahsus yörüngeler üzerinde hareket halinde olup, bu yörüngeler üzerindeki dolanımlarını, günden güne seneden seneye, yüz yıllarda veya daha uzun zamanlarda tamamlayanlar vardır. Gökteki cisimlerin yörüngeleri üzerindeki hareketleri karışık olmakla beraber, kâinatın sonsuz boşluğu içerisindeki bilfiil hareketleri daha da karışıktır. Üzerinde yaşadığımız ve adına arz dediğimiz cisim de güneş ailesine mensup bir gezegen olup, diğer gök cisimleri gibi uzayda yörüngesi üzerinde hareket halindedir.

Acaba nasıl oluyor da gök cisimleri hareket ediyorlar, bu hareketlerden birinin diğerleriyle olan münasebetleri nelerdir, hangi kuvvet bu hareketleri idare ve idame ediyor?.

Bugün bunlara oldukça doğruya yakın cevaplar verilebiliyor. Bu meyanda Güneş ailesine mensup gezegenlerle, bu gezegenlerden biri olan Arzımızın da güneş etrafında bilindiği gibi GÜNEŞ SİSTEMİNİ teşkil ederek yörüngeleri üzerinde dolandıklarını izlediğimiz gibi, güneşin de diğer gök yapıları gibi galaksi denilen bir sisteme bağlı olarak bu sistem merkezinin etrafında dolanmakta olduklarını da biliyoruz. Diğer taraftan Güneş, Yıldızlar ve gezegenlerin boşluktaki hareketlerinde aralarında karşılıklı etkiler yapan kuvvetlerle idare edildiklerini de biliyoruz. Bu

karşılıklı etki veyahut Genel Çekim Kanunu 17 nci asırda İngiliz alimlerinden Isaac Newton tarafından keşfedilmiştir.

Gök mekaniği bu kanun vasıtasiyle gök cisimlerinin hareketleri üzerinde araştırmalar yapan bir ilim olup, dikkate şayan sonuçlar vermiştir. Bu kanun sayesinde gök cisimlerinin herhangi bir zamanda gök'ün neresinde bulunabileceğini kestirmek imkân dahiline girmiş bulunmaktadır. Gök cisimlerinin herhangi bir anda gökte bulunacakları yerleri hesapla yapılacak bir tarifeye göre evvelden ve tam olarak bildirmek mümkün olduğu gibi, bu tarifeler trenlere ait olan tarifelerden daha doğru ve kesindir. Yıldızlara ait olan tarifeler günlük veya senelik olmayıp binlerce yıllar içindir. Bazı hallerde cedlerimizin binlerce yıllar evvel görmüş oldukları gök cisimlerinin uzaydaki hareketlerini bu kanun vasıtasiyle tasvir edebildiğimiz gibi bizden pek uzaklarda gelecek kuşakların görecekleri gök cisimlerinin manzaralarını da şimdiden söyleyebiliriz.

Gök mekaniğinin günübirlik yaratılmış bir ilim olmadığı tabiidir. Bu ilim asırlarca süren uzun ve yorucu araştırmaların neticesi olarak meydana gelmiştir. Mamafih bugün dahi gök cisimlerinin boşluktaki hareketlerini tam ve kesin olarak bilir duruma erişmiş bulunmuyoruz. Arasıra bazı gök cisimleri tarife müddetlerine uygun olmıyarak daha çabuk hareket etmekte, bazıları da geri kalmaktadırlar. Binaenaleyh gök cisimlerinin hemen hepsinin çok eski zamanlarda aldıkları ve daha birçok seneler sonra gökte alacakları durumları kat'i olarak söylemek te mümkün değildir.

Bu kitabın maksat ve gayesi bu genel çekim kanununun nasıl keşfedildiğini ve ne suretle tatbik edilebileceğine dair etüdleri bildirmekten ibarettir. Biz evvela pek uzaklardaki yıldızların hareketlerini, cisimlerin yere düşmelerini insan eli ile yapılan peyklerin hareketleri ile, Kozmik roketleri öğreneceğiz ki bunların hepsi aynı çekim kanununa tabidirler.

Kitabın sonlarına doğru da genel çekim kanununun mahiyeti hakkında da kısaca bilgi vermeğe çalışacağız.

1. ESKİ İNSANLARIN GÜNEŞ, AY, YILDIZLAR VE GEZEGENLERİN HAREKETLERİNE DAİR GÖRÜŞLERİ

Gök cisimlerinin Uzay içerisindeki hareketleri pek eski zamanlardan beri etüd konusu olmuştur. Bugünden yüz yıllarca evvel yaşıyan insanlar gök cisimlerinin durumları ve yörüngeleri üzerindeki hareketleri hakkında incelemeler yapmışlar ve bu hareketlerin bir nizam dairesinde ceryan etmekte olduklarına dikkat etmişlerdir. Onları bu yolda araştırmalara sevkeden başlıca amil bunlardan hayatta faidelenebilmek düşüncesi idi. Gökteki cisimleri müşahede etmekle çöllerde ve denizlerde mevkiini tayin edebiliyor veya zaman ölçebiliyor, senenin mevsimlerini tahmin edebildikleri gibi, ziraat ve ticaret işleri ile kabilelerin bir yerden diğer bir yere hicretlerinde de gök cisimlerinin hareketlerinden elde ettikleri istidlallerden faydalanıyorlardı. Bu müşahedeler neticesi gök mekaniğinin ve dolayısiyle astronominin erken doğmasına sebep olmuştur.

Gökteki cisimlerin zahirî hareketleri en eski insanlarca dahi biliniyordu.

Geceleyin yıldızlarla kaplı göğe bakanlar gök küresinin arzın etrafında dönmekte olduğunu zan ve farketmişlerdir. Gök cisimlerinin Arz etrafındaki günlük hareketleri nizamlı olup zahiren bir fark görülmez. Gökteki yıldızlar birbirlerine nazaran sabit durumlarda çakılmış gibi olduklarından, duran (sabit) yıldızlar adını almışlardır.

Eski insanlar aynı zamanda gökteki bütün yıldız kümelerine ait değişmeyen haritalar yapmışlar ve herbirine özel

isimler takmışlardır. Bütün gök cisimleri istisnasız olarak hareket halindedirler, fakat bilinen bir gök cismi diğer bir yıldıza nazaran yerini değiştirmiyorsa ona sabit yıldız denilir, buna mukabil bir cisim gökte hareket ediyor dediğimiz zaman bu cismin günlük harekete iştirak etmeyip sabit cisimlere nazaran hareket ettiğini farzetmiş oluyoruz.

Eski Astronomlar sabit yıldızlara nazaran hareket halinde bulunan yedi gök cismi bilirlerdi, bunlarada PLANET (Gezegen) adını vermişlerdi. Gezegen yani Planet kelimesi Yunanca bir kelime olup arayıcı manâsına gelir. Bu hususta iki noktayı nazar vardı, birincisi sabit yıldızlardan daha parlak olan 5 gezegen idi ki, eski Romalıların bu gezegenlere vermiş oldukları isimler sırasiyle şunlardır. MERKÜR, VENÜS, MARS, JÜPİTER ve SATÜRN. Bu isimler bugün de kullanılmaktadır. İkinci olarak eski zamanlarda gezegenler Güneş ve ay'ı da ihtiva etmekte idiler. Çünki onlar da gökte yıldızlar arasında dolaşmaktadırlar.

Ay'ın hareketi pek seri olduğundan diğerlerine nazaran daha kolay göze çarpar. Ay batıdan doğuya doğru hareket etmekte olup gökteki tam dolanımını yaklaşık olarak 27 günde tamamlar, (buda günde 12-13 derece veya saatte 0,5 derecelik açısal hıza tekabül eder.) ay'ın yıldızlara nazaran çok daha çabuk hareket ettiğini anlıyabilmek için bir gecelik müşahede dahi kâfidir. Rasatlarla anlaşıldığına göre ayın yıldızlara nazaran hareketi nizamlı olmayıp daha seri ve bazı yerlerde de daha yavaştır. Gündüzün yıldızları görmek mümkün olmadığından Güneşin gök cisimleri arasındaki hareketi direkt olarak müşahede edilemez. Fakat bu hareket yıldızların hareketine nazaran takdir edilebilir. Güneşin batışından sonra göğün batı tarafına dikkatle bakacak olursak bazı yıldızların bir kaç gün sonra aşağıya doğru yani güneşe doğru yaklaştıklarını görürüz. Bir kaç gün sonra da bu yıldızların ufkun altına düşerek kaybolduklarını ve yerlerine başka yıldızların belir-

diklerini müşahede ederiz. Bu yeni yıldızlar da evvelkiler gibi güneşe doğru yaklaşıp bilahere gözden kaybolurlar. Bu hareketler bize güneşin de diğer gök cisimleri gibi yıldızlar arasında hareket etmekte olduğunu gösterir.

Eski zamanlarda gök küresinde yıldızların durumları üzerinde rasatlar yapılırdı. Bu rasatlar güneşin gökteki hareketlerine ait doğru bilgilere yol açmıştır. Güneş gibi ayın da yıldızlar arasında batıdan doğuya doğru yaklaşık olarak 365 1/4 günde yani bir yılda yörüngesi üzerinde dolanımını tamamlamak üzere hareket ettiği anlaşılmıştır. Güneşin Yıldızlar arasındaki bu hareketi sabit olup üzerinde seyrettiği yörüngeye TUTULMA YÖRÜNGESİ (EKLİPTİK) adı verilir. Güneş Ekliptik üzerinde hergün Doğuya doğru yaklaşık olarak 1 derece veya senede 360 derecelik yay üzerinde dolaşır. Güneşin hareketi ayın hareketinde olduğu gibi bir biçim olmayıp değişmektedir. Kışın güneşin Ekliptik üzerindeki hareketi daha sür'atlidir. Meselâ haziran ayının biri ile 30 u arasında 27,5 derecelik bir yol aldığı halde aralık ayının biri ile 30 u arasında 29,5 derecelik bir yol kateder.

Gezegenlerin zahirî hareketleri daha da karışıktır. Müşterek olan bir karakteristik varsa onların daima tutulma düzlemine (Ekliptik) yakın hareket etmeleridir. Gezegenler iki gruba ayrılırlar*.

Birinci grupdaki gezegenlere İÇ GEZEGENLER, ikinci gruptaki gezegenlere ise DIŞ GEZEGENLER adı verilir, Birinci gruba MERKÜR ve VENÜS gezegenleri dahil olup diğer gezegenler ikinci gruba dahildirler. Merkür ve Venüs'ün başlıca karakteristikleri güneşin etrafında ve bir ortam çevresinde salınım yapıyormuş gibi hareket etmeleridir. Gezegenler

* Bu adlar bize, güneşin ve bütün gezegenlerin kâinatın merkezi -arz- etrafında dolandıklarına inanıldığı esk çağdan gelmiştir. Merkür ile venüsün arza güneşten daha yakın (alçak), öteki gezegenlerin ise daha uzak (yüksek) olduğu düşünülmüştü.

evvelâ yıldızlar arasında güneşten daha hızlı hareket edip öne geçerler ve sonrada güneşin doğusundaki en uzak noktaya giderek daha yavaş hareket etmeye başlarlar. Böylece güneş onlara yetişmiş olur. Bilahere batıya doğru belirli bir mesafede geri kaldıktan sonra tekrar güneşin önüne geçerler ve böylelikle güneşten daha hızlı hareket etmeğe başlamış olurlar. Gezegenlerin bu hareketleri böylece devam eder gider.

Venüs'ün güneşten olan uzaklığı 40 derece olduğu halde Merkür'ünki 23 derece (Daha doğrusu 18-28) dereceler arasındadır. Bu sebepten bu gezegenler sabahları doğuda, akşamları da güneşin batısından az sonra batıda görünürler.

Merkür'ün güneş etrafındaki zahirî salınım müddeti 116 gün, Venüs'ünkü ise 217 gündür.

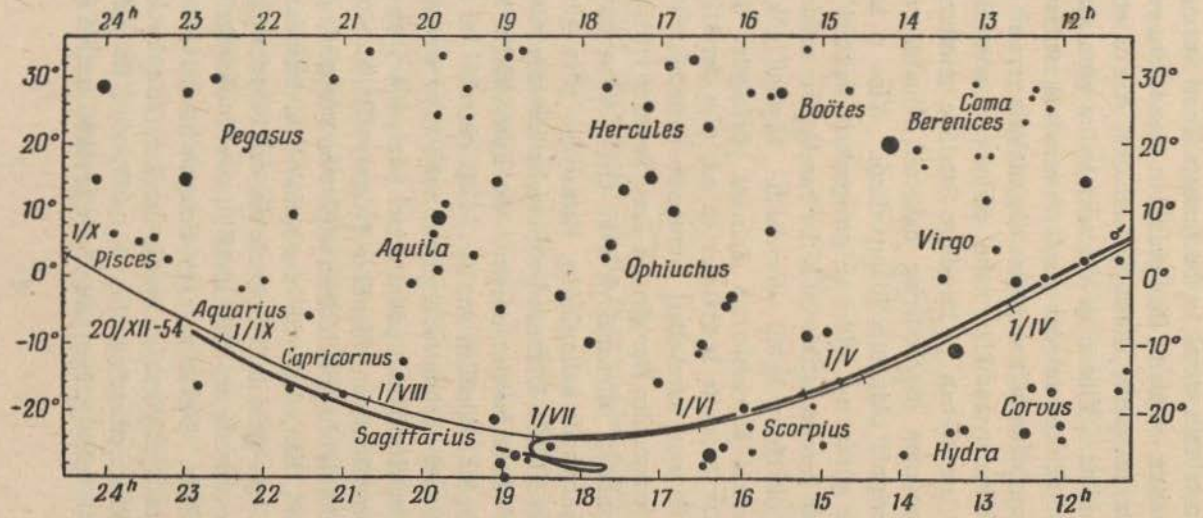
İkinci grubu teşkil eden dış gezegenler yörüngeleri üzerinde hareket ederken karakteristik ilmikler çizerler.

Bütün gezegenlerin yıldızlar arasında (Güneş ve ay'da olduğu gibi) batıdan doğuya doğru olan seyahatlerine (direkt hareket denilir).

Mamafih öyle zamanlar olur ki gezegenin zahirî hareketi küçülür, gezegen durur ve sonrada doğudan batıya doğru harekete geçer. Buna TERS YÖNDE (RETROGRADE) hareket denilir. Her gezegen bir ters yönde hareket perioduna sahip olup bu da batıdan doğuya doğru olan direkt hareketin zıtdına bir harekettir. Bu sebepten gezegen gökte ilmiğe benziyen özel bir yörünge üzerinde hareket etmiş gibi görünür. (Şekil 1)

Mars bu hareketi 780 günde bir, Jüpiter 399 günde bir ve Satürn ise bu hareketi 378 günde bir yaparlar. Tekmil bu hareketler yıldızların ve gezegenlerin bizden olan görünüşlerine ait olan hareketlerdir. Acaba yıldızların, güneşin ay ve gezegenlerin uzaydaki hakikî hareketleri nelerdir ?

Gök cisimlerinin müşahede edilen hareketlerinin izahını yapmak ve bilinen bir cismin bilinen bir zamanda bulunacağı

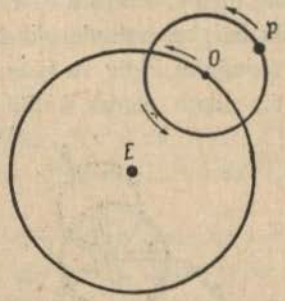


Şekil 1. Marsın 10 ekim 1953 ile 20 aralık 1954 arasındaki zahirî izi (kalın çizgilisi) ile, güneşin mart ile ekim arasındaki zahirî izi (ince çizgilisi)

yeri evvelden tahmin etmek ve bu hususta Teori kurmak eski GREK'lere aittir. Onların ilk kurdukları plana göre yıldızlar, güneş, ay ve gezegenler durduğu farzedilen Arz'ın etrafında dolaşmakta idiler. Yine o devrin adamlarına göre arz'da ve yıldızlar aleminde ceryan eden olayların arasında zıt bir münasebetin mevcut bulunduğu ve göğe ait kanunlarla yere ait kanunların birbirlerine uymadıkları kabul ediliyor ve gökteki cisimlerin daima tekrarlanan ve bir daire üzerinde muntazam bir şekilde tekrarlanan hareketlerine bakarak kâinatın olgunluk derecesine erişmiş olduğuna inanıyorlardı. Yine o zamanki Astronomlar güneş, ay, yıldız ve gezegenlerin dairesel yörüngeler üzerinde hareket ettiklerini ve bu hareketlerin reddedilmez bir hareket olduğunu kabul ediyorlardı. Mamafi gök cisimlerinin uzaydaki hareketlerinin dairesel yörüngeler üzerinde muntazam bir harekete benzetmek te zor olsa gerektir.

Güneş ile ayın hareketleri muntazam olmadığı gibi gezegenlerin de karışık ilmikler çizmek üzere hareket ettiklerini az evvel söylemiştik. Binaenaleyh eski Grek Astronomları şu problemler karşısında kalmışlardır. Faraziyeye göre güneş, ay ve gezegenler EPİSİKL denilen yörüngeler üzerinde muntazam ve sabit sür'atlerle hareket ederler. Bu Epicyclelerin merkezleri de hareketsiz addedilen Arz'dır. Gök cisimleri bu merkez etrafında dairesel yörüngeler üzerinde sabit hızla devretmektedirler. Bu teori milâttan sonra ikinci yüz yılda yaşıyan eski Grek Astronomlarından Claudius Ptolemy (Batlamyüs) tarafından vazedilmiş olup bu düşünceye göre bir gezegenin epicycle üzerindeki V_1 hızı, Epicycle merkezinin V_0 hızından daha büyüktür. P gezegeni ile O Epicycle merkezi bir tek doğrultuda hareketleri esnasında arz üzerindeki bir rasıt bu hareketi direkt olarak görebilir. Fakat gezegen Epicycle'in merkezi ile arz arasında hareket ediyorsa, gezegenin hareketi ile epicycle'in hareketi birbirinden çıkarılmış olup $V_1 > V_0$ olur. Bu sefer arzdaki bir rasıta göre gezegen ters yönde hareketi haizdir. (Şekil 2)

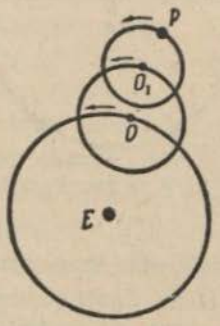
Güneş, ay ve her gezegen için taşıyıcı ile episiklin yarı çapları arasındaki orantı ve Episikl ile nakil üzerindeki yörünge periyotları ve yine nakil ile episikl düzlemlerinin karşılıklı eğilimlerini seçerek bu cisimlerin gökteki zahiri hareketlerini ve bu hareketlerin nizamsızlıklarını da izah edebilen Astronom, güneş, ay ve gezegenlerin gökteki yörüngelerini de epey sıhhatli hesap edebilmiştir.



Şekil 2. Bir episikl V_1 in hızı V_0 ın hızından büyüktür

Ptoleme (Batlamyüs) nin Arzı, merkezde hareketsiz tutan sistemi milâttan sonra ikinci yüz yılla onaltıncı yüz yıl arasında ondört yüz yıllık bir müddet hüküm sürmüştür. Ptolemi'den evvel yaşayan yine eski Grek feylosoflarından Philolaus (Milâttan evvel beşinci yüz yıl) ve Sisamlı Aristarchus (Milâttan evvel üçüncü yüz yıl) ve diğer bazı Feylosoflar arzın uzay içerisinde diğer gök cisimleri gibi hareket halinde olduğunu ve ekseni etrafında dönmekte bulunduğunu ileri sürmüşlerdi. Bu feylesoflara göre gök küresinin günlük zahirî hareketi arzın ekseni etrafındaki hareketinden doğan bir olaydır. Fakat bu mütefekkirler gezegenlerin hareketlerini tam sihhatle hesap edebilmek için metot bulamadıklarından bu parlak tahminler toplumun kabulüne mazhar olamamış ve bu suretle Astronomiden beklenilen ilerlemeler o gün için temin edilememiştir.

Ptoleme'nin sisteminin uzun müddet hüküm sürmesinin sebebini bu devirde yalnızca ilmin geriliğine hamletmek doğru değildir. Bu sistemde arzın, kainatın merkezinde bulunması o zamanki din adamları için uygun mütalaa ediliyordu. Çünkü, "İnsan Allahın yarattığı eşref Mahlûk" olmasından dolayı Arz'ın insanların iskânına tahsis edilmiş bir yer olması kadar tabiî bir şey olamazdı. Bu sebeplerden dolayı Ptoleme'nin kozmolojisi dine de hizmet etmiştir. Putperestler Aristarchus'un Arzın uzayda hareket halinde olduğunu ve ekseni etrafında devretmekte olduğunu iddia ve kabul etmesinden dolayı allahı inkâr eden bir adam olarak kabul etmişlerdir.



Şekil 3. Bileşik bir episikl

Bunun gibi onsekiz yüz yıl sonra Hristiyan kilisesi Copernic sistemine karşı da şiddetle muhalefet etmiştir. Fakat müşahedelerin neticesi olarak yeni donelerin toplanması ile Ptoleme mesleği, ehemmiyetini kaybetmiş rasatla elde edilen neticelerle Ptoleme'nin vermiş olduğu neticeler arasındaki farklar gün geçtikçe çoğaldığından bu farkı izale edebilmek için bir Episikl yerine birden çok episikllerin kabulüne zaruret hasıl olmuştur (Şekil 3).

Buna rağmen teori ile rasat neticeleri arasındaki ayrılık baki kalmıştır. Bu suni olduğu kadar karışık mahiyette olan

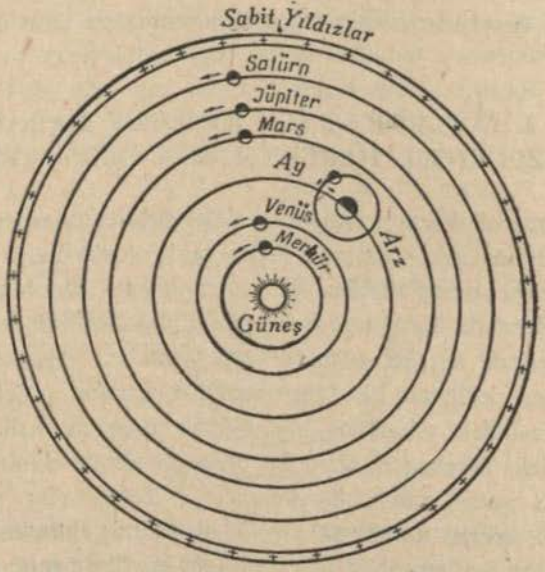
Epicycle'ler ve diğer taraftan teori ile rasat neticelerinin birbirine uymaması bu mesleğin hükümsüz kalmasına sebep olmuş ve zaman geçtikçe Episikller sayısını arttırmak suretiyle Ptoleme mesleğini daha iyi bir yola koymak astronomide terkedilmiştir. Bu da 16 ncı yüz yılda Polonyalı Büyük Astronom Nicolous Capernicus (1473-1543) Arzla gezegenlerin güneş etrafındaki hareketlerine dair tam bir teori koymuş olması ile mümkün olmuştur. Doğrusunu söylemek lâzım gelirse gezegenlerin boşluktaki hareketlerine ait doğru bilgilerimiz bu teori ile başlar.

2. COPERNICUS'TEN KEPLER'E KADAR GEZEGENSEL HAREKETLERİN GEOMETRİSİ

Kopernik kurmuş olduğu teori ile asırlarca insanların zihinlerine hakim olan geosantrik (arzın sabit oluşu) inancı ortadan kaldırmağa muvaffak olan ilk astronomdur. Onun nazariyesine göre arz da diğer gezegenler gibi güneş etrafında ve yörüngesi üzerinde hareket eden bir gök cismidir. Aynı zamanda arz, eksen dediğimiz bir doğru etrafında hareket etmekte olup gök küresindeki yıldızların, Ay, Güneş ve gezegenlerin boşluk içerisindeki hareketleri arzın bu eksen etrafında dönmesinden meydana gelen zahirî hareketlerdir. Tekmil bu hususlar Kopernik teorisi ile ve sıhhatle ispat edilmiş bulunmaktadır.

Arz, ekseni etrafında 24 saatte tam bir devir yapmaktadır. Arz üzerinde bulunan ve bu hareketi bilfiil hissedemiyen bir insan bu hareketi ancak gök küresindeki yıldızları, güneşi, ayı ve gezegenleri arzın etrafında dönüyormuş gibi görmekle anlıyabilir. Copernic sistemine göre güneşin Ecliptic üzerindeki yıllık hareketi, arzın güneşin etrafındaki hareketinden doğmaktadır. Arz, güneş etrafında dairesel bir yörünge üzerinde dolaşmakta ve arz üzerinde yaşıyan insanlar da güneşi çok daha uzaklarda bulunan muhtelif yıldızların fonu üzerinde

görmektedirler. Güneşin yıldızlar arasında hareket ediyormuş gibi görünmesinin yegâne sebebi de budur. Diğer taraftan Kopernik, gezegenlerin zahirî hareketlerinin esas özelliklerinin arz da dahil olmak üzere, bu gezegenlerin güneş etrafındaki hakikî hareketleri ile de izah etmiş ve bu gezegenlerin güneşten, başka başka uzaklıklarda ve fakat aynı doğrultuda tam devirler yapmak üzere hareket ettiklerini de açıklamıştır.



Şekil 4. Kopernik âlemi

Kopernik, rasatlarla elde ettiği neticeler üzerinde fikir yürüterek evvelâ arzla gezegenlerin güneş etrafında, hemen aynı düzlem üzerinde devirler yapmakta oldukları neticesine varmıştır. Bu keyfiyet bize aynı zamanda gezegen izlerinin Ecliptic düzlemine yakın düşme sebebini de açıklamış bulunmaktadır. Güneşin etrafında salınım yapıyormuş gibi görülen

Merkür ile Venüs'ün boşluktaki izleri (astronomik deyimle onların YÖRÜNGE'leri) güneşe arzınkinden daha yakındır. Venüs'ün yörüngesi ise güneşe Merkür'ünkinden daha uzakta bulunmaktadır, çünkü Venüs'ün güneşe nazaran olan zahirî sapmaları daha büyüktür.

Öteki gezegenlerin yörüngeleri arza nazaran daha büyük uzaklıklarda bulunmakta ve güneş etrafında devretmektedirler. Sırasiyle arza en yakın gezegen Mars olup (Bu gezegen diğer gezegenlere nazaran daha sür'atli bir şekilde hareket etmisinden aşikârdır) bu gezegenin ardından Jupiter ve Satürn gelir. (Şekil 4)

Gezegen yörüngelerinin şekilleri ve hareketlerinin tipleri hakkında Kopernik'in düşüncelerini aşağıdaki gibi hülâsa edebiliriz.

Bütün gezegenler dairesel yörüngeler üzerinde yaklaşık olarak bir biçim hareket ettikleri gibi, bu muntazam dairesel hareketlerle birlikte bir takım salınımlar da yaparlar. Daha doğrusu gezegenlerin yörüngeleri üzerindeki hareketleri muntazam birer hareket olmayıp Epicycle'lerin merkezi, yahut gezegenlere mahsus olan Epicycle'ler sisteminin hareket etmekte olduğu fikri Kopernik'çe kabul edilmiştir. Epicycle'ler boyunca hareket muntazam dairesel hareketlerin güneşten olan sapmalarını da karakterize eder.

Kopernik, Güneş sisteminin, doğru plânını çizen ilk astronomdur. O, gezegenlerin güneşe nazaran olan izafî uzaklıklarını, (ARZ ile Güneş arasındaki uzaklık cinsinden) bildirdiği gibi güneş etrafındaki devir periyotlarında hesap etmiştir. Kopernik'in hesapları aşağıdadır.

Meselâ : arza nazaran güneşe daha yakın olan Mercürü ele alalım. Şekil 5 te en içteki daire Mercür'ün yörüngesi olup diğer gezegenlerin yörüngeleri bunun dışındadırlar. Oklar bunların hareket doğrultusunu göstermektedir. Şekilden açıkça anlaşıldığına göre arz üzerinde bulunan bir rasıda göre Merkür

daima güneşe yakın görünmekte ve onun etrafında salınım yapmaktadır. E_1M_1 Merkür güneşten batıda en uzakta bulunduğu zaman arz ile Merkür'ün durumlarını göstersin. Bu durumda güneşle Merkür arasındaki açısal uzaklık ortalama olarak 23 derecedir.

(Kopernik, Epicycle'ler yardımı ile güneşle Merkür arasındaki salınımı* açısal uzaklık cinsinden 18 derece ile 28 derece arasında olduğunu açıklamıştır). SE_1M_1 üçgeninin bir dik üçgen olmasından dolayı Trigonometri vasıtasiyle

$$\frac{SM_1}{SE_1} = \sin 23^\circ \cong 0{,}39$$

olduğunu buluruz.

Şu halde Merkürün Güneşten olan uzaklığının Arz'ın Güneşten olan uzaklığının kabaca 2,6 sı kadar küçük olduğunu buluruz.

Merkür'ün Güneş etrafındaki zahirî salınımlar periodunun 116 gün kadar olduğu eskilerce biliniyordu. Bu ise Merkür'ün 58 gün sonra tekrar güneşten en uzakta fakat bu sefer doğuda bulunması demektir.

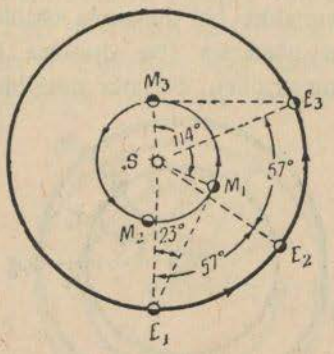
Mamafih bu esnada Arz ve Merkür yörüngelerinde başka başka yerleri işgal edeceklerdir. Bu durumları E_2M_2 ile gösterelim. E_1E_2 yayının uzunluğu arzın güneş etrafındaki tam bir devrinin müddeti 365 1/4 olduğu bilindiğine göre kolayca hesap edilebilir. 58 günde Arz yörüngesinin 0,159 kısmını almış yani 57 derecelik bir yay üzerinde hareket etmiş olur. Diğer 58 günde Merkür Güneşten batıda en uzak durumdadır. Bu sefer arz ile Merkür'ün alacakları durumları E_3M_3 ile gösterelim.

116 Günde Arz E_1E_3 yayı üzerinde hareket etmiş olur.

* Açısal uzaklık bir noktadaki rasıdın gözü ile aralarındaki açıklığın ölçülmesi istenilen iki gök cismine çizilen doğrular arasındak açıdır.

Bu suretle $57°+57°=114°$ derece olur. Bu esnada güneş Merkür etrafında bir dolanımdan fazlasını yaptığı için Merkür'ün Güneş etrafındaki zahirî salınımları onun yörünge periodu ile çatışmaz. Fakat bu period kolayca hesap edilebilir.

Şekil 5 de görüldüğü gibi SE_1M_1 üçgeninin SE_1 kenarı 114 derece üzerinde hareket ederek SE_3 durumunu alır. Binaenaleyh SM_1 kenarı SM_3 durumunda 114 derece üzerinde hareket



Şekil 5. Merkürün güneşten uzaklığı ile, yörünge periodunun tayini

etmiştir. Bu sebepten : M_1SM_3 açısı$=114$ derece olur. Buna göre Merkür tam bir dolanım ile 114 derece toplamı yani 474 derecelik bir yay üzerinde hareket etmiş olur. Merkür'ün tam bir dolanımında yani 360 derece üzerindeki periodu şu orandan bulunur.

$$\frac{T}{116} = \frac{360°}{474°}$$

ki bu da

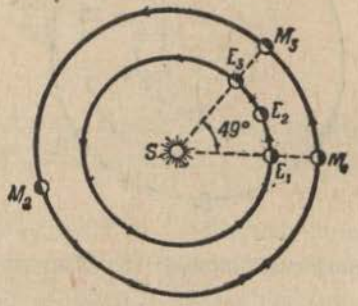
$$T = \frac{360 \times 116}{474°} \cong 88$$

gün eder.

Aynı veçhile Venüs'ün güneşten olan uzaklığını ve yörüngesi üzerindeki periodunu hesap edebiliriz. Venüs'ün yörüngesi

üzerindeki periodu 225 gündür. Güneşten olan ortalama uzaklığı da Arzın güneşten olan ortalama uzaklığının 0.72 si kadardır. Güneşe nazaran arzdan daha uzakta bulunan gezegenlerin uzaklıkları ile yörünge periodları başka metotla bulunur.

Meselâ Mars'ı ele alalım. Şekil 6 da iç daire arzın ve dış daire de Mars'ın yörüngesi olsun E_1M_1 mars ile güneş arasındaki ve arza nazaran karşılıklı bir durumda oldukları zaman aralarındaki doğruyu göstersin (bu duruma OPPOSITION= KARŞIMA durumu denilir). Rasatla anlaşıldığına göre birbiri



Şekil 6. Marsın dolanım süresinin tayini

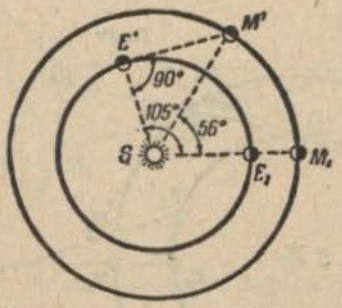
peşinden iki opposition arasında geçen gün 780 dir. Opposition'den 390 gün sonra arz E_2 durumunda ve Mars'ta güneşle aynı doğrultuda, fakat güneşe nazaran Arzla aynı tarafta bulunur. (Bu duruma gezegenin güneşle CONJUCTION= KAVUŞUM durumu) denilir. Sonraki 390 günde Mars ile Güneş tekrar karşıma durumuna gelirler. Bu anda Arz E te ve Mars'ta M_3 te bulunur. 780 günde Arz Güneş etrafında iki tam dolanımı ile E_1E_3 yayını süpürür ki buda 49 dereceye tekabül eder, diğer bir deyimle Arz toplam olarak 769 derece ve bu esnada Mars ta (Şekilde görüldüğü gibi) tam dolanım ile 49 derecelik bir yay üzerinde hareket eder ki bu da toplam

olarak 409 dereceye eşittir. Oranlar vasıtasiyle Mars'ın yörünge periodunu aşağıdaki formülle hesaplayabiliriz :

$$T = \frac{360 \times 780}{409} = 687 \text{ gün}$$

Jüpiter ve Satürn'ün Güneşten olan uzaklığı ile yörüngelerindeki periotları da aynı metotla bulunabilir. Bu da bize birincisi için 12 yıl ve ikincisi için 29,5 yıl müddetlerini verir.

Şimdi Mars'ın Güneşten olan uzaklığını hesap edelim. Karşıma durumundan başlıyarak yerden görüldüğüne göre



Şekil 7. Marsın güneşten uzaklığının tayini

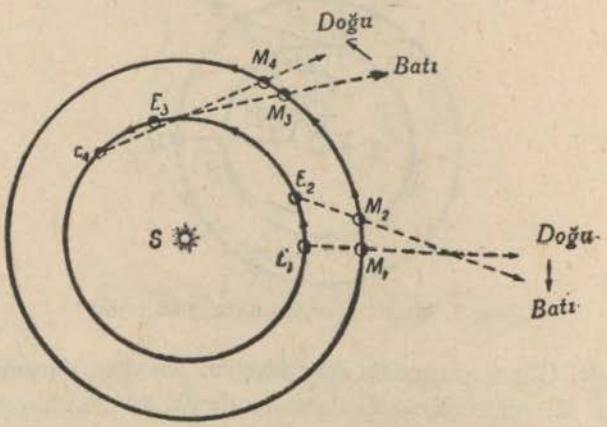
Mars ile Güneş arasındaki açıyı ölçelim. Karşıma durumunda bu açı 180 derecedir. Zamanla azalarak 90 dereceye iner. $M'E'$ durumunu alır. Rasatla anlaşıldığına göre bu esnada geçen müddet 106 gündür. Bu müddet zarfında Arzda yörüngesi üzerinde ve 105 derecelik bir yay üzerinde ve Mars ta yaklaşık olarak $106 \times 360/687 = 56$ derecelik bir yay üzerinde hareket etmiştir. $E'\,S\,M'$ açısı $105° - 56° = 49°$ dir. $E'\,S\,M'$ üçgeninden :

$$\frac{SM'}{SE'} = \frac{1}{\cos 49°} \cong 1{,}5$$

elde edilir.

O halde Mars'ın Güneşten olan uzaklığı Arzın Güneşten olan uzaklığının 1,5 katı kadardır. Aynı metotla Jüpiter ile Satürn'ün Güneşten olan uzaklıklarını da hesap edebiliriz. Hesapla anlaşıldığına göre Jüpiterin Güneşten olan uzaklığı arzın uzaklığının beş katı kadar ve Satürn'ünkü ise 9,5 katı kadardır.

Kopernik gezegenlerin yörüngeleri üzerinde görülen ilmik şeklindeki kısımların bu gezegenlere bakan rasıdın üzerinde bulunduğu arzın Güneş etrafında hareket etmesinden ileri gelmiş bir hadise olarak izah etmiştir. Misâl olarak Mars'ın karşıma noktasından (Şekil 8 de E_1M_1) başlıyarak nasıl hareket

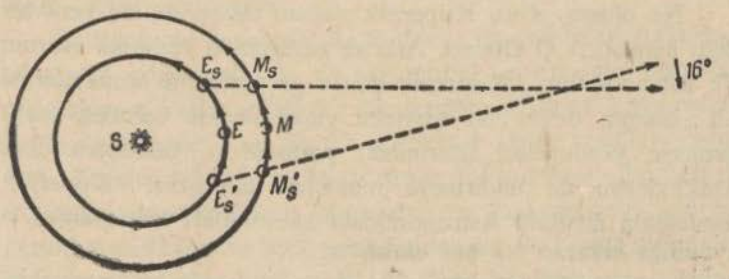


Şekil 8. Gezegenlerin zahirî hareketlerinin izahı

ettiğini gözden geçirelim. Belirli bir zaman aralığından Arz E_2 durumunu aldığı halde aynı aralıkta Mars yönüngesinde M_1M_2 ile gösterilen küçük bir yay üzerinde hareket eder. Yörünge üzerindeki periodu uzun olduğundan karşımada Mars E_1M_1 doğrultusunda idi. Karşımadan bir müddet sonra E_2M_2 doğrultusunda görülür ki O, E_1M_1 e nazaran batıya doğru hareket eder. Arz Güneş etrafındaki hareketinde Mars'ı kovalar.

Mars yıldızlar arasında ilk durumundan batıya doğru hareket ediyormuş gibi görünür. Hakikatte ise Mars yörüngesinde arzla birlikte aynı doğrultuda hareket eder.

Bu iki gezegen E_3 ve M_3 durumuna vardıkları zaman yani Mars'la Güneş Arzdan bakıldığına göre Şekil 8 deki gibi bir dik açı teşkil ettiği zaman da arz-Mars çizgisinin doğrultusunu nasıl değiştirdiğini görelim. Arz E_4 ve Mars'ta M_4 durumunu alınca ve E_4M_4 şimdi E_3M_3 e nazaran Doğuya doğrudur, ki bu da Mars'ın gökte batıdan doğuya doğru hareket ettiğini gösterir. Arz yörüngesinde E_1E_2 yayını aldığı zaman Mars'ta



Şekil 9. Bir gezegenin geriye doğru hareketi

(zahirî hareket yönünden) evvela yıldızlar arasında doğrudan batıya geriye doğru hareket yapar, ve sonra da batıdan doğuya doğru direkt harekete geçer. M_1M_4 arasında belirli bir noktada Mars durur. (E_5, M_5 Şekil 9 da) ve yıldızlar arasındaki izini akseder. Rasatla anlaşılmıştır ki Mars karşımadan sonra 35 gün zarfında dururmuş gibi görünür. Ondan sonra mars hareketini aksederek direkt hareketi alır. Fakat sonraki karşımadan takriben 35 gün evvel Arz ile Mars $E_s'M_s'$ de bulundukları sırada (E_sM_s in aynadaki görüntüsü) (Şekil 9'a bak) Mars tekrar hareketini aksederek geriye doğru harekete başlar. Bu suretle Oppositıon noktasından 35 gün evvel ve 35 gün sonra geriye doğru hareket var demektir. Bu hareket tomlam

olarak 70 gün sürer. Bu esnada hareket kabaca 16 derecelik bir yay üzerinde ceryan etmiştir.

Kopernik Jüpiter, Satürn ve Mars gezegenlerinin gerileme hareketlerini bu suretle izah etmiştir. Yine Kopernik gezegenlerin düzgün dairesel hareketlerinden gayrı diğer hareketlerini izah edebilmek için episikl sistemini kullanmağa devam etmiştir ki, bu sistemi eski Astronomlar kullanmakta idiler.

Kopernik bilhassa Ay teorisi ile de ilgilenmiştir, çünkü ayın hareketleri eski Astronomların da bulduklarına göre bir çok nizamsızlıkları havi bulunmakta idi.

Ne olursa olsun Kopernik sistemi Astronomide yeni bir çığır açmıştır. O Güneşi, Arzı ve gezegenleri yerlerine oturtan ilk astronomdur. Kopernik Arzla gezegenlerin hareketlerine ait sistemin doğru bir tasvirini yapabilmekle beraber, gezegenlerin yörüngeleri üzerindeki periotlarını, Güneşten olan uzaklıklarını da bildirmeye muvaffak olmuştur. Kopernik mesleğinin medlûlü Astronomideki karanlıkları tam manâsiyle aydınlığa çıkaran tek yol olmuştur.

Astronomiye ait plânların realiteye uygun düşmesi ihtiyacını hisseden ve din derslerinden ziyade "Eşyanın hakikî mahiyeti" ni arıyan ilk Astronom yine Kopernik olmuştur. Kopernik'in kurmuş olduğu sistem kilise papazlarının yazılarına ve dinî görüşlerine ilk silleyi indirmiş ve bu suretle onun adı ilme alem olmuştur.

Kopernik sisteminin bu derece kilisenin düşmanlığına maruz kalmasına şaşmamalıdır. Çünki bu teori Arz ile diğer gezegenleri bir tutarak Güneşi, sistemin merkezine getirmiştir. Artık Arz, incilin öğrettiği gibi sistemin merkezinde değildi. 1616 da Katolik kilisesi Kopernik nazariyesinin dine aykırı olduğunu ileri sürerek red ve aforoz etmiştir. Hatta bu tarihten evvel protestanlığın büyük mümessilleri bu teoriye karşı faal rol de oynamışlardı. Bütün bunlar muhakkak ki Kopernik nazariyesinin yayılmasına büyük birer engel teşkil etmişlerdir.

Şu da hatırda tutulmalıdır ki, Kopernik Arzın hareketine dair direkt bir ispat ta verememişti. Onun verdiği yegâne şey, teorisinin basit olması ve gezegenlerin zahirî hareketlerini Ptoleme sistemine nazaran daha tabiî bir surette izah edebilmesidir.

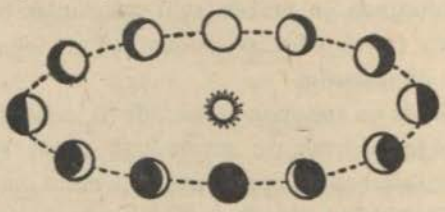
Bundan başka Kopernik teorisi ile gezegenlerin durumlarını kâfi derecede ve sıhhatle de bildirmeğe muvaffak olamamıştır. Güneş Sisteminin yeni projesinin tekamülünde ve zafer kazanmasında en mühim rolü oynıyanlar büyük İtalyan alimi Galileo (1564-1642) ve Alman alimi Johannes Kepler (1571-1630) olmuşlardır.

1610 yılında ve astronomi tarihinde ilk defa olarak Galileo teleskobu göğe çevirmiş ve astronomik görüş için tasavvur edilemiyecek kadar güzel bir manzarayı meydana koymuştur. Onun ilk müşahedeleri bir takım dikkate şayan keşiflerle doludur. Evvelemirde Jüpiter'in etrafında daireler üzerinde dolaşan 4 küçük yıldız keşfetmiş bunlardan en kısa periotlu yıldızın periodunun 42 saat ve uzun periodu olanının da 17 gün olduğunu bulmuştur. Galile bunlara büyük Tuscani dükü olan Cosino de Medici ye izafetle "Medicean gezegenler" adını vermiştir. Galileden pek az evvel Kepler bu gibi gök cisimlerine PEYKLER (SATELLITES) adını vermiştir. Bu ad Gökte gezegenlerin Güneş etrafında dolaşması gibi primerleri etrafında dolaşan cisimlere hâlâ verilmektedir.

Galilenin bulmuş olduğu Jüpiter gezegenine ait bu peykler (aylar) Güneş sistemi gezegenlerine benzer, bir sistemin mevcut olduğunu göstermiştir. Bu peykler böylelikle arzın, sistemin merkezinde, bulunabileceği akidesinin yanlışlığını da ispat etmiş oldu. Jüpiterin yörüngeler üzerinde dolaşan bu peykleri Copernic teorisine karşı geri kalmaksızın hareket halinde bulunan arzın etrafında dolaşamıyacağı diye yapılan itirazları da ortadan kaldırmıştır.

Galile gökte Venüs gezegeninin daima tam yuvarlak olarak

görünmeyip ayda olduğu gibi evvela hilâl şeklinde ve sonra bedir halinde ve sonra da gözden kaybolarak değişik safhalar gösteren bir gezegen olduğunu da keşfetmişti. Bu da bize Venüs'ün Ay gibi ışığını güneşten alan ve kendiliğinden parlak olmayan bir gök cismi olduğunu ispat eder. Venüs'ün safhalarındaki değişiklikler onun Güneş etrafında hareket eden bir gök cismi olduğunu ve bu sebepten değişik safhalar gösterdiğini de açıklamıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Venüsün safhaları

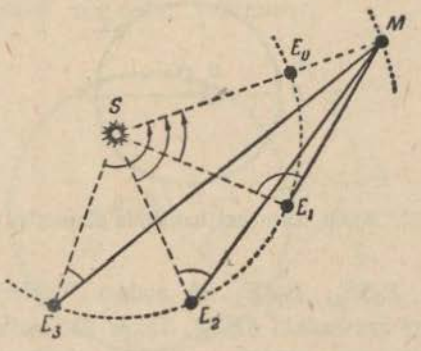
Galilenin bu ve bunun gibi keşifleri Kopernik mesleğinin doğruluğunu ispata yaramış üniversitelerle diğer Entellektüel muhitlere yayılmasına vesile olmuştur. Fakat Galile bu ispatlardan dolayı Engisizyon mahkemesi huzuruna çıkarılmış ve 1633 de bulmuş olduğu keşiflerin hepsinin saçma olduğunu ilân etmeye mecbur tutulmuştur.

Gezegenler hareketlerinin doğru olarak etüdünde Galilenin ve aynı devirde yaşıyan Keplerin ölmez eserleri önder olmuşlardır.

1600 yıllarında gezegenlerin hareketlerini doğru olarak tetkik edebilmek için elde mevcut cetveller Kopernik teorisine göre yapılmış 4 veya 5 derecelik hataları ihtiva ediyordu. Kepler, Copernic sisteminin hararetli bir taraftarı olarak onun esas prensiplerini terk etmeyi düşünmemiştir. Onun zihnini kurcalayan bir nokta varsa o da Kopernik ve Ptoleme (Batlamyüs) sistemlerinin doğruluğu idi. Keplerin eline Dani-

markalı Astronom Tycho Brahe (1546-1601) Mars üzerinde yapmış olduğu müşahedelere ait bir çok doneler verdi. Tycho Brahe o devrin en büyük Rasıtlarından idi. Bu donelere nazaran misâl olarak Mars'ı ele alan Kepler, Gezegenler hareketlerine ait tam bir etüd yaptı.

Marsın zahirî hareketini arzın hareketi ile ilgili olmasından dolayı, Kepler evvelâ Arz yörüngesinin tam olarak bilinmesinin lüzûmuna karar verdi. Bunu yapabilmek için Arzın yörüngesi üzerindeki hareketinde meydana gelen intizamsızlıkları bulmak üzere dahiyane bir teknik buldu. Bu teknik eass itibarı ile şudur.

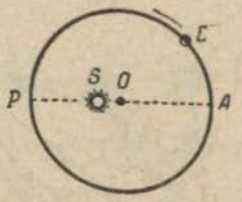


Şekil 11. Arz yörüngesinin tayini

Mars'ın karşıma takip eden aralıkta müşahede edilen zamanı gezegenin bir, iki ve daha bir çok yörünge periotlarına eşit olduğunu farzedelim. Bu taktirde Mars yörüngede daima aynı durumda bulunduğu halde arz başka, başka durumlarda bulunacaktır. (Şekil 11 de M Marsı ve E_0, E_1, E_2,... de arzın konumlarını gösteriyor).

Birinci rasatta arz E_0 da ise (Mars'ın yörünge periodu) olan 687 gün sonra iki tam devreyi tamamlamak için vakit bulamıyacak ve E_1 de bulunacak, diğer 687 gün sonra E_2 de

bulunacak ve böylece devam edecektir. İlk iş olarak Güneşin Arzdan görüldüğüne göre başka, başka durumları arasındaki açının, Güneşin başka, başka anlarda Ekliptik üzerindeki zahirî konumlarını mukayese etmekle ölçülebileceğini kaydedelim. Filhakika Güneşin belirli bir zaman aralığında almış olduğu zahirî uzaklık Güneş-Arz çizgisinin bu aralıkta üzerinde süpürmüş olduğu açıya eşittir. Güneşin ekliptik üzerindeki hareketi eski Yunanlılar ve Tycho Brahe tarafından etüd edilmiştir. Buna göre Keplerin elinde güneşin hergün Ekliptik üzerinde bulunacağı noktayı sıhhatle bildiren bir cetvel bulunuyordu.



Şekil 12. Arzın yörüngesi hakkında Kepler'in görüşü

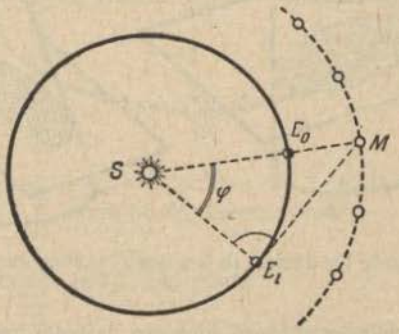
Böylece E_0SE_1, E_0SE_2 ilâ açıları Keplerce biliniyordu. Güneşle Mars arasındaki SE_1M, SE_2M ilâ. açıları rasatla bulunabilir*. Buna göre SM kenarı daima sabit olan ve iki açısı daima bilinen SME_1, SME_2, SME_3... ilâ Üçgenlerinde Trigonometri vasıtasiyle SE_1 ve SE_2 tayin edilebilir. Bu suretle Arzın başka, başka anlarda alacağı durumlar ortaya çıkarılabilir. Bu şekilde elde edilen noktalar vasıtasiyle de arzın yörüngesine ait bir eğri elde edilmiş olur.

Elde edilen eğri bir daire olup, güneş bu dairenin merkezinde bulunmayıp bir az ötelenmiş durumdadır. (Şekil 12)

* Bu açılar her zaman doğrudan doğruya ölçülmez. Çünkü güneş ile mars gökte nadiren aynı anda görünürler, fakat bu cisimlerin yıldızlara nazaran konumlarını ölçmekle ve bilinen bu açısal uzaklıklar vasıtasiyle bu açıları ölçmek mümkündür.

Dairenin merkezi ile güneşin durumu arasındaki OS uzaklığı Keplerin hesabına göre daire çapının kabaca 1/59 u kadardır. Bu pek küçük bir değerdir. Yarı çapı 10 santimetre olan bir dairede bu ötelenme 1,5 Milimetre kadardır.

Kepler aynı zamanda arzın yörüngesi üzerinde nizamlı bir hareket yapmadığını da bulmuştur. Arz Güneşten en uzak bulunduğu P noktasından uzaklaşma hızı, en yakın bulunduğu A noktasına yaklaşma hızından daha büyüktür. Bunlardan birinci noktaya PERİHEL ve ikincisine ise AFEL denilir. Bu nizamsızlıkları hesaba katan kepler arzın yörüngesi üzerindeki ve hemen, hemen her günkü durum ve hareketlerini bildiren tafsilâtlı bir cetvel meydana getirmiştir.



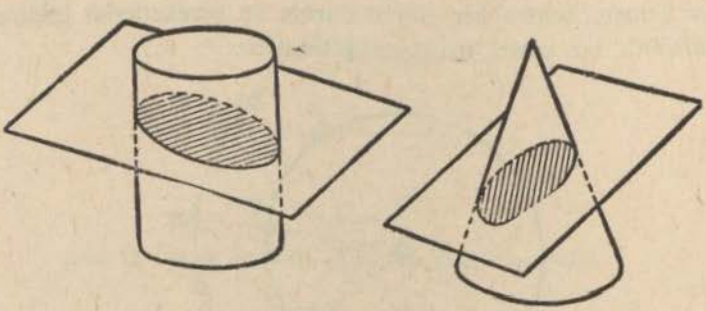
Şekil 13. Marsın yörüngesinin tayini

Bu işi bitiren Kepler Marsın yörüngesi üzerindeki tashih işine dönmüştür. Tycho Brahe'nin rasatlarında yörünge periotlarının muhtelif anlarda gezegenin alacağı durumlar biliniyordu.

Arzın ve Marsın karşımadaki durumları Şekil 13 de gösterilmiştir. Bu durumlar (E_0M) gösterildiği halde Marsın bir tek yörünge periodundan sonra alacakları durumlar (E_1M) gösteriliyor. Kepler φ açısı ile SE uzaklığını, arzın hareketine

ait cedvellerden hesaplamaya muvaffak olmuştur. SME_1 açısal rasatlarla tayin edilmişti, böylece SME_1 üçgeninden Marsın Güneşten olan uzaklığı SM in tayiniyle mümkün olmuştur.

Kepler aynı yoldan giderek Marsın yörüngesi üzerindeki başka başka noktalarda iken Güneşten olan uzaklığını ölçtü ve bütün bu noktalardan geçeceği anları bulmaya teşebbüs etti. Mamafi uzun ve yorucu gayret ve çalışmaların neticesi olarak Kepler, Mars yörüngesinin bir daire olmadığını ve hareketinin dairesel hareketler kombinezonları ile gösterilemiyeceği neticesine vardı.



Şekil 14. Bir koni, bir düzlem ile kesilirse, bir elips meydana gelir

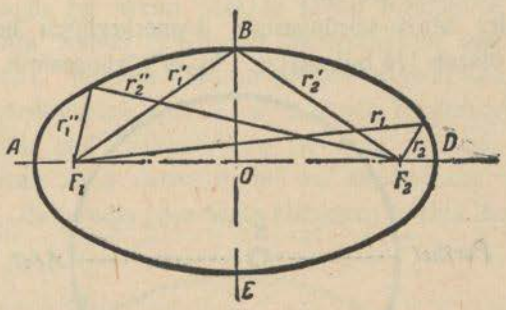
Gökteki cisimlerin hareketlerinin dairesel hareket olduğuna dair asırlarca hüküm süren fikrin yanlışlığı da böylece ispat edilmiş oluyordu. Kepler bu noktalardan geçen eğrilerin uzatılmış kapalı eğriler şeklinde olduklarını gördü ve bir çok denemelerden sonra bu yörüngelerin elips şeklinde olabileceğine karar verdi. Bu öyle bir eğri idi ki oval biçiminde olan bu eğrinin bir odağında Güneş bulunuyordu*.

Elips öyle bir kapalı eğridir ki üzerinde bulunan herhangi bir noktanın odak dediğimiz iki noktadan olan uzaklıkları

* Burada Kepler'in keşfini en basit şekilde ifade etmiş olduk. Hakikatte ise bu bir az daha karışıktır.

toplamı sabittir. Bir dik koniği veya silindiri eksene göre eğik bir düzlemle kesersek meydana çıkacak şekil bir elipstir. (Şekil 14)

Şekil 15 F_1F_2 odak noktaları ve O noktası da elipsin merkezidir. AD büyük eksenler ve BE de elipsin küçük eksenlerini gösteriyor. $AO=OD$ yarı büyük eksen ve $BO=OE$ yarı küçük eksendir. AD doğrusuna ASAL EKSEN denilmektedir.



Şekil 15. Bir elips. $r_1+r_2=r_1'+r_2'=r_1''+r_2''$ toplamları sabit olup, elipsin büyük eksenine eşittir.

Buna nazaran aşağıdaki orana

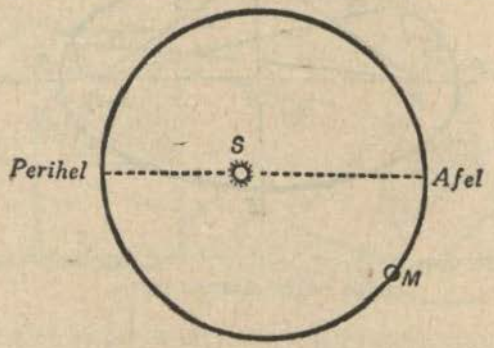
$$e = \frac{OF_1}{OA} = \frac{OF_2}{OA}$$

elipsin dışmerkezliği denilir. Dışmerkezlikler büyüdükçe odaklar merkezden uzaklaşır ve yarı büyük eksenle, yarı küçük eksen arasındaki fark büyür. Elips merkezinin odaktan olan uzaklığı şu denklemden hesap edilir. $OF_1=OF_2=e\times OA$ BO yarı küçük ekseni ile AO yarı büyük ekseni arasındaki bağ ve bunun (e) dışmerkezliği arasındaki ilgi aşağıdaki denklemle elde edilir,

$$BO = AO\sqrt{1-e^2}$$

BO ile *AO* arasındaki fark arttıkça elipste o kadar çekilmiş ve daire şeklinden o kadar uzaklaşmış olur. Dışmerkezliği küçük ise yarı büyük eksen yarı küçük eksene hemen hemen eşit olur. Bu sefer elips daireden pek az farklıdır. *AO*, *BO* ve *e*=yi birbirine bağlıyan denklemden anlaşıldığına göre, faraza *e* 0,1 ve *AO*=10 santimetre ise yani odak merkezden bir santimetre uzaklaşmış olursa büyük yarı eksenin küçük yarı eksenle arasındaki fark 0,05 cm dir.

Kepler Mars yörüngesinin dışmerkezliğini hesaplayarak yaklaşık olarak 1/4 bulmuştur. Mars yörüngesinin yarı büyük

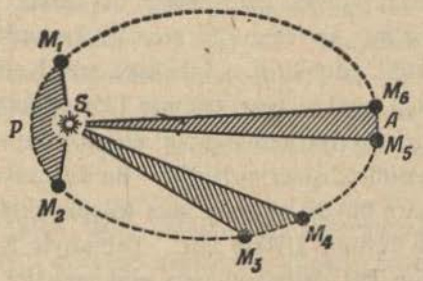


Şekil 16. Keplerden sonra marsın yörüngesi

ekseninin arzın üzerinde hareket ettiği daire yarı çapının 1/52 si olduğu hesap edilmiştir. (Şekil 16) Dışmerkezliği bu olan elips şeklindeki yörüngeyi gösteriyor. Şekle bakacak olursak bunu bir daireden ayırt etmek çok zordur. Fakat güneşin şekil merkezinden olan kayması açıkça görülüyor. Rasatlar Marsın Ekliptik etrafında salınım yaptığını göstermiştir. Başlangıçta episikllerde ilâve gezegen hareketleri ile izah ediliyordu. Kopernik te bu meselede aynı kanaatte idi. Tycho Brahe'nin rasatlarını analize eden Kepler Mars'ta görülen sapmaların hepsinin bu gezegenin daima arz düzlemine eğilmeli

bir düzlemde hareket etmesi hakikatı ile izah etti. Bu açıya gezegen yörüngesinin EĞİLMESİ denilebilmektedir. Mars için bu açı yaklaşık olarak 2 derecedir.

Hülâsaten söylemek lâzım gelirse Mars-Arz yörünge düzlemi ile kabaca 2 derecelik bir açı yapan bir düzlem üzerindeki bir elipsin üzerinde hareket eder. Güneş te bu yörüngenin odağında bulunur. Bu keyfiyet Kepler'in Mars hareketinde bulmuş olduğu bir takım dikkate şayan nizamlarla ilgilidir. Bundan sonra Kepler gezegenler hareketlerinin özelliklerinin etüdüne girişti. Keplere nazaran perihel yakınlarında Mars'ın Güneşten görüldüğüne göre iki ay zarfında 37 derecelik bir iz takip ettiğini, afel yakınlarında ise aynı müddet zarfında Mars'ın ancak 25°,8 derecelik bir açı süpürmekte olduğunu bulmuştur. Bu hesaba göre Mars Güneşten uzakta iken yörün-



Şekil 17. "Alanlar Kanunu" : gezegen eşit zaman aralıklarında M_1M_2, M_3M_4, M_5M_6 alanlarının süpürürse, gölgeli alanlar birbirlerine eşittir

gesi üzerindeki hareketi daha yavaş, Perihel civarında hızı daha fazla, Atel yakınlarında ise en azdır. Kepler bir çok sayıda hipotezler yaptıktan sonra dikkate şayan bir nizamlılığa vardı. (Şekil 17) Mars yörüngesinde aynı zamanda M_1M_2, M_3M_4. ilâ gibi yaylar üzerinde hareket ettiğini farzedersek bu

yayların uçları ile (S) güneşini bağlamakla hasıl olan (SM_1M_2 SM_3M_4... ilâ gibi) süpürülen sektörler eşit alandadır*. Bu nizamlılık diğer bir şekilde de ifade edilebilir.

Şöyle ki vektör ışınlarının (Güneşin merkezi ile gezegen merkezi arasını birleştiren doğru) süpürmüş olduğu alanlar, zamanla orantılıdır. ALANLAR KANUNU denilen bu hakikat Mars'ın hareketindeki nizamlılıklardan ikincisini teşkil eder. Bu suretle bugün BİRİNCİ ve İKİNCİ Kepler kanunları denilen kanunlar bulunmuştur. Bu kanunlar şunlardır :

1 — Gegezegen, bir odağında güneş bulunan bir elips üzerinde hareket eder.

2 — Güneş merkezi ile gezegen merkezi arasını bağlıyan (ışın vektör denilen) doğru parçası eşit zamanlarda eşit alanlar süpürür.

Gerçi Kepler bu kanunları Mars gezegeni için bulmuşsa da bu kanunların diğer gezegenlere de tatbik edebileceğine kanaat getirmiştir. Evvelemirde Kepler, kanunlarının doğruluğunu arza tatbik edebilirdi. Filhakika arz, Keplerin elindeki donelere nazaran merkezi, yarı çapının 1/59 u kadar yer değiştirmiş olan bir daire üzerinde hareket etmektedir. Bu da Arzın Eliptik yörüngesinin dışmerkezliğidir. Bu dışmerkezlik o kadar küçüktür ki yarı büyük eksenle yarı küçük eksen arasındaki fark bunlardan birinin 1/7000 idir. Tabiatiyle Kepler'in devrinde böyle elips bir daireden ayırt edilemezdi**. Fakat her halde Keplerin, Arz'ın hareketi hakkındaki bilgileri birinci kanuna karşı koymuyordu, ikinci kanuna gelince Arz yörüngesindeki hareketinde güneşten uzakta olduğu zaman hızının, yakın bulunduğu zamanki hızına nazaran fazla oluşu ikinci kanuna uygun düşüyordu.

---

* Daha açık söylemek lâzım gelirse Şekil 17 marsın yörüngesinden daha çekik bir elipstir. M_1M_2, M_3M_4.. ilâ hakikata halden pek farklıdır.

** Kepler'in devrinde (Tycho Brahe nin rasatları da dahil olmak üzere) tekmil rasatlar çıplak gözle yapılmakta idi.

Sonraları Kepler diğer gezegenlerin eliptik yörüngelerini yaklaşık olarak bulmuştur.

Kepler'in birinci ve ikinci kanunları gök ilmi bakımından büyük ehemmiyeti haizdir. Fakat Kepler Güneş sistemindeki bütün gezegenler için genel bir kanun bulmak ümidinden vazgeçmemiştir. Öyle ki: Güneşten uzakta olan bir gezegen yakındakine nazaran daha yavaş hareket eder. Bu şayanı dikkat olayı Kepler, 1618 yında keşfetmiştir. Bugün bu kanuna Kepler'in ÜÇÜNCÜ KANUNU denir. Kepler aynı zamanda gezegenlerin güneş etrafındaki yörüngelerinin büyüklüklerini periotları ile terkip ederek, periot karelerinin bu yörüngeler yarı büyük eksenlerinin küpleri ile orantılı olduğunu da bulmuştur. (yahut güneşten olan ortalama uzaklığın kübü ile orantılı).

Meselâ arzın güneşten olan ortalama uzaklığı ile Marsın güneşten olan ortalama uzaklığı arasındaki oran (Kepler'in elindeki donelere nazaran) 1/1,52 dir. Bunların güneş etrafındaki periotları arasındaki oran da 1/1,88 dir. Bunlardan birincisinin kübünü ve ikincisinin karesini bulursak 1/3,53 ve 1/3,54 kesirlerini elde ederiz ki bunlarda birbirlerine pek yakındır.

Arzın güneşten olan uzaklığını Jüpiterin güneşten olan uzaklığı ile terkip edersek uzaklıklar küpleri arasındaki oranı 1/125 olarak buluruz. (Kepler'in zamanında Jüpiterin güneşten olan uzaklığı arzın güneşten olan uzaklığının kabaca 5 katı idi) Periotları arasındaki orana gelince bu da 1/144 tür. (Jüpiterin yörüngesi üzerindeki periodu arzın periodunun 12 katıdır.) O devirde Jüpiterin güneşten olan uzaklığı ve yörüngesi üzerindeki perioduna ait bilgiler pek noksan olduğundan elde edilen sonuçlar da biraz farklı oluyordu, fakat Kepler, kanunlarının mutlak surette doğru olduğuna inanmıştı.

Arz-Güneş uzaklığı ile arzın güneş etrafındaki periodunu

1 olarak kabul edersek bugünkü bilgilere göre gezegenler için aşağıdaki cetvelde verilen değerleri elde ederiz.

Cetvel 1

Gezegen	Yarı büyük eksen, a	Yörünge Periodu, T	a^3	T^2
Merkür	0,387	0,241	0,058	0,058
Venüs	0,723	0,615	0,378	0,378
Yer.....	1,000	1,000	1,000	1,000
Mars	1,524	1,881	3,540	3,538
Jüpiter	5,203	11,862	140,8	140,7
Satürn	9,539	29,458	868,0	867,9

Bu cetvelden anlaşıldığına göre iki gezegenin güneşten olan ortalama uzaklıklarının küpleri arasındaki oran $(a_1/a_2)^3$ ın periotları olan T_1 ile T_2 nin kareleri arasındaki T_1^2/T_2^2 oranının hemen hemen birbirine eşit olduğu görülür. Aradaki küçük farkın sebebini ileride bildireceğiz.

Kepler, keşfetmiş olduğu kanunlara dayanarak yorulmak bilmez bir gayretle meydana getirmiş olduğu cedveller vasıtasiyle herhangi bir gezegenin herhangi bir anda gökte nerede bulunabileceğini de evvelden taktir edebiliyordu. 1627 yılında yayınlanan bu cedveller, bundan evvel yayınlanmış bulunan bütün cetvellerden daha iyi ve sıhhatli idi. Bu da Kepler'in bulmuş olduğu kanunların doğruluğuna bir ispat teşkil etmektedir. Kepler'in bu kanunları (Gökler Kanunu) namı ile ün salmış bulunmaktadır.

Kepler'in bulmuş olduğu kanunların bütün gezegenlere tatbik edilebileceğine inanmış olduğu noktasında da ehemmiyetle durmalıyız. Aynı kanunların Ay ile o zamanlarda bilinmekte olan Jüpiter'in 4 peyki için de tatbiki mümkün mü idi? Kepler Jüpiter ve Peyklerinin gezegenlerden olan uzaklıkları

ile dönme periotları vasıtasiyle hesap yaparak üçüncü kanununun cari olduğunu görmüştür. Kepler birinci ve ikinci kanunlarını Ay'a tatbik etmiş ise de ayın hareketlerinde izahına muktedir olamadığı karışıklıklarla karşılaşmıştır.

Kepler'in etütleri bugün TASARİ veya GEOMETRİK periot denebilen gezegen hareketine ait müşahededе ilk adımı teşkil eder. Gezegenlerin NASIL hareket ettikleri bu hareketlere ait en sıhhatli bilgiler toplanmış fakat bunların NEDEN Kepler kanunlarına göre hareket ettikleri bilinmiyordu ? Gezegenlerin güneş etrafında hareket ettiren, keza Jüpiter peykleri ile Arz peykini arzın etrafında hareket ettiren sebepler nelerdir ?

Gezegen hareketinin illeti teorisinin tekâmülüne ait kaynaklar —Güneş sisteminin dinamiği— şu üç büyük isme bağlıdır : Kopernik, Kepler ve Galile.

3. GENEL ÇEKİM KANUNUNUN KEŞFİ

Serbest bırakılan cisimlerin yerçekimi dolayısiyle arza doğru düştüklerini hepimiz biliriz. Bu cisimleri düşüren sebep nedir ?

Bu olayı eski Grek'ler ağır cisimlerin (Arzın merkezi olan) kâinat merkezine varmak için hareket ettikleri tarzında izah etmekteydiler. Bu özeliğe (ağırlık) (veya çekim) demişlerdi. O devirlerde Arz, kâinat içerisinde müstesna bir mevki işgal ettiği için bir ağırlık yahut (Çekim) tamamen arza bağlı bir olay gibi kabul edilir, gökteki şeylerle ilgili addedilmezdi.

Fakat Kopernik'in Arzın da güneş etrafında dolaşan gezegenler gibi bir gezegen olduğunu keşfetmesi, çekim olayının yalnız arza mahsus bir keyfiyet olmayıp gökteki bütün cisimlere şamil bir olay olmasını icabettiriyordu. Arz civarında bulunan maddesel cisimler yere doğru çekiliyorlarsa, diğer gök cisimlerinin yakınlarında bulunan maddesel cisimlerin de onların yüzeylerine doğru çekilmeleri icabetmez miydi ?

Kopernik ve ondan sonra Kepler, gökteki cisimlerin çekme özeliklerine sahip olduklarını farz ve kabul etmişlerdir*. Bunlar bu özeliği Homojen cisimlerin birbirleri ile birleşmek istidadından ileri geldiğine hükmediyorlardı. Kepler ASTRONOMIA NOVA adlı kitabında şöyle yazıyor :

"Gravite (çekim) , benzer cisimlerin birbirine yapışma veya birleşme hususundaki karşılıklı istidatlarından ileri gelen bir olaydır. Arzın neresine konulursa konulsun ağır cisimler bu özelikten dolayı daima arza doğru hareket ederler. Cismin çekme alanının dışında bulunmak şartı ile birbirine yakın olan iki taş parçası düşünelim, dünyanın neresine götürülürse götürülsün bu taşlar manyetik cisimler gibi biribirlerine yaklaşırlar..."

Böylece, çekim özeliğinin başka gök cısimlerine genişletilmesinden ötürü, şimdi ortaya konulan soru, bu cisimlerin KARŞILIKLI ETKİLERİ sorusu halindeydi.

Dığer taraftan Güneş sisteminin Kopern'k tarafından keşfedilen hususiyetlerine göre sistemin merkezinde bulunan güneş, bu sisteme dahil cisimlerin hareketlerinde belirli bir rol oynamaktadır. Copernic Güneşle gezegenlerin birbirlerini çektiklerini farzederek bilhassa Güneşin gezegenler üzerinde büyük etkisi olduğunu kabul etmiştir. Güneşin gezegen hareketleri üzerindeki tesirı Kepler kanunları ile bır kere daha açıklanmıştır. Biliyoruz ki Güneş tekmil gezegenlerin eliptik yörüngelerinin odağında bulunuyordu, (Birinci kanun). Gezegenler güneşe yakın oldukları zaman daha seri hareket ediyorlar, uzak oldukları zaman ise daha yavaş hareket ediyorlardı. (İkinci kanun) Bunların periotları ile güneşten olan uzaklıkları arasında yakın bir bağ bulunduğu hakikatı ise üçüncü kanundu.

Kepler'in kendisi gezegen hareketlerinin Güneş tarafından idare edildiklerine inanıyordu. Genel çekim üzerinde iki cis-

* Bu çekim olayı hakkında daha evvel Cusa'lı N'cholas ile Leonardo da Vinci aynı mütalâada bulunmuşlardı.

min arasında (miknatıslarda olduğu gibi) bir çekim tesiri bulunduğuna dair doğru mütalaayı yürüten yine Kepler olmuştur. Ona göre genel çekim keyfiyeti gezegen hareketinde mühim rol oynamaktadır. Bu kuvvettir ki gezegenleri Güneşe bağlamaktadır. Mamafih Kepler'ın bu mütalaası tamamiyle doğru değildi. Ona göre Güneş, gezegeni bir mıknatiste olduğu gibi çekiyor ve dönme hareketinden dolayı da onu etrafında döndürüyordu.

Gezegensel çekme kuvveti ile hareketleri arasındaki münasebetin tekâmülünde sonraki adımlar, maddesel cisimlerin mekaniğinde keşfedilen hususlarla yakından ilgilidir.

İlim bu kanunlardan dolayı Galileye borçludur. Galile'nin eseri cisimlerin hareketlerine dair 2000 sene hüküm süren yanlış mütalaaları alt üst etmiş ve bugüne kadar devam ede gelen yani yürürlükte bulunan Mekaniğin temel taşını atmıştır.

Galile'den evvel hüküm süren anlama göre cisimler bir kuvvetin tesiri altında bulundukça ancak hareket edebilirler. Bu kuvvet kalktığı zaman cisimlerin hareket edemiyecekleri kanaati o devirde hüküm sürmekte idi. Bu görüş tecrübelerimize uygun olması dolayısiyle yüzyıllarca itiraz edilemiyen bir hakikat olarak kabul edilmiştir.

Galilenin dehası bu düşüncenin bugün için saçma olduğunu meydana çıkarmış bulunmaktadır.

Galile parlatılmış madenî kürelerle pürüzsüz eğık tahtalar üzerinde bir çok deneyler yapmıştır. Bu deneyde eğer küre yukarı doğru itilirse hareket eder, sonra durur ve daha sonra ivmeli hareketle aşağı doğru hareket eder. Galile tahtanın eğimini azalttıkça yukarı doğru itilen kürenin hareketle, bir evvelki deneye nazaran daha ileri gittiğini ve durduktan sonra daha az bir ivme ile aşağı doğru indiğini görmüştür. Tahta tamamen yatay durumda iken acaba ne olur ? Küreye hareket verilince uzun bir periot için ne pozitif ve ne de negatif ivmesi olmayarak küre uzun bir zaman için yuvarlanıp gidecektir.

Galilenin kendi ifadesi ile "bir cisim yatay bir düzlemde herhangi bir dirence maruz kalmaksızın hareket ederse bu hareket düzgün bir hareket olup, eğer düzlem mekân içerisinde sonsuza kadar devam edebilirse hareket te sonsuza kadar devam eder".

Pratikte böyle bir deneyin yapılması imkânsızdır. Çünkü nede olsa tahtadaki sürtünmenin küreyi durduracağı tabiîdir, çünki GALİLEO'NUN DEHASI burada görülüyor... O, kendini deneyden ayırıp mücerret düşünüşle cisimlerin pozitif veya negatif ivme veren başka başka kuvvetlerden doğduğuna inanmıştı. Eğer cisim kuvvetler tesiri altında bulunmazsa değişmeyen hızla yani düzgün bir hızla ve bir doğru üzerinde hareket eder. Kuvvetlerin etkisi altında bulunmayan bir cismin bu özeliğine cismin EYLEMSİZLİĞİ denilir.

Galilenin keşfi gezegen hareketlerine dair olan görüşleri tamamen değiştirmiştir. Gezegenlerin hareketlerini izah etmek için Kepler, iten bir kuvvete lüzûm görmüştür.

Gezegenlerin ataletleri dolayısiyle hareket ettikleri kabul edildiğine göre böyle bir kuvvetede lüzûm kalmamıştı. Gezegenler üzerine tesir eden kuvvetler bunların hareketlerine ait hakikatları izah etmek değil, sadece hareketin özeliklerini bildiriyor ve bu da gezegen hareketleri ile çekim arasındaki münasebetleri sıhhatle anlamak hususuna yaklaştırmış oluyordu.

1666 da İtalyan alimi Borelli Gravitasyon hakkında şöyle demiştir. "bir gezegenin güneşe doğru harekete çalıştığını ve aynı zamanda dairesel hareketin de dairenin ortasındaki merkezsel cisimden uzaklaştığını farzedelim.

Birbirine karşı olan bu kuvvetler eşit olursa gezegen güneş etrafındaki hareketine devam eder".

İngiliz alimlerinden Robert Hooke daha ileri giderek 1674 de "Arzın güneş etrafındaki hareketini müşahedelere dayanarak ispat etmek üzere bir eser yayınlamıştı. Bu eserinde :

"(İstikbalde Bir gün dünyaya ait şimdiye kadar bilinen

bir çok özeliklerden farklı olarak bir dünya sistemi kurmuş olacağım." ve "mekanik hareketlere ait sorulara müşterek kaidelerle cevap vermiş olacağım), demiştir. Bu da şu üç hipoteze dayanıyordu. Birincisi, bütün gök cisimleri ne olursa olsun kendi merkezlerine doğru bir çekme kuvveti tesiri altındadırlar. İkincisi ise : cisimler her ne olursa olsun bir doğru üzerinde ileriye doğru hareketlerine devam edeceklerdir taki başka kuvvetlerin tesiri altında hareketlerini değiştirerek bir daire veya elips veya daha karışık bir eğri üzerinde hareket etsinler. Üçüncü hipotez ise şu idi. Merkeze daha yakın olan cisimlerin diğerlerine nazaran daha kuvvetle çekildikleri nazariyesi idi.

Borelli ve Hooke şimdi hakikate daha çok yaklaşmış oluyorlardı, fakat fikirleri daha ziyade tasavvurdan ibaretti.

Asıl istenilen husus gezegen hareketlerinin çekim kanunu kuvvetlerine bağlı olduğunun tam bir ispatına kaldığı ihtiyacı duyuluyor ve bu suretle gravitasyon ile bu hareketlerin müşahede edilen nizamlılıkları arasındaki münasebete teşmil ediliyordu.

Bu da Büyük İngiliz alimi İsaac Newton tarafından yapıldı. (1642-1727)

Newton Gravitasyon ve gezegen hareketlerine ait problemler üzerinde (1665-1666) gibi eski tarihlerde (bu tarihlerde Borelli ile Hooke da bunların üzerinde çalışıyorlardı) meşgul olmuşsa da bulmuş olduğu tam teorisini 1680 de bitirmiş ve bulduğu sonuçları 1687 de yayınladığı PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA (Tabiî felsefenin matematik prensipleri) adlı meşhur eserinde, gerek yer yüzünde ve gerekse gökteki hareket sahasında kendinden evvel yapılan keşifleri bir tek ifade ile hülâsa etmiş ve mekaniğin temel taşını teşkil eden maruf kanunlarını vazetmiştir. Bu da teknik bir ilmin teorik esaslarından birini teşkil eder.

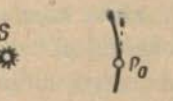
Newton'un eylemsizlik kanunu denilen birinci kanununa

göre bir cisim, dışardan etki eden kuvvetler bulunmadıkça, ya durur veya bir doğru üzerinde hareket eder. İkinci kanununa göre bir cisme etki eden kuvvet ile husule gelen ivme arasında yakın bağ vardır. Bu kanuna göre cismin almış olduğu γ ivmesi etki eden F kuvveti ile doğru, ve kütlesi ile ters orantılıdır, yani matematik deyimle :

$$\gamma = F/m$$

şeklinde ifade edilir.

Bu kanunda ilk defa olarak Newton'un ortaya koymuş olduğu bir KÜTLE mefhumu ile karşılaşmış oluyoruz. Newton kütleyi, cismin havi olduğu madde miktarının ölçüsü olarak kabul etmiştir.



Şekil 18. Güneş çek.mi yüzünden bir gezegen izinden nasıl ayrılır.

Newton'un üçüncü kanununa göre her etkiye karşı eşit bir tepki vardır. Bu üç kanun yer yüzündeki maddesel cisimlerin hareketlerini etüd hususunda temel teşkil eder. Newton gökteki cisimlerin hareketleri ile yerdeki cisimlerin hareketlerinin aynı esasa bağlı olacağını düşünerek bu kanunları gökteki cisimlerede tatbike kalkıştı.

Şekil 18. P gezegeni S güneşinin etrafındaki izinin küçük bir kısmını şematik olarak göstermektedir. P_0 bilinen anda gezegenin durumunu gösteriyor. Gezegen üzerine hiçbir kuvvet etki etmezse, eylemsizlik kanununa göre gezegen sabit bir hızla bir doğru üzerinde P deki hızı ile hareket edecektir. (Gezegenin hareket doğrultusu şekilde bir ok ile gösterilmiştir) Bu hareket doğrultusu bu noktadan eğriye çizilen teğet doğrultusundadır. Gezegen güneşin etkisi altında bulunduğundan dolayı Ok doğrultusundaki hareketinden ayrılmış olur. Bir gezegenin yörüngesi daima güneşe doğru bükümlüdür. Yani bir gezegenin bir doğru üzerindeki hareketinden sapması daima

güneşe doğru olur. Bu sebeple gezegene etki eden kuvvet güneşe doğru olmalıdır. Newton bir maddesel cismin bir merkez etrafındaki hareketi alanlar kanununa uygun düşerse, cismi doğru üzerindeki yolundan ayıran kuvvet genel olarak merkeze doğru değil belki sadece merkeze doğrudur*.

Gezegenlerin güneş etrafındaki hareketleri alanlar kanununa uygun düştüğünden bu gezegenler Güneşin çekme kuvvetinden dolayı onun etrafında hareket ederler. Evvelce spekülâtif mahiyette olan keyfiyetin şimdi bir hakikat olduğu anlaşılmıştır.

Bunun üzerine Newton merkezden olan uzaklığı ile çekme kuvveti arasındaki bağı veren kanunu —Bir kuvvet merkezi etrafında hareket eden bir cismin çizmiş olduğu eğrinin geometrik özeliklerine dayanarak— tâyin eden formülleri çıkarmağa başladı. O sonuçlarını bir cisme, üzerinde hareket ettiği eğrinin bir doğrudan fazla ayrıldığı yani (eğrilik büyük oldukça) merkezin çekme kuvvetinin büyük olacağı kanaatine istinat ettirmişti. Newton'un hesaplarına göre maddesel bir cismin çizmiş olduğu eğri (odaklarından birinde çekme merkezi bulunan) bir elips ise, merkezden çekme kuvveti, uzaklığın karesi ile orantılı olarak azalacaktır.

Kepler'in birinci kanununa göre her gezegen, odakların birinde güneş bulunan bir elips üzerinde hareket eder. Binaenaleyh güneşin bir gezegene tatbik ettiği kuvvet gezegenin güneşten olan uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Kepler'in gezegen geometrisinden işe başlıyarak, Newton gezegenin güneşten olan uzaklığının karesi ile ters orantılı olan bir kuvvet etkisi altında hareket ettiğini ispata muktedir olmuştur. Şimdi güneş etrafındaki hareketi böylece izah eden Newton, Gezegenlerin peyklerinin de böyle bir kuvvet altında hareket etmeleri lâzım geldiğini düşündü. Netekim peyklerin de gezegenlerinden

* Newton'un bu ve öbür teoremlerin'n etraflı ve kesin bir ispatı kitabın Ek bölümünde verilmiştir.

olan uzaklıklarının karesi ile ters orantılı olarak bir kuvvet etkisi altında hareket ettikleri anlaşıldı.

Newton bu problem üzerinde çalıştığı sırada, 1665 ile 1684 yılları arasında Jüpiterin 4 peyki Galile tarafından ve Satürnün 5 peyki de Huygens ve Cassini tarafından keşfedilmişlerdi. Jüpiterin peyklerinın hareketleri üzerindeki rasatlar, bu peyklerin merkezlerinde Jüpiter bulunmak üzere daireler üzerinde sabit hızla hareket ettiklerini göstermiştir. Bu peyklerin hareketleri (Muhtelif peyklerin periotlarının karelerinin, gezegenden olan uzaklıklarının küpleri ile orantılı oldukları) nı bildiren Kepler'in üçüncü kanununa tamamen uygun düşüyordu. Bu oranın Satürn'ün peykleri için de cari olduğu anlaşıldı*.

Daire üzerinde sabit bir hızla ve aşikâr bir surette alanlar kanununa uygun düştüğüne göre Newton'un teoremlerinden Jüpiter ile Satürn'ün peyklerini bir doğru izden daima ayırıp daireler üzerinde harekete mecbur kılan kuvvetlerin Jüpiter ve Satürn'e doğru olduğu sonucuna varıldı. Newton, bir kuvvet merkezi etrafında daireler üzerinde (Keplerin üçüncü kanununa göre) hareket eden maddesel cisimlerin merkezlerinden uzaklıklarının karesi ile ters orantılı bir kuvvet etkisi altında haretek ettiklerine dair basit bir teorem ispatladı. Buradan anlaşıldığına göre Jüpiter ile Satürn'ün peykleri gezegenlerden olan mesafenin karesi ile ters orantılı bir kuvvetle çekilmektedirler.

Newton, güneş sistemindeki cisimlerin hareketlerinin çekme kuvvetinden ileri geldiğini ciddî bir şekilde ispat etmiştir.

Fakat hepsi bu kadar değildi Newton'un keşfetmiş olduğu çekim kanununun direkt bir ispatı daha vardı. Ne yolda düşün-

* Hakikatte Jüpiter ile Satürnün peykleri daireler üzerinde değildi. Dışmerkezlikleri küçük olan elipsler üzerinde hareket etmekteydiler (o zamanki rasatlar bu yörüngelerin elips olduğunu takdire müsait değildi. Mamafih bu husus onların Kepler kanununa uygun düşmelerine koymaz).

düğüne bakalım. Bir kuvvet merkezinden mesafenin karesi ile ters rantılı bir kuvvetle çekilmek suretiyle hareket eden maddesel bir cismi ele alalım. Bu cismin hareketinde ne gibi nizamlar göreceğiz.

Newton şu teoremi ispatladı : bir cisim bir kuvvet merkezi etkisi altında hareket ederse, bu hareket, alanlar kanununa uygun düşmelidir. Çekme kuvveti mesafenin karesi ile orantılı olarak azalırsa, cisim şu eğrilerden biri üzerinde hareket eder. Elips (dairenin hususî bir hali), Parabol veya Hiperbol.

Muhtelif maddesel cisimler bir kuvvet merkezi etrafında muhtelif elipsler üzerinde hareket ederlerse, merkeze doğru olan kuvvet, merkezden olan uzaklığın karesi ile ters orantılı olan bir kuvvettir. Periotların karesi de elips'in yarı büyük ekseninin kübü ile orantılıdır.

Hülâsa ederek diyebiliriz ki, gezegen çekim etkisi altında hareket ediyorsa Keplerin 3 kanunu da cari olmalıdır. Bu kanunlar rasatlara dayanılarak meydana çıkarılmış olmalarından dolayı Newton'nun düşünce tarzı, çekim kuvvetlerinin varlığına dair endirekt bir ispat olmuştur. Fakat Newton sadece Kepler kanunlarından güneşle gezegenler arasındaki çekme kuvvetlerinin varlığını ispat etmekle kalmadı. O, sadece gökteki cisimlerin aralarında görülen çekim kuvvetini, serbest bırakılan cisimlerin yere düşmesi problemine de bağlıadı.

Newton ayrıca Ay'ın hareketlerini de etüd etti. Ayı çeken kuvvetin onun hareketine sebep olduğunu ve kuvvetin yer yüzünde gördüğümüz, serbest bırakılan cisimlerin hareketine uygun olduğunu ve bu kuvvetin arzdan mesafenin artması ile ve bu uzaklığın karesi ile orantılı olarak azaldığını da bulmuş oldu.

Galile yer yüzünde serbest bırakılan cisimlerin saniyede, saniyede 9,8 metrelik sabit bir ivme ile düştüklerini bulmuştu. Cisim hangi doğrultuda (yukarıya, aşağı veya ufukla herhangi bir açı teşkil etmek suretiyle) atılırsa atılsın daima düşey doğrultuda

bir ivmeyi haizdir. Binaenaleyh Newton'un ikinci hareket kanununa göre bütün cisimler düşey doğrultuda arzın merkezine doğru olan kuvvetlerin etkisi altındadırlar. Diğer bir deyimle bütün cisimler arzın merkezine doğru çekilirler. Cisimlerin çekimini (ağırlık) belirliyen işte bu kuvvettir. Cisimler ister yer yüzünde ister dağ tepesinde bulunsun, birer ağırlığı haizdirler. Arzın merkezi tarafından tatbik edilen bu çekme kuvvetini yer yüzünden uzaklarda durduran nedir ?. Newton bu kuvvetin ay'a kadar uzandığını düşündü. Aynı zamanda kuvvetin, Güneş, Jüpiter ve Satürn'de görüldüğü gibi uzaklığın karesi ile ters orantılı kanununa göre azalması lâzım geldiğini düşünen Newton, o devirde arz ile ay arasındaki uzaklık ve arzın yarı çapı bilindiğinden bu görüşünü hesapla kontrol etmeğe karar verdi.

Yer yüzünden veyahut arzın merkezinden 6370 kilometre uzaklıkta ivmenin değeri yaklaşık olarak saniyede, saniyede 9,8 metredir. Yer yüzünden r uzaklığındaki (yaklaşık olarak 384000 Kilometre) Ay yüzünde arzın çekiminin :

$$(384000)^2/(6370)^2=3640$$

defa azalması icabederdi. 9,8 i, 3640'a bölersek saniyede, 0,270 cm/sec lik bir ivme buluruz. Eğer aydaki ivme arz tarafından tatbik edilen çekme kuvvetinden hasıl oluyorsa, miktarının bu olması icabederdi.

Şimdi daire üzerinde hareket ettiğini farzettiğimiz ayın haiz olduğu ivmeyi, yaklaşık olarak hesaplayalım. Bir daire üzerinde sabit hızla hareket eden bir cismin merkeze doğru ivmesi γ ile gösterilirse :

$$\gamma=v^2/r$$

olur ki, burada v ayın yörüngesindeki hızı, ve r de arzla ay merkezleri arasındaki uzaklıktır. Ay'ın yörüngesindeki hızı

$2\pi r/T$ ile verilir ki, T ayın yörünge periodu olup 27,33 gündür.

Bu suretle formülden : $\gamma = 1{,}02$ km/sec Bunun karesini alarak r ye bölersek :

$$a = 0{,}271 \text{ cm/sec}^2$$

olur. O halde Ay'ın bilfiil haiz olduğu ivme arzın hasıl etmiş olduğu ivmeye yaklaşık olarak eşittir. Bu 0,270 ile 0,271 sayıları arasındaki uygunluk ayın yörüngesinin tam daire olmayıp bir elips olduğu düşünülürse büsbütün artar. Binaenaleyh yer yüzündeki ağırlık ve ayın hareketinin her ikisi de arzın tatbik ettiği çekme kuvvetinden ileri gelmektedir.

Arzın bütün maddesel cisimlere tatbik ettiği bu kuvvet merkezden olan uzaklıklar ile ters orantılıdır. Binaenaleyh yer yüzündeki ağırlık, bu gezegenin üzerindeki cisimlere tatbik ettiği kuvvetden ibarettir.

Newton aşağıdaki tarzda düşünerek şu sonuça varıyor. Arzın etrafında Jüpiter ve Satürn'de olduğu gibi bir takım peyklerin bulunduğunu farzedelim. Bunları yörüngelerinde tutan çekme kuvveti arz merkezinden olan uzaklığın karesi ile ters orantılı olacaktır. Bunlardan arza en yakın olanı, yer yüzündeki en yüksek dağa dokunacak derecede yakın ise bunu arza bağlıyan kuvvet, arzın aya tatbik ettiği kuvvetin 3640 katı kadardır, bu peykin ivmesi yaklaşık olarak :

$$0{,}270 \times 3640 \text{ cm/sec}^2 = 9{,}8 \text{ m/sec}^2$$

olur. Bütün maddesel cisimler gibi arzın merkesine doğru saniyede, saniyede 9,8 metrelik ivmeye tekabül eden bir ağırlığa sahip olmalarıdır.

Eğer çekim kuvveti bu peyki yörüngesinde tutan kuvvetten fazla olursa ivmesi de iki ivmenin, (biri çekim kuvvetinden, diğeri peykin hareketini idare eden kuvvetten ileri gelen) toplamına eşit olması icabederdi, diğer bir deyimle :

$$9{,}8+9{,}8=19{,}6 \text{ m/sec}^2$$

olmuş olurdu.

Arzın her yerinde, düşen cisimlerin ivmesi saniyede, saniyede 19,6 m olmadığından ayı yörüngesinde tutan kuvvetin yer yüzündeki ağırlık dediğimiz kuvvetten gayrı bir şey olmaması icabeder. Jüpiter peyklerinin kendi gezegeni etrafında, Satürn peyklerinin kendi gezegeni etrafında ve ayın arz etrafındaki hareketi, hep aynı mahiyette olduğu yukarıdaki satırlardan anlaşılmaktadır. Bütün gezegenler ve peyklerinin hareketleri, etrafında döndükleri cisimlerin merkezlerine doğru olan kuvvetin etkisi altındadırlar. Bu kuvvet Güneş, Jüpiter, Satürn veya arzın merkezlerinden uzaklaştıkça mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır. Binaenaleyh bu cisimler, diğer gök cisimlerinin çekme özeliğine sahiptirler.

Yer yüzünde bu çekme kuvvetine ağırlık diyoruz. Bundan anlaşıldığına göre Güneş, Jüpiter, Satürn, Venüs, Mars ve Merkür'ün de ağırlık dediğimiz aynı özeliğe sahip olmaları icabeder.

Newton'nun üçüncü kanunundan çekme kuvvetinin mütekabil bir özelik taşıması lâzımdır. Bu sebepten Güneş her gezegeni nasıl kendine çekiyorsa herbir gezegen de güneşi kendisine çeker. Nasıl ki arz ay'ı kendine çekiyorsa ay da aynı veçhile arzı kendisine çekmektedir. Bu keyfiyet gravitasyon özeliğinin yalnız gökteki cisimlere ait olmayıp, genel olarak bütün maddesel cisimlere, bu cisimleri meydana getiren tekmil maddesel noktalara tatbik edileceğini göstermektedir.

Çekme kuvvetinin miktarı neye bağlıdır ?. Bu kuvvetin birbirini çeken cisimler arasındaki uzaklığın artması ile azaldığını biliyoruz, fakat bu kuvvetin miktarını değiştiren başka bir şey var mıdır ?.

Newton gravitasyon kuvvetinin, cismin kütlesi ile ilgisi olduğunu ispat etmiştir. Kütle büyüdükçe cismin diğer cisimlere tatbik ettiği kuvvet te büyümektedir.

Deneylerle anlaşıldığına göre arzın, yüzündeki bütün cisimlere tatbik ettiği kuvvetin cisimlerde hasıl ettiği ivme aynı olup yaklaşık olarak 9,8 metre saniye karedir. Newton'-nun ikinci hareket kanununa göre γ ivmesi $\gamma = F/m$ dir. O halde ivme sabit ise, cisme tatbik edilen çekme kuvveti cismin kütlesi ile orantılı olup, kütle büyüdükçe büyür, küçüldükçe azalır. Yahut davamızı şu şekilde de izah edebiliriz.

Arzın çekme kuvveti cismin ağırlığını tayin eder ki bu da cismin havi olduğu madde miktarı ile değişir. Binaenaleyh çekme kuvveti, cisimlerin kütleleri ile orantılıdır.

Çekme kuvveti, çeken cismin kütlesi ile orantılı oluyor, o halde kütleleri m_A, m_B, m_C olan A, B, C gibi 3 cismi ele alırsak, A cismi B ve C cisimlerini kütleleri ile orantılı olarak çekeceğinden,

$$\frac{F_{AB}}{F_{AC}} = \frac{m_B}{m_C}$$

Fakat Newtonun üçüncü hareket kanununa göre bir cisim diğer bir cismi bir kuvvetle çekerse, ikinci cisim de birincisini aynı kuvvetle çeker. Binaenaleyh B, C cisimleri de A cismini F_{AB} ve F_{AC} ye eşit olarak ve bu cisimlerin kütleleriyle orantılı olan bir kuvvetle çeker.

Bu sebepten çekme kuvvetleri çeken cisimlerin kütleleri ile orantılıdır.

Bu yoldan giderek Newton EVRENSEL ÇEKİM KANUNU denilen şu neticeye varmıştır :

Her maddesel nokta diğer nmaddesel noktayı kütleleriyle doğru ve aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak çeker.

Matematik bakımından bu kanun şu suretle ifade edilebilir. Maddesel cisimlerin kütlelerini m_1, m_2 ve aralarındaki uzaklığı r ile gösterirsek F çekim kuvveti :

$$F = f m_1 m_2 / r^2$$

formülü ile verilir, f sayısına çekim sabitesi denilir ve bütün maddesel noktalar için aynıdır. Zamanımızda bu sabite kâfi derecede ve yüksek sıhhat derecesi ile ölçülmüştür. Güneşin kütlesini bir birim olarak ele alırsak aynı zamanda güneş gününü ve arz ile güneş arasındaki mesafeyi de bir birim olarak kabul edersek : $f=0{,}000295912$ olur.

(*C.G.S*) yani (santimetre, gram, saniye) sisteminde f in değeri : $6{,}67\times10^{-8}$ dur. Burada doğruluk derecesi $0{,}01\times10^{-8}$, muhtemel olan hata miktarı $0{,}005\times10^{-8}$ dır.

4. MUHTELİF ŞEKİLDEKİ MADDESEL CİSİMLERİN ÇEKİMLERİ

Maddesel noktalar için uzaklığın karasi ile ters orantılı kanun Newton tarafından formüle edilmişti. Fakat Güneş, Ay, gezegenler gibi gök cisimleri maddesel noktalar değillerdir. Burada şu soru karşısında kalacağımız tabiîdir.

Bu cisimlerin hareketlerini Newton kanunlarını tatbik ederek etüd edebilir miyiz ? Maddî cisimlerin çekimlerinin uzaklıkla ne şekilde değiştiğini hangi kanun ifade eder. Biz boyutları arasındaki uzaklığa nazaran çok küçük olan A ve B gibi iki maddesel cismi gözden geçirelim. A, B cisimlerini "noktalar" diyebileceğimiz bir takım küçük parçalara ayırdığımızı tasavvur edelim. Noktalar yekdiğerini Newton kanununa uygun olarak çekeceklerdir. A ile B nin arasındaki çekim, bunları teşkil eden ayrı ayrı noktaların toplam çekimlerinden ibarettir. Fakat A cisminin noktaları B cisminden pratik olarak eşit uzaklıkdadırlar. Binaenaleyh bu cisimler arasındaki çekme kuvveti cisimler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Böylelikle Newton kanunu boyutları, aralarındaki uzaklığa

nazaran pek küçük olan maddesel cisimler için de caridir. Mekanikte bu cisimlere MADDESEL NOKTALAR denilir.

Maddesel noktalar terimi, bazen boyutları çok küçük olan cisimleri kastetmek içinde kullanılır. Mamafih bazı hallerde güneş ve gezegenler de maddesel nokta olarak kabul edilebilir.

Gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketlerine bir bakalım. Gezegenlerin güneşten olan uzaklıkları, kütlelerine nazaran çok daha büyüktür. Meselâ : (Güneşle Arz arasındaki uzaklık yaklaşık olarak Güneş çapının 1000 katı, arz çapının 10000 katı kadardır.) bunları birbirini çeken nokta addetmekle büyük hata işlenmiş olur.

Mamafih bu hallerin her birinde birbirini çeken cisimler arasındaki uzaklıklar pek büyüktür.

Misâl olarak arzın yüzüne yakın yerlerdeki maddesel cisimlere tatbik ettiği kuvveti gözden geçirelim. Bu halde arz ile cisim arasındaki uzaklık mefhumu, cisim ile yer yüzü arasındaki uzaklık veyahut cismin arz merkezinden olan uzaklığı.. ilâ gibi bir takım uzaklık mefhumları ile karşılaşmış olur.

Arzı, kütleleri eşit olan bir çok küçük noktalara böldüğümüzü farzedersek bu noktalar o cismi başka başka kuvvetlerle çekerler. O halde arzın her noktası, cisimler arasındaki çekme kuvveti uzaklığın karesi ile ters orantılı kanununa bağlı ise, toplam çekme kuvveti için hangi kuvvet uygun gelecektir ?

Yer yüzündeki çekim kuvveti ile, ay'ı arza bağlıyan çekim kuvveti arasında bir mukayese yaparsak, arzın, yüzüne yakın maddesel cisimleri ve daha uzaklardaki cisimleri de arzın merkezinden olan uzaklığın karesi ile ters orantılı bir kuvvetle çektiğini düşünmüş oluruz. Burada bir tezad görülmüyor mu ?. Bu problem ilk defa olarak Newton tarafından ortaya atılmış ve çözülmüştür. Newton bir biçim kürenin yine noktalardan mürekkep diğer bir küreyi sanki merkezlerinde toplanmış tek bir maddesel cisim gibi, mesafenin karesi ile ters orantılı kanuna göre birbirlerini çekeceklerine dair bir teoremi ispat etmişti.

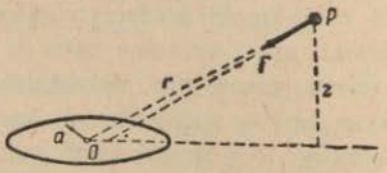
(İspat için eke bakınız). Bu dikkate şayan teorem yalnız bir biçim küreye değil, herbir noktasının yoğunluğu, merkezden olan uzaklığa göre değişen bir küre için de caridir.

Bu teorem yaklaşık küre şeklinde bulunmalarından dolayı, Güneş, Arz ve diğer gezegenlere de aynen tatbik edilir. Buna göre güneşle gezegenler, birer maddesel noktalar gibi iki sebepten birbirlerini çekerler :

1) Aralarındaki uzaklıklar bunların büyüklüklerine nazaran çok daha fazladır.

2) Bunlar yaklaşık olarak küre şeklindedirler.

Bütün cisimlerin şekillerinin küresel olmaması ve aralarındaki uzaklığın, büyüklüklerine nazaran çok büyük olmaması tabiîdir.



Şekil 19. Halkanın *P* noktasına tatbik ettiği çekme kuvveti *O* merkezinden geçmez

Bu iki sebep bazı yerlerde cari olmayabilir. Bu gibi cisimler ve uzaklıklar için bu kanun daha karışık bir şekil alır.

(Şekil 19) daki bir *P* noktasının kütlesi *M* ve yarı çapı *a*, kalınlığı da yarı çapına nazaran çok küçük olan maddesel bir halka tarafından çekildiğini düşünelim. *P* noktası halkanın *O* merkezinden *r* uzaklığında ve halkanın düzleminden *z* uzaklığında bulunduğunu farzedelim. Halkanın *P* ye en yakın olan noktaları, uzakta olan noktalara nazaran daha büyük kuvvetle çekerler. Sonuç olarak halkanın çekim kuvveti merkezinden geçmeyip, *P* ye yakın olan yarısına doğru kaymış

olur. F kuvvetinin miktarını bulmak için halkayı pek küçük elemanter parçacıklara bölelim. Bunların herbiri P noktasını Newton kanununa göre çekeceklerdir. Bu elemanter kuvvetlerin hepsini toplayarak bütün halkanın çekme kuvvetini bulabiliriz.

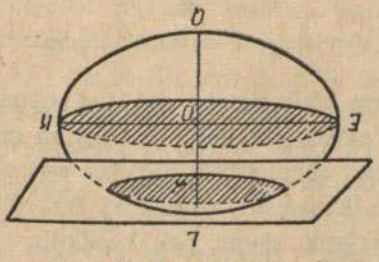
Kalitatif olarak yapılan hesapla bir birim kütleyi haiz olan P noktasının tatbik ettiği çekme kuvveti, yaklaşık olarak aşağıdaki denklemle gösterilmiştir.

$$F=fM\left(\frac{1}{r^2}+\frac{3}{4}\frac{a^2}{r^4}-\frac{9}{4}\frac{a^2z^2}{r^6}\right)$$

Bu denklemde görüldüğüne göre bir halkanın, merkezi O da bulunan aynı kütledeki bir küreye nazaran çekme kuvveti arasındaki fark, şu denklemle ifade olunur :

$$fM\left(\frac{3}{4}\frac{a^2}{r^4}-\frac{9}{4}\frac{a^2z^2}{r^6}\right)$$

Bu da r uzaklığı ve P noktasının halka düzlemine nazaran durumu ile karışık tarzda değişir.



Şekil 20. Dönel bir elipsoit

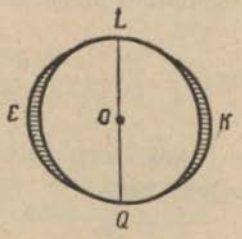
Küçük ekseni etrafında döndürülen bir elipsin meydana getirdiği DÖNEL ELİPSOİT şeklindeki bir cismin çekme kanunu özel bir ilgi taşır. Şekil 20 de şematik olarak gösterilen

şekilde OL uzaklığı OE uzaklığından küçüktür. LQ eksenini kesen düzlem yarı eksenleri OL ve OE olan bir elips meydana getirdiği halde LQ yu dik olarak kesen herhangi bir düzlem bir daire meydana getirir. LQ eksenine elipsodin DÖNME ekseni, EK kesidine EKVATORYAL kesit, OE yarı çapına EKVATORYAL yarı çap, OL uzaklığına da KUTUPSAL yarı çap denilir.

$$\frac{OE - OL}{OE}$$

kemiyetine elipsoidin BASIKLIĞI denilir. basıklığı küçük olan (Bir küreden pek az farklı) bir elipsoide ekseriya SFEROİD denilmektedir.

Bir düzgün küre ile yarı çapı OL olan bir düzgün sferoit



Şekil 21. Bir sferoidin artık kütlesi, ekvatorunda toplanmış olur

mukayese edilirse kütle fazlalığı ekvator boyunca toplanmıştır. (Şekil 21.) Bu ekvatoryal kütle fazlalığının çekimi, bir halka çekimine benzer. Binaenaleyh kütleleri eşit olan bir küre ile sferoitin çekme kuvvetleri arasındaki fark küre ve halkada olduğu gibi yaklaşık olarak pek küçüktür. Çekme kuvveti sferoid merkezinden olan uzaklığın karesi ile ters orantılı değildir. Tam merkezden geçmeyip sferoidi çeken noktaya en yakın ekvatoryal kesidinin yarısına doğru kaymıştır. Sferoidin dönme eksenine nazaran simetrik olmasından dolayı çekme kuvvetinin bu eksenden geçtiği doğrudur.

Bir homogen sferoidin çekme kuvvetine ait ifadeyi bulmak mümkündür. Kütlesi $m = 1$ bir nokta, sferoit merkezinden a ekvatoryal yarı çapına nazaran çok büyük olan r uzaklığında ise yaklaşık olarak :

$$F = fM\left[\frac{1}{r^2} + \left(\frac{3}{5}\frac{a^2}{r^4} - \frac{9}{5}\frac{a^2 z^2}{r^6}\right)\varepsilon\right]$$

formülü ile verilir ki burada (ε) sferoidin basıklığı, M kütlesi, a ekvatoryal yarı çapı ve z de noktanın sferoit ekvatoryal düzleminden olan uzaklığıdır.

Sferoidin çekme kuvveti ile kütlesi aynı olan kürenin çekme kuvveti, arasındaki fark şudur :

$$F' = fM\left(\frac{3}{5}\frac{a^2}{r^4} - \frac{9}{5}\frac{a^2 z^2}{r^6}\right)\varepsilon$$

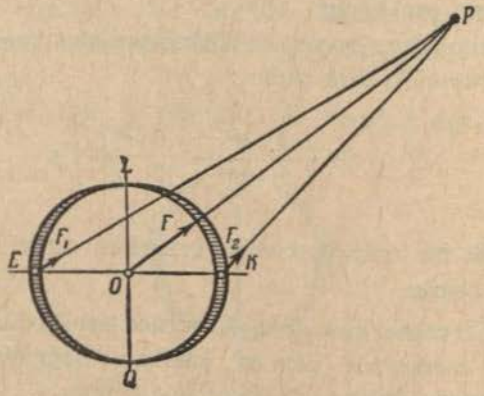
Bu ifade bir halka ile kürenin çekme kuvvetleri arasındaki farka pek benzer.

Sferoidin çekme kuvveti ile (Kendisine tatbik edilen kuvvet) çizgilerinin merkezden geçmesi hakikatı aşağıdaki mühim sonuçlara sebep olur.

Bir sferoide bir F kuvveti tatbik eden bir maddesel P noktası bu sferoide yalnız ÖTELEME hareketi (Sferoidin O merkezinin hareketini tayin eden) vermekle kalmayıp sferoidin dönme ekseni etrafında (LQ) dönmesine de sebep olur. Bu keyfiyet Şekil 22 de açık olarak görülüyor. P noktası hem sferoidi ve hemde ekvatoryal şişkinliği çekmektedir. Fakat sferoidin yakın parçasının çekimi, $PK < PE$ olduğundan dolayı daha uzaktaki parçasının çekiminden büyüktür. P maddesel noktası sferoidin merkezinden çekerek ona öteleme hareketi vermekle kalmayıp, EK ekvatoryal düzleminin OP doğrultusunda dönmesine sebep olur.

Bir halka ile bir sferoidin çekme kuvvetine ait ifadeyi, göz önünde bulundurarak, çeken nokta uzaklaştıkça yani a/r oranı küçüldükçe, bu cisimlerle kürenin çekme kuvvetinin azalacağını söyleyebiliriz. Eğer r, a ya nazaran pek büyük ise halka ile sferoidin tatbik ettikleri kuvvet, kürenin tatbik ettiği kuvvetlerle yaklaşık olarak çakışırlar.

Görüldüğü gibi bu keyfiyet herhangi bir şekildeki cisimler için de caridir, pek büyük uzaklıklarda, bunların hepsi küreler gibi çekerler veya çekilirler. Daha ince söylemek lâzım gelirse



Şekil 22. Bir sferoidin çekimi

kütleleri aynı ve cismin ağırlık merkezinde toplanmış maddesel noktalar gibi çekerler (veya çekilirler).

Elipsoitlerin çekimine ait yukarıda fazla tafsilâta girişilmesinin sebebi Arz ve diğer gezegenlerin şöyle böyle BASIK sferoid şeklinde olmalarındandır.

Meselâ arzın kutup yarı çapı, Ekvator yarı çapından 21 kilometre kadar küçüktür*, Jüpiter için bu fark 9500 kilometre

* Arzın ekvatordaki yarıçapı bir kilometre yaklaşıklıkla 6378 km, kutuptaki yarıçapı 6357 km dir.

kadardır. Arzın basıklık oranının miktarı 1/297, Jüpiterin 1/16 dır. Güneş sisteminde bulunan diğer gezegenlerden en büyüğü olanı ise Satürn'e ait olup takriben 1/11 dir.

Gezegen basıklıklarının, Güneş sistemi üzerindeki tesirleri pek küçüktür. Arz kütlesini haiz olan bir küreye güneşin yapmış olduğu çekme kuvveti ile, bilfiil arza tatbik ettiği çekme kuvveti arasındaki fark 150 000 000 000 da birdir.

Binaenaleyh gezegenlerin, Güneş etrafındaki hareketini izlerken gezegenlerin basıklıklarını ihmâl edebiliriz. (Yani bu cisimleri maddesel bir nokta gibi farz ederiz). Mamafi bir çok problemlerde küre şeklindeki bu ayrılığı hesaba katmak icabetmektedir.

5. YER YÜZÜNDE MADDESEL CİSİMLER ARASINDAKİ ÇEKME KUVVETİNİN DENEYSEL TAYİNİ

Maddesel noktalar arasındaki çekme kuvveti, evvelâ gökteki cisimlerde görüldü. Fakat Newton'un çekme kuvvetleri

Şekil 23. Bir şakul yuvarlağının dağ yakınında sapması

hakkındaki kanunları, cisimler nerede bulunursa bulunsun caridir. Binaenaleyh yer yüzündeki cisimler için de bu kanun caridir.

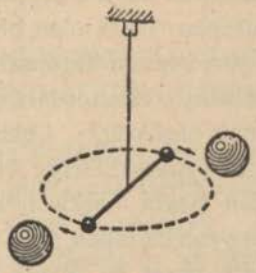
Bu keyfiyet Newton'un kanununu vazettiği tarihten 50 yıl sonra, yani 18 inci yüz yılda tahakkuk etmiştir. 1735-38 yılları arasında Güney Amerika'da yapılan bilimsel bir araştırma seferine iştirak eden Fransız alimi Bouguer ve Condamine'nin

dağlarda asılı sarkaç (şakul) toparlaklarının dağa doğru meyletmeleri dikkatlerini çekmiştir. 1774 te İngiliz âlimlerinden Maskelyne sarkaç yuvarlağının şakuldan sapması üzerinde çok dakik ölçüler yapmıştır. Iskoçyadaki, Perthshire vilayetindeki Schiehallion dağ sisilesinin her iki tarafında yapılan deneylerde, sarkaç ipinin kabaca sapmalarının, 24 saniye kadar farklı olduğunu bulmuştur ki, bu dağa sarkaç yuvarlağının yapmış olduğu çekme doğrultusuhun 12 saniye kadar olduğunu gösterir.

Bir sarkaç ipinin düşey durumdan 12 saniye ayrılabilmesi için sarkaç topuna tatbiki lâzım gelen kuvveti bulmak kolaydır. Bu kuvveti sarkaç topunun ağırlığı ile karşılaştırarak, dağın çekme kuvveti ile arzın çekme kuvveti arasındaki oranı da bulabiliriz, dağın boyutlarıyla ortalama yoğunluğunu bilirsek dağın kütlesini ve buradan arzın kütlesini hesaplarız (gram veya ton olarak), dağ kütlesinin sıhhatle tayin edilememesinden dolayı, bu yoldan bulunan arzın kütlesi de yaklaşık olarak doğrudur. İngiliz âlimlerinden HENRY CAVENDISH 1798 yılında yapmış olduğu deneyle sarkaç yerine küçük bir kurşun top ve dağ yerine de büyük bir kurşun top kullanmıştır. Bu topların kütleleri evvelce sıhatle tayin edilmiş bulunuyordu. İngiliz âlimi bu deneyde bükülme terazisi denilen bir terazi kullanmıştır. Bu cihaz, uçlarına ince ipliklerle asılmış kurşun toplar bulunan yatay bir koldan ibarettir. Şekil 24. Eğer ağır kurşun toplar, küçük toplara yaklaştırılırsa bunların büyük toplar tarafından çekildikleri görülür. Bu esnada topların asılı bulunduğu çubuk ta döner. Küçük toplara tatbik edilen kuvvet döndürme momentlerinden bulunur. Bu kuvveti topların ağırlıkları ile kıyas ederek, yani arzın toplara tatbik ettiği çekme kuvveti ile kıyas ederek, arzın toplardan kaç defa ağır olduğunu bulabiliriz. Cavendish arzın kütlesini 6×10^{27} gram (6×10^{21} ton) olarak bulmuştur.

O zamandanberi arzın çekme kuvveti ve kütlesinin tayini için bir çok deneyler yapılmıştır. Bu deneyler arzın kütlesi için sıhatli sonuçlar vermişlerdir. En iyi sonuç, $5{,}974 \times 10^{27}$ gramdır.

Arzın çekme kuvvetini bilmekle, herhangi maddesel cisimler arasındaki çekme kuvvetini hesaplamak mümkündür. Bir misâl olarak aralarındaki açıklık 10 cm ve herbirinin kütlesi



Şekil 24. Cavendish deneyi

bir kilogram olan iki kurşun küre arasındaki çekme kuvvetini hesaplayalım.

Farzedelim ki arzın yarı çapı 6000 kilometre veyahut 6×10^8 cm dir. İki top arasındaki çekme kuvveti, arzile bunlardan biri arasındaki çekme kuvvetine nazaran aşağıdaki oranda gösterildiği üzere :

$$\left(\frac{10}{6 \times 10^8}\right)^2 \times \frac{6 \times 10^{21}}{0.001} \approx 1\,600\,000\,000$$

kadar küçük olacaktır.

Arz bu topları bir kilogramlık bir kuvvetle çeker. Buna karşı topların aralarındaki çekme kuvveti inanılmıyacak kadar küçük olup bir gramın : 6/10 000 000 sı kadardır.

Aynı veçhile ağırlıkları 10 000 ton ve aralarındaki uzaklık 100 metre olan iki gemi, birbirlerini 60 gramlık bir kuvvetle çekeceklerdir.

Yer yüzündeki cisimler arasında, çekme kuvvetinin yukarıda bildirildiği gibi pek küçük oluşu, bizlerin bu kuvveti hissedemeyişimizin bir sebebini teşkil eder.

Mamafih çekme kuvvetinin, bizlerin günlük işlerimize etkisi olmadığını zannetmek hatalı olur. Cisimler yeryüzüne düşerken haiz oldukları ivme her yerde aynı değildir. Bu ivme arzın merkezi ile cisimlerin bu merkezden olan uzaklıklarına göre değişir. Arz kutupları basık olan bir sferoid olmasından dolayı ve ekvatoryal yarı çapının kutupsal yarı çapına nazaran daha büyük olması sebebiyle ekvatordaki çekme ivmesi, kutuplardakine nazaran biraz düşüktür*. Çekim ivmesi deniz seviyesine nazaran muhtelif yüksekliklerde ölçülebilir. Enlem ve boylamları farklı olan başka başka noktalardaki, ivmelerin ölçülmesi, bunların arz merkezinden olan mesafelerine nazaran nasıl değiştiklerini bize gayet iyi olarak gösterir. Böylelikle arzın tam şeklini bulmak ta imkân dahiline girmiş olur.

Mamafih deniz seviyesinden olan yüksekliği, ve arzın şekli ile müterafik değişmeleri hesaba katarak muhtelif yerlerde bulduğumuz ivmelerin yine hesaba uymadığı görülür. Bunlara çekimin DÜZENSİZLİKLERİ denilir. Buna da sebep arzın yüzüne yakın tabakalarının homojen olmamasıdır. Bu tabakaların bazı yerlerinde az, bazı yerlerinde hafif kayalar bulunur. Birinci halde çekim ivmesi ortalamadan büyük olduğu halde, ikinci vaziyette daha küçüktür. Muhtelif noktalarda çekim ivmesinin farklı oluşu yeryüzünün muhtelif yoğunluktaki kayaları ihtiva etmesindendir. Arzın içine dalıp bir noktada arzın jeolojik yapısı hakkında bir fikir sahibi olabiliriz. Bu yer yüzündeki minerallerin jeolojik yapısının tahmin ve taktirine esas teşkil eder.

---

* Ekvatordaki çekme ivmesi, merkezkaç ivme etkisinden biraz daha düşüktür, bu ivme kutuplarda sıfır, ekvatorda en büyüktür.

Çekim ivmesindeki değişikliklere dayanan ilim dalına GRAVİMETRİ denilir. Bu ilmin esası, gökte elde edilen kanunun yeryüzüne ve altındaki tabakalara nasıl tesir ettiğini göstermekten ibarettir. Bu keyfiyet gökle yer yüzündeki cisimlere ait kanunların farklı olmadığını ve tabiatın bütünlüğünü göstermektedir. Öyle ki aynı kanun kâinatın her noktası için caridir.

6. —NEWTON KANUNU— GÖKTEKİ HAREKETLERİN TEORİK ESASLARI

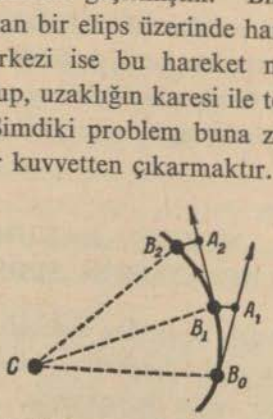
Newton tarafından keşfedilen mekanik kanunları ile çekim kanunu gezegenlerin zahirî hareketlerini izah etmekle kalmayıp, astronomiye yeni bir veçhe de vermiştir. Bu da gök mekaniğinin, gök cisimlerinin hareketlerine ait olan konusunun esasını teşkil eder.

Eskiden başlıca maksat cisimlerin mekândaki hakikî hareketlerini tayin etmek ve sonra da bu hareketleri bilfiil geometrik mefhumlarla tarif etmekten ibaretti. Bu suretle hareketlerin etütleri daha ziyade geometrik ve tasarî mahiyette addediliyordu.

Gök cisimlerinin hareketlerine hakim olan genel çekme kanununun keşfinden sonra, hareketlerin teorik esasa dayanarak etüdü tasarî mahiyetteki etüdlerin yerini aldı. Şimdi gökteki cisimlerin karşılıklı çekme kuvvetleri tesiri altındaki hareketleri teorik olarak etüd edilebilmektedir. Gök cisimlerinin geçmiş ve gelecekteki hareketleri artık benzerlik yolu ile tahmin edilmeyip matematik analizle taktir edilmektedir.

Gök cisimlerini maddesel cisimler addederek hareketlerinin mütekabil çekme kuvvetine bağlı olması problemi ilk defa Newton tarafından çözülmüştür. Newton kanunlarına göre iki cismin hareketlerine ait, basit ve fakat en esaslı olan problemlerden biri "iki cisim problemi" adı ile anılmaktadır.

Evvelki satırlarda bilinen bir hareketten kuvveti tayin etmek problemini gözden geçirmiştik. Bir cisim, odağında diğer bir cisim bulunan bir elips üzerinde hareket ederse, ve bu odak ta kuvvet merkezi ise bu hareket merkezsel kuvvetin etkisi altında vaki olup, uzaklığın karesi ile ters orantılı kanuna göre ceryan eder. Şimdiki problem buna zıt olup, bir cismin hareketini verilen bir kuvvetten çıkarmaktır. C kuvvet merke-



Şekil 25. Bir cismin izi, gravitasyon sebebiyle daima eğrileşir

zine doğru çekilen maddesel bir cismin ne suretle hareket edeceğini tayin etmeğe çalışacağız.

Şekil 25 M kütleli bir maddesel nokta gibi (Newton kanununa göre) çeken bir C kuvvet merkezi ile C kuvvet merkezi etkisi altında bulunan ve hareket eden bir B cismini göstermektedir. C nin B ye tatbik ettiği kuvvet :

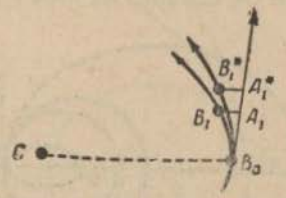
$$F = f\,\frac{M\,m}{r^2}$$

dir.

Formülde r, C ile B arasındaki uzaklığı m de B nin kütlesini gösteriyor. f ise çekim SABİTİ dir. fM kemiyetine Newton, merkezin mutlak kuvveti adını vermiştir.

Bilfarz B cismi İLK AN diyebildiğimiz t_0 anında B_0 noktasında bulunsun. Cismin sonraki hareketi, ilk andaki hızına bağlıdır. Bu v_0 İLK HIZI nın doğrultusu şekil 25 de gösterildiği gibi olsun. Eğer cisim başka bir kuvvetin etkisi altında

bulunmuyorsa, bu doğrultu da sabit hızla öteleme hareketini haiz olacaktır. Δt kadar kısa bir zaman aralığında cisim B_0A_1 üzerinde hareket etmiş olacaktır. Fakat C nin çekme kuvveti cismi bu yoldan saptırır. Bu zaman aralığında, B_0B_1 küçük yayını katetmiş olur. B_1A_1 ise doğru yoldan olan sapmayı göstermektedir. Bunun miktarı çekme kuvvetinin miktarına bağlıdır. Cismin hareketinden kuvveti tayin edebiliriz. B_0B_1 yayı ile B_1A_1 uzaklığı da bilindiğinden kuvveti bu uzaklıktan hesaplayabiliriz. Mamafi bu yeni problemde kuvvet bilindiğine göre evvela B_1A_1'i buradan da B cisminin durumunu bulma-

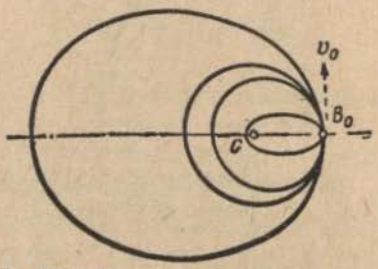


Şekil 26. İlk hız nekadar büyük olursa izin eğriliği de okadar az olur

lıyız. B cisminin ivmesi yani hızındaki değişiklik, C nin tatbik ettiği çekme kuvvetinden ileri geldiğinden ve bu kuvvet te bilindiğinde nivmeyi ve buradan da cismin B_1 e vardığı andaki hızı hesaplanabilir. Aynı yolda fikir yürütmek suretiyle sonraki Δt zaman aralığında cismin varacağı B_2 noktası da bulunabilir. Bu suretle B_1, B_2 ilâ.. noktalarını bulur ve cismin takip etmiş olduğu yörüngeyi buluruz. İlk hız değiştikçe cismin hareketinin mahiyeti de değişir.

İlk hızı v_0 dan büyük v_0^* olan bir hareketi inceleyelim. Δt zaman aralığında cisim bu (Hızla) B_0A_0 dan büyük olan $B_0A_1^*$ uzaklığını alacaktır. Şekil 26. Fakat C deki kuvvet değişmedikçe öteleme hareketinden olan sapma miktarı her iki halde de aynı kalacaktır. Bu sebepten dolayı, B_0B_1 ile $B_0B_1^*$ küçük

yayları her iki halde cismin bilfiil almış olduğu yolları göstermekte olup bu halde B_1A_1 ve $B_1^*A_1^*$ birbirine eşit olmalıdır. Bu halde şekil 26 nın gözden geçirilmesi ile ilk hızın artması yörüngenin eğriliğini azaltmaktadır. Newton göstermiştir ki, ilk hız (biz burada basit olsun diye v_0 ı B_0C ye dik olarak kabul ediyoruz) cismin bilinen durumdaki hızı, (yani B nin C den olan uzaklığı) $\sqrt{2fM/r_0}$ den büyük olmazsa (ki burada fM merkezin tatbik ettiği mutlak kuvvet, r_0 da ilk uzaklık) B cismi, bir odağı C de bulunan bir elips üzerinde hareket eder. İlk hızların küçük olması halinde elips B_0C doğrultusu boyunca çekilmiş olur. B_0 ın ilk durumu da afeli teşkil eder. Şekil 27.

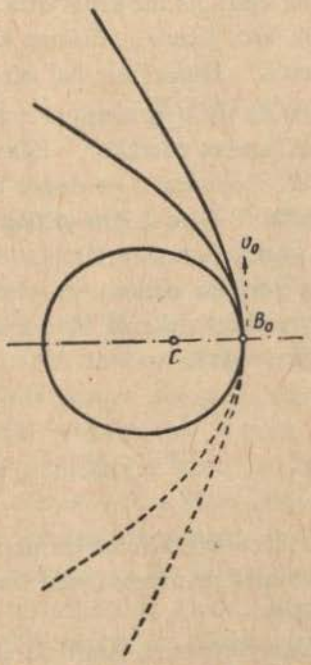


Şekil 27. Bir çekim alanında, kritik hızdan az hızla giden bir cismin yörüngesi

İlk hız arttıkça elipsin boyutları ve cismin bunun üzerindeki periodu da gittikçe artar.

Başlangıçta ilk hızın artması elipsi çekip uzatacağı yerde genişletir ve daireye yaklaştırır. v_0 ilk hızı $\sqrt{fM/r_0}$ ye eşit olduğu taktirde eğri bir daire olur. Bu hıza da dairesel hız denilir. Bundan sonra hızın artması, elipsi genişliğine azaltıp, boyunu gittikçe uzatır. Onun yarı büyük ekseni ve B nin C den olan en uzak uzaklığı gittikçe ve sür'atle artacaktır. Durum böyle olursa $v_0 = \sqrt{2fM/r_0}$ hızında eğri kapanmıyacaktır. Elipsin yarı büyük ekseni sonsuza varacak ve ilk hız o kadar

büyük olacaktır ki C merkezinin çekimi artık cismi B_0 a döndürmeğe muktedir olamayacak ve cisim C den ilelebet ayrılmış olacaktır. Newtonbu yörüngenin böylelikle bir PARABOL olacağını göstermiştir. Şekil 28 cismin C ye avdet etmiyerek sonsuza kadar uzaklaşırken üzerinde yürüdüğü parabo-



Şekil 28. Elips, Parabol ve Hiperbol

lun, şeklini gösteriyor. (Parabolun diğer kolu kesik çizgi ile gösterilmiştir) $v_0 = \sqrt{2fM/r_0}$ ilk hızına KRİTİK veya PARABOLİK ilk hız denilir. $v_0 > \sqrt{2fM/r_0}$ olursa B cisminin C ye avdet ihtimali daha da azalır. Newton bu yörüngenin HİPERBOL dediğimiz, eğri olduğunu göstermiştir. (Şekil 28 de en dıştaki çizgi). v_0 ilk hızı arttıkça Hiperbolün eğriliği daha az

olacak ve hızı artmış olan B, C den büsbütün ayrılmış olacaktır.

Netice olarak diyebiliriz ki, B cisminin bir çekim kuvveti tatbik eden merkez etrafındaki, biricik yörüngesi bir konik kesidinden ibarettir. İlk hız kritik hızı aşmadıkça yörünge bir elips (Kapalı bir eğri), ilk hız kritik hıza eşit olursa, Parabol, veya ilk hız kritik hızı geçerse, yörünge hiperbol olur ki son eğriler açık eğrilerdir. Hususî bir hal olarak, ilk hız B_0C ye dik olur ve miktarı da $\sqrt{fM/r_0}$ a eşit olursa B cismi C etrafında bir daire üzerinde hareket edecektir. Eğer B nin ilk hızı sıfır ise cisim (sadece BC boyunca C ye doğru hareket eder) çekme kuvveti tesiri altında B, C ye doğru yaklaştıkça çekme kuvveti ve binaenaleyh, B nin ivmesi artar.

Gök cisminin yörünge periodu ile yörüngenin yarı büyük ekseni ve kuvvet merkezindeki M kütlesi arasında önemli bir bağıntı vardır. Bu bağıntı şudur.

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{fM}$$

Bu bağıntı bizi Keplerin üçüncü kanununa götürür. (Newton bu tarzda yürüyerek teoremlerinden bu kanunu sıhatli bir şekilde elde etmiştir).

Biz de bu yoldan yürüyerek, etrafında gök cisimleri hareket eden merkezdeki cismin kütlelerini de mukayese edebiliriz.

Arzın Güneş etrafında ve ayın da arz etrafındaki hareketlerine bir bakalım. Arz ve Ay'ın yörüngelerindeki periotlarını T, t ile ve arz ile Güneş, ay ile arz arasındaki ortalama uzaklıkları A, a ile güneş ile ayın kitlelerini M ve m ile gösterirsek :

$$T^2 = \frac{4\pi^2 A^3}{fM} \quad \text{ve} \quad t^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{fm}$$

$$\frac{T^2}{t^2} = \frac{A^3}{a^3} \times \frac{m}{M}, \quad \frac{m}{M} = \frac{T^2}{t^2} \times \frac{a^3}{A^3}$$

ü buluruz.

$T=365$ gün ve $t=27$ gün, $a=384\,000$ kilometre $A=150\,000\,000$ kilometre yaklaşık değerlerini bu formülde yerlerine koyarsak :

$$\frac{m}{M} = \frac{365^2}{27^2} \times \frac{(384\,000)^3}{(150\,000\,000)^3} \cong \frac{1}{330\,000}$$

buluruz*.

Aynı suretle güneşle peykli gezegenlerin kütleleri arasındaki ve gezegenlerle peyklerinin kütleleri arasında da oranlar kurabiliriz. Buna göre Newton o devirde peykleri bilinen Jüpiter ile Satürn'ün kütlelerini de bulmuştur. Bu hesaba göre Jüpiterin kütlesi güneş kütlesinin 1/1000 ni ve Satürn kütlesi ise güneş kütlesinin 1/3000 kadar olduğu görülmüştür.

Gezegenlerin kütleleri üzerinde yapılan bu ilk hesaplar, gezegen kütlelerinin güneşinkine nazaran pek küçük olduklarını göstermiştir. Gezegenlerin güneş etrafında ve peyklerin kendi gezegenleri etrafındaki hareketlerinin etüdünde yukarıda verilen iki cisim problemine ait formülleri kullanabiliriz. Kuvvet merkezi olarak birinci halde güneşi, ikinci halde ise gezegeni alırız. Mamafih gezegenin güneş etrafındaki hareketi yukarıda bildirilen kuvvet merkezi etrafındaki hareketinden farklıdır. Filhakika biz orada kuvvet merkezini sabit farzetmiş ve cismin bu merkeze tatbik ettiği çekme kuvvetini hesaba dahil etmemiştik. Mamafi Newton'un üçüncü hareket kanununa göre gezegen de güneşe tatbik edecek çekme kuvveti ile

* Newton'un bu değeri, 1/170 000 gibi hatalı buluşunun sebebi o sırada arzla güneş arasındaki mesafenin doğru olarak bilinmemesinden ileri gelmiştir.

güneşte, bu kuvvetin etkisi altında hareket edecektir. Şekil 29 P gezegeni ile S güneşinin Newtonun üçüncü kanununa göre birbirlerini çektiklerine bir göz atalım. Eğer onların kütleleri m ve M ile gösterilecek olursa aralarındaki karşılıklı kuvvet :

$$F = f\frac{Mm}{r^2}$$

ile ifade edilir ki burada r, P ile S arasındaki uzaklıktır. S

Şekil 29. İki cisim problem nde, merkezin tatbik ettiği mutlak kuvvetin hesabı

güneşin gezegene $\gamma_P = f\,M/r^2$ ivmesi kazandırır. Aynı veçhile güneşi çeken gezegen de güneşe $\gamma_s = f\,m/r^2$ ivmesini kazandıracaktır. Güneşin ivmesi P gezegeninin ivmesinden, kütlelerinin arasındaki oran nispetinde daha küçüktür. Güneşin ivmesi küçük olmakla beraber ne de olsa mevcuttur.

Bir gezegenin güneşte bulunan bir rasıt bakımından izafî hareketini inceleyelim. P gezegeninin izafî ivmesi, γ_P ve γ_s ivmelerinin toplamına eşit olacağından

$$\gamma = \gamma_s + \gamma_P = f\frac{M+m}{r^2}$$

dir.

Böylece P nin, sabit bir kuvvet merkezi olan S etrafındaki hareketine bir bakarsak P den S ye doğru olan ivme, kütlesi $M+m$ olan bir çekici cisim tarafından hasıl edilmiş gibi olacaktır. "merkezin mutlak kuvveti" diye tarif edilen katsayı da

$f(M+m)$ olacaktır. Kritik hız yörünge periodu ilâ.. ait olan ve bir kuvvet merkezi etrafında hareketi için elde edilmiş olan denklemler, "mutlak kuvvet merkezi" yeni manâsına göre tadil edilmiş olacaktır. Eğer P, S etrafında bir elips üzerinde hareket ediyorsa,

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{f(M+m)}$$

olacaktır.

Kütleleri m_1 , m_2 ilâ ve yarı büyük eksenleri a_1 , a_2 ilâ.. ve periotları T_1 , T_2 ilâ.. olan bir çok cisimler bir tek S cismi etrafında dolaşıyorlarsa (Güneş ve gezegen sisteminde olduğu gibi),

$$T_1^2 = \frac{4\pi^2 a_1^3}{f(M+m_1)} \; ; \quad T_2^2 = \frac{4\pi^2 a_2^3}{f(M+m_2)}, \ldots$$

$$T_1^2 : T_2^2 = \frac{a_1^3}{M+m_1} : \frac{a_2^3}{M+m_2}, \ldots\ldots$$

olur.

Bu bağıntılar, gezegenlerin periotları karesinin yarı eksenleri küpleri ile tam orantılı olmadığını gösteriyor. Kat'i olarak söylemek lâzım gelirse, keplerin üçüncü kanunu pek doğru değildir. Mamafi gezegenlerin kütlelerinin güneş kütlesine nazaran pek küçük olmalarından dolayı, yani $(M+m_1) : (M+m_2) \cong 1$ buradan da :

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \cdots$$

Keplerin üçüncü kanunu bu suretle ve şöyle, böyle tam olarak tahakkuk etmiş olur. Sahife 29 daki cetvele bakınız.

Burada gözden geçirmiş olduğumuz izafî hareket bir gök cisminin diğeri etrafındaki hareketinden ibarettir. Fakat

dışardan sabit bir noktadan bakıldığına göre, P ile C nin her ikisinin karşılık lıçekme etkisinden dolayı harekette olduğu görülür. Newton P ile C nin ağırlık merkezinin ya durmakta olduğunu veyahut bir doğru üzerinde sabit hızla hareket ettiğini ve cisimlerin ise ağırlık merkezi etrafında hareket ettiklerini göstermiştir. Onların yörüngeleri, P nin C etrafındaki yörüngesine benzer.

Eğer C nin kütlesi P nin kütlesine nazaran pek büyükse P nin C de hasıl etmiş olduğu ivme ihmal edilecek kadar azdır.

Meselâ misal olarak arzın güneş etrafındaki hareketine bakalım. Arzın kütlesi, güneş kütlesinin 1/330 000 i, kadar olduğundan bu iki cismin ağırlık merkezi, güneşin merkezinden 150 000 000/330 000 veyahut yaklaşık olarak 500 kilometre uzaklıktadır. Bu da güneş merkezinin, güneşle arzın ağırlık merkezi etrafında 500 kilometre yarı çaplı bir daire üzerinde dolaşıyor demektir. Bu ise güneşin 1 400 000 kilometre olan çapının 1/2800 ü kadardır.

Güneşin büyüklüğü ve gezegenlerin güneşten olan uzaklıkları, düşünülürse bu tesir ihmal edilecek kadar küçük olduğundan güneşin yaklaşık olarak durmakta olduğu kabul edilebilir. Fakat arzın güneş etrafındaki yörünge periodunun hesabında arzın kütlesinin bilinmesi icabeder. Yörünge periodu,

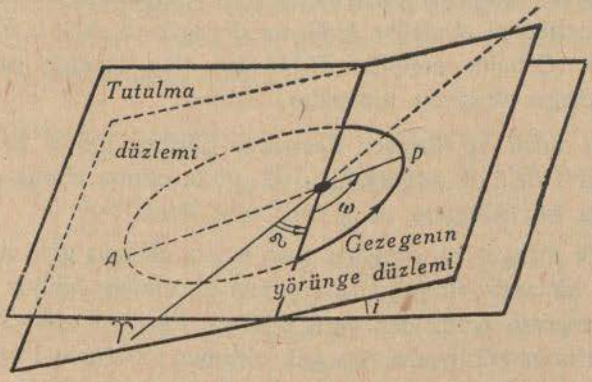
$$T^2 \cong \frac{a^3}{fM} \quad \text{ve} \quad T^2 = \frac{a^3}{f(M+m)}$$

denklemlerinden hesap edilirse, 100 saniyelik bir fark elde edilir. Bu ise ihmal edilemiyecek bir değerdir.

7. GÖKSEL HAREKET VE İKİ CİSİM PROBLEMİ

Newton kanunlarına göre birbirini çeken ve gökte hareket eden iki cisim problemi, Astronomide geniş ölçüde kullanılır. Gezegenlerin güneş etrafındaki hareketi, güneşin çekme kuvveti ile, Newton kanunlarına göre yapılan bir harekete misal teşkil eder. Aynı işlem, Astroidlerin, Kuyruklu yıldızların güneş etrafındaki hareketlerinin ve bütün peyklerin, primerleri etrafındaki hareketlerinin ilk etüdünde tatbik edilir.

Astroitler, Peykler ve gezegenlerin eliptik yörüngeleri, iki cisim probleminin tatbikatı iktizasındandır. Mekânda eliptik



Şekil 30. Bir gezegenin yörünge elemanları

yörünge üzerinde hareket eden bir cismin hareketi, YÖRÜNGE ELEMANLARI adını alan 6 büyüklük ile tam olarak tarif edilebilir.

Çıkış düğümünün EĞİLME ve BOYLAM ından ibaret olan iki eleman üzerinde, gezegenin hareket ettiği düzlemin mekândaki durumunu bildirir.

i eğilme açısı gezegenin üzerinde hareket ettiği düzlemle ekliptik arasındaki açıdır. (Ekliptik arzın yörünge düzlemidir).

Gezegenin üzerinde hareket ettiği düzlemin, ekliptiki kestiği noktalara DÜĞÜM noktaları denilir. Ω_1 çıkış düğümüne yakın noktada gezegen güney yarım küresinden, kuzey yarım küreye çıkar ve Ω_2 iniş düğümünde de, kuzey yarım küresinden güney yarım küresine geçer. Gökte güneşin GÜZ EKİNOKSU noktasında bulunduğu γ noktasına doğru olan doğru ile gezegen yörüngesinin iniş düğümü arasındaki Ω açısına çıkış düğümünün boylamı denilir.

Üçüncü eleman perihelin düğümden olan uzaklığı, yükseliş düğümü ile yörüngenin perihel doğrultuları arasındaki ω açısıdır. Bu eleman bazen başka türlü de tarif edilir. Gezegenler düzleminin ekliptiği kestiği doğruya DÜĞÜMLER DOĞRUSU ve *P* perihelini *A* afeline bağlıyan doğruya da ASAL EKSEN denilir. O halde perihelin düğümden olan uzaklığı yukarıda tarif edilen doğrular arasındaki açıdır.

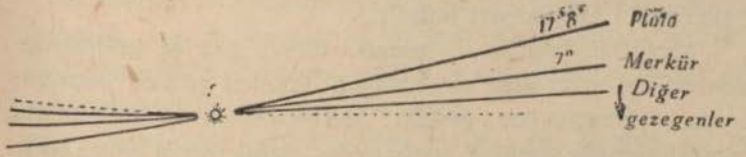
4. üncü ve Beşinci Elemanlar-Elipsin YARI BÜYÜK EKSENİ ile DIŞ MERKEZLİĞİ gökte cismin eliptik yörüngesinin büyüklüğünü ve şeklini tarif eder.

Ve nihayet en sonuncu yani 6 ıncı eleman gök cisminin belirli bir anda yörüngesi üzerindeki durumunu bildirir ki, bu da gezegenin perihelden geçiş anıdır. Eğer bir gök cisminin ilk durumu biliniyorsa, bu gök cisminin ortalama hızını bilmekle, alanlar kanununu tatbik ederek yörünge üzerindeki hızını hesaplamak mümkündür. Buradan cismin herhangi bir andaki durumunu bulabiliriz. Eğer yörüngenin büyüklük şekli ve gökteki durumu biliniyorsa cismin gökteki vaziyetini tespit etmek ve buradan da gök cisminin zahirî hareketini tayin etmek mümkündür.

Merkür, venüs, arz, Mars, Jüpiter ve Satürn'ün eliptik yörüngelerinin tayinleri, bunlar üzerinde asırlarca araştırmalar yapılmış, ve doneler elde edilmiş olduğundan, hiçbir zorluk göstermez. Bu yörüngeler evvelâ Kepler tarafından bulun-

muştur. Zaman geçtikçe yörünge elemanları üzerinde tashihler yapılmış doğruya daha yakın neticeler elde edilmiştir*.

Bütün büyük gezegenlerin yörünge elemanlarına ait en yeni bilgi ikinci cetvelde verilmiştir. Bu listede görüldüğüne



Şekil 31. Güneş sistem gezegenlerin yörüngelerinin eğilmeleri

göre, Plüto ve Merkür istisna edilmek şartiyle diğer bütün gezegenler yörüngelerinin eğilmeleri ve dış merkezlikleri küçüktür. Yani bunlar hemen aynı düzlem üzerindeki daireler boyunca hareket etmektedirler.

Cedvel 2

Gezegenler	Yarı büyük eksen		Yörünge periodu	Dışmerkezlik	Eğilme
	A.B**	10 km.			
Merkür	0.387	57.9	87.97 Gün	0.206	7°0′
Venüs	0.723	108.1	224.70 "	0.007	3°24′
Arz	1.000	149.5	365.26 "	0.017	—
Mars	1.524	227.8	1 sene 322 gün	0.093	1°51′
Jüpiter	5.203	777.8	11 sene 315 gün	0.048	1°18′
Satürn	9.539	1426.0	29 sene 167 gün	0.056	2°29′
Uranüs	19.191	2869.1	84 sene 7 gün	0.047	0°46′
Neptün	30.071	4495.6	164 sene 280 gün	0.009	1°46′
Plüto	39.457	5898.9	248 sene	0.249	17°8′

* Onyedinci asır başlarında gök cisimlerinin konumlarını tayin için teleskop kullanılmağa başlanmış ve gözlemlerdeki sıhhat bir hayli artmıştır.

** A. B. ASTRONOMİK BİRİM demektir ki yerle güneş arasındaki ortalama uzaklığı göstermektedir. Güneş sisteminde uzaklıkları bu birimle ölçmek elverişlidir.

İki cisim problemi küçük gezegenler (Astroid), Kuyruklu yıldızlar, ve büyük gezegenlerin peyklerine de muvaffakiyetle tatbik edilebilir. Bu problemin Astroidlerle, kuyruklu yıldızlara tatbiki Newton'un gravitasyon kanununu teyit etmesi bakımından ehemmiyeti haizdir.

Kuyruklu yıldızlar — İnsanlar dünya üzerine geldiklerindenberi bu uzun saçlı ve ışıldayan cisimleri gözden kaçırmamıştır. Newton'dan evvelki Astronomların çoğu bunları, atmosferimizde teşekkül etmiş şeyler olarak kabul ediyorlardı. Galile ve Kepler bunların gök cisimleri olduklarına inanmakla beraber, bunların garip hareketlerini bir türlü izah edememişler, ve birdenbire doğuş veya batış sebeplerini anlıyamamışlardı.

Newton kuyruklu yıldızların da gök cisimleri olmaları dolayısiyle, çekim kanununa göre hareket ettiklerini iddia etti. Hakikat böyle olduğuna göre bu cisimler güneşin çekme kuvveti ile gökte hareket ederler. Fakat onların gökteki izleri nelerdir. İki cisim problemi, Eliptik, Parabolik ve Hiperbolik yörüngelere tatbik edilmek üzere üç türlü hareket için caridir. Newton kuyruklu yıldızların, Güneşin etrafında diğer gezegenler gibi muntazam bir harekete sahip olmadıkları düşüncesiyle, bunlar için az çok daireye yakın olan eliptik yörüngeleri dışarı bıraktı. Geriye Parabol ile Hiperbol yörüngeler kalmış oluyordu. Bunların güneşe yakın kısa bir müddet görünüp, birdenbire ortadan kaybolmaları yörüngelerinin büyük ekseni çok uzun olan elips şeklinde olmasını mümkün kılıyordu. Şimdi en büyük problem kuyruklu yıldızların izlerini tayin etmeye kalıyordu. O devirlerde kuyruklu yıldızlar ve bunların hareketlerinde dair olan bilgilerin çok az oluşu bu problemin çözümünü çok zorlaştırmıştı. Newton yapmış olduğu bir çok rasatlar sonunda parabolik yörüngelerde karar kılmıştı. Bir kuyruklu yıldızın gökte, bilinen üç zamandaki durumları bilindiğine göre Parabolun (Parabolik yörüngenin

bir elemanının) tayininin mümkün olacağını göstermişti. Newton bu noktayı, 1680 ve 1682 de görülen kuyruklu yıldızlara tatbik etti. Parabolik yörüngeyi hesapladı, ve kuyruklu yıldızların gökte kaybolmasına kadar geçecek zamanı hesap etti. Ve neticede hesaplarının rasatlara uygun düştüğünü gördü. Bu da şunu ispat ediyordu ki, Kuyruklu yıldızlar da Güneş çekimi ile hareket eden gök cisimleridir. Bu da çekim kanununun ilk semeresi olmuştur.

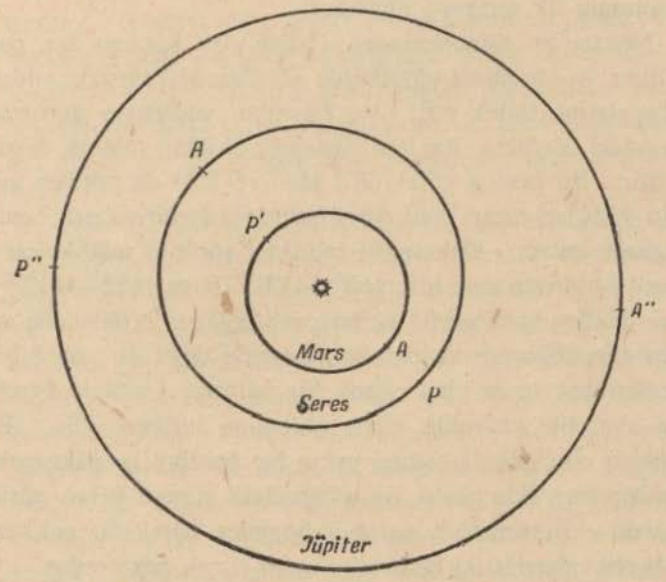
Newton'un talebelerinden Halley, bu kanunu bir çoğu onaltıncı ve onyedinci yüzyıllarda görülen 24 kuyruklu yıldızın yörüngelerine tatbik etti. Bu kuyruklu yıldızların durumları üzerindeki kayıtlar, bu işte başlangıç noktası olarak hizmet etmiştir. Bu hesaba göre 1682, 1607 ve 1531 de görülen kuyruklu yıldızların parabolik yörüngelerinin birbirine pek benzer olduğunu anladı. Dahası var bunların görünüş müddetleri de kabaca birbirinin aynı idi : 1607—1531=76 ve 1682—1617=75 sene. Halley buradan bu üç kuyruklu yıldızın birbirinden ayrı şeyler olmadıklarını ve parabol üzerinde değil de yarı büyük eksenleri çok uzun olan eliptik bir yörünge üzerinde hareket eden aynı bir kuyruklu yıldız olduğunu bulmuş oldu. Pek uzatılmış olan elips odağına yakın bir parabol ile çakışmakta olup bir kuyruklu yıldız da odağındaki güneşe yakın görünmektedir. Binaenaleyh parabol boyunca hareketin pek uzatılmış elips üzerindeki hareketini ayırd etmek pek zordur.

Halley bu kuyruklu yıldızın sonraki görünüşünün 1758-59 olacağını tahmin etmişti. Kuyruklu yıldız 1759 senesinde görülmekle Halleyin tahmini doğru çıkmış oldu. Çekim teorisi aynı veçhile küçük gezegenlerle astroitler üzerindeki müşahedelerle de doğruluğu tahakkuk etmiştir.

1801 yılında İtalyan astronomlarından piazzi teleskobunda yıldıza pek çok benzeyen ve yıldızlar arasında hareket eden bir cisim müşahede etmiştir. Bu cismin hareketi, gezegenlerin hareketlerine benziyor ve güneşe çok yakın hissini veriyordu.

Nihayet yıldıza benzeyen bu cisim güneşe daha çok yaklaşınca Piazzi'nin teleskobunda kayboldu, sonra yine zuhur etti. Şimdi mesele piazzinin vermiş olduğu donelere göre bu gök cisminin gökteki hareketini tayin etmekti.

Bu problemi maruf Alman matematikçisi Gauss muhtelif müşahedeleri hesaba katarak çözdü ve eliptik bir yörüngeden ibaret olduğunu buldu. Gauss gökteki bir cismin, başka başka



Şekil 32. Ceres'in yörüngesi. (*A* ve *P* yörüngenin perihel ve afel noktalarını gösteriyor.)

üç andaki durumları bilindiği takdirde bu cismin üzerinde yürüdüğü elips yörüngesinin tayin edilebilmesi imkânı olduğunu ispat etmiştir. Eliptik yörüngelerin tayini probleminin parabolik yörünge elemanının bulunmasından daha zor bir keyfiyet olduğu anlaşılmışsa da Gauss bunu gayet dakik hesaplarla çözmüş ve bu gök cismine ait yörüngeyi bulmuştur. Gauss'un

bulmuş olduğu sonuçlar bugün dahi kullanılmakta ve önemini muhafaza etmektedir.

Gauss hesaplarını yaparken Piazzi'nin yapmış olduğu müşahedelere nazaran bu gök cisminin güneş etrafındaki hareketinin Gravitasyonel bir kuvvetten ileri geldiği hususuna dayanıyordu. Bu hesaplar sonucuna göre cismin yörüngesinin, yarı büyük ekseni 2,8 astronomik biriminden ibaret olan ve dış merkezliği de 0,08 den ibaret bulunan bir elips olduğu anlaşılmıştı. Böylelikle yörüngesi Jüpiter ile Mars arasında bulunan bu gök cisminin güneş sistemine ait olduğu meydana çıkmış oldu. Gauss cismin muhtelif zamanlardaki durumlarını hesap ederek gelecekte nerede bulunacağını da bildirdi. 1801 yılının sonlarına doğru yapılan müşahedeler cismin Gauss'un tahmin ettiği yerde bulunduğunu gösterdi. Bu suretle güneş sistemine adı Ceres olan bir gök cismi daha ilave edilmiş oluyordu. Çok geçmeden bu şekilde yıldıza benzeyen fakat gökte sür'atle hareket eden 3 cisim daha bulundu, ve bunlara ASTROİT adı verildi (bu kelime Yunan dilinde yıldıza benzeyen manasına gelir). Bunlar BÜYÜK GEZEGENLER denilen Merkür, Venüs, Arz, Mars, Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptün ve Plütoya nazaran çok küçük olmalarından dolayı ekseriya KÜÇÜK GEZEGENLER adı da verilmektedir.

Bugüne kadar yörüngeleri elips şeklinde 1600 kadar Astroit keşfedilmiş olup sayıları gün geçtikçe artmaktadır.

Kütle ve büyüklükleri gezegenlerinkine nazaran, en büyük astroitlerin çapları 200-500 kilometre kadar olanları mevcut olduğu gibi Büyük teleskoplarla keşfedilen en küçük astroitlerin içinde çapları 1-2 kilometre kadar olanları da mevcuttur. Astroitlerin şekilleri gayrı muntazam olup kaya parçalarına benzerler.

8. GÖK MEKANİĞİNDE PERTÜRBE OLAN (KARIŞIK) HAREKET MEFHUMU VE PRATİK ASTRONOMİ

Gezegenlerle kuyruklu yıldızların iki cisim problemine dayanan hareketleri üzerinde yapılan tarif ve etütler, gök cisimlerinin karışık hareketlerinin incelenmesi hususunda atılan ilk adımı teşkil eder.

Arz gibi güneş tarafından çekilen bir gezegenin yörüngesinin bir elips olduğunu gördük. İki cisim problemini besleyen böyle bir harekete, PERTÜRBE OLMAYAN (DÜZENSİZ OLMAYAN) hareket denilir. Fakat güneş sisteminde tekmil cisimler birbirlerini çekmektedirler. Buna göre arz yalnız güneş tarafından değil, diğer gezegenler tarafındanda çekilmekte ve dünyamızı kendi eliptik yörüngesinden dışarı çıkarmaktadır. Buna karşılık arz da öbür gezegenleri çeker ve onları kendi eliptik yörüngelerinden çıkarmağa zorlar. Newton'un çekim kanununa göre, güneş sistemindeki bütün gezegenler, Kuyruklu yıldızlar ve astroitler birbirlerini çekip itmekte olup yalnız güneşin çekme kuvvetine göre alacakları yörüngelerden ayrılmış olurlar. Peykler de bir taraftan güneşin ve diğer taraftan da bağlı oldukları gezegenlerin çekme kuvveti tesiri altında yörüngelerinden ayrılmak hususunda zorlanmaktadırlar.

Buna ilaveten gezegenlerin şekillerinin tam küre olmaması dolayısiyle uzaklığın karesi ile ters orantılı kanununa da tam olarak tabi değildirler. Böylece pratikte güneş ve gezegenler karşılıklı tesirlerinin mütalâasında (Dördüncü bölüme bakınız) bu husus tamamen ihmal edilmektedir. Meselâ Ay, Güneş ve gezegenlerin çekme kuvvetleri olmasa bile arz etrafında tam bir eliptik yörünge üzerinde hareket edemezdi.

Hülasa etmek lâzım gelirse, Güneş sisteminde hiçbir cisim tam bir elips, Parabol veya Hiperbol üzerinde hareket edemez. Bu eliptik, Parabolik ve hiperbolik hareketlerden ayrılmalara

Astronomide PERTURBATION denilir. Gezegenler, astroitler, peykler ve kuyruklu yıldızlara PERTÜRBE OLAN gök cisimleri denilir. Bu yoldan ayrılmalar çok karışık hesaplara sebep olmaktadır. Mamafih bu yoldan ayrılma keyfiyetini nazarı itibara almazsak gök cisimlerinin uzaydaki hareketlerini kabaca tasavvur edebiliriz.

Kepler zamanında gezegenlerin hareketleri, çıplak gözle yapılmakta olduğundan, bu yoldan ayrılma olayı dikkati çekmiyordu. Fakat 17 inci asrın ortalarında teleskop ve diğer aletlerin keşfi, astronomik müşahadelerin daha ince ve doğru olarak hesap edilebilmesine imkân verdiğinden gezegenlerin ve diğer gök cisimlerinin hareketleri, Kepler hareketlerine nazaran olan ayrılıkları ihmal edilemez olmuştur.

18. inci yüz yıldan sonra Gezegenler, Astroitler, Peykler ve kuyruklu yıldızların pertürbasyon problemi, gök mekaniğinin en önemli problemlerinden biri olmuştur.

Pertürbasyon probleminin çözümü ve diğer önemli problemlerin çözümleri, yüksek matematikle paralel olarak ileri gitmişlerdir. Bugünkü gök mekaniği onsekiz ve ondokuzuncu yüz yıllarda yaşayan Clairaut (1713-1765) d'Alembert (1717-1783), Euler (1707-1783), Lagrange (1736-1813), Laplace (1749-1827) ve diğer matematikçiler tarafından kurulmuştur. 20 nci yüz yıl ise bunların eserlerine, yüksek matematikle birlikte dikkate şayan hesap makineleri de eklemiş bulunmaktadır.

Gök mekaniğinin bu terakkisinde iki mühim amil vardır.

Birincisi Pratik astronomiye karşı duyulan ihtiyaçtı. Bir çok pratik faideleri olan problemlerin çözümünde gök mekaniğinin yardımına ihtiyaç duyuluyordu. 18 nci asırda (kronometrenin keşfinden evvel) ay hareketlerinin sıhhatle bilinmesi lüzumu duyulmuştu. O devirde Ay üzerinde yapılan rasatlarla, bir mevkiin boylamını tayin edebilmek imkân dahilinde idi.

Yer yüzündeki bir yerin boylamını tayin edebilmek için, bu noktadaki mahallî vakitle, boylamı bilinen bir yerin mahallî vaktini birbiriyle mukayese etmek icabediyordu*. Bilinen bir noktadaki mahallî vakit, güneşi veyahut bir yıldızı rasat etmekle bulunabilirse de, denizde bulunan bir gemi, o anda Greenwich mahallî vaktini nasıl bulabilir ? Bulunduğumuz devirde, radyo istasyonları zaman zaman Greenwich mahallî vaktini muntazaman vermektedirler. Ondokuzuncu yüz yılda radyo keşfedilmemiş olduğundan, bu vakit "kronometre" denilen hassas saatler vasıtasiyle tayin ediliyordu. Gerek karada ve gerekse denizde böyle bir kronometre ile seyahata çıkanlar, Greenwich vaktini de birlikte götürmüş olurlardı. Fakat onsekizinci asırda ne radyo ve ne de kronometre mevcut olmadığından, boylam tayini için en münasip vasıta, aydan yapılan rasatlarla boylamı tayin etmekti.

Yıldızlar arasında sür'atle koşan Ay, saatte 30 dakika kadar bir yay kateder. Böylece yıldızlar bir saat minesine ve Ay'da saatin akrebine benzetilebilir. Yapılacak şey bu garip mineyi, derecelere taksim etmekten ibarettir. Bu iş için, Ay'ın belirli Greenwich zamanlarında yıldızlar arasında nerede bulunacağını bildiren hususî cetvellerden istifade olunur. Bu vakit cetveli tabiatiyle kâfi derecede sıhhatli idi. Grennwich vaktini ve buradan boylamı bir dakika kadar hata içerisinde tayin edebilmek için, (Buda yer yüzünde yaklaşık olarak 30 kilometreye tekabül eder.) ayın gökteki mevkiini 15'' lik hata ile bilmek lâzımdır. Ayın hareketlerinin pek karışık olmasından dolayı bu gibi hesapları yapmak ta pek kolay değildir. Gerçi zamanımızda boylam tayin etmek için daha doğru yollar varsa da, Ay hareketlerini başka maksatlar için de bilmek şarttır. Bunlar bilin-

* Yer üzerindeki boylamlar Greenwich rasathanesinden geçen (Londra civarında) boylam başlangıç kabul edilerek kıymetlendirilir. Bu sebepten Greenwich mahallî vaktini bilmek pek mühimdir.

mezse güneş tutulmasının başlangıcını, müddetini ve tutulmanın görüleceği yerleri doğru olarak hesap edebilmek imkânsızdır. Böyle tahminler güneş ve Ay tutulmalarının tayini içinde lüzumludur. Pek eski zamanlarda güneş tutulmaları hakkında, bize gelen bilgiler, bizi arzın nizamsız dönme hareketi hakkında gayet iyibir şekilde aydınlatır. (17 nci bahse bakınız.) Güneş ve Ay tutulmaları tarihçilerede yardım etmiştir. Bu tutulmaların yer ve zamanlarına ait teorik hesapların, eski eserlerdeki kayıtlarını karıştırmakla, eski vakaların tam tarihlerini bulmak imkânı hasıl olurki, bunu başka türlü yapmak imkânı olamazdı.

Gök mekaniğinin tekâmülünde ikinci sebep, genel çekme kanununun doğruluğunu tahkike yaramasıdır.

Gök mekaniğinin vazifesi, Newton'nun çekme kanununun doğruluğunu tahkik etmek, yani iki maddesel cisim arasındaki çekme kuvvetinin aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olup olmadığını araştırmaktır. Bu kanunla güneş sisteminde görülen tekmil nizamsızlıkları tayin etmek mümkün müdür ? Bu kanunun gezegenler, Peykler, Astroitler ve kuyruklu yıldızların hareketlerini tarif edebildiğinden şüphe etmek bir az zordur. Fakat bu kanunla bütün bu cisimlerin hareketlerini tam olarak tarif etmek imkân dahilinde midir ? Bu hakikatların tahkikinin hem ilim ve hem de pratik bakımdan ehemmiyeti aşikârdır. Bunun için gezegenlerle güneş sistemindeki diğer cisimlerin hareketlerini bildiren bir teori kurmak icabederdi.

Gök cisimlerinin bozuk hareketlerinin hesapları muvacehesinde, Newton kanununun, incelenmesi sorusu ekseriya ortaya çıkmıştır. Mesalâ 18 nci yüz yılın ortasında Fransız Astronomu Clairaut başlangıçta ay'ın hususî hareketlerini, Newton kanunu ile telif etmeğe ve (Ay hareketine ait bir teori kurmağa) muktedir olamamıştır. Binaenaleyh, Kuvvetin, maddesel cisimler arasındaki, uzaklığın karesi ile ters orantılı olmayıp,

$$F = \frac{A}{r^2} + \frac{\varepsilon}{r^3}$$

formülüyle ifade edileceğini bildirmiştir ki burada ε çok küçük bir sayıdır.

CLAIRAUT daha sonra takip ettiği matematik metodundaki ayın hareketindeki bütün bozuklukları, tam olmayan bir sonuca vardıran sıhhatsizlikleri de keşfetti. Bu hatalar tashih edildikten sonradır ki teori ile müşahede arasındaki ayrılık ortadan kalkmış oldu. Binaenaleyh genel çekme kanununda ε/r^3 terimine lüzum kalmadığı anlaşılmıştı.

Diğer bir takım hallerde, meselâ Merkür'ün hareketinde formüldeki r nin yerine $(2+\delta)$ nci kuvvet olması fikri ileri sürülüyordu ki, burada δ pek küçük belirli bir sayıdır. Fakat bunun da hatalı olduğu görülmüştür. Newtonun gezegenlerin hareketine ait kanunu, (Bir istisnası ile 21 nci bölüm) bugünkü rasat sonuçlarına uygun düşmektedir.

Bu sebepten Newton'un maddesel cisimler arasındaki, çekme kuvveti ile aralarındaki uzaklığa ait bağıntıyı bildiren kanunu tam olarak kabul etmekte şüpheye mahal yoktur. Newton kanunu hem teorik buluşların ve hem de müşahedelerin sonuçlarını tam bir şekilde birleştirmekle meydana gelmiştir.

9. PERTÜRBASYON HAREKETİNİ TARİF EDEN YOLLAR. YÖRÜNGEDE DEĞİŞİKLİKLER

Evvelki bölümde pertürbasyonu, bir cismin pertürbe olan konumu ile olmayan konumu arasındaki farka bakmak suretiyle ifade etmiştik. Fakat pertürbasyonu 1756* da EULER

* 1771 de yayınlanmıştı.

tarafından ileri sürülen metotla başka türlü izah etmek te mümkündür. Bu metot ta değişen yörünge denilen bir mefhuma dayanır.

Bir cismin mekândaki durumu ile, belirli bir andaki hızı biliniyorsa, bu cismin güneş etrafında pertürbe olmayan yörüngesini, (Elips, Parabol, Hiperbol) tayin etmek mümkündür. Bilfarz bir gezegenin eliptik yörüngesi belirli bir anda bilinmiş olsa, pertürbasyon yüzünden bu gezegen yörüngesinden inhiraf eder. Bir müddet sonra gezegenin eliptik yörüngesi rasatlarla yeniden tayin edilirse, sonuç başka bir elips olarak ortaya çıkar. Pertürbasyon az ise yeni elips eskisine pek benzer, yani yeni yörünge elemanı ile eskisi arasındaki fark çok azdır. Aynı işlem biraz sonra yine tatbik edilirse, eskisinden farklı yeni bir yörünge bulunacaktır. Bu sebepten gezegeni her an başka bir eliptik yörünge üzerinde yürüyormuş gibi tasavvur edebiliriz. Fakat bu, yörünge elemanlarının, yani boyutları, biçimi ve mekândaki şeklinin mütemadiyen değiştiğini bize göstermektedir. Bundan dolayı gezegene başka başka değişen yörünge üzerinde hareket ediyormuş denilir.

Bu gezegen veya diğer bir gök cismi bir tek devre esnasında dikkate değer bir pertürbasyona maruz kalmamış ise, onun bu zaman aralığındaki yörüngesi tamamiyle aynı elips olacaktır. Fakat pertürbasyon mütemadiyen artmaktadır. Gök cismi her devrede farklı bir elips üzerinde hareket etmektedir. Uzun zaman aralığından sonra elipsin şekli, büyüklüğü ve durumu hissedilir şekilde değişmiş olur. Meselâ arzın güneş etrafındaki yörüngesi 1700-1800 yıl evvelki yörüngesi ile şekil ve büyüklük bakımından aynı olduğu gibi hemen hemen aynı düzlem üzerindedir. Mamafih arz bu düzlem üzerinde yaklaşık olarak 5 derece kadar dönmüştür. 1850 de Jüpiterin yarı büyük ekseni 5,20265 astronomik birim iken 1950 de bu miktar 5,20290 astronomik birim olmuştur. Bu da yaklaşık olarak 40 000 kilometrelik farka tekabül eder. Eğer pertürbasyon büyük

olursa, cisim birinci devrede bile eliptik yörünge şeklinden ayrılmış olur. Başka bir deyimle periodunun başlangıç ve sonunda hesap edilen yörünge elemanları, dikkate değer derecede farklıdır. Diğer bir misal olarak ay'ın bir ay başlangıcı ile sonundaki yörünge elemanlarına bir bakalım. Bu müddet zarfında ayın üzerinde hareket edeceği elipsin 3 dereceden fazla döndüğü hesapla bulunmuştur. Ay yörünge elemanları nispeten daha çabuk değişirler. Böyle olmasına rağmen bir anda değişen eliptik yörünge bir ve daha fazla devrelerdeki hareketlere ait iyi bir tasvir verebilir.

Değişen yörüngelerin elemanlarındaki değişiklikler cismin hareketinde ne tipte değişiklikler olacağını evvelden takdire yararlar. Meselâ yarı büyük eksenin artması hali gök cisminin eliptik yörüngesinin mütemadî surette büyümesini gösterir. Yani bu demektir ki cisim merkezdeki cisimden gittikçe uzaklaşır. Eğer dış merkezliği büyürse eliptik yörünge uzamış, cisimler arasındaki uzaklık artmış olur.

O halde bir gök cisminin pertürbe olmayan hareketi, değişen yörünge elemanları, yani bunların zamanla değişimi ile tarif edilebilir. Bütün gezegenler, Peykler ve astroitlerin hareketleri pertürbe olmıyan hareketler olup, her an için onların yörüngeleri elemanların özel değerleri ile tarif edilir. 69 uncu sahifede verilen eliptik elemanlara ait cetveldeki değerler sabit ve belirli bir surette takarrür etmiş değerler değillerdir. Bu elemanlar zamanımıza ait olup gezegenlerdeki pertürbasyonların pek küçük olmalarından dolayı elemanlar pek yavaş değiştiklerinden uzun gelecek için gezegen hareketlerini bildirebileceklerdir.

10. GÜNEŞ SİSTEMİNDEKİ HAREKET PROBLEMİ

Güneş sistemindeki cisimlerin hareketlerine ait daha ciddi olarak şunları söyleyebiliriz.

Bu sistem Güneş, Gezegenler, Peykler ve Astroitlerden müteşekkildir. Bu cisimlerin hepsi biribirini Newton kanunlarına göre çekmektedirler. Asıl problem verilen bir zaman başlangıcında, bunların durumları ve hızları bilindiğine göre hareketlerini matematik yoldan etüd etmektir.

Bütün cisimlerin birbirine olan etkisini hesaba katan genel hale ait olan problemi ele almak zorunluğu yoktur. Kuyruklu yıldızlarla Astroitlerin kütleleri, gezegenlerinkine nazaran pek küçük olduklarından, bunların güneş ve gezegenler üzerindeki etkileri kat'i surette ihmal edilecek derecede azdır. Kuyruklu yıldızların kütleleri herhangi bir gezegenin veyahut gezegen peyklerinden birinin hareketini pertürbe ettiğine dair bugüne kadar yapılan rasatlarla bir şey elde edilememiştir. 1886 da bir kuyruklu yıldız Jüpiter'e pek yakın hatta peyklerinin arasından geçtiği halde bunların hareketlerinde zerre kadar bir fark yapamamıştır. Bu kuyruklu yıldızın kütlesinin, arzın kütlesinin milyonda biri kadar olduğu hesap edilmiştir.

Büyük Astroitlerin kütleleri kuyruklu yıldız kütlelerinden daha büyüktür. Çapı 800 kilometre kadar olan CERES Astroidinin kütlesini hesap edelim. Bu Astroidin yoğunluğunun arzınkinin aynı ise* kütlesi arz kütlesine nazaran $(12800/800)^3 = 4096$ defa daha az olması lâzımdır. Bazı Astroitlerin çapları 100-300 kilometre kadar olup çoğunun çapları bunlardan daha küçük olduğundan bütün astroitlerin kütleleri Arz kütlesinin 1/700 ü kadardır.

Bu kadar küçük bir kütlenin gezegenlerle, peyklerinin hareketlerine göze görünür bir tesir yapamıyacakları aşikârdır.

* Arzın ortalama yoğunluğu 5,5 gr/cm^3 tür, öteki büyük gezegenlerin ortalama yoğunlukları daha da azdır.

Binaenaleyh gezegen ve peyklerinin hareketlerinin, kuyruklu yıldızlarla Astroitlerin kütlelerinden müstakil olduğu düşünülebilir.

Bunun gibi peyklerin kütleleri de gezegenlerinin kütlelerinin küçük bir kesridir. Meselâ : Jüpiterin peykleri arasında ve Jüpiterden dışarı doğru üçüncü peyk olan GANİMED diğer peykleri arasında en büyük kütleyi haiz olandır. Kütlesi jübiterin kütlesinin 1/12200 ü kadar olan bu peykin jüpiterden olan yaklaşık uzaklığı bir milyon kilometre kadardır. Jüpiter ile Ganimed müşterek ağırlık merkezi etrafında elipsler üzerinde hareket ederler. Bu merkez Jupiter merkezinden 1 000 000 /12200=80 km uzaktadır. Bu küçük farkın güneşle jupiterin arasındaki çekme kuvvetine tesiri yok gibidir. Dahası var bu küçük farkların arzdan yapılan müşahedelerle takdiri de imkânsızdır. Hatta arzın Jüpitere en yakın olduğu yerde bile Jüpiterin durumundaki değişiklik ancak 1/30 saniye kadardır. Jüpiterin diğer peyklerinin ana gezegene yaptıkları etkiler bundan dahada küçüktür. Satürn, Mars, Uranüs ve Neptün'ün peyklerinin de ana gezegenleri üzerine olan etkileri de ihmal edilecek derecede azdır. Fakat arzımızın peyki olan Ay bunların içerisinde bir istisna teşkil eder. Arz ile Ay, arz merkezinden 4700 kilometre uzaktaki müşterek ağırlık merkezi etrafında hareket etmektedirler. Ayın kütlesi aynı zamanda arz kütlesinin 81,5 da biri kadardır. Ayın, arzın yörüngesi üzerindeki hareketine olan etkisi hesaba katılacak kadar bir miktara sahip olup arzın güneş etrafında olan ve çok iyi hesap edilmiş hareketine tesir edecek derecededir. Meselâ : Güneş-Arz çizgisinin ağırlık merkezinin etkisi hesaba katılmak üzere bulunacak hareketi, bu hesaba katılmamak üzere olan hareketinden ancak 6 saniye kadar farklıdır. Bu sebepten dolayıdır ki ciddî hesaplarda Arz ve Ay'ın hareketlerinin müşterek etkisi göz önünde tutulur, yani : Arz ve Ay sistemlerinin tam hareketi ve bu sistemin ağırlık merkezinin Güneş etrafındaki hareketi hesaba katılır.

Bunların hepsinden çıkarılacak manâ şudur. Gezegenler, Astroitler, peykler ve kuyruklu yıldızların hareketlerini hep birlikte gözönüne alacağımız yerde, bunları ayrı ayrı a) Gezegenler, b) Gezegen peykleri, c) Astroitler ve d) Kuyruklu yıldızlar diye mütalâa etmek yerinde olur.

Gezegen hareketlerinin etüdünde güneşin çekmesi ile gezegenlerin karşılıklı çekmeleri ve etkileri hesaba katılır. Başka türlü ifade etmek lâzım gelirse problem Newton'nun kanunlarına göre hareket eden 9 u gezegen ve 1 i güneş olmak üzere 10 cisim problemine irca edilmiş olur.

Bir gezegen peykinin etüdünde, peykin ana kuvvet kaynağı olan gezegen etkisi altında Güneş ve diğer gezegenlerin etkileri de sonradan hesaba katılır.

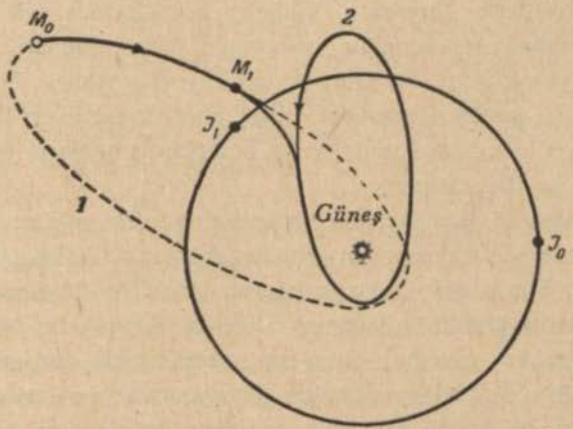
Astroitlerle Kuyruklu Yıldızlar Kütlelerinin pek küçük olmalarından dolayı, güneş sisteminin diğer cisimleri üzerine etkileri yok gibidir. Bu sebepten her kuyruklu yıldızla Astroidin hareketleri güneş sistemindeki diğer cisimlerin etkileri düşünülerek ayrı ayrı hesap edilir ve bu hesaplarda bunların mukabil etkileri hesaba katılmaz.

Mamafih işleri bukadar basitleştirmemize rağmen daima iki cisim değil, birkaç cisim problemi karşısında kalmış bulunuyoruz. Matematik bakımından bu problem bugüne kadar genel olarak çözülmüş değildir. Diğer bir deyimle bu cisimlerin hareketlerinin, yani bu cisimlerin mekândaki durumlarının, HERHANGİ kütleler veyahut ilk durumlar ve hızları için, özelikleri hakkında bir fikir verebilen denklemleri kurmağa muktedir değiliz. Bu hareketleri genel olarak iki cisim problemi üzerinde olduğu kadar açık ifade edemiyeceğimiz aşikârdır.

Bu problemin matematik cephesinin karışık olmasından ileri gelmeyip üç cisim hareketinde her cismin hareketinin karışık mahiyette olmasından ileri gelir. Üç cisim meselesine bakmakla bu zorluklardan bazılarını görebiliriz. Üç cisim olan Güneş (S), Jüpiter (J), ve bir kaç gram ağırlığındaki Meteoroit

(M) olsun. Kütlelerinin pek küçük olmalarından dolayı Meteoroitler, Jüpiterin hareketini pek az bozacak kuvvet tatbik ederler. Jüpiter sadece güneş etkisi altında ve bir elips üzerinde dolaşmaktadır. Buna mukabil Meteoritler hem Güneş ve hem de Jüpiter'in etkisi altındadırlar. Gök mekaniğinde buna SINIRLI üç cisim problemi denilir. Buradaki sınırlılık küçük cismin diğer büyük cisimler üzerine olan etkisinin ihmal edilmesi diğer cisimlerin hareketlerinin de bilinmesidir.

Meteoroit Jüpiterden izafî olarak pek uzakta ise, Jüpiterin buna tatbik ettiği çekme kuvveti, Güneşin tatbik ettiği çekme kuvvetine nazaran pek küçüktür. Böylelikle meteoroit güneş etrafındaki yörüngesinde pek az rahatsız olarak hareket eder. Şekil 33 de M Meteoroidin başlangıçtaki durumunu gösteriyor.



Şekil 33. Kısıtlı üç cisim probleminde, harekete ait bir misâl

M_0M_1 de üzerinde yürüdüğü elipsin bir parçasını göstermektedir. Jüpiter pek uzakta iken, M_1 durumunda ise aynı eliptik yörünge üzerinde hareketine devam eder. (Şekilde 1 ile gösterilen yörünge üzerinde),

Fakat Jüpiter ile meteoroidin ilk durumları ve hızları, bunları birbirlerine yaklaştıracak derecede yakın ise Jüpiterin

çekme kuvveti onu yörüngesinden ayıracak derecede kuvvetli olur. Bu ayrılmanın miktar ve mahiyeti en yakın durumda iken Güneş, Jüpiter, ve Meteoroidin durumlarına bağlı olup onların hızlarının miktar ve doğrultularının son analizde başlangıçtaki problemin ilk şartlarına bağlıdır. Jüpiterin hasıl ettiği pertürbasyon, cismin hızını bir Hiperbolik veya Parabolik iz üzerinde Güneşten uzaklaştırmaya sebep olacak derecede büyük olabilir. Meteoroidin hızı öyle değişsin ki, Jüpiterden uzaklaştıkça durum Şekil 33 de 2 ile gösterilmiştir. Bu eliptik yörünge birincisinden tamamen farklıdır. Bu yörüngede Meteoroid eşit zaman aralığında, Jüpitere rast gelmemiş gibi aynı duruma gelir. *M* ile *J* nin yörünge periyotları eşit değilse ikinci karşılaşma birdenbire vaki olmaz. Mamafih ergeç meteoroit ile Jüpiter birbirlerine rastlayacaklardır. Ve sonra da küçük cismin yörüngesi tekrar büyük mikyasta değişir ve tamamiyle başka bir elips veya Hiperbol veya Parabol üzerinde hareket eder.

İlk karşılaşmanın hasıl ettiği küçük sapmalar sonraki karşılaşmada yani yeni yörüngede daha büyük farklar meydana getirir. Ve bu sebepten devir periyodunda da büyük farklar hasıl eder. Bu farklar üçüncü karşılaşma şartlarında daha büyük değişiklikler hasıl eder ki bu da yörünge elips olduğu taktirde şüphesiz vaki olur. İlâ... Her karşılaşmanın mümkün olan neticelerini hesaba katan ve ilk şartlarda küçük sapmalar meydana getiren bir genel denklem pek karışık şekilde olabilir.

Jüpiter Meteoroidin yörüngesi arasında ve karşılaşma esnasında Meteoroidin yörüngesini değiştireceği tabiîdir. Bu da problemin karışıklığını bir kat daha arttırır. Eğer *M* in kütlesi büyük ise bunun Jüpiterin yörüngesi üzerine olan etkisi, problemde bir zorluk kaynağıdır.

Üç cisim probleminin Matematik çözümündeki zorluk, bu cisimlerin hareketlerindeki karışıklıklar ve fevkalâdelikler dolayısiyle vaki olup *M*'in ilk durum hızını farklı kılar.

1912 yılında Finli matematikçilerden Sundmann üç cisim problemine ait bir çözüm bulmuşsa da bu çözüm cisimlerin mekândaki durumlarını hesaplamayı mümkün kılmadığı gibi hareketlerin mahiyeti hakkında sonunçlar da vermediğinden Sundmann'ın denklemlerinin henüz pratik bir değeri yoktur.

Netice olarak şunu söyleyebiliriz ki bugün, üç veya daha ziyade cisimlerin hareketlerine ait problemleri bildirecek vasıtaya malik değiliz. Binaenaleyh Güneş sistemindeki cisimlerin hareketlerini bulmak için bir takım yaklaşık metotlar kullanılmaktadır.

11. GÖK CİSİMLERİNİN HAREKETLERİNİN TEORİSİNDE TATBİK EDİLEN ARDARDA YAKLAŞIKLIKLAR

Gök cisimlerinin hareketleri şimdiye kadar başlıca KANTİTATİF metotlarla tetkik ediliyordu. Bu metotlar bilinen cisimlerin hareketleri için yaklaşık sonuçlar verirdi. Bu metotlar bilinen bir zaman aralığı için bulunamayan doğru çözüme yakın bir çözüm veriyordu. Kantitatif gök mekaniği Astronomik cisimlerin hareketleri için bir teori kurmağa yarar. Bu teorileri tatbik etmekle cisimlerin mekândaki durumlarını yani bilinen bir zamandaki durumlarını hesap etmek mümkündür. Muhtelif cisimlerin bilinen bir zaman aralığında karşılıklı etkilerinin mahiyetini tetkik etmek, cisimlerin kütleleri ve pertürbasyonları ile kütleleri arasında bir münasibet kurmak ve bundan sonra da bu kütleleri tayin etmek gelir. Kısacası hareket teorisi, bilinen bir başlangıca nazaran zaman aralığında gök cisimlerinin hareketlerini tarife yarar.

Hareket teorilerini kurmak için başka başka belirli metotlarda vardı. Bunlardan biri gezegen hareketine tatbik edecek olduğumuz ardarda yaklaşıklar metodudur.

Gezegen hareketlerinin en karakteristik vasfı bunların eliptik olmayan yörüngeye pek yakın eliptik bir yörüngeye sahip olmalarıdır. Bunun sebebi güneş kütlesinin gezegen kütlelerine nazaran çok büyük olmasından yani her gezegenin güneş tarafından çekiminin diğer cisimler tarafından çekimine nazaran çok büyük olmasından ileri gelir. Gezegenlerin en büyüğü olan Jüpitere nazaran güneşin arzı daha nekadar fazla çektiğini hesaplayalım. Jüpiterin güneşe olan uzaklığı arzınkinin yaklaşık olarak 5 katı kadardır (karşıma durumunda). Jüpiter ile arz arasındaki uzaklık, arz ile Güneş arasındaki uzaklığın 4 katı kadardır. Jüpiterin kütlesi ise güneş kütlesinin 1/1000 i kadardır. Jüpiter arza en yakın bulunduğu anda, Jüpiter arzı Güneşin arza tatbik ettiği kuvvetten : $4^2 \times 1000 = 16000$ defa daha az kuvvet tatbik etmiş olur. Jüpiterin diğer durumlarındaki çekimi daha azdır.

Aynı yoldan yürüyerek diğer herhangi bir gezegenin en yakın bir durumundaki çekme kuvvetini de güneşinkine nazaran hesap etmek daima mümkündür. Bu rakkamlar 89 uncu sahifedeki 3 numaralı cetvelde verilmiştir. Cetvel gezegenlerin kütlelerini ve güneşin her gezegende meydana getirmiş olduğu ivmelerin en yeni miktarlarını vermektedir.

Cetvelin sütunundakiler Güneşin herhangi bir gezegene tatbik ettiği kuvvetin diğer bir gezegenin buna tatbik ettiği kuvvetten nekadar büyük olduğunu gösterir. Meselâ Güneşin arza tatbik ettiği kuvvet, merküre tatbik ettiği kuvvetten 3 milyon kadar, Venüse tatbik ettiği 32000 i kadar, Marsa 800 000 i kadar ve Jüpitere de 16000 kadardır. Her sütundaki değerler, bilinen bir gezegenin (En yakın durumunda) diğer herhangi bir gezegene nazaran etkisini bildirir. Meselâ Güneşin Merküre tatbik etmiş olduğu çekme kuvveti, Jüpiterin tatbik etmiş olduğu kuvvetin 154000 katıdır. Diğer gezegenler için bunlara karşılık değerler Venüs için 40 000, Arz için 16 000 Mars için

6 500, Satürn için 200, Uranüs için 500 ve Neptün için 700 katı kadardır.

O halde Güneş sisteminde ana rol oynıyan kuvvet Güneşin hakim kuvvetidir. Gezegenler arasındaki karşılıklı çekme kuvveti Güneşinkine nazaran pek küçük oluyor demektir. Bundan dolayı gezegenler güneşin etrafında bir elips yörünge üzerinde hareket ederler ve bu hareketlerinde pertürbasyonlara maruz kalırlar, işte buna dayanarak Kepler dikkate şayan kanunlarını bulmuştur. Eğer gezegenlerin kütleleri daha büyük olsaydı ve meydana gelen pertürbasyonlar da çok daha fazla olsaydı, yörüngelerin elips şeklinde olması kanunu cari olmazdı.

Ardarda yaklaşıklık metodu gezegenlerin hemen hemen bozulmamış eliptik yörüngeleri üzerinde hareket ettikleri sonucuna vardırır. Öyle ki Keplerin kanunları, bir gezegenin pertürbe olmayan bir yörünge üzerinde nerde bulunacağını bize evvelden bildirir. Gezegenin hareketine ait yaklaşık bilgi her an için karşılıklı çekme kuvvetlerini ve bunların gezegende hasıl ettiği ivmeyi hesaplamaya bizi muktedir kılar. Güneşin gezegenlerde meydana getirmiş olduğu ivmeye eklenmiş olan bu ivme gezegende, hareketini bozan ivmeyi hasıl eder. Bunlar gezegenlerin izlerini göstermezler, belki normal eliptik hareketten ayrılışı gösterirler. Bu bozucu ivmeler her an için gezegen hareketindeki ayrılışın hesabına yarar. Buna BİRİNCİ YAKLAŞIKLIK veya BİRİNCİ MERTEBEDEN PERTÜRBASYON denilir. Bunların miktarları rahatsız eden cismin kütlesine bağlıdır.

Birinci dereceden pertürbasyon, gezegen hareketinde tam (kat'i) gezegen bozukluklarıyla çakışmaz, çünki bozucu ivmeler gezegenin yaklaşık durumlarına göre hesap edilmiştir. Gezegen bu durumda olan sapmaları küçük kaldıkça birinci dereceden pertürbasyonlar, tam partürbasyonlardan pek farklı değildir. Birinci dereceden pertürbasyona ait doneler gezegenin mekândaki yeni durumunu tayin eder. Pertürbe olmayan eliptik

Cetvel 3

	Merkür	Venüs	Arz	Mars	Jüpiter	Satürn	Uranüs	Neptün	Güneş kütlesi cinsinden değeri	Gezegenin güneşe doğru ortalama ivmesi
Merkür ...	—	300.10^3	800.10^3	24.10^6	154.10^3	2.10^6	60.10^6	100.10^6	$\frac{1}{7,500,000}$	3,7 cm/see^2
Venüs.....	15.10^7	—	53.10^3	9.10^6	40.10^3	540.10^3	17.10^6	36.10^6	$\frac{1}{408,000}$	1.2
Earth	3.10	32.10^3	—	800.10^3	16.10^3	250.10^3	$7.5.10^6$	18.10^6	$\frac{1}{333,420}$	0.6
Mars	4.10^6	120.10^3	43.10^3	—	6.500	105.10^3	$3.5.10^6$	14.10^5	$\frac{1}{093,500}$	0.26
Jüpiter ...	6.10^6	300.10^3	200.10^3	$1.5.10^6$	—	2.500	170.10^3	460.10^3	$\frac{1}{7,047}$	0.022
Satürn ...	7.10^6	350.10^3	240.10^3	2.10^6	200	—	25.10^3	88.10^3	$\frac{1}{3,500}$	0.006
Uranüs ...	$7.5.10^6$	400.10^3	260.10^3	$2.4.10^6$	500	900	—	7.10^3	$\frac{1}{22,870}$	0.0015
Neptün ...	$7.5.10^6$	400.10^3	300.10^3	3.10^6	700	1.540	3.10^3	—	$\frac{1}{19,500}$	0.00067

hareket denklemleri, eliptik hareketlerden olan sapmaların büyük mikyasta hesaba katılmasından dolayı daha doğru netice verir.

Her an için gezegene ait bu yeni ve daha doğru olan bilgilere dayanarak, bu an için karşılıklı çekme etkisini ve bozucu ivmeler ve sonra da pertürbasyonlar hesap edilebilir. Bu pertürbasyonlara da İKİNCİ MERTEBEDEN PERTÜRBASYONLAR denilir. Bu suretle birinci derecede elde edilen neticelerden daha sahih sonuçlar elde edilmiş olur. Böylelikle gezegenlerin durumu birinci dereceden bozukluklara göre hesap edilen durumdan daha doğru olarak tayin edilmiş olur. (İkinci yaklaşıklık). Aynı veçhile üçüncü yaklaşık pertürbasyon da hesap edilebilir. ilâ...

Pertürbe eden (bozucu) cismin kütlesi küçük oldukça gezegenlere (Güneşte olduğu gibi) esas çeken cisim gibi bakılabilir. Az veya çok kat'i neticeler elde etmek için daha az miktarda yaklaşıklıklara lüzum vardır. Bir diğer gezegen tarafından rahatsız edilen bir gezegene bakalım. Birinci yaklaşıklıkta gezegenimizin her anda haiz olacağı pertürbasyon ivmesini $\gamma_1 = \frac{m}{r_0^2}$ denkleminden bulabiliriz, burada m rahatsız eden gezegenin kütlesini (Güneş kütlesinin bir kesri olarak) ve r_0 da gezegenlerin eliptik yörünge üzerinde hareket etmeleri haline göre aralarındaki uzaklığı göstermektedir. Bu pertürbasyon ivmeleri birinci yaklaşık pertürbasyon hesabında kullanılır ki bunun miktarı bozucu m kütlesi ile orantılıdır. Bu yolda yürüyerek her iki gezegen arasındaki doğru uzaklığı bulabiliriz. Bu uzaklığı r_1 ile gösteriyoruz ki bununla r_0 arasındaki fark m kütlesi ile orantılı bir miktar kadardır :

$$r_1 = r_0 + \Delta r_1 \; ; \quad \Delta r_1 \cong m$$

İkinci yaklaşıklıkta pertürbasyon ivmesi (bozucu ivme) şu denklemden hesap edilir.

$$\gamma_2 = \frac{m}{r_1^2}$$

Aynı anda γ_1 ve γ_2 ivmeleri arasındaki fark nedir ? Bunu bulmak için

$$\gamma_1 - \gamma_2 = \frac{m}{r_0^2} - \frac{m}{(r_0 + \Delta r_1)^2} = m \frac{2\Delta r_1 + \Delta r_1^2}{r_0 (r_0 + \Delta r_1)^2} =$$

$$m \Delta r_1 \frac{2 + \Delta r_1}{r_0 (r_0 + \Delta r_1)^2}$$

$\Delta r \cong m$ olduğundan $\gamma_1 - \gamma_2$ farkı pertürbe edici (bozucu) m kütlesinin karesi ile orantılı olur. İkinci yaklaşıklıktaki pertürbasyonu hesap etmek için γ_2 ivmelerini kullanarak heran için yeni uzaklıklarını bulmuş oluruz. Bunların r_1 den miktar itibariyle farkı, bozucu m kütlesinin karesi ile orantılıdır yani :

$$r_2 = r_1 + \Delta r_2 \quad \Delta r_2 \cong m^2$$

dir. Şimdi üçüncü yaklaşıklıktaki ivmeleri hesaplayabiliriz.

$$\gamma_3 = \frac{m}{r_2^2}$$

Fark olarak ta şunu yazabiliriz.

$$\gamma_2 - \gamma_3 = \frac{m}{r_1^2} - \frac{m}{(r_1 + \Delta r_2)^2} = m \Delta r_2 \frac{2 + \Delta r_2}{r_1 (r_1 + \Delta r_2)}$$

burada görüldüğüne göre bu fark bozucu kütlenin kübü ile orantılıdır. Üçüncü yaklaşıklıkta hesap edilen karşılıklı uzaklıklar, (r_3) miktar itibariyle m^3 ile orantılı bir miktar kadar r_3 den farklıdır, yani :

$$r_3 = r_2 + \Delta r_3 ; \quad \Delta r_3 \cong m^3$$

olur.

Hulâsa edersek birinci yaklaşıklıkta gezegenin durumunu büyüklük itibariyle m kütlesi ile orantılı bir sıhhat derecesiyle buluruz, ikinci yaklaşıklıkta ise m^2 ile üçüncü yaklaşıklıkta m^3 ile ilâ... orantılı bir sıhhet derecesiyle orantılı olarak bulabiliriz. m küçüldükçe yukarıda bildirildiği gibi gezegenlerin kütleleri nispeten küçük olduğundan ardarda yaklaşıklıklarda sıhhat derecesi de artar, gezegenin verilen problemdeki kesin durumundan olan fark gittikçe azalmış olur.

Daha önce işaret ettiğimiz gibi gezegenlerin kütleleri nispeten küçüktür. Jüpiter en büyük kütleyi haiz olduğu halde kütlesi güneşin kütlesinin 1/1000 ni kadardır. Gezegenlerin hareketlerinin etüdünde ardarda yaklaşıklıklar metodunun işte bundan dolayı faydası vardır. Üç cisim problemini bir misale tatbik edelim. Bu üç cisim de Güneş, Jüpiter ve Satürn olsun. Ne Jüpiterin ve ne de Satürnün diğer gezegenlerin etkileri altında bulunmadıklarını farzedelim.

Satürn ile Jüpiter Güneş etrafında yarı çapları sırayla 1 500 000 000, 750 000 000 kilometreye yakın olan dairelere pek yakın elipsler üzerinde hareket ederler. Jüpiter devrini 12 senede ve Satürn ise 30 senede tamamlamaktadırlar. İlk yaklaşıklıkta istikbal durumundan 3 yıl içinde Jüpiterin Satürnü çektiğini ve Satürnün de Jüpiteri çektiğini kabul ediyoruz. Bunu yapabilmek için de bozucu ivmelerin karşıma durumundaki miktarına göre hesap yapıyoruz. Sahife 89 daki 3 ncü tabloya göre karşıma durumunda Güneşin Satürne tatbik ettiği çekme kuvveti Jüpitere tatbik ettiği çekme kuvvetinin 200 katıdır. İvme çekme kuvveti ile orantılı olduğundan bu sırada Jüpiter Satürne, güneşin tatbik ettiği ivmenin 1/200 kadar bir ivme tatbik eder.

Tablo Satürn'ün Güneş çekiminden ileri gelen ortalama ivmeyi vermektedir. Bu da 0,006 cm/sec^2 dir. Bu halde karşıma durumunda Jüpiter'in Satürn'de hasıl etmiş olduğu ivme yaklaşık olarak

$$\gamma_J = \frac{0{,}006}{200} = 0{,}00003 \text{ cm/sec}^2$$

kadardır.

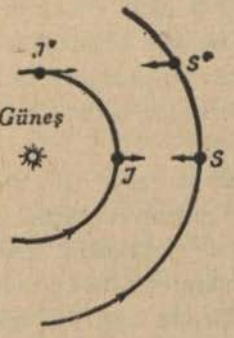
Satürn'nün karşıma durumunda Jüpitere tatbik ettiği çekme kuvveti güneşinkinin 1/2500 ü olduğu zaman Satürnün Jüpiteri çekmesinden dolayı hasıl olan bozucu γ_S ivmesi tamamiyle aynı yoldan hesabedilebilir.

Güneşin çekme kuvvetinden dolayı Jüpiterde hasıl olan ivmelerin ortalaması 0,022 cm/sec² olduğuna göre buradan da :

$$\gamma_S = 0{,}022/2500 = 0{,}000009 \text{ cm/sec}^2$$

buluruz.

Üç yıl esnasında Jüpiter yörüngesinin hemen hemen 1/4 ne yakın kısmını katetmiş olduğu halde bu esnada Satürn Güneş etrafındaki yörüngesinin 1/10 kısmını katetmiş olur. Karşıma durumundan itibaren üç yıl nihayetinde Şekil 34 de görüldüğü



Şekil 34. Jüpiter ile satürnün karşılıklı pertürbasyoları

üzere bu gezegenler J^*, S^* durumlarını alırlar. Karşıma durumundan itibaren bu iki gezegen arasındaki uzaklık gittikçe artar ve bunun neticesi olarak ivme de gittikçe azalır, fakat

bu üç yıl içerisinde bozucu ivmelerin doğrultuları pek değişmez. Binaenaleyh ivmeyi sabit ve aynı doğrultuda sırayla maksimum değerleri olan 0,00003 cm/sec^2 ve 0,000009 cm/sec^2 olarak kabul etmekle büyük hata işlemiş olmayız. O halde düzgün hızlanan hareketteki $s = \frac{1}{2} \gamma t^2$ bilinen ivme formülüyle hesaplanmış olan eliptik yörüngeden olan ayrılmalar herhalde hakiki değerinden büyük olur. Bu ayrılmaları kilometre cinsinden ifade etmek istersek, Satürn için $s \cong 15 \times 10^{10} = 1{,}5$ milyon kilometre ve Jüpiter için $s \cong 5 \times 10^{10}$ cm $= 500\,000$ kilometre dir. O halde bu iki gezegenin eliptik yörüngelerden ayrılmaları Satürn için 1,5 milyon kilometreyi ve Jüpiter için ise 500 000 kilometreyi geçmez. Gerçi bu sayılar küçük değillerse de güneş sistemindeki uzaklıklarına nazaran ihmal edilebilecek derecede küçüktürler. Arzdan bakıldığına göre gökte Jüpiter ile Satürnün bu ayrılmaları, mekândaki zahirî durumlarına nazaran Satürn için 3 dakika ve Jüpiter için 2 dakika kadardır.

Birinci yaklaşıklığı elde etmek için Jüpiterle Satürnün bozucu ivmelerinin sıhhatle hesabedilmesi ve buradan bilinen 3 yılın her bir anı için bu gezegenlerin küçük elipsler üzerinde hareket etmesi şartları elde edilir. Fakat biz başka ve daha basit yoldan gideceğiz.

Satürn ve Jüpiterin üç yıl içinde durumlarından toplam ayrılmaları sırayla 1,5 milyon kilometre ile 0,5 milyon kilometreyi geçmediğinden birinci yaklaşıklık pertürbasyonunun gerçek ve tam pertürbasyondan olan farkını tahmin edebiliriz. Filhakika Jüpiter ile Satürnün tam durumları birinci yaklaşıklığa göre hesabedilen ve bozucu ivmelere ait olan eliptik yörüngelerindeki durumlarından sırasıyla 1,5 ve 0,5 milyon kilometre kadar farklıdır. Bunlar arasındaki gerçek uzaklık hesap edilenden $1{,}5+0{,}5=2$ milyon kilometre farklıdır. Gezegenlerin karşılıklı çekme kuvvetinden meydana gelen ivmeler uzaklığın karesi ile değişir. Binaenaleyh :

$$\frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{r_1^2}{r^2}$$

olup burada γ_1 ve r_1 bozucu ivme ile gezegenler arasında birinci yaklaşıklıktaki uzaklığı ve γ ile r ise gerçek bozucu ivme ile Jüpiter ve Satürn arasındaki uzaklıktır. Orantı kaidesini tatbik etmekle aşağıdaki bağıntıyı yazabiliriz.

$$\frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_1} = \frac{r_1^2 - r_2^2}{r^2}$$

r_1 ile r arasındaki fark iki milyon kilometreyi geçmediğine göre ve r de 1500—750=750 kilometreden daha az olmadığından γ_1 ile γ arasındaki fark 1/180 i geçmez. Bu sebepten dolayı bu ivmelere esas olarak hesaplanmış olan birinci yaklaşıklık hatası sırasıyla :

$$\frac{15 \times 10^5}{180} = 8{,}300 \text{ km. ve } \frac{5 \times 10^5}{180} = 2{,}800 \text{ km.}$$

yi geçmez.

O halde birinci yaklaşıklık pertürbasyonu Jüpiter ile Satürnün durumlarını üç yıl içerisinde sırayla 8300 kilometre ve 2800 kilometre sıhhat derecesi içerisinde tayin eder. Jüpiter ile Satürnün hareketindeki bu farklar, Arzdan görüldüğüne göre, gökteki zahirî durumlarında bir saniyeden daha büyük hata yapmaz. Gezegenlerin hareketlerinde bu kadar sıhhat derecesi kâfidir, pertürbasyonlarda ikinci yaklaşıklığı yapmağa lüzum yoktur. Fakat bu pertürbasyonu da bildirmek istersek, gezegenlerin birinci yaklaşıklık bozukluğunu ve bozucu ivmeleri hesaba dahil etmek, son olarak ta her an için ikinci yaklaşıklıktaki pertürbasyonları da hesaba katmak icabeder. Jüpiter ile Satürn arasındaki uzaklıklardaki hata 2800+8300=111000 kilometreyi geçmediğine göre, bozucu ivme ikinci yaklaşık

pertürbasyonları bu rakamların 1/35000 ni geçmez. Bu takdirde Jüpiter ile Satürnün durumlarındaki ikinci yaklaşıklık pertürbasyonu hesaba katmak şartiyle yapılan hatalar sırayla :

$$\frac{15 \times 10^5}{35{,}000} \cong 43 \text{ km. ve } \frac{5 \times 10^5}{35{,}000} \cong 14 \text{ km.}$$

yi geçmez. Bu sıhhat derecesi teorinin tatbikinde kâfi görülmektedir.

Bu pertürbasyon ifadeleri neye tabidir ? Eliptik yörünge üzerindeki hareketlerinde Jüpiter ile Satürnün gökteki durumları (Bu tip hareket başlangıç şartı olarak alınmıştır) eliptik yörünge ve zaman elemanları ile tayin edilir. Karşılıklı bozucu ivmeler, gezegenlerin kütleleri ile orantılıdır. Binaenaleyh hesabedilen birinci, ikinci.... ilâ yaklaşık pertürbasyonlar tamamen Jüpiter ile Satürnün ilk yörünge şartları ile zaman ve kütlelerine tabidîr. Teorimizin hareket denklemleri, herhangi bir an için Jüpiter ve Satürnün gökteki durumları, ilk yörünge elemanları ve kütleleri ile bağıntılı olup, Jüpiter ile Satürnün ANALİTİK TEORİSİNİ kurmağa muktedir oluruz.

Bu ardarda yaklaşıklık metodu güneş sistemindeki diğer cisimlere de muvaffakiyetle tatbik edilebilir. Büyük gezegenlerin hareketlerinin Analitik teorisini kurmak hususunda bu işlem kullanılmıştır.

Hareketin analitik teorisi sadece gök cisimlerinin zahirî hareketlerini hesaplamakla kalmayıp, aynı zamanda bunların birbirlerine olan karşılıklı etkilerini etüt etmeğe ve kütlelerini hesaplamaya da yarar.

Peykleri olan gezegenlerin kütlelerinin Kepler'in üçüncü kanunu ile takribi olarak bulunabileceğini evveldeki sahifelerde görmüştük. Arzın, Mars, Jüpiter, Satürn ve Uranüs ve Neptünün kütleleri bu yolda bulunmuşlardı. Şimdi peyki olmayan gezegenin kütlesi nasıl bulunur ? Bu da gezegenlere

ait analitik teori vasıtasiyle tayin edilmektedir. Misal olarak Venüsün kütlesini tayin edelim. Venüsün yoğunluğunu arzın yoğunluğuna eşit farzederek kütlesi hakkında tahmin yapabiliriz. Gezegenin hacmi bilindiğinden kütlesi yaklaşık olarak hesabedilebilir. Bu rakam tabiîdir ki doğru olmıyacaktır. Venüsün, arzın hareketinde yapmış olduğu pertürbasyonları hesaba katarak bu rakamlarda daha ince değerler bulabiliriz. Cisimlerin mütekabil pertürbasyonlarının kütlelerine bağlı olduğunu biliyoruz.

Venüsün kütlesini yukarıda bildirdiğimiz değerde farzederek onun arz hareketinde yaptığı pertürbasyonları hesabedelim. Bundan sonra, hesabedilen pertürbasyonları arzın hareketinde bilfiil müşahede edilen pertürbasyonlarla kıyas edebiliriz (diğer gezegenlerin arzda hasıl ettikleri pertürbasyonları tabiî olarak hesaba katmak üzere).

Gezegenin kütlesi sıhhatle tayin edilmediğinden hesabedilen pertürbasyon bilfiil müşahede edilen pertürbasyondan farklıdır. Venüsün kütlesini değiştirerek bulabileceğimiz bir değer için, hesapla bulunan pertürbasyon bilfiil müşahede ile bulunan pertürbasyona eşit kılınabilir. Netice Venüsün hakikî kütlesine pek yakın bir kütle bulunmuş olur.

Merkür ile Plüto'nun kütlelerini hesap etmek daha zordur. Her iki gezegenin kütlelerinin küçük olmalarından, diğer cisimler üzerinde hasıl ettikleri pertürbasyonlar çok küçüktür. Bu gezegenler kütlelerinin zamanımızda tam olarak bilinememesinin sebepleri bundan ileri gelmektedir.

12. NEPTÜN'ÜN KEŞFİ

Gök mekaniğinin en parlak zaferlerinden biri NEPTÜN gezegeninin keşfidir. Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn gezegenleri tarihin çok eski zamanlarındanberi bilinmektedir. 1781 de İngiliz Astronomu W. Herschel teleskopu ile araş-

tırma yaparken sabit yıldızlar arasında hareket eden sönük bir yıldız keşfetmiştir. Herschel evvela bunun bir kuyruklu yıldız olduğunu zannetmiştir. Fakat Rus Astronomlarından A. I. Leksel bunun güneş etrafında çapı Satürnün çapının iki katı kadar olan bir daire üzerinde hareket ettiğini göstermiştir. Güneş sisteminin Büyük gezegenlerinden biri olan bu gezegene Uranüs adı verilmiştir.

Gezegenin hareketinin Newton'un genel çekme kanununa göre etüdü beklenmiyen zorluklar meydana getirmiştir. Uranüs bu kanuna karşı koyuyordu. Gezegenlerin hareketlerine ait teorilerde, bilinen gezegenlerin hasıl ettikleri pertürbasyonlar, bu gezegende bilfiil müşahede edilen harekete uygun düşmemekte idi. Gezegenin hesapla bulunan durumu zahirî durumundan muntazaman ayrılıyordu. Bu ayrılma 1830 da 20 saniye ve 1840 ta ise 1,5 dakikayı buluyordu, 1844 de ise yaklaşık olarak 2 dakika idi. Bu sıralarda Newton'un kanunları o kadar sağlam addedilmekte idi ki bu kanuna karşı koyma fikri ancak bir kaç Astronoma inhisar ediyordu. Diğer sebepler düşünüldü ve bu fazla pertürbasyonun, mevcut olması ihtimal dahilinde bulunan başka bir gezegenden ileri geldiği fikri ortaya atıldı. Bu muamma üzerine teori ve rasat neticeleri arasındaki fark bilinmeyen bu gezegenin mevcut olması ihtimalini izah etmiş oldu.

Bu şaşırtıcı gezegeni teleskopla bulmak ta çok zordu ancak bir tesadüfle bulunabiliyordu. Uranüsün yörüngesindeki hareketinde pertürbasyon hasıl eden meçhul gezegenin hareketini bulmak lâzımdı. Bu problem bilinen gezegenlerle bilinmeyen cismin Uranüsün hareketinde meydana getirdikleri etkileri hesaba katmakla ve analitik teori ile çözülebilecekti.

Yukarıda bir gezegenin pertürbasyonu hareketine ait analitik bir teori kurmak için bilinen gezegenin pertürbasyonu ile, ilk şartlar arasındaki bağın bilinmesi icabettiğini bildirmiştik. Yahut diğer bir deyimle, bilinen gezegende pertür-

basyon hasıl eden gezegenin izini yaklaşık olarak bilmek icabedeceğinide söylemiştik. Şimdiye kadar bilinen gezegenlerin yaklaşık izlerinden pertürbasyonlar bulunuyordu. Burada bil'akis Uranüsün analitik teorisine ait denklemler ve Uranüsün bilinen pertürbasyonları esasına dayanarak, pertürbasyon hasıl eden bilinmeyen gezegenin yörünge elemanlarını bulmak problemi karşısındayız.

Gezegenlerin analitik problemlerinin pek karışık olmasından ve uranüste, bilinmeyen gezegenin hasıl ettiği pertürbasyonların pek küçük olmasından dolayı, büyük zorluklar arzeden bu iş hemen hemen aynı zamanda İngiliz Astronomlarından Adams (1843-45) ve Fransız astronomlarından Leverrier (1845-46) tarafından çözülmüştür.

Gezegenin yörünge elemanları bulunduktan sonra gökteki zahirî izini bulmak ve o anda gökteki durumunu da bulmak mümkün olmuştur. 1846 yılının 23 eylülünde Berlin rasathanesinde Galle, Leverrier'in verdiği donelere göre teleskopunu gökte bir noktaya çevirmiş ve orada leverier'in hesapladığı noktadan bir derece hata ile aranılan gezegeni bulmuştur.

Böylelikle Galle bir diske sahip olan gezegeni bulduktan birkaç gün sonra bu cismin sabit yıldızlar arasında hareket ettiği de anlaşılmıştır. Bu gezegene sonradan Neptün adı verilmiştir.

Kâğıt üzerinde kalemle bulunan bu netice Newton'un kanunlarının doğruluğunu ispat eden büyük bir hakikattır.

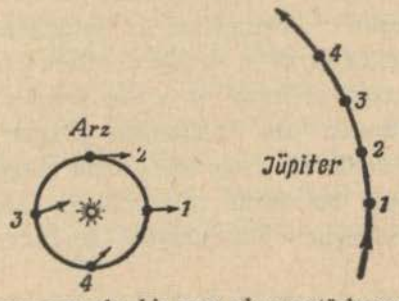
13. PERİODİK VE ASIRLIK PERTÜRBASYONLAR

Müşahede ile doğrulanan gezegenlerin hareket teorileri, biri PERİYODİK diğeri ASIRLIK olmak üzere iki tipten pertürbasyonun mevcut olduğunu gösteriyor. Birincisi eliptik hareketlerin periodik salınımları, (yörünge eleman pertürbasyonları bir ortalama değer etrafında salınım yapmaktadır.)

İkincisi ise pertürbasyonları olmayan hareketten mütemadi bir surette ayrılmalara aittir. (Elemanın büyüklüğü artar veya eksilir.)

Periyodik pertürbasyonlar gezegenin izafî konumlarına bakılarak izah edilebilir. Binaenaleyh bozucu ivmenin doğrultu ve miktarı pek çabuk ve periodik olarak değişir. Sonuç olarak bir gezegen diğer bir gezegende evvelâ bir doğrultuda ve sonra da diğer bir doğrultuda ivme hasıl eder.

Misâl olarak Jüpiterin bir yıl içinde arzda hasıl ettiği ivmeyi ele alalım. Bu esnada arz tam bir devri tamamladığı halde, Jüpiter güneş etrafındaki dolanımının 1/12 kadarını tamamlamış olur. Şekil 35 deki oklar, Jüpiterin senenin her dörtte birinde arzda hasıl etmiş olduğu bozucu ivmeleri gösteriyor. Şekilden anlaşıldığına göre 2 nci durumda açık olarak görülü-

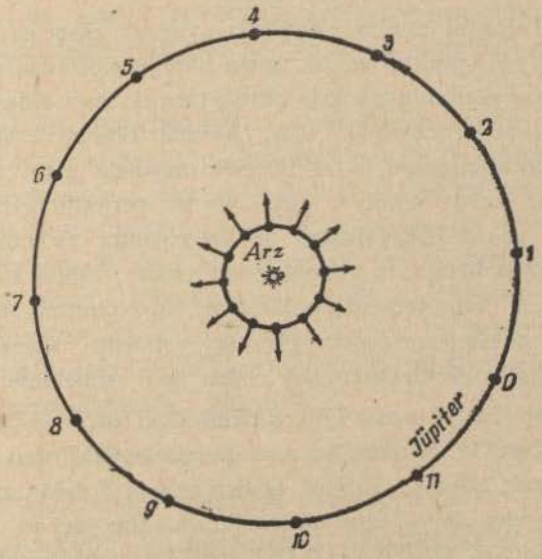


Şekil 35. Arzın peryodu bir sene olan pertürbasyonlarının izahı

yor ki, Arzın yörünge üzerinde hızı Jüpiter çekmesinden dolayı azalmıştır. 4 ncü durumunda ise yarım yıl sonra, Jüpiterin çekme kuvveti, arzın yörüngesi üzerindeki hızını arttıracaktır. Binaenaleyh arzın periodik pertürbasyonları bir yıllık periotla vaki olur. Bu yıllık pertürbasyonların yanında başka pertürbasyonlar da vardır. Meselâ bir yıl içinde jüpiterin çekme kuvveti arzı jüpitere doğru kaydırır. Şimdi arzın bu yıllık kaymasının, Jüpiterin 12 yıl süren dolanım süresi esnasında

neye vardığını araştıracağız. Şekil 36 daki oklar Jüpiterin 12 yıl süren dolanım süresi esnasında dolanımının her yılında arzın hareketinde hasıl ettiği kaymaları gösteriyor. Burada görülen oklar bu esnada 360 derece üzerinde hareket etmiş olur ki bu da bir okun miktar ve doğrultusunun (6 yıl sonraki) oklar miktar ve doğrultusuna zıt olduğunu gösterir. Bu pertürbasyonların periodu 12 yıldır.

Burada arzın pertürbe olmayan (Şekil 36) hareketinin Jüpiterin yüzünden iki bileşenli pertürbasyona uğradığını



Şekil 36. Arzın peryodu 12 yıl olan peryodik pertürbasyonlarının izahı

görmüş olduk. Bunlarlda bir ve 12 yıllık periotlu salınımlardır.

Doğruusunu söylemek lâzım gelirse gezegenlerin hasıl ettikleri pertürbasyonlar pek küçük olup, hareketler de dikkate alınacak değişiklikler yapmazlar. Eliptik yörüngelerde periodik bozukluklardan ileri gelen maksimum zahirî ayrılmalar, Mer-

kür için yaklaşık olarak 15 saniye, Venüs için 20 saniye, Arz için bir dakika, Mars için iki dakika, Uranüs için üç dakika ve Neptün için 1,5 dakikaya tekabül eder.

Bu ayrılmalar Jupiter için -28 dakika ve Satürn için 48 dakikadır. Bu bozuklukların periotları da büyük olup şöyle böyle 900 seneyi bulur.

Bu nevi uzun süren bozukluklara, (uzun periotlu pertürbasyonlar) denilir. Bunlar periodik pertürbasyonlarla, asırlık periotlular arasındaki sınırda bulunur.

Öyle olur ki bunları rasatlarla ayırmak ekseriya imkânsızdır. Çünki rasatlar asırlık tipten olduğu gibi uzun periotlu bozukluklar periodundan kısa olursa (asırlık tipte olduğu gibi) mütemadî artan nevinden olur. Meselâ Jüpiter ile Satürnün yörüngeleri üzerindeki hareketlerinde meydana gelen ayrılmalar 17 nci asırda biliniyor idiyse de bu periodik ayrılmalar, 900 yıla yakın olduğundan, pertürbasyonun periodik veya asırlık tipten hangisine ait olduğunu sadece rasatla kestirmek imkânsızdı. Bu pertürbasyonlar teori ile bulunmuş olup, rasatlar bu miktarların doğruluğunu teyit etmiştir. Gezegenlerin uzun periotlu pertürbasyonları neden ileri gelmektedir ?

Jüpiter ile Satürnün Güneş etrafındaki yörünge periotları, sırayla 12 ve 30 yıl olup, bu periotlar arasındaki oran da yaklaşık olarak 2/5 dir. Jüpiter, hemen hemen 5 dolanım yaptığı zaman Satürn de yaklaşık olarak iki dolanım yapmış olur. Bu gibi periotlara ORTAK ÖLÇÜLEBİLİR periotlar denilir.

Ortak ölçülürlük mekanikteki REZONANS olayına benzer. Salınım yapan bir cismin periodu, bu cismin periodu ile ritmik olan bir kuvvet etki ederse, rezonans olayı meydana gelir. Bu kuvvet pek küçük olsa bile zamanla büyük genlik hasıl eder.

Satürnün Güneş etrafındaki hareketi, güneş etrafında periodu 30 yıl olan bir salınım hareketi gibi addedilebilir. Her

iki dolanım sonunda Satürn, Jüpiter ve Güneş 30 yıl evvelki konumlarını almış olurlar. Buna göre Jüpiterin Satürnde meydana getirmiş olduğu bozucu etki muntazam bir surette ceryan eder. Diğer bir deyimle Jüpiterin Satürn üzerindeki bozucu etkisinin periodu Satürnün iki dolanım perioduna eşittir.

Hulâsa etmek istersek diyebiliriz ki Satürn Güneş etrafında periodik salınım yapmakta olup, Jüpiterin bozucu etkisi, bu salınımla rezonans halindedir. Aynı hakikat Satürnün Jüpiter üzerindeki etkisi için de söylenebilir. Sonuç rezonansla nihayet bulur. Bu hakikatlar bu iki gezegenin periotlarının ortak ölçülebilir tipten oluşunun ne büyük etki yaptığını göstermektedir.

Periodik etkilerden başka olarak asırlık bozucu etkiler de bu iki gezegenin pertürbe olmamış konumlarında gittikçe ayrılmalara sebep olur. Gezegen hareketinin analitik teorisi zamanla, hatta zamanın karesi veya kübü ile orantılı olan pertürbe hareketleri de ihtiva eder. Mamafih bu pertürbasyonlar pek yavaş büyürler. Meselâ arzın, Venüs ve Jüpiterin Leverrier tarafından kurulan hareket teorisine göre bu gezegenlerin yörüngelerinin dış merkezlikleri aşağıdaki formüllerle ifade edilen asırlık pertürbasyonları haizdirler :

$e=0{,}0167498-0{,}0000426\ t-0{,}000000137\ t^2$ (Arz)

$e=0{,}00681636-0{,}00005384\ t+0{,}000000126\ t^2$ (Venüs)

$e=0{,}04833475+0{,}000164180\ t-0{,}000000468\ t^2$ (Jüpiter)

Bu formüllerdeki t, 1900 den itibaren sırayla yüz yıllar cinsinden hesaplanmıştır. Burada görülebilir ki bu gezegenlerin dış merkezlikleri bir yıl içinde ancak sırayla (0,0000004 ; 0,00000054 ; 0,000001641) ve yüz senede (0,0000427 ; 0,0000537 ; 0,00016371) kadar değişmektedir.

Mamafih bu pek küçük pertürbasyonlar uzun zaman sonunda gezegen hareketinde değişiklik yaparlar. Meselâ

10 000 yıl sonunda arzın dışmerkezliği, 0,0134 e ve Venüsünkü ise 0,0014 e inmiş olur. Buna mukabil Jüpiterin yörüngesinin dışmerkezliği, 0,064 e yükselmiş olur.

Şu hakikatı gözden kaçırmamalıyız ki, gezegenler hareketlerinin analitik teorisi ancak belirli bir müddet için kat'i sonuç verir. Bu teori bu müddetin dışında cari değildir. Verilen cisimlerin hareket problemine ait en doğru çözümlerle, teori arasındaki ayrılıkların pek küçük olduğu aralıkları teorik olarak ifade etmek ancak maelesef bir kaç hususî halde mümkün olabilmiştir.

Alelâde bazı cisimlerin hareketine ait geliştirilmiş hareket teorisi elde mevcut olan bütün rasatlarla kıyas edilebilir. Bu da tabiî olarak teori ile rasat sonuçlarını açar. Bu açıklıkların miktarı ve buna ait olan zaman aralığı mukayese edilerek teorideki hata tahmin edilebilir.

Gezegen hareketine ait modern analitik teori ile, 1800 den bu yana geçen zaman periodu zarfında yapılan rasatlarla mukayese etmekle ayrılığın epey sayıda saniyeleri bulduğu görülür. Bu suretle bugün elde mevcut olan gezegenler teorisi, ancak iki yüz yıllık hesaplar için kullanılabilir, ve bu müddet zarfında gezegenin gökteki mevkiini epey sayıda saniyeler farkı ile bulmamıza müsaade eder. Bu müddet zarfında gezegenin yörünge elemanları bu teorinin denklemlerine göre değişirse de gelecekte aynı yolda değişeceğini söylenemez. Ne olursa olsun bu denklemleri, gezegenlerin hareketleri için bir kaç bin sene vadeli olarak kullanamayız. Bir misal olarak Venüsün dışmerkezliğinin 20 000 yılda ne kadar değişeceğini bu denklemlerle bulmaya çalışırsak, olumsuz sonuca varırız. Halbuki bir gezegenin dışmerkezliğinin değeri, ya pozitif veyahut sıfırdır. Binaenaleyh bu denklemler Venüsün dışmerkezliğinin 10 000 yıl veya daha fazla sonrası için ne olacağını hesap etmeğe yaramaz.

Gezegen hareketinin Analitik teorisi, asırlar için kullanılmıyacağı neticesine varılabilir diyebiliriz. Fakat gök mekaniği

başka metotlar da bulmuştur ki, bunlar gök cisimlerinin kat'i yerlerini hesaplamaya yaramayıp asırlık pertürbasyonlarını tayin işine elverişlidir. Bu metotların tatbiki analitik teorilere göre asırlık pertürbasyonlar addedilen bazı pertürbasyonların, bilfiil uzun periotlu tipten olduğunu göstermiştir. Gezegen yörüngelerinin dışmerkezlikleri ile eğilmeleri bu tiptendir. Gezegenlerin karşılıklı çekmeleri, yörüngenin şekli tutulma düzlemine olan eğilmesini değiştirir.

Dışmerkezlik ile eğilmedeki pertürbasyonların on binlerce yılı bulan uzun periotlu salınımlardan meydana gelmiş gibi görülüyor. Bu gibi pertürbasyonlar muntazam periotlu olmayıp, pek yavaş nizamsız salınımlar tipindendir.

Bu suretle asırlık pertürbasyonlar teorisi, gezegenler yörüngelerinin dışmerkezliği ile eğilmelerindeki değişiklerin tamamiyle asırlık olmadığını gösteriyor. Fakat bu değişikliklerin periotları yüz binlerce yıllık olduklarından dolayı bu vadideki eserler asırlık terimini muhafaza etmektedirler.

Maksadı izah için verilen 4 numaralı cetveldeki değerler, Mars ile Arzın değişen yörüngelerindeki iki elemanın ortalama, (1850 den evvel ve sonraki 100000 yıllık) asırlık değişmelerini veriyor, ki bunlar da Leverrier tarafından hesaplanan dışmerkezlik ve eğilmedir. (kısa periotlu pertürbasyonları hesaba katmıyarak) Yörünge eğilmeleri arzın 1850 de üzerinde hareket ettiği düzleme nazaran hesap edilmiştir.

Elemanların değişim eğrileri, 4 üncü cetvele dayanılarak şekil 37 ve 38 de grafik olarak gösterilmiştir, ki bu da cetvel 4 deki rakamlara dayanır.

Cetvel ile grafiklerinden anlaşıldığına göre arz yörüngesinin dışmerkezliği 0 ile 0,069 arasında oynadığı (dairesel yörünge) halde bu yörüngenin eğilmesi 4°41′ kadar artabilir.

Leverrier diğer gezegenler için de böyle cetveller yapmıştır. Şekil 5 büyük gezegenlerin maksimum ve minimum dışmerkez-

Cetvel 4

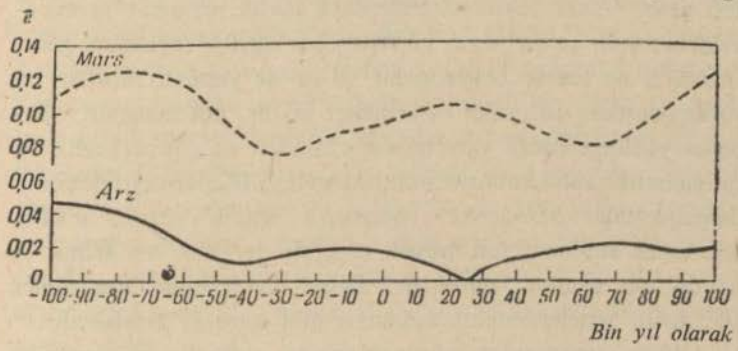
t, Bin sene olarak	Mars		Arz	
	e	i	e	i
—100	0,1079	3°13′45″	0,0473	3°45′31″
90	0,1195	2 55 36	0,0452	2 42 19
80	0,1251	1 55 12	0,0398	1 18 58
70	0,1225	30 01	0,0316	1 13 58
60	0,1175	1 01 41	0,0218	2 36 42
50	0,0978	2 09 32	0,0131	3 40 11
40	0,0832	2 46 15	0,0109	4 03 01
30	0,0746	2 54 43	0,0151	3 41 51
20	0,0840	2 46 37	0,0188	2 44 12
—10	0,0884	2 27 51	0,0187	1 24 35
0*	0,0932	1 51 06	0,0168	0 00 00
+10	0,1006	49 17	0,0115	1 14 26
20	0,1036	53 49	0,0047	2 07 46
30	0,1013	2 29 09	0,0059	2 33 19
40	0,0945	3 49 17	0,0124	2 27 53
50	0,0857	4 27 27	0,0173	1 51 54
60	0,0797	4 10 49	0,0199	51 52
70	0,0825	3 05 11	0,0211	34 35
80	0,0948	1 46 11	0,0188	1 45 40
90	0,1113	1 55 26	0,0176	2 40 56
+100	0,1258	49 45	0,0189	3 02 57

leri ile yörünge eğilimlerini arzın, 1850 deki yörünge düzlemine göre verir.

Gezegenlerin yörünge eğilmeleri ile dışmerkezliklerindeki bu yüz yıllık pertürbasyonlar, gezegenlerin gökteki zahirî konumlarında dikkate değer değişiklikler meydana getirir. Venüs için bu değişmeler, (yörünge dışmerkezliğinin $e=0{,}071$ kadar artmasından dolayı) 78 dereceye ulaştığı halde, Mars için (eğilmedeki artmadan dolayı), bu değişmeler en aşağı 5 derece olur.

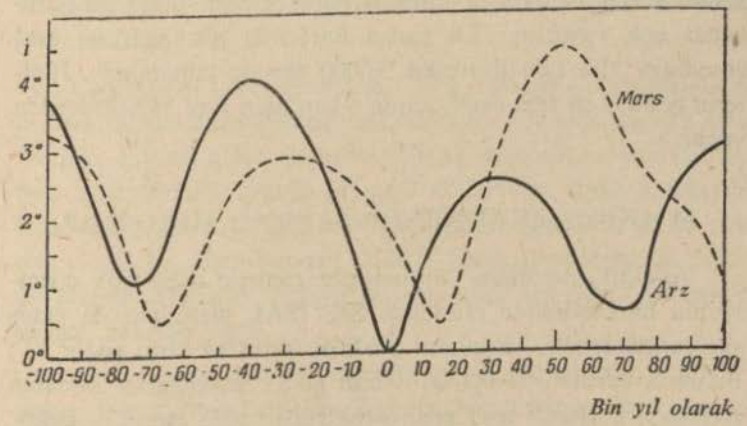
* $t=o$ zaman başlangıcı 1850 de alınmıştır.

Her ne hal ise bu pertürbasyonlar gezegenlerin hareket tarzında dikkate şayan değişiklikler yapmaya kâfi değildir. Bunların yörüngeleri yine dairelere yakın olacak ve yörünge



Şekil 37. Arz ile marsın 200 000 yıl içerisinde dışmerkezliklerindeki değişimler

düzlemleri de, evvelce olduğu gibi, birbirleriyle pek küçük eğilmeli bulunacaktır.



Şekil 38. Arz ile marsın 200 000 yıl içinde yörünge düzlemlerinin, eğilmelerinin arzın 1850 deki yörünge düzlemine göre değişimleri

Gezegen hareketlerinde daha köklü mahiyetteki pertürbasyonlar zamanla dışmerkezliklerin, eğilmelerin ve bilhassa yörüngelerin yarı büyük eksenlerinin asırlık değişmelerinden ileri gelir. Yarı büyük eksenlerdeki asırlık artmalar gezegenlerin hepsinin yavaş yavaş güneşten uzaklaştığı manasına gelir. Mamafih ne teorik araştırmalar ve ne de yapılan rasatlar bu yörüngelerdeki yüz yıllık değişmeleri takdir edememiştir. Gezegen yörüngelerinin yarı büyük eksenleri ile dışmerkezlik ve eğilmelerinin sabit kalmıyacakları tabiîdir. Bunlar zayıf periodik dalgalanmalar arzederler. Mamafih birçok yüzbin seneler geçmesine rağmen, yarı büyük eksende ne sabit bir artma ve ne de bir azalma olmuştur. Diğer bir deyimle gezegenler çok uzun senelerdenberi bugünkü gibi hareket etmişlerdir.

Bütün gezegenler yörüngelerinde, yükseliş düğümünün boylamı ile düğümden olan Perihel uzaklıkları, 100 yıllık değişmelerden müteessirdirler. Bütün gezegenlerin yükseliş düğümleri, geriler, yani, gezegenin hareketine karşı doğrultuda hareket ederler. Diğer taraftan gezegenlerin çoğunun perihelleri gezegenle aynı doğrultuda hareket eder, fakat bu hareketler çok yavaştır. En hızlısı Satürnün yörüngesinin asal eksenidir. Bu tam devresini 57 000 senede tamamlar. Jüpiterin periheli ise tam devri bunun 6 katı olan yani 349000 senede yapar.

14. GÖK MEKANİĞİNDE SAYISAL METOTLAR

Analitik metotlara ilâveten, gezegenlerle diğer gök cisimlerinin hareketlerinin etüdünde SAYISAL metotlara da geniş yer verilmektedir. Bunların analitik metottan farkı şudur ki : bunların yardımı ile biz cisimlerin pertürbasyonlarını zamanın fonksiyonu olarak tarif eden denklemleri elde etmeyip, gökte, belirli bir anda, cisimlerin Koordinatlarını veren sayılarını kullanırız. Bu özel durumlar nasıl bulunur ?

Bir kaç gök cisminin Newton kanunlarına göre birbirlerini çektiklerini düşünelim. Her cisim için ilk durumu ile ilk t_0 anındaki hızını biliyorsak, bu cisimlerden birinin diğerine tatbik ettiği çekme kuvvetini ve buradan ilk anda birbirlerine hasıl etmiş oldukları ivmeleri tayin edebiliriz, ilk an olan t_0 'a yakın t_1 anını seçerek $\Delta t = t_1 - t_0$ zaman aralığında cisimlerin ivmeleri değişmez. Bundan sonra düzgün hareketli bir cisme ait denklemi tatbik ederek herbirisi için Δt zaman aralığında düzgün "ötelenme" hareketinden olan ayrılığı ve t_1 anındaki hızı ile durumunu hesaplayabiliriz. Cisimlerin bu yeni durumlarından, cisimlerin t_1 anında, aralarında tesir eden kuvvetler ile ivmeyi yeniden hesaplamak mümkündür. Bundan, kısa bir zaman aralığından sonraki t_2 anındaki durum ve hızlarını tayin etmek mümkündür.

Bu suretle birbiri peşinden atılacak adımlarla cisimlerin gökte yaklaşık durumlarını hesaplamak ve böylece cisimlerin t_1, t_2, t_3 ilâ... durumlarını ve hızlarını özel bir zaman aralığında bulup bir cetvel halinde dizmek mümkün olur. Cisimlerin hareketinin SAYISAL TEORİSİ bu gibi aralıklarda cetveller yapmakla kurulur.

Cisimlerin yörüngelerinde, kısa zaman aralıklarındaki ardışık durumlarını hesaplamak basit bir işlemdir, sadece aritmetiğin bilinen dört işlemine ihtiyaç gösterir. Mamafih az çok uzun zaman aralığı (Meselâ 10-20 sene için) hareketini elde etmek üzere yürütülmesi lâzım gelen işlemlerin sayısı pek çok olmalıdır. İşte bundan dolayı "Hesap makinelerinin inkişaf etmesi sayesinde" sayısal teknik ancak son 10-15 yıl içinde yaygın hale gelmiştir.

1951 yılında A. B .D. lerinde Güneş sisteminin 4 büyük gezegeninin— Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptünün— hareketlerine ait cetvel yayınlanmıştı. Elektronik hesap makineleri vasıtasiyle tertip edilen bu cetveller, gezegenlerin 1653 yılı ile 2060 yılları

arasında her 40 gündeki durumlarını göstermektedir. Bu gezegenlerin 1780 ile 1940 yılları arasındaki rasatlarıyla, bunların sayısal teori ile bulunan hareketlerinin mukayesesinde bu teorinin, amerikalı astronomlardan HILL ile NEWCOMB ın meydana koymuş oldukları en ince analitik teorilere nazaran rasatlara daha uygun düştüğü anlaşılır. Bu gezegenlerin zahiri hareketlerinin tayini hususunda sayısal teori ve rasatla bulunan sonuçlar birbirlerine pek yakın düşmektedir. Ortalama olarak söylemek lâzım gelirse, sayısal teori ve müşahede ile bulunan durumlar arasındaki fark, bir saniyelik yay parçası kadardır.

Şimdi sayısal teori, astroitler ve peykler de dahil olduğu halde gök mekaniğinin diğer problemlerine de muvaffakiyetle tatbik edilmektedir. Gök cisimlerinin zahirî hareketleri için, bunların Analitik metotlara nazaran daha sıhhatli sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz. Dahası var, bu metot en karışık problemleri en basit hale koyar ve esaslı matematik zorluklar ortadan kalkmış olur. Üç, dört cisim problemleri iki cisim problemindeki kadar kolaylıkla çözülebilir, sadece işlemler sayısı artmaktadır. Bütün bunlar sayısal tekniğin lehine kaydedilecek hususlardır. Lehe kaydolunan bu hususlar nelerdir ?

Analitik metotta olduğu gibi sayısal metotta da özel ve kısa zaman aralıklarındaki hareketler ele alınır. Aralıklar ne kadar uzun olursa bu metot caridir. Fakat yalnız bu değil pratik olarak söylemek lâzım gelirse bir cismin hareketinin sayısal teorisi, bilfarz 100000 yıl evvelden epey zor olduğu gibi, teoride hatalar meselesi de işe girer. Biz hareket probleminin sadece yaklaşık çözümünü elde ettiğimizden dolayı bulun böyle olması tabiîdir. İlk andan itibaren pek uzak zamanlara gidilince, meselâ (bir çok binlerce yıl için) zaman noktalarına ait hataları bulmak ve bilinen cismin bu anda bulunan (sayısal çözümle elde edilen) durumu bu hareket probleminin tam çözümü ile bulunan durumu arasındaki farkları bulmak pek müşkül olur, bir çok ahvalde ise imkânsızdır da.

Hesaba başlamak için üzerinde incelemeler yapılan cisimlerin kütlelerini, sıhhatle bilmek icabeder, ve bu cisimlerin çekimine ait tam doneleri de elde etmiş olmamız lâzımdır. Diğer hususlar, sayısal hesaplarla meselâ bu cisimlerin pertürbasyonlarını direkt olarak elde edersek te, analitik metotların tatbikinde olduğu gibi bu pertürbasyonlarla, kütleleri tarif eden kemiyetleri, yörünge elemanları ve pertürbe olan cisimlerin diğer özelikleri arasındaki bağıntıyı ve bunların hareketlerini elde etmiş olmayız.

Pertürbasyon hasıl eden cisimlerin yörünge elemanları ve diğer özelikleri teorik metotlarla elde edilemeseydi bugüne kadar Venüs veyahut Merkürün kütleleri hakkında bir fikrimiz olamazdı, ve bu sebepten NEPTUN'ün de (Teorik olarak) keşfi mevzuubahis olamazdı. Bunlar da sayısal metotlar, gökteki cisimlerin hareketlerinin genel özeliklerinin etüdüne yardım edemezler.

Netice olarak diyebiliriz ki sayısal metotlar ve sayısal hareket toerileri, "Bugünkü halleri ile" sırfî analitik metotların ve analitik hareketleri, analitik teorilerinin yerlerini almaktan pek uzaktır. Mamafih bugün bunların pratik değerleri büyüktür. Daha ince hesap makineleri yapıldıkça onların rol ve manâlarının ehemmiyetinin artacağı şüphesizdir. Sayısal ve analitik teknikleri tertip eden birçok travaylar yapılmıştır. Sayısal ve analitik metotların tatbiki ile gök mekaniğinde ilerleme bekliyebiliriz.

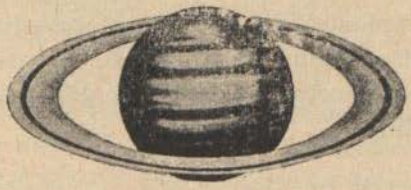
15. PEYK TEORİSİ

Gezegenler güneş etrafında nasıl dönüyorlarsa, peykler de primerleri etrafında aynı tarzda hareket ederler. Bilinen bir gezegen peykinin hareketi esas itibariyle gezegenin tatbik ettiği çekme kuvvetinden ileri gelir.

Eğer gezegen, (Jüpiter ve Satürn'de olduğu gibi), etrafında dolaşan peyklerin sayısı fazla ise, bunların karşılıklı pertürbasyonlarının hesaba katılması icabeder. Peyk cüsselerinin gezegenlerinkine nazaran pek küçük olmalarından dolayı, bu pertürbasyonlar da pek küçüktür. Peykler hareketlerinde güneş sisteminin diğer üyelerinin de etkileri altındadırlar.

Güneşle, Jüpiterin Satürnün peykleri üzerinde yaptıkları pertürbasyonlar etkilerini kıyaslayalım.

Bu iki gezegen birbirine en yakın iken, Jüpiter ile Satürn arasındaki uzaklık, Jüpiter ile güneş arasındaki uzaklığın yarısı kadar, fakat güneşin kütlesi Jüpiterin kütlesinin 1000 katı kadar olduğundan Satürnün peykini Jüpitere nazaran 10000/2 =250 defa daha kuvvetle çeker. Diğer gezegenlerin Satürn peyki üzerindeki bozucu etkileri, nispeten daha azdır. Bu sebepten dolayı peykler teorisinde, güneşin çekme kuvvetini esas olarak alıyor ve diğerlerini ihmal ediyoruz. Diğer bir nokta da şudur ki, peykler primerlerine pek yakın olduklarından ve gezegenlerin hakikî şekillerinin tam küresel olmamaları gibi sebepler dolayısiyle çekme kuvveti tam olarak uzaklığın karesi ile ters orantılı kununa bağlı değildir.



Şekil 39. Satürn

Peyklerdeki karşılıklı pertürbasyonlar üzerinde yapılan etütler sayesinde bunların kütlelerini hesap edebiliriz. Jüpiterin dört büyük peyki ile Satürnün dört büyük peykinin kütleleri bu yolda bulunmuştur. Jüpiter ile Satürnün diğer peyklerinin

ve Uranüs ile Marsın peyklerinin kütleleri bu yoldan gidilerek hesaplanamamıştır. Onların kütleleri, cüsseleri ve muhtemel yoğunlukları vasıtasiyle bulunmuştur. Peyk hareket teorileri(gezegenin küresel şeklinden olan ayrılıklarının etkisini ortadan kaldırmağa hizmet eder. Bu etki gezegenin kompresyonuna bağlı olup müşahede edilen pertürbasyonlar (dinamik kompresyon denilen) bu kompresyonu takdire bizi muktedir kılar. Mamafih peyklerin hareketleri sadece gezegenin şekli vasıtasiyle tayin edilmez, belki gezegeni teşkil eden madde yoğunluğunun yayılması kanunu ile tayin edilebilir ki, bu da bizim bildiğimiz şeydir.

Satürnün peykler sistemi, arada halkaların bulunmasından dolayı, diğer peykler sistemine benzemez. Satürnün halkaları aynı düzlemde birbirine yakın hareket eden bir çok peyklerden terekküp eder. Bunlar birbirlerine o kadar yakındır ki, bize som ince bir halka şeklinde görülür.

Satürnün peyklerinin hareketlerine dair, bir teori kurmak için bunların hesaba katılması icabeder. Peyklerde müşahede edilen pertürbasyonlar halkanın tayini hususunda bize yardım eder ki, bu da Satürnün kütlesinin 1/27000 ni kadardır.

Arzın peyki olan Ay'ın hareketi gök mekaniğinin en karışık problemlerinden biridir. Bunun sebepleri de aşağıda bildirilmiştir :

1 — Ay, arza en yakın olan bir gök cismidir. Ayın hareketindeki en ufak bir nizamsızlık takdir edilebilir. Ayın mekândaki yerinden kayması sadece iki kilometredir. Bu da ayın gökteki zahirî durumunda 1″ lik bir ayrılmadır. Binaenaleyh ayın durumunun tayininde sıhhat derecesi en aşağı bu kadar olmalıdır. Kurulacak teori ayın mekândaki durumunu iki kilometre içinde vermelidir. Hatta daha sahih olarak vermelidir*. Gezegenlerle Astroitlerin gökteki durumlarının tayininde

* Bir güneş tutulmasını bir saniyelik hata ile tayin etmek için ayın gökteki durumunu 0,5 saniye hata ile bilmek lâzımdır.

çok daha az sıhhat derecesine lüzum vardır. Meselâ Jüpiterin gökteki durumunu 1″ lik bir hata ile tayin etmek 3000 kilometrelik hataya tekabül eder.

2 — Arz ile ayın güneşe pek yakın olmalarından dolayı, ayın kanunundaki pertürbasyonlar epey büyüktür. Güneşin ayda yaptığı pertürbasyonun onun gökteki hareketini idare eden arzın, yapmış olduğu pertürbasyona nazaran nekadar zayıf olduğunu hesap edelim. Şunu açıkça bildirmeliyiz ki güneşin ayda yapmış olduğu pertürbasyon aya tatbik etmiş olduğu çekme kuvvetinden ileri gelmez. Ay, Arz etrafında hareket eder ve bu sebepten dolayı güneşin ay'a ve Arz'a tatbik ettiği toplam kuvvet bu cisimlerin karşılıklı durumlarında bir değişiklik yapmaz. Ayın arza nazaran durumundaki değişiklik şunlara bağlıdır.

1) Arzın aya tatbik ettiği çekme kuvveti (esas kuvvet),

2) Güneşin aya tatbik ettiği çekme kuvveti yer yüzündekine nazaran daha zayıf veyahut kuvvetli olması keyfiyetine yani güneşin arza ve aya tatbik ettiği çekme kuvvetlerindeki farka bağlıdır. Bu bozucu kuvvetlerle, esas kuvvet (Arzın aya tatbik ettiği çekme kuvveti) yeni ay durumunda iken, ki burada güneşe en yakındır, oran 1/89 u bulur. Bu da bozucu çekme kuvvetinin bazen esas kuvvetten pek küçük olmadığını gösterir.

Diğer peyklerde esas kuvvetle bozucu kuvvet arasındaki oran birçok defalar daha azdır. Arz aya saniyede, saniyede 0,27 santimetrelik bir ivme tatbik eder. Güneşin bozucu kuvvetinden dolayı ayda hasıl olan bozucu ivme bundan daha azdır. yaklaşık olarak bunun 89 da biri kadar. $0{,}27/89 \cong 0{,}003$ cm/sec. $s = 1/2\ \gamma t^2$ formülünü tatbik ederek ayın sadece 3 gün içerisinde (Bu süre içinde bozucu ivmede pek cüz'i değişiklik olur) 1000 kilometrelik bir yol kateder. Ay pertürbasyon izinden ve zahirî durumundan 4′ kadar ayrılmış olur. Bu 3 gün içeri-

sinde böyle olduğu halde Jüpiter ve Satürn halinde pertürbasyon 3 senede 3′ kadardır.

3 — Arzın hakikî şekli küresel olmayıp basık sferoit biçimindedir. Arzı küre şekli yerine hakikî şeklinde alıp, buna göre arza tatbik ettiği çekme kuvvetini hesabedersek bozucu kuvvetteki fark bir milyonda bir kadar olur.

Mamafih ay teorisinde bu küçük fark hesaba katılır. O halde Ay başka başka kaynaklara bağlı bozucu kuvvetlerin etkisi altındadır. (Güneş, gezegenler, ve arzdan dolayı). Diğer taraftan bu pertürbasyonların hesapları, diğer gök cisimlerinin hesaplarında kabul edilen sıhhat derecesinden çok daha yüksek sıhhat derecesinde yapılmalıdır. İşte bunlar ay teorisini pek karışık hale sokan amillerdir.

Newton, d'Alembert ve Euler gibi Astronomlar da dahil olmak üzere astronom ve matematikçiler Ay teorisini kurarken Newton'un gravitasyon kanununu esas almışlardır. Bugün kullanılmakta olan Ay teorisi Amerikan Astronomlarından E. W. Brow tarafından 1895 te islâh edilen teoridir. Bu teoriye göre ayın gökteki durumunun hesabında 0,5″—1″ kadar hata işlenmektedir. Okuyucularımıza Ay teorisinin karışıklığı hakkında bir fikir verebilmek için ayın gökteki konumunu bildiren denklemlerden bazılarının bir kaç yüz terimin toplamlarından ibaret olduğunu kaydedelim. Bu terimler periodik pertürbasyonlardır, bunların çoğu 0,1′ yi geçmez, bu da Ay'ın gökteki konumunda ancak 200 metre kadar bir farka tekabül eder.

16. SUN'İ ARZ PEYKLERİ VE BUNLARIN HAREKETLERİ

Zamanımızda gök mekaniği hususî tipten cisimler (sun'i arz peykleri) hareketi ile karşılaştı. 1957 yılının 4 Ekiminde Sovyet Rusya 83,6 kilogram ağırlığındaki ilk sun'i peyki fezaya

fırlatmıştır. İkinci Rus peyki (ağırlığı 500 kilogram kadar) 1957 yılının 3 kasımında fırlatılmış olup, üçüncü peyk 1958 yılının 15 mayısında (1327 kilogram) fezaya fırlatılmıştır. 1958 Şubat ayındanberi Amerikalılar ağırlıkları 1,5 kilogramla 76,5 kilogram arasında değişen bir çok küçük peykleri fezaya fırlatmış bulunmaktadır.

Bir sun'i peyk atılıp yörüngesine girdiği zaman Ay'da olduğu gibi arzın çekme kuvveti etkisi altında ve arz etrafında dolaşır. Birinci yaklaşık olarak bu peyk, bir odakta arzın merkezi olmak üzere bir elips üzerinde dolaşır. Peykin (pertürbe olmamış addedilen) yörüngesi arz, atmosferinin göstermiş olduğu başlıca direnç sebebinden dolayı bozulur. Bundan başka peyk arzın merkezi tarafından Newton kanununa göre çekilmeyip yoğunluğu her yerde değişen Arz kütlesi tarafından çekilmesinden dolayı yine pertürbasyon hasıl olur.

Peyk atılmadan evvel pertürbe olmayan yörüngesi, ile işe başlanır. Başlangıçta peyk yörüngesinin yer yüzünden en yakın ve en uzakta olan noktaları hesabedilir. Peyk evvelâ düşey doğrultuda yukarıya doğru atılır, sonra kontrol sistemi vasıtasiyle düşey düzlemde yavaş yavaş döndürülür. Evvelce tayin edilen yüksekliğe varınca hemen hemen yatay doğrultuda evvelce hesabedilen hızla hareketine başlar. Peykin bu andaki hızı, alacağı yörüngenin şeklini tayin eder. Roket atış düzlemi peykin yörüngesinin düzlemi olur.

Peyk arz merkezinden r_0 uzaklığında iken yatay doğrultuda kazanacağı hız,

$$V_0 = \sqrt{\frac{fm}{r_0}}$$

formülü ile bulunur, burada f gravitasyon sabitesi ve m de arzın kütlesidir. Yörünge merkezi arz merkezinde bulunan

ve yarı çapı r olan bir daire üzerinde dolaşır, (altıncı bölüme bakınız) buna peykin dairesel hızı denilir. Eğer f ve m için $f=6{,}67\times10^{-8}$, $m=5{,}974\times10^{27}$ gram alınırsa buradan $\sqrt{fm}=1{,}99\times10^{10}$ bulunur. Eğer daha ince hesap istenilirse, arzın o noktasındaki çekme ivmesinin doğru değeri ve arzın şekli hesaba katılmaklıdır. Bu da *C. G. S* sisteminde $\sqrt{fm}=1{,}99654\times10^{10}$ dur*.

Bu değeri ele alarak dairesel hız için

$$V_0 \text{ cm/sec} = 1{,}99654 / \sqrt{r_0}$$

formülünü buluruz. Burada r_0 santimetre cinsinden verilmiştir. Hesabı kolaylaştırmak için bu ifadeyi daha basit şekle sokabiliriz. Bunu yapmak için yarıçapı, arzın akvatordaki yarı çapı $R=6378$ kilometreye eşit olan ve hemen hemen yer yüzünde hareket eden farazî bir peykin V_0 dairesel hızını hesabederiz**.

Son formülde, $r_0=R=6378\times10$ cm koyarsak :

$$V_0 = 7{,}906\times10^5 \text{ cm/sec} = 7906 \text{ m/sec}$$

yi elde ederiz. Bunun pay ve paydasını R ile çarparsak V için

$$V_0 = \frac{1{,}99654\times10^{10}}{\sqrt{R}} \sqrt{\frac{R}{r_0}} = 7906 \sqrt{\frac{R}{r_0}} \text{ m/sec}$$

---

* Bu değerler K. A. Kulikov'un «Temel Astronomik Sabitler, Gostekhizdat, 1956» adlı kitabından alınmıştır.

** Bunu daha açık kılmak için, peykin yörüngesi ekvatordan geçse peykin, yerin yüzeyine daha yakın bulunacağını kaydedelim. Fakat yörüngenin ekvatora dik geçmesi halinde kuzey ve güneyde yer yüzeyinin üzerine 21 km ye çıkar.

elde edilir. Bu formül arz ekvatorunun yarı çapı olan R ile peykin yüksekliği olan r_0 arasındaki oranı ihtiva ettiğine göre en basit şekilde yazılmıştır.

Peykin dairesel hızı yüksekliği arttıkça azalır. Meselâ yer yüzünde ekvatora yakın bir yerden 100 kilometre yükseklikte yani $r_0=6678$ km de bulunan peykin hızı $V_0=7845$ m/sec, 300 kilometrede yani $r_0=6678$ kilometre de ise $V_0=7727$ m/sec elde ederiz.

Eğer peykin V_0 ilk hızı dairesel hızdan büyük, Parabolik hızdan küçük ise yörünge elips şeklindedir. Şimdiye kadar atılan peyklerde böyle olmuştur. Yörüngenin dışmerkezliliği ile v ve v_0 hızları arasındaki bağıntı aşağıdaki formülle gösterilir.

$$e = \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 - 1$$

Peykin yarı büyük ekseni veya arz merkezinden olan ortalama uzaklığı

$$a = \frac{r_0}{1 - e}$$

dır.

Bu taktirde perije (Arz merkezine binaenaleyh yer yüzüne en yakın olduğu nokta) peykin atıldığı noktanın tam tepesine isabet eden noktadır. Apoje yörüngenin (arz merkezinden ve binaenaleyh yer yüzünden en uzaktaki noktası) ise arzın tam mukabil tarafındadır. Peykin yeryüzünden olan bu uzaklıkları tabiî olarak ilk andaki uzaklıklardır.

Zamanla pertürbe olmayan yörüngenin perije ve apojesi mekânda konumlarını muhafaza ederlerse de arzın coğrafî noktalarına nazaran hareket ederler. Bunun sebebi arzın mihveri etrafında dönmesidir. Peyk arz etrafında bir dolanımını

yaptığı zaman aralığında arz da muayyen bir açıda hareket etmiş olacağından peykin ikinci dolanım başlangıcı başka bir noktadır.

Peykin apoje noktasının arzın merkezinden olan uzaklığı

$$r_A=a\ (1+e)$$

ve apoje noktasının yer yüzünden olan yüksekliği ise :

$$h_A=r_A-6378$$

Buna mukabil perije noktasının arzın merkezinden olan uzaklığı

$$r_p=a\ (1-e)$$

yine perije noktasının yer yüzünden olan yüksekliği ise :

$$h_p=r_p-6378$$

olur. Burada a nın değerleri hep kilometre cisninden verilmiştir.

Yer yüzünden olan yüksekliğin $(r-6378)$ olarak hesabedildiğini hatırlatırız ki burda r peykin arz merkezinden olan uzaklığıdır. Hakikî yüksekliği ise ekvatordan olan yüksekliktir. Arz üzerindeki diğer noktalar için bu yükseklik arzın şeklinden dolayı farklıdır. Yer yüzündeki diğer noktaların, merkezden olan uzaklıkları ekvator üzerindeki noktalara nazaran düşük olup bu düşüklük kutuplarda 21 kilometredir.

Arz merkezinden 6378 kilometre uzaktaki dairesel yörünge üzerinde hareket eden farazî bir peykin T_0 periodu

$$T_0 = \frac{2\pi R}{V_\infty} = \frac{2\pi \times 6378 \times 10^3}{7906} = 5069 \text{ saniye} = 84{,}48 \text{ dakika}$$

dır. Keplerin üçüncü kanununa göre (Bölüm 2 ye bakınız) yarı büyük ekseni a olan eliptik bir yörünge üzerinde hareket eden bir peykin yörünge periodu, aşağıdaki bağıntıyı gerçekler : burada a kilometre cinsinden ve T de zaman dakikası olarak verilmiştir.

Bir peykin ilk günlerindeki rasatlarla onun yörünge elemanlarını hesabedebilir ve yörüngenin evvelce hesabedilenden nekadar farklı olduğunu tayin edebiliriz. Sovyet peyklerinden üçü de evvelce tayin edilen yörüngelerine muvaffakiyetle oturmuşlardır.

Sovyet Rusyanın SPUTNİK adlı peyki hemen atıldıktan sonra yörünge dolanımını 95 dakika 15 saniyede tamamlamıştır. T ve a yı havi olan denklemden periodunun aşağıda verilen yarı büyük eksene tekabül ettiğini buluruz.

$$a = 6378 \left(\frac{96{,}15}{84{,}48}\right)^{2/3} = 6953 \text{ km}$$

Bundan başka h_A ve h_p yi biliyorsak diğer denklem vasıtasiyle yörüngenin dışmerkezliğini de bulabiliriz ki bu da

$$e = \frac{h_A - h_p}{2a}$$

dir ve bu yolda yörüngenin tam cesamet ve şeklini tayin edebiliriz. Sputnik 1 için h_A ve h_p nin ilk değerleri gazetelerin yazdığına göre sırayla 947 ve 228 kilometredir. Buradan :

$$e = \frac{719}{13906} = 0{,}0517\,*$$

elde edilir. Sputnik'in yörünge düzlemi ile ekvator düzlemi arasındaki açı $i=64^\circ\,64'$ dır. Şekil 40 yörüngenin arza nazaran genel durumunu gösteriyor. Sputnik II ile Sputnik III ün yörünge elemanları aşağıda verilmiştir.

---

* T periodundan dışmerkezliği ile h_p, h_a dan b'rini tayin etmek mümkündür. Bu takdirde yer yüzü ile arzın merkezi arasındaki R uzaklığını sıhhatle bilmek icabeder. Meselâ Sputnik 1 için $h_a=947$ km ve $R=6378$ km alır ve yukar.daki denklemleri kullanırsak

$$r_a = 6378 + 947 = 7325 \text{ km } e \frac{r_a}{a} - 1 = 0{,}0535,\ r_p = 6581 \text{ km } h_p = 203 \text{ km}$$

elde ederiz. e ile h_p nin evvelki hesaplarla bulunanlardan farklı oldukları görülmektedir. Çünki $R=6378$ kilometre yanlış değerini kullanmıştık.

Bu rakam ekvator üzerindeki noktalar için doğrudur, fakat peykin apojesi görünürde ekvator düzlemi üzerinde değildir. Biz ekvatordan uzaklaştıkça arz merkezinden olan uzaklık ta azalır. Bu özel halde h_a ve h_p yi bildiğimiz için perije ile apoje de yer yüzünden arzın merkezine olan R_a ve P_p uzaklıklarını hesabetmek mümkün olur, ilk bir kaç günde bunların yaklaşık olarak değerleri 6365 ve 6366 km dir. Gerçekten yukarıdaki değerlere göre, $a=6953$ km, $e=0{,}0517$ ve $h_a=947$ km, $h_a=228$ km olup $a=6953$ km ve buradanda

$$r_a = a\,(1+e) = 7312 \text{ km},\ r_p = a\,(1-e) = 6594 \text{ km}$$

elde ederiz, bu sebepten

$$R_a = r_a - h_a = 6365 \text{ km},\ R_p = 6366 \text{ km}$$

olur. Eğer h_a ve h_p nin verilen T perioduna göre hesabında $R=6357$ (kutuplardaki yüzeyle merkez arasındaki uzaklık) farzedersek $h_p=245$ km elde ederdik. $R=6378$ km ve $R=6357$ km den hesabedilen h_p nin değerleri, bu takdirde 42 km farkederdi. Hülâsa çok yakınşık değer er gerekince veya R uzaklığı yeter derecede sıhhatle bilinince h_p yi h ve T_a den (veya h_a da T ve h_p den) hesaplıyabiliriz.

Sputnik II	Sputnik III
T= 103,75 dakika	T= 105,95 dakika
a= 7314 km	a= 7418 km
e= 0,09885	e= 0,113
h_p= 225 km	h_p= 224 km
h_A= 1671 km	h_A= 1880 km
i= 62,5°	— ——

Şekil 40. İlk sun'i arz peykinin yörüngesi

Bunlar Amerikalıların atmış oldukları birinci ve ikinci peyklerle mukayese edilebilirler :

I	II
T= 114,95 dakika	T= 135 dakika
a= 7831 km	a= 8731 km
e= 0,14052	e= 0,2
h_P= 352 km	h_P= 650 km
h_A= 2554 km	h_A= 4000 km
i= 33,58	i= 33°

Bu sun'i peykin hareketinde arzın hareketi mühim rol oynar. Havanın direnci, peykin gecikmesine (yavaşlamasına) sebep olur, ve peyk yavaş yavaş arza yaklaşır, Yer yüzünden 100-150 kilometre yükseklikte havanın direncinden dolayı, peyk ısınır ve parçalanarak meteor gibi yere düşer*.

İlk sovyet peyki 1958 Ocak ayının başına kadar yahut diğer bir deyimle üç ay yörüngesinde kalmıştır. Bu müddet zarfında arzın etrafında 1350 dolanım yapan peykin 31 Aralıkta periodu 90 dakika kadar apoje yüksekliği 320 kilometre idi. O günlerde yayınlanan cetveller muhtelif tarihlere ait sputnike dair doneler veriyordu. Bu cetvellerde e, h_P, h_A nın değerleri de vardır.

Tarih	T, Dakika	a, km	e	h_A km	h_P km
4-Ekim-1957	96,15	6953	0,0517	947	228
9 " "	96,02	6946	——	—	—
21 " "	95,55	6924	——	—	—
25 " "	95,44	6918	0,0460	890	220
27 " "	95,31	6912	——	—	—
9 Kasım	94,72	6884	0,0442	810	202
31 Aralık**	90,00	—	——	320	—

* Böyle olmakla beraber bu yükseklikte havanın yoğunluğu, yer yüzündeki yogunluğunun milyonlarla katı kadar daha azdır.

** Burada ya periotta veyahut apojede bir yanlışlık olsa gerektir. T ve h_a nın bu değer'eri için a=6660 km, h_p=244 km elde eder'z ki h_p nin zamanla azalmasından dolayı bu olamaz. Eğer h_a=320 km olarak alırsak T=89 dakika kadar olması icabeder. Bu taktirde h_p=150 kilometre olur.

Bu cetvelden aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz.

1) Peyk yavaş yavaş arza yaklaşır, yarı büyük ekseni ile h_A ve h_p zamanla küçülür. Bunun gibi peykin yörünge periodu da gittikçe azalır. Bu keyfiyet ilk bakışta paradoks gibi görülür. Atmosfer peykin hareketine karşı koyarsa da O, arz etrafındaki devrelerini gittikçe çabuk yapar.

Ortalama yörünge hareketinin de gittikçe artmakta olduğu dikkati çeker. Elipsin bir yayının uzunluğu e dışmerkezliliğinin

$$S = 2\pi a \left(1 - 1/4\, e^2 - \frac{3}{64}\, e^4\right)$$

bu formüle göre hesaplarsak Ekim 4, 25 ve Kasımın 9 unda peykin arz etrafındaki her hareket devresinin mütenazıran 43966 km, 43444 km, 43232 km değerlerini buluruz. Bu değerleri yörünge periotlarına bölecek olursak ortalama hızlar olarak sırayla 7574 km/sec, 7587km/sec ve 7607 km/sec leri elde ederiz.

2) T ile a gittikçe artan bir nispette azalır. Ekimin 4 ü ile 21 i arasında T nin ortalama değişimi herbir 24 saat için 2,12 saniye, 21 Ekim ile kasımın 9 u arasında herbir 24 saat için 2,62 saniye, 9 kasım ile 31 aralık arasında beher 24 saat için 5 saniyedir. Ekimin 4 ü ile 21 i arasındaki süre ile Ekim 21 -9 Kasım arasında a nın günlük ortalama değişimi sırasıyla 1,82 ile 2,11 kilometredir.

3) Yörüngenin dışmerkezliği, büyük yarı eksenle küçülmekte olup bu da yörünge şeklinin ve uzunluğunun yavaş yavaş değiştiğini gösterir.

4) h_p perije uzaklığı h_A apoje uzaklığına nazaran daha çabuk azalmakta olup, Ekimin 4 ü ile Kasımın 9 u arasında h_p nin 26 kilometre ve h_A nın da 137 kilometre azaldıkları görülmüştür. Sputnik I (asıl peyk) Arz etrafında taşıyıcısı ile

birlikte seyretmekte idi (taşıyıcı kendisi ayrı bir peyk teşkil ediyordu*. Başlangıçta sputniki taşıyan Roket peykten uzakta değildi. Fakat bu taşıyıcı (şeklinden dolayı) esas peyke nazaran Arz atmosferinden daha fazla direnç gördüğünden arkadaşına nazaran yüksekliğini gittikçe daha çabuk kaybetti. Böylece belki de Sputnikten geri kalmayıp, yörünge periodunun sür'atle azalmasından dolayı daha da ileri gitti. Bu roket 3 Aralık 1957 ye kadar yaşadı ve hayatının son üç gününde arzın koyu atmosferine girerek meteorlar gibi yandı. 1 Aralık günü sabah saat yedide parlak, sarı bir ateş topu gibi riga semalarında görüldü. Kasımın son günlerinde taşıyıcının periodu 90 dakika kadardı.

Taşıyıcı roketin yörünge elemanları (T, a, e, h_A, h_P) peykinkiler gibi aynı yolda değişti. Yayınlanan donelerden Roket için yukarıdaki cetvellere benzeyen, aşağıdaki cetveller hesaplanmıştır.

Tarih	T, Dakika	a km	e	h_A km	h_P km
4-Ekim-1957**	96,15	6953	0,0517	947	228
21 " "	95,12	6903	——	—	—
25 " "	94,68	6881	0,0416	789	217
9-Kasım-1957	93,48	6823	0,0366	695	195

İkinci Sovyet peyki gökte daha uzun süre kalmıştır. Bu peyk arz etrafında 2370 dolanım yaparak 1958 yılının 14 Nisanına kadar yaklaşık olarak 4,5 ay gökte kalmıştı.

Aşağıdaki cetvel Sputnik II için (T, a, e, h_A, h_P) için değerleri göstermektedir.

* Daha doğru söylemek lâzım gelirse Sputnik I'i yörüngesine oturtan bileşik roketin son katı.

** Ta başlangıçtan beri taşıyıcı roketin hızı asıl peykten daha küçük idi, zira asıl roketin son katından fırlatılmıştı (gerçekte itme kuvveti pek küçüktü). İşte bu yüzden bu satırdaki rakam sahih değildir. a, T, h_a ve h_p kemiyetlerinin hepsi biraz azaltılmak icap eder.

Tarih	T, Dakika	a km	e	h_A	h_p
3 Kasım 1957	103,75	7314	0,0988	1671	225
9 " "	103,52	7303	—	—	—
17 Aralık 1957	101,59	7214	0,0876	1468	204
13 " "	100,76	7173	—	—	—
28 Ocak 1958	98,87	7083	—	—	—

Bütün sun'i peyklerin yörünge elemanlarındaki yukarıda verilen değişimleri teorik olarak izah edelibilir.

Peykler çekik yörüngelerde hareket ettiklererinden ve arz yüzeyinden uzaklaşmakla yoğunluk çabuk düştüğünden havanın, yörüngenin perijesine yakın yani arza en yakın noktalardaki direnci daha fazladır. Apoje de ise peyk hemen hemen hızını hiç değiştirmez, çünki dirence maruz kalmaz. Şematik olarak peykin hareketi aşağıdaki gibi gösterilebilir. İlk yörünge şekil 41 deki 1 elipsi olsun. Noktalı çizgi sınır olup, atmosfer direncinin en az olduğu nokta Q ile gösterilmiştir ki, bunun üstünde atmosfer basıncı hesaba bakılmıyacak derecede küçüktür.

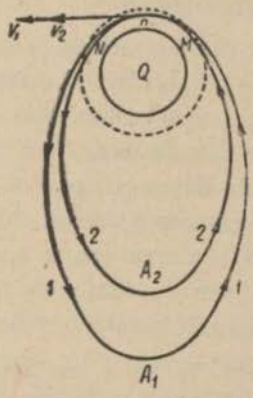
Atmosferin peyke göstermiş olduğu direnç P perijesi yakınlarında hissedilebilecek derecededir. Peykin P perijesinden ayrılırken bir elips üzerinde gitmesi için icabeden hızı V olsun. Peyk perijeden ayrıldıkça hızı azalıp apojede miniumum değere varır.

$$V_1 = \frac{\sqrt{fm} \times \sqrt{1-e_1}}{\sqrt{a_1(1+e_1)}}$$

olurki burada a_1 yarı büyük eksen ve e_1 elipsin dışmerkezliğidir.

Peyk 1 yörüngesinde perijeye döndüğü zaman, yavaş yavaş

hızı azalmıştır. Eğer yörüngenin sadece P de (Şekil 41'e bak) hızının azaldığını kabul edersek, doğrultusu perijeden çıkarken haiz olduğu doğrultunun aynı olacaksa da hızı daha düşük olacaktır. Yeni hızı V_2 ile gösterirsek ($V_2 < V_1$) sonraki dolanma II yörüngesinde yapılacak ve bunun için h_A apoje uzaklığı ve



Şekil 41. Peykin atmosferdeki gecikmesi (Şematik olarak)

a_2 yarı büyük ekseni azalmış olacaktır*. P ye yaklaştıkça Atmosferin yoğunluğu artar h_A ile a sür'atle azalır.

Peykin bu V_2 hızı onu arzın çekmesinden kurtarmağa kâfi gelmez, ve A_1 'e doğru uzaklaştırır. II yörüngesi daha az çekik ve e_1 dışmerkezliği 1 elipsinin e_2 dışmerkezliğinden daha küçüktür. II yörüngesinin apoje noktasında peykin haiz olacağı hız :

* Şekil 41 de bütün boyutlar izahatı kolaylaştırmak için çok mübalağalı yapılmıştır. Birincisi yörünge çok çekik ve apojede arzdan çok uzaktadır (yukarıya doğru birkaç arz yarı çapı kadar.). Hakikatte birinci Sovyet peyki için apoje arz yarı çapından daha kısa uzaklıkta idi. İkincisi peykin tek dolanımı apoje uzaklığında bu kadar kısalma hasıl etmez. Meselâ ekimin 4 dü ile 25 i arasında Sputnik I her 24 saatte apojede ancak 2,7 kilometre kadar bir mesafe kaybettiği halde bir tek dolanımda (Peyk günde 15 dolanım yapmıştır) kaybedilen mesafe saatte 0,18 kilometre kadardır ki bu da başlangıçtaki apoje uzaklığının kabaca 1/5000 i kadardır.

$$V_2^1 = \frac{\sqrt{fm} \times \sqrt{1-e_2}}{\sqrt{a_2(1+e_2)}}$$

olacaktır. $a_2 < a_1$, $e_2 < e_1$ olduğundan V_2^1 hızı V_1^1 den büyüktür. Keplerin üçüncü kanununa göre 2 yörüngesindeki Periot 1 yörüngesindeki periottan küçüktür.

Bu sebepten peyk perije civarında yavaşlar ve hızını kaybederse apoje civarında hızlanır, sür'at kazanmış olur. Bunun sebebi apojede peykin arza daha yakın olması ve bu yüzden arzın çekme kuvvetinin bu noktada fazla olmasıdır. Burada arzın çekme kuvvetinin büyümesi, peykin ivmesini mucip olur ve bu sebepten de hızı artar. Perije civarında geri bırakma etkisi apoje civarında iken arzın çekme kuvvetinin artmasından dolayı sür'atinin çoğalması ile denge durumu hasıl olur. Sonuç olarak peykin yörüngedeki bileşke hızı artar.

Yukarıda yaklaşık ve kaba bir düşünce ile gerilemenin sadece P perije noktasında vukua geldiğini kabul ettik ki, bu takdirde apoje uzaklığı gittikçe azalacak ve perije uzaklığı da sabit kalacaktır. Hakikatta ise geri kalma işlemi perijeye yakın belirli bir bölgede vukua gelir (Şekil 41). Bu ise perije mesafesinde nekadar az olsa bile yine bir kısaltma meydana getirecektir. Peyk dönüşte P ye değil arza daha yakın olan P_1 e döner. Bu suretle peyk yoğunluğu daha fazla olan Atmosfer tabakasına girer ve perijedeki gerileme gittikçe artar. Bu da peykin yarı büyük ekseninin ve binaenaleyh periodunun azalmasına sebep olur.

Atmosferin peykte bu yolda bozucu etkisi vardır. Pertürbasyonun asırlık, yani e, T, a yörünge elemanlarının bir doğrultuda değiştiğini (13. ncü kısım) da görmüştük. Bu pertürbasyon üzerinde yapılan etütler atmosferimizin çok yüksekteki tabakalarının yoğunluklarının tayini hususunda bize yardım eder. Peyk yüksekliğini sür'atle kaybettikçe geri kalma artar ve bu-

nunla yörüngenin perijeye yakın noktalarında (başlangıçta) havanın yoğunluğu artar. Peykin bir birim zamanda düşmesi, gerileme miktarını tayin eder, buradan da atmosferimizin yoğunluğu hesabedilir. İlk iki Sovyet peyki üzerinde müşahedelerle elde edilen sonuçlar, 200 kilometre yükseklikte Atmosferin yoğunluğunun evvelce farzedilen miktarın 5-10 katı kadar olduğunu göstermiştir.

Peykin arzın çekme kuvvetinden ve yer yüzünün yoğunluk itibariyle homogen olmamasından dolayı maruz kaldığı pertürbasyon, yarı büyük eksenin dışmerkezliği ve yörünge elemanında ne sabit bir artma ve ne de küçülmeye sebep olur. Bu pertürbasyonlar, yörüngenin gerek şekil ve gerek büyüklüğünü değiştirmezse de onu boşlukta yavaş yavaş döndürür. Bu pertürbasyonlar üzerinde yapılan ciddî etütler, peyklerin bilfiil arzın şeklini daha doğru olarak tayin etmeğe hizmet ettiği gibi, arzın içindeki maddenin yoğunluk yayılışı hakkında hâlâ kâfi derecede bilmediğimiz hususları aydınlatmağa da hizmet eder.

17. ASTROİTLERİN HAREKETLERİ

Güneş sisteminde şimdiye kadar 1600 e yakın Astroidin bir listesinin yapılmış olduğunu evvelce söylemiştik. Bu listeden maksat Astroidin yörüngesinin hiç değilse yaklaşık olarak elde edilmiş olmasıdır. Keşfedilmiş olmakla beraber, listeye ithal edilmemiş Astroitlerin adedi 1600 den çok daha fazla olduğu gibi, gün geçtikçe bunların sayısı artmakta ve yörüngeleri de hesabedilmektedir.

Bu çok sayıdaki Astroitler bilindiği gibi bir çokları zaman geçtikçe keşfedildiğine göre, bunların hareketlerini etüt etmek ve bunların yeni keşfedilenlerden ayırdetmek için bir nevi "astroit kollamak" suretiyle, bunları bir nizama sokmak zarureti vardır. Bunları pratik olarak, hepsini birden gözden kaçır-

mamak üzere günlük rasadı imkânsızdır. Adî manâsiyle bilinen astroitler sadece arza yakın oldukları zamanlarda (yani karşıma durumunda) rasat edilebilenlerdir. Astroitlerin çoğu cesametlerinin pek küçük olmalarından dolayı ancak bu durumda görülebilirler. Bu sebepten dolayı, her astroidin mekânda nasıl hareket ettiğini bilmek ve gelecekte herhangi bir anda gökteki durumlarını hesap edebilmeğe muktedir olmak lâzımdır. Zaman zaman rasatlar yapılır ve gökteki zahirî durumlar tayin edilir ve bu suretle bunların durumlarına ait yapmış olduğumuz hesaplar kontrol edilir. Fakat bütün bunlar teorik hesaplara lüzum gösterir ki bunlar da Newton kanunlarına dayanır.

Binaenaleyh astroitlerin hareketlerine ait bu teorik araştırmalar, astroitlerin hareketleri üzerinde yapılan rasatlar için ilk aranılan şeylerdir. Bundan başka küçük gezegenlerin bazılarının hareketlerine ait pek kesin teoriler için zamanımızda bir pratik zaruret te çıkagelmiştir. Bu rasatlar yıldız kataloklarının yapılmasında lüzumlu olan TEMEL ASTRONOMİK SABİTLER denilen miktarları incelemeye yarayacaktır*.

Astroitlerin hareket problemi basit görünürse de gezegen yahut peyk hareketlerinden daha da karışıktır. Astroitlerin kütlelerinin pek küçük olmalarından dolayı diğer cisimlerin hareketlerine olan etkileri henüz gözümüzden kaçacak kadar azdır. Bu sebepten dolayı astroitlerin hareketleri üzerinde araştırmalar yapılırken bunların karşılıklı çekme kuvvetleri ve büyük gezegenlere tatbik ettikleri çekim kuvvetleri hesaba katılmaz. Astroitler merkezde bulunan güneşin çekme kuvveti ile gezegenlerin bozucu etkileri altına hareket ederler. Gezegenler belirli yörüngelerde hareket ettiklerinden astroitlerin

* Temel sabiteler arzın şekil ve cesametini tarif eden ve güneşten olan uzaklığı ile hareketini bildiren kemiyetlerdir.

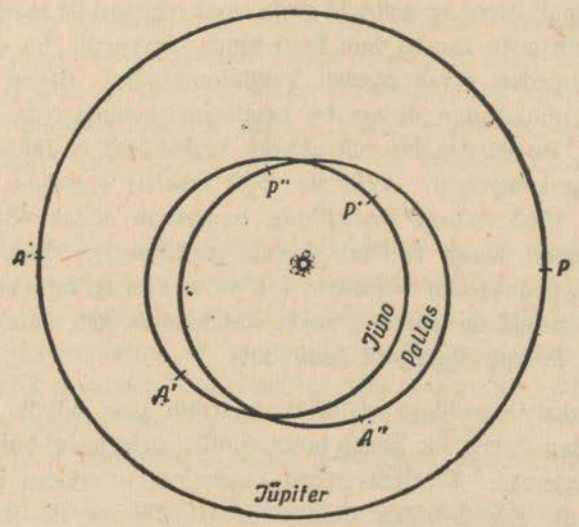
hareketlerine tabi değillerdir. Bu keyfiyet tabiî olarak problemi çok basitleştirir.

Bir yeni astroidin keşfinden sonra yapılacak ilk iş, onun pertürbe olmayan eliptik yörüngesini bulup çıkarmaktır. Bu da astroidin zahirî konumunun, aralarındaki açıklık bir kaç gün olmak üzere üç muhtelif anda rasat edilmesi ile tayin edilir. Mamafih çoğu zaman yeni keşfedilmiş bir astroit, bu doneleri elde etmeden evvel gözden kaybolmaktadır. Bazen göğün kapalı olmasından dolayı bu rasatların yapılması da imkânsızdır. Bu yüzden bir çok astroit, keşfedilmiş ve fakat kayıtlara geçilememiştir. 1911 ile 1930 seneleri arasında toplam olarak 1962 Astroit keşfedilmiş, bunlardan ancak 484 ünün yörüngeleri hesap edilerek kayda geçirilmiştir. Elde edilen birinci yörünge tam manasiyle doğru olamıyacağı tabiî olduğundan, yörüngenin sıhhatle tayin edilebilmesi için daha birçok rasada ihtiyaç olacağıda bedihîdir.

Fakat astroidin pertürbasyonlarının çok büyük olamamasından dolayı hiç kimse onun eliptik yörüngesini bulduğunu iddia edemez. Pratikte çekim kuvvetlerinin dikkati çekecek miktarda olmalarından dolayı, sadece Jüpiter ile Satürnün etkileri ile iktifa edilir. Astroitlerin hareketlerini tayin hususunda ardarda yaklaşıklık metodu kullanılmaktadır.

Mamafih astroitlerin hareket teorisi gezegenlerinkine nazaran çok daha karışıktır. Astroitlerin eliptik yörüngeleri genel olarak gezegenlerinkine nazaran daha çekik olduğu gibi yörünge düzlemlerinin de arzın yörünge düzlemi ile olan açıları diğer gezegenlerin açılarına nazaran daha büyüktür. Bunlar da astroitlerin pertürbasyonlarının hesabında bir takım matematik zorluklar meydana getirir. Dahası var, astroitlerin çoğu Jüpitere yakın geçtiklerinden onun büyük çekme kuvveti etkisi altındadırlar. Jüpiter ile PALLAS, ve JUNO Astroit-

lerinin yörüngeleri şekil 42 de gösterilmiştir*. Pallas ve Juno'nun yarı büyük eksenlerinin uzunluğu sırasıyla 2,8 ile 2,7 astronomik birim kadar yaklaştığı halde Pallas yaklaşık olarak 2 astronomik birim kadar yaklaşabilir. Burada Jüpiterle Pallasın yörünge düzlemleri arasındaki açı hesaba katılmıştır. Bu



Şekil 42. Juno ve Pallas'ın yörüngeleri (*A* ve *P* noktaları perihel ve afeli gösteriyor)

durumlarda bu astroitler üzerinde Güneşin tatbik ettiği kuvvet, Jüpiterin tatbik ettiği kuvvetin 290-300 katını bulur.

Bu sebepten dolayı astroitlerin pertürbasyonları büyük gezegenlerinkine nazaran daha büyük olup, burada zamanın kısa periotları içindeki pertürbasyonlar yay saniye ve dakikaları ile değil, belki dakikaların ondaları ile veyahut ta derecelerle

* Astro'tlerin yörünge eğilmeleri şekilde gösterilmemiştir.

hesap edilmiştir. Bu da, pertürbasyonların sarih hesabını yapmak hususundaki karışıklıkları arttırır.

Bu sebepten Astronomlar büyük gezegenlere nazaran astroitlere fazla ehemmiyet vermemelerinden dolayı, bunların hareketlerine ait teoriler sadece birkaç astroit üzerindeki çalışmalarla yapılmış ve bu teorilerdeki sıhhat derecesi büyük gezegenlerin hareketlerine ait teorilere nazaran sıhhat bakımından düşüktür.

Her ne hal ise bugün astroitlerin gökteki konumları üzerinde rasatlar yapılmakta olup bunların sıhhat derecesi 1″ mertebesindedir. Rasatlarla, astroitlerin hareketlerine ait en iyi teorilerin verdikleri sonuçlar arasındaki fark, onlarca saniyelik yay kadardır.

Zamanımızdaki pertürbasyonların hesabı, ve astroitlerin gökteki zahirî konumlarını gösteren cetvellerin yapılması ve astroitlerin hareketlerine ait diğer donelerin bulunması hususunda NÜMERİK metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlar astroitlerin boşluktaki durumlarını göstermek ve gökteki zahirî durumlarını analitik tekniğe nazaran daha yüksek sıhhat derecesi ile bildirmek hususunda bize hizmet ederler. Sovyet İlim Akademisinin teorik astronomi enstitüsünde bu metot kullanılır. Leningrat'ta bulunan bu enstitüde elde edilen doneler küçük GEZEGENLERİN TAKVİMLERİ nami altında yayınlanmaktadır. Bu yayınlar bütün kayıtlı astroitlerin hareketlerine ait doneleri verir. Bu doneler bu astroitlerin izlerini takibe kifayet eder.

18. GEZEGENLERİN DÖNME HAREKETİ

Evvelki sahifelerde gezegenlerin Güneş etrafında ve peyklerin de Primerleri etrafındaki hareketlerinden bahsettik. Bu nevi hareket bir kuvvet merkezinin çekme etkisi altında vukua gelen harekettir. Gökteki cisimler, bu ötelenme hareketinden başka, kendi ağırlık merkezine nazaran DÖNME hareketlerini de haizdir

Arzın, eksen dediğimiz hayali bir doğru etrafında dönmesi bütün gök küresinin, arzın etrafında dönüyormuş gibi görünmesi ile tasvir edilebilir. Arzın ekseni etrafındaki dönme hareketi, belirli fiziksel deneylerle (Meselâ Foucault sarkaç deneyi ile) ve yer yüzünde müşahede edilen birçok olaylarla gösterilebilir*.

Arzın yıldızlar üzerinde yapılan rasatlarla ölçülen dönme periodu, 23 saat 56 dakika 48 saniyedir.

Mars, Jüpiter ve Satürnün dönme hareketleri iyi bir teleskopla ve dikkatle yapılan rasatlarla tayin edilebilir. Bunların üzerinde görülen lekeler, teleskopta sabit kalmayıp, kurşunun bir tarafından girip diğer tarafından kaybolur. Bu da bize gezegenin dönmekte olduğu hakikatını gösterir.

Bu nevi rasatlar neticesinde gezegenlerin ölçülen periotları, şöyledir. Marsın dönme periodu takriben 24 saat 37 dakika, Jüpiterinki 9 saat 50 dakika ve Satürnünki ise yaklaşık 10 saat 20 dakikadır.

Diğer gezegenlerin yüzeylerinde karakteristik noktalar görülemediğinden bunların peryotları bu yolda tayin edilemez. Uranüsün dönme periodu 10 saat 45 dakika, Neptünün ise 15

* Arzın ekseni etrafında dönmesi, Kuzey yarım küredeki nehirlerin sağ taraftaki yataklarının kabarık, sol taraftakilerin çukur olması ve buna mukabil Güney yarım kürede bunların tersinin olması olayı izah eder.

saattir. Merkür güneş etrafında dönmekte olup, bir yüzü daima güneşe bakar. Bu da bu gezegenin ekseni etrafındaki dönme periyodunun, güneş etrafındaki devir periodu ile aynı olması demektir. Bu da kabaca 88 gündür. Venüsle Plütonun dönme periyotlarına ait elimizdeki doneler itimada şayan değildir.

Rasatlarla anlaşıldığına göre, bunlar eksenleri etrafında dönerken, eksenleri uzun müddet sabit bir DOĞRULTUYA sahiptirler. Bu sebepten yörünge periyotları da sabit kalır. Biz arzın bir peyki olan ayın, dönme hareketini direkt olarak bulabiliriz. Ayın da ekseni etrafında dönme periodu bir dolanım perioduna eşit olduğundan arza daima aynı tarafını gösterir. Bu da kabaca (27 gün kadardır).

Hernekadar güneş sistemindeki cisimlerin devir periotlarını takdir edecek özel metotlar varsa da, bunların arasında en enteresan olanlar gezegenlerle ayın dönme hareketleridir. Biz burada sadece gezegen hareketlerine temas edeceğiz.

Neden gezegenler dönüyorlar, neden genel olarak hareket ediyorlar gibi suallerin manâsız olduğu tabiîdir. Kâinatta toz zerrelerinden tutun da, devâsâ kozmik cisimlere varıncaya kadar, herşey hareket halindedir. Hareketsiz hiçbir madde yoktur. Gezegenler teşekkül etmeden evvel madde yine hareket halindeydi. Gezegenler doğumlarında, güneş etrafında ötelenme hareketi ile eksenleri etrafındaki dönme hareketine sahiptiler*.

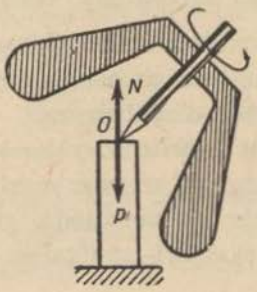
Mamafih biz gezegenlerin nasıl hareket ettiklerini sorabiliriz. Bu hareketleri hangi kuvvetler idare eder, hareketler hangi kanunlarla idare edilir. Evvelce biz bunların yörüngeleri

* Bu hususta tafsilât isteyenler B. LEVİN nin neşretmiş olduğu The Origin of the Earth and the Planets (Arz ve gezegenlerin menşei) Foreign Languages Publishing House adlı esere müracaat edebilirler.

üzerindeki hareketlerine temas etmiştik. Şimdi gezegenlerin eksenleri etrafındaki dönme hareketleri üzerinde araştırmalar yapalım.

Mekaniğin esas kanunlarına göre bir kuvvet etkisi altında bulunmayan bir cisim ataleti ile hareket eder. Eğer cisim ötelenme hareketini haiz ise üzerindeki kuvvetlerin kalkması ile ya durur veya bir doğru üzerinde düzgün hareketi haiz olur. İlk anda, haiz olduğu hızla bir doğru üzerinde, genel olarak bir cismin ataleti vasıtasiyle dönme hareketi, yani (üzerine etki eden kuvvetlerin olmaması ile haiz olduğu dönme hareketi) diğerlerine nazaran daha karışık mahiyettedir. Böyle bir hareketin özel halini gözden geçirelim. Meselâ gezegenlerin dönme hareketi problemi ile ilgili olan hareketi tetkik edelim.

Bir simetrik ekseni haiz olan KATI bir cisim meselâ (dönel bir koni, silindir veyahut bir elipsoit) bir eksen etrafında dönü-



Şekil 43. Maxwel topacı

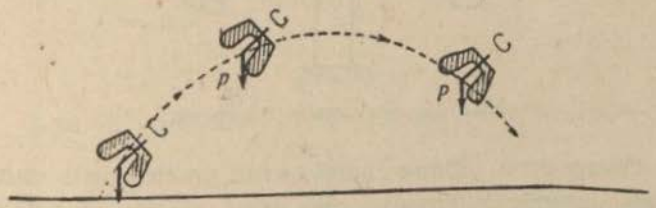
yorsa, cismin dönme hareketinin hızı, ve dönme ekseninin mekânda almış olacağı durum, kuvvetler bulunmadığı taktirde sabit kalır. Bu keyfiyet Şekil 43 de şematik olarak gösterilen Maxwell'in Topacında görülür.

Maksivell topacının ağır kısmı bir çan şeklindedir. Ağırlık merkezi çanın içinde *O* noktasındadır. Topacın ekseninin ucu ağırlık merkezine isabet eder. Topacın *O* ağırlık merkezi bir dayanağa binmek üzere şekilde görüldüğü gibi konursa, *P* topacının ağırlığı dayanağa etki edecek ve dayanağın göstermiş olduğu *N* direnci ile denge durumunda bulunacaktır.

Diğer bir deyimle topaç, üzerine (Yani birbiri ile denge durumunda olmayan) kuvvetler etki etmiyen bir cisim gibi olacak ve bu sebepten dolayı ataleti ile hareket edecektir. Topaca belirli bir durum verilirse, bu durumunu muhafaza edecek ve sükûnet halinde kalacaktır. Topacın eksenini hafifce itersek biraz salınım yaptıktan sonra yeni bir durum alacaktır.

Şimdi topacı ekseni etrafında döndürelim. Topaç dönecek ve dayanak üzerinde bırakıldığı durumunu muhafaza edecektir. Dahası var eğer topaç sür'atle dönerse onun ekseninin doğrultusunu değiştirmek için epey fazla bir kuvvete ihtiyaç olduğu görülür.

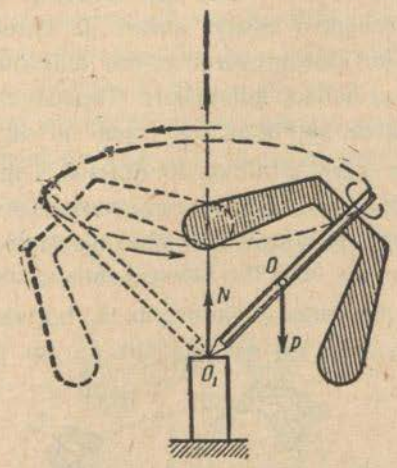
Topaç bir dayanağa dayanmayıp ta, boşlukta dönmesine müsade edilirse, aynı şey vukua gelir ki, bu taktirde topaç



Şekil 44. Yukarıya doğru atılan ve dönmekte olan bir topacın, dönme ekseni sabit kalır

kendini düşüren arzın çekme kuvveti etkisi altındadır. Bu kuvvetin doğrultusu topacın *O* ağırlık merkezinden geçer. Topaç atılmadan evvel, ekseni etrafında şiddetle döndürülürse, düşerken aynı hızla dönecek ve düşüş esnasında ekseni daima aynı doğrultuyu muhafaza edercektir.

Topacın eksenini biraz uzatalım ve yine dayak üzerine oturttuktan sonra kuvvetli bir dönme hareketi tatbik edelim. Şimdi topaç arzın çekme kuvveti etkisi altındadır ve dayanağın, topacı denge durumunda tutacak tepkisi yani direnci olmadığı halde topacın yine dönmekte olduğu görülür. Fakat topaç sür'atle döndüğünden düşmez, bunun yerine topacın ekseni bir düşey doğru etrafında bir koni çizmek üzere, nizamlı bir surette salınım yapar (Şekil 45). Bu defa hızı sabit kalır.



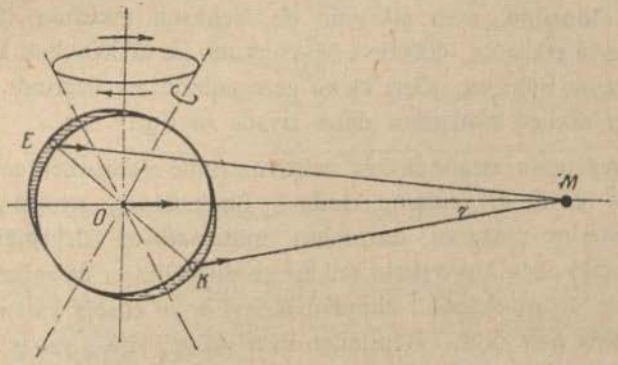
Şekil 45. Bir topacın Presizyonu

Gezegenlerin dönme hareketlerini incelediğimiz zaman benzer durumla karşılaşırız. Bir misal olarak arzın dönme hareketini ele alalım. Arz üzerinde bütün teferruatiyle çalışılan gezegen, pratik olarak söylenirse bizim için en mühim gezegen olduğundan bunu ele alıyoruz. Diğer gezegenlerin dönme hareketleri de esas itibariyle bununkinin aynıdır.

Diğer gezegenlerde olduğu gibi arzın şekli de dönme ekseni boyunca biraz basık olan (yani ekvator yar çapı, kutuplar yarı çapından büyük olan) bir elipsoit şeklindedir. Bundan dolayı

arz gökteki diğer cisimlerin çekme kuvvetleri etkisi altında bir küre gibi çekilmez ve üzerine etki eden kuvvetlerin bileşkesi de tam arzın merkezinden geçmez.

Evvelki sahifelerde bir sferoide etki eden çekme kuvvetine ait kanunları incelemiştik. Bu kanuna göre arz diğer bir gök cismi, meselâ M cismi (Şekil 46) tarafından çekildiği takdirde) üzerindeki etki M in aynı büyüklükte bir küreyi çekmekle yapacağı etkiden farklıdır. Bundan başka bu cisim arza sadece bir ötelenme hareketi tatbik etmez ayrıca arzın ekseni etrafında dönme hareketi verir. Bu keyfiyet şekil 46 da açıkça görülüyor.



Şekil 46. Ayın çekimi ile arzda hasıl olan presesyonun izahı

Hesapla anlaşıldığına göre arzın eksenini dönmeye mecbur eden kuvvet, çeken M cisminin m kütlesi ile doğru ve bu cisimle arz merkezi arasındaki uzaklığın kübü ile ters orantılı olduğunu gösteriyor.

Arza ve topaca etki eden kuvvetleri mukayese ederek arza nazaran gökteki muhtelif cisimlerin çekme kuvvetlerinin, arzın dönme hızı üzerinde bir etki yapmayıp fakat arzın dönme eksenine nizamlı salınımlar yaptırdığı neticesine varabliriz.

Arzın dönmesine en büyük etkiyi yapan cisimler hangileridir ?

Evvelâ ay gelir çünkü arza en yakındır. İkinci olarak güneş gelir, her nekadar güneş çok uzakta ise de kütlesi çok büyüktür. Gezegenlerin bozucu etkilerinin uzaklıkla sür'atle azalmasından dolayı arza pek zayıf etkiler yaparlar.

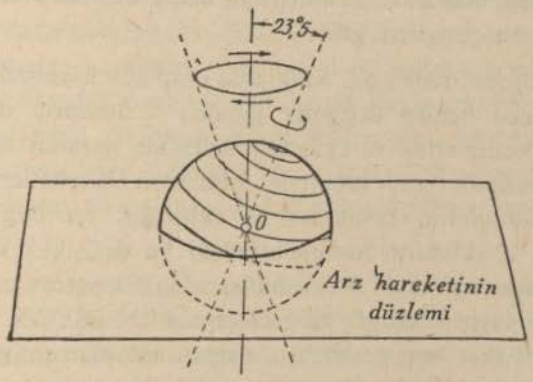
$$F \cong \frac{m}{r^3}$$

bağıntısından güneşin yapmış olduğu etkinin ayınkinin 2,2 katı olduğunu, ayın etkisinin de Venüsün etkisinin 13000, Jüpiterin etkisinin 140000 ve Marsınkinin ise 800000 katı kadar olduğunu buluruz. Geri kalan gezegenlerin arz üzerinde yaptıkları etkiler bunlardan daha ziyade zayıftır.

Ay arzın etrafında bir daire üzerinde dolaşırken arz da güneş etrafında dolanmaktadır. Binaenaleyh, ay-arz-güneş birbirlerine nazaran durumları mütemadiyen değiştiğinden arza etki eden kuvvetlerin miktar ve doğrultuları da mütemadi surette değişmektedir. Bundan dolayı arzın ekseni karışık bir hareketi haiz olur. Hepsinden evvel eksen yavaş yavaş arzın hareket düzlemi ile daima 23,5 derecelik bir açı yaparak bir koni meydana getirir (Şekil 47). Buna dönme ekseninin PRESSESYON HAREKETİ denilir ki, bu hareketin kabaca periyodu 26000 sene kadardır. Buna ilâveten arzın dönme ekseni ortalama konumuna nazaran bir çok zayıf salınımlar yapar. Bu salınımların en mühimi periodu 19 seneye yakın olan esas NUTASYON denilenidir.

Arzın dönme ekseninin böyle bir hareketi nasıl takdir edilebiliyor. Bu hareketin etüdü neden mühimdir. Biz gökteki cisimleri yer yüzünden görüyoruz. Binaenaleyh bunların durumları, ancak arzla eşlik yapan referans noktalarına nazaran tayin

edilebilir. Böyle referans noktaları da arzın güneş etrafındaki hareket düzlemi (tutulma düzlemi), Arzın dönme ekseninin doğrultusu ve bu doğrultuya dik olan arz ekvatorunun düzlemidir. Dönme ekseninin doğrultusu gök küresini âlemin güney ve kuzey kutuplarında keser. Gök küresi bu kutuplar



Şekil 47. Arz ekseninin presesyon hareketi

arasındaki eksen etrafında günlük zahirî hareketini yapar. Bu referans noktaları arza bağlı iseler de, arzın günlük dönme hareketine iştirak etmezler.

Arzın presesyon hareketinden dolayı, eksen gökte 23,5 derecelik bir yarı çaplık bir daire çizer. Kutuplar yaklaşık olarak 26000 yılda dolanımlarını tamamlayacağından bir yılda yaklaşık olarak 50′ kadar hareket eder. Arzın dönme ekseninin nütasyonel salınımları kutupların 9″ ye varan deplasmasına sebep olur.

Arzın dönme ekseninin doğrultusundaki değişiklikler, ekvator düzleminde ve gökte âlemin kutuplarında değişikliğe sebeb olur. Bu da gökteki cisimlerin bu mukayese noktalarına nazaran zahirî yer değiştirmeleri demektir. Arzın hareketinden

ileri gelen bu zahirî yer değiştirme, gökteki cisimlerin bilfiil hareketleri ile birleştirilir. Gökteki cisimlerin bilfiil hareketlerinin hangi parçasının boşluktaki bilfiil hareketlerinden ileri geldiğini ve hangi parçasının da arzın hareketinden ileri geldiğini bilmekle mümkündür. Gökteki cisimlerin hareketlerinin etüdünde, bu müracaat noktalarının nasıl değiştiklerini bilmek lüzumu bundan ileri gelir.

Yıldızlar arzdan çok uzaklarda olup gök küresinde durumları hemen hemen değişmez gibidir. Yıldızların durumları, alemin kutuplarına ve ekvator düzlemine nazaran değişmekte olup, ekliptik esas itibariyle yıldızların hareketlerini değil, belki kutupların, ekvatorun ve ekliptiğin yer değiştirmesini bildirir. Yıldızların konumlarındaki bu değişiklik iki bin yıl evvel yaşayan Yunan Astronomlarından Hipparchus tarafından sıhhatle tayin edilmişti, ki bu olaya PRESESYON adını vermişti. Fakat bunun sebebi o zaman anlaşılamamıştı. 17 nci yüzyılın başlarında Newton genel çekim kanununu tatbik ederek, presesyonu izah etti gök ekseninin nütasyonu ile diğer salınımlarını evvelden tahmin etmeğe muvaffak oldu. Yıldızların gökteki konumlarında vukua gelen bu nütasyonu ile salınımlar (yıldız NUTASYONLARI) ancak 18 nci yüzyılın ortalarında keşfedilebilmişti.

Arzın dönme hareketi hem yıldızlar üzerindeki rasatlarla ve hem de teorik olarak etüt edilmiştir. Mamafih zamanımızda arzın dönme ekseninin Presesyon ve nütasyonunu daha sıhhatle bilmek zarureti vardır. Yıldızlar diğer cisimler gibi boşlukta hareket etmektedirler, bu hareketlerin mahiyeti henüz mübhemdir. Bu da kutupların ve ekvatorun hareketlerini, hareketleri henüz iyice bilinmiyen yıldızların rasatları ile tayin etmeğe kalkışmanın manasızlığını ortaya koyar.

Presesyon ile nütasyon miktarlarını daha sıhhatle tayin edebilmek için gökteki konumları doğru olarak bilinen cisim-

leri rasat etmeliyiz. Böyle olsa bile bunlar da ebedi değillerdir. Bu cisimler güneş sisteminin gezegenleri ile Astroitleri olup bunların mekândaki hareketleri Newton'un genel çekim kanunu ile bilinmektedir. Büyük gezegenlerin hareketlerine ait doğru teorileri yukarıda bildirmiştik. Mamafih pratikte ışık veren cisimlerden olduklarından dolayı Astroitleri bu maksatla kullanmak daha münasiptir. Bunlara mukabil gezegenler dikkate şayan kurslar arzederler (Presesyon ve nütasyon sabitlerinin tayininde lüzumu olan) yıldızlarla Astroitlerin mevkileri arasındaki münasebet yıldızlarla büyük gezegenler arasındaki münasebetten daha iyidir. Bölüm 15 de Astroitlerin hareketlerinin sıhhatle tayini lüzumundan bahsetmekliğimizin sebepleri bunlardır.

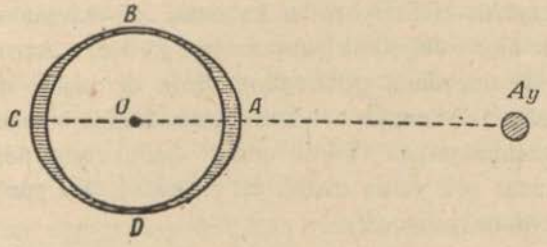
Arzın dönme ekseninin güneş ve ayın bozucu etkileri altındaki hareketini araştırmıştık fakat nasıl oluyor da arz bu eksen etrafında dönüyor sadece arz ile diğer gök cisimleri arasında karşılıklı etkileri hesaba katarsak arz ekseninin dönme sür'atinde hiçbir değişiklik olmıyacağını görürüz. Arzın dönme hareketi ile meydana gelen günümüzde de hiçbir değişiklik olmayacaktır. Mamafih hakikatte arzın dönme hareketi yavaş yavaş azalmaktadır. Yıldız günü herbir yüzyılda 0,001 saniye kadar pek yavaş olarak artmaktadır. Bu günlük artış nasıl meydana geliyor ?

Günlerdeki değişiklik kabarma ve alçalma (med ve cezir) ile ilgilidir. Okyanuslarda deniz seviyesinin bütün gün aynı kalmadığını ve düzgün olarak değiştiğini herkes bilir. Altı saat zarfında sular yükselip KABARMADA maksimum seviyeye varır sonraki altı saatte sular çekilip ALÇALMADA minumum seviyeye iner ve bu iş böylece muntazaman devam eder gider.

Aynı meridyendeki mevkilerde kabarma ve alçalma aynı anlarda vukua gelirler. Bu mevkilerin doğusunda bulunan

yerlerde daha erken batısındaki mevkilerde ise daha geç vaki olur. Okyanuslarda kabarma dalgası meridyenlerden doğudan batıya doğru geçer yani bu hareket arzın dönme hareketine karşıdır. Ekvatorda bu dalgalar saatte 1600 kilometre sür'atle hareket etmektedir ve arzı 50 dakikada dolaşır. Ayın arz etrafındaki zahirî hareketi de bu kadar müddet sürmektedir. Bu keyfiyet çok zaman kabarma ve alçalma olayı ve ay arasındaki münasebeti ortaya koymuştur. Fakat Newton, genel çekim kanununa dayanarak kabarma ve alçalmanın doğru izahını da yapmıştır.

Ayın arza tatbik ettiği çekme kuvveti ayın arzı teşkil eden partüküllere tatbik ettiği çekme kuvvetinin bileşkesidir. Aya yakın olan partüküller daha büyük çekme kuvvetine maruz kaldıkları halde, daha uzaktakiler daha az çekme kuvvetine maruzdurlar. Eğer arz katı bir cisim olsaydı münferit partüküllere yapılan çekme kuvveti deyince, merkezinin hareketi,



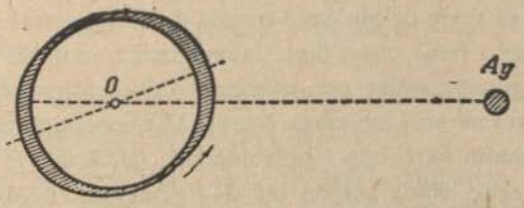
Şekil 48. Kabarma dalgasının teşekkülü

ve dönmesi denilince de, merkezden geçen eksen etrafındaki hareketi kastedilir. Mamafih arz tam manâsiyle katı olmadığı gibi, (yüzeyinin % 71 i okyanuslarla çevrilmiştir) su partükülleri de, kara partüküllerine nazaran daha başka türlü tesir altındadırlar.

Bilinen bir anda aya yakın olan (Şekil 48 deki *A* noktasına yakın) su partükülleri ve en uzaktaki (Aynı şekilde *C* noktasına

yakın) su partükülleri ay tarafından birbirinden farklı kuvvetlerle çekilmektedirler. *A* noktasına yakın partüküller merkeze nazaran daha kuvvetle çekilmekte, *C* noktasına yakın partüküller ise daha zayıf kuvvetle çekilmektedir. Arzın aya bakan tarafında sular yükselir ve kabarma hasıl olur, mukabil tarafta ise yani *C* noktasında da yine kabarma meydana gelir. Çünki buradaki partüküller aya doğru harekette arzın merkezine nazaran geri kalırlar. Bu suretle *A* ile *C* civarında kabarma, *B* ve *D* civarında ise suların çekilmesinden dolayı alçalma hasıl olur.

A ve *C* civarındaki kabarma şişkinlikleri aya nazaran aynı durumu muhafaza ederlerse de, bu şişkinliklerin arzın dönme hareketinden dolayı, arza nazaran durumları değiş-



Şekil 49. Kabarma dalgasının, arzın dönmesi yüzünden yer değiştirmesi

mekte olup arzın dönme hareketine karşı doğrultuda hareket ederler. Kabarma dalgasının doğudan batıya doğru hareketi esnasında, okyanus tabanlarının sürtünmesine maruz kalabileceği gibi karaların da mukavemeti ile karşılaşır. Bu sebepten dolayı dönmekte olan arz, kabarma şişkinliklerini beraber taşır ve bunlar aya nazaran Şekil 49 da görülen durumlardadır. İşte bu sebepten dolayıdır ki heryerde kabarma ayın meridyenden geçişi anından daima geri kalır.

Kabarma dalgası ile okyanus tabanı arasındaki sürtünme kuvveti ve suyun viskozitesinden (ağdalık) dolayı iç direnci

arzın dönmesine karşı koyar. Arzın tamamen katı olmasından dolayı kabarma dalgası yalnız sulara inhisar etmeyip karalarda da görülür. Bu kabarma dalgaları arzın hareketinden dolayı arz içinden geçer ve arzı teşkil eden maddenin viskozitesinden dolayı iç sürtünme hasıl eder ki bu da aynı suretle arzın hareketini yavaşlatır. Bunların toptan sonucu, arzın dönme hareketinin yavaş yavaş azalmasıdır. Yukarıda arz gününün her bir yüzyılda 0,001 saniye uzadığını söylemiştik.

Günün uzunluğunda bu kadar küçük farkın takdiri nasıl mümkün olmuştur. Bu keyfiyet gün uzunluğunun direkt rasatlarla bulunması pek zorsa da uzun zaman aralıkları için, günlerin uzama tesirini takdir kabildir.

İki saat tasavvur edelim. Bunlardan birinin arzın hareketini tam olarak takip ettiğini ve diğerinin de doğru olarak çalıştığını düşünelim. Basit olsun diye, zamanımızda arzın dönme müddetinin güneş gününe eşit olduğunu farzedelim. (23 saat 56 dakika yerine tam bir güneş günü). Yüz senede günümüz yani birinci saatin akrebinin tam dolanımı*, 0,001 saniye azalacak, bu yüz sene içinde hergün bir saat gösterimi $\varepsilon=0{,}001/36525$ (Yüz yıl=36525 gün) saniye azalacak. Bu takdirde akrebin günlük açısal hızı (Diğer bir deyimle akrebin bir günde süpürmüş olduğu saat, dakika ve saniye işaretleri**) ikinci saat için sabit kalır ve ω_0 a eşit olursa, birinci saat için muntazaman değişecek ve $\omega=\omega_0-\varepsilon t$ olacaktır ki burada t gün olarak ifade edilmektedir. ε miktarı birinci saat akrebinin gerileme açısal hızını, yahut bu saatin geri kalmasını gösterir. İkinci saatin t saniye esnasında yapmış olduğu tam dolanımlar sayısı $T_0=\omega_0 t$

* Saat minesi 12 yerine 24'e bölünmüş olup akrebinin dolanımını bir günde yaptığı farzedilmektedir.

** Astronomide açılar çoğu zaman saatler cinsinden ifade edilir. 360 derece 24 saat yahut 1440 dakika veyahut ta 86400 saniyeye tekabül eder.

ye eşit olup, birinci saat için (düzgün yavaşlıyan hareket denklemine göre) :

$$T = \omega_0 t - \frac{1}{2} \varepsilon t^2$$

ye eşittir. Birinci ve ikinci saat arasındaki T_0-T zaman gecikmesi

$$T_0 - T = \frac{1}{2} \varepsilon t^2$$

olacaktır, burada t gün olarak ifade edilmiştir. Yüz yılda yani yaklaşık olarak 36525 günde birinci saatin gecikmesi

$$1/2 \times 0{,}001 \times 36525 \cong 18 \text{ saniye}$$

eder, yahut 1000 senede yaklaşık olarak 1800 saniye veya 0,5 saat ve 2000 yılda da yaklaşık olarak 1 saattir.

Astronomide zaman, arzın yıldızlara nazaran dönme müddeti ile hesabedilir ; bu da yavaş yavaş geri kalan birinci tip saattir. Yukarıdaki hesaplar bu geri kalışın miktarlarını göstermektedir. Astronomik zaman eskidenberi geri kalmaktadır. Hatta 18 nci asırda güneş tutulması üzerinde yapılan araştırmalar bu tutulmaların "Ay ile arzın hareket teorisine dayanarak yapılan hesaplarla" vuku bulması zamanlarından bir kaç saat evvel vaki olduğunu göstermiştir. Alman feylesoflarından KANT arzın dönme hareketinin geri kaldığını ilk defa göstermiştir.

Ay üzerinde yapılan ciddi etütler arzın dönme hareketinin gittikçe kısalmakta olduğunu göstermektedir. Düzgün çalışan bir saat 100 yılda astronomik bir saate nazaran 18 saniye ileri gidecektir. Ay günde yıldızlara nazaran $360°/27{,}3 = 13°{,}2$

derecelik bir yay üzerinde hareket eder. Eklenen 18 saniyede ay 10 saniyelik kadar bir yay üzerinde hareket eder. O halde ay 100 yılda 10″ kadar sürülmüş olur. Arzın, güneş veya gezegenlerin ay üzerindeki pertürbasyonları ile açıklanamıyan (Ay korisinin vardığı sonuçlarla mukayese edildiğinde) böyle ek bir hareket bilfiil müşahade edilmektedir.

Fakat arzın dönme hareketindeki gerileme 100 *yıllık gerileme* adı verilen bu keyfiyete inhisar etmez. Arasıra arz günü kendi içinde vukua gelen işlemlere eşlik ederek salınım yapmaktadır. Bu salınımlar bir yılda 0,001 saniyeyi veya daha fazlasını bulur ki bu da astronomik saatte bir yılda 0,05-0,07 saniye kadar geri kalma veyahut ileri gitmeye tekabül eder. Zamanımızda yapılan müşahedelerle astronomik saat darbelerinin muntazam gitmediğini fevkalâde bir zaman müş'iri olan QUARTZ saati (Arzın dönmesinden daha iyi işliyen müstesna bir zaman göstericisi) ile göstermek mümkün olabilmiştir.

19. GÖK MEKANİĞİNE AİT KALİTATİF PROBLEMLER

Buraya gelinceye kadar, güneş sistemine giren cisimlerin ne pek eskiye varan ve ne de pek uzak istikbale kadar uzayabilecek olan zaman aralığına değil de, nispeten kısa zaman aralığında geçen hareketlerden bahsetmiş olduk. Bugün bu hareketler Analitik veya sayısal metotlarla incelenir. Tabiî olarak bütün bu teknikler, süzgeçten geçmeği icabettirecektir. Bu keyfiyet sıhhat derecesi sayısal metoda nazaran çok yüksek olan Analitik metot için bilhassa varittir. Peyklerin hareketleri için daha ince metotlara ihtiyacımız vardır. Bunun yardımı ile gezegenlerin sıkışmalarını, Satürün halkasını ve peyklerin kendilerinin kütlelerini daha doğru olarak bulabiliriz. Astroit-

lerin hareketleri için daha doğru teorilere de ihtiyaç vardır. Bunlardan maksat arzın dönme hareketini icindeki maddenin değişen yoğunluğunu ve saireyei hesaba katarak, arzın dönme hareketine ait mükemmel bir teorinin meydana getirilmesidir. Mamafih bu problemler, iyi ve mufassal bir şekilde etüt edilmiştir. Yapılacak şey elde edilen yeniliğin ve araştırma tekniğinin incelenmesinin daha belirli bir şekle sokulmasıdır.

Gezegenler, peykler, astroitler ve kuyruklu yıldızlar hakkında elde Analitik ve sayısal teoriler vardır. Birçok hallerde bunlar bu cisimlerin, hatta 100 sene evvel ve bir okadar sonraki hareketleri hakkında doğru bir fikir vermeğe de kifayet eder. Fakat güneş sisteminin orijini ile tekâmülü problemine gelince daha çok uzun süreler için hareketleri bilmek icabeder. Biz gezegenler, Astroitler, peykler ve kuyruklu yıldızların yüzbinler hatta milyonlarca sene evveli durumlarını ve aradan geçen zaman zarfındaki değişimlerini bilmek istiyoruz. Gezegen hareketlerinin milyonlarca sene içinde nekadar değişikliklere uğradıklarına ait etütler de daha az ehemmiyetli değildir.

Bütün bu hallerde bu cisimlerin hareketlerine ait elde mevcut teoriler bize yardım edemezler. Çünkü bunlar ancak pek mahdut ve nispeten küçük zaman aralıkları için tatbik edilebilir. İşte bundan dolayı, gök mekaniğine ait KALİTATİF METOTLAR denilen metotlar, cisimlerin hareketlerinin pek uzun zaman sürelerindeki değişiklikleri ile ilgilidir. Bu metotla kantitatif metot arasındaki fark, bunda gök cisimleri durumlarının direkt hesaplanması ve onların kütlelerinin hesabı gibi şeyler ilgilendirmezse de genel mahiyetteki hareketlerin değişimleri hakkında fikir verir.

İlk anda birbirinden uzaklaşan iki cisim problemini ele alalım. Bu problem bu cisimlerin biribirinden sonsuza kadar uzaklaşıp uzaklaşamıyacağını araştırmaktan ibarettir.

Bu halde problem için elde kesin bir çözüm mevcut olduğuna göre kalitatif metodu tatbike lüzum yoktur. İlk hızlara göre bu cisimlerden biri diğerinin etrafında bir elips, parabol veya hiperbol çizecektir. Binaenaleyh ilk hızlar belirli bir miktardan büyükse bir (hiperbolik hareket) vaki olur. Bunlar birbirlerinden sonsuza doğru uzaklaşırlar. Eğer küçük ise (eliptik bir hareket olur) birbirlerinden belirli bir uzaklıktan fazla ayrılamazlar.

Yahut üç cisim için benzer bir problemi ele alalım. Belirli kütleleri haiz olan üç cisim, ilk anda harekete geçmiş olsunlar. Birbirinden ayrı doğrultuda hareket ettiklerine göre (yani başlangıçta bunlar arasındaki uzaklık muntazaman artmaktadır) bu cisimlerin gelecekteki hareketleri nasıl olacaktır ?

Bu takdirde problemin kesin bir çözümü yoktur, fakat kalitatif metotla probleme bir cevap verilebilir.

Başlangıçta bunların hızları belirli bir miktardan büyükse, bu cisimlerin hepsi sonsuza doğru giderek birbirlerinden ayrılırlar. Eğer bu hızlar bu belirli değerden küçükse, iki hal mümkündür. Bunlardan biri üç cismin birbirinden uzaklaşmıyarak belirli bir mesafeye kadar hareket edebilmeleri, ikincisi ise, bunlardan birinin sonsuza doğru hareket etmesi, diğer ikisinden birinin de diğeri etrafında bir elips üzerinde hareket etmesidir.

Diğer bir misâl ele alalım. Kütleleri sabit olmayıp zamanla azalan iki cisim problemi. Bunların kütlelerinin bir birim zamanda değişme miktarına ait kanun elde mevcut değilse bunların hareketlerini sıhhatle ifade edemeyiz. Fakat kalitatif metoda göre bu cisimlerin ilk andaki hızları nispeten küçükse, bunlardan birinin diğeri etrafında, büyük yarı ekseni ve dışmerkezliği gittikçe büyüyen bir elips etrafında dolaşacağını bildirmektedir. Bu suretle bunların araları gittikçe açılıp, elips te gittikçe daha çekik olur.

Ondokuzuncu asırda güneş sisteminin kararlılığı üzerinde çok durulmuş ve emekler sarfedilmiştir. Bu problem şu tarzda ifade edilebilir : Bütün gezegenler daima güneş etrafında ve şimdi olduğu gibi aynı düzlemde ve ortalama mesafelerde hareket edecekler midir ? Diğer bir deyimle gezegenler, yörüngelerinin yarı büyük eksenleri ve düzlemlerinin eğilmelerindeki değişiklikler 100 yıllık tipten mi olacaktır ?

Gezegenlerin 100 yıllık pertürbasyonları üzerinde yapılan geniş araştırmalar evvelce bahsedildiği gibi, Lagrange, Laplace, Leverrier ve diğerleri tarafından yapılmıştı. Bunların yapmış oldukları araştırmalar güneş sistemi gezegenlerinin yörünge elemanlarında 100 yıllık pertürbasyonlar olmadığını gösteriyordu. Fakat bu araştırmalarda matematik mahiyetteki çok büyük zorluklardan dolayı, gezegenlerin sadece karşılıklı pertürbasyon etkileri hesaba katılmış, ihmal edilebilecek derecede küçük olan pertürbasyonlar da kale alınmamıştı. Bu sebepten dolayı bu problemin pek ciddi ve kesin matematik çözümü yoktur. Bugüne kadar elde edilen sonuçlar, gezegen hareketlerinin birkaç milyon yıl için kararlı olduğunu söylememize müsade eder.

Güneş sisteminin pek eski durumu hakkındaki bilgi jeolojik araştırmalarla tayin edilmektedir. Jeolojik buluşlar, yüzbinler hatta milyonlarca yıldanberi arzın, güneş etrafındaki hareketinin mahiyetinde bir değişikliğe atfedilebilecek, arz ikliminde esaslı değişiklikler olmadığını göstermiştir. Hatta geçmişte Avrupanın iklim şartlarında dikkate değer değişiklikler buz devirleri gibi, arz yörüngesinin dışmerkezliğindeki hafif salınımlara ve arzın dönme ekseninin uzun periotlu pertürbasyondan dolayı, yörüngesi düzlemi ile yaptığı açı ile de izah edilebilir. Müşahedeler böyle salınımların, yer yüzünde ortalama sıcaklık derecesini düşürerek buzul devrini getirmeğe muktedir olabileceğini göstermiştir. Yörüngenin dışmerkezliğinin daha esaslı değişik-

liklere, yahut arzın güneşe yaklaşıp uzaklaşması dolayısiyle ortalama arz-güneş mesafesinin değişimi iklimde daha büyük ölçüde değişiklikler yapmaya müsait ise de, Jeoloji ilmi, arzın ikliminde milyonlarca yıldanberi böyle esaslı değişiklikler olduğuna dair en küçük bir iz dahi bulamamaktadır*.

Binaenaleyh arzın bu müddet içerisinde bugünkü gibi hareket etmiş olduğu neticesine varabiliriz. Gezegenlerin bütün hareketleri, aralarındaki karşılıklı pertürbasyon etkilerine bağlı olduğundan bir gezegenin hareketindeki değişiklik, bütün gezegenlerin hareketlerinde dikkate değer değişiklikler yapar. Bir gezegenin hareketinde hesaba katılabilecek derecede, pertürbasyon olmadığına göre diğerlerinin hareketleri zahirî olarak pek az değişmektedir. Bu suretle fikir yürüterek, yalnız arzın hareketi değil, diğer büyük gezegenlerin hareketlerinin de, milyonlarca yıldanberi aynı kalmış neticesine varabiliriz.

Satürnün halkası üzerindeki müşahedeler, Astronomi tarihinde pek enteresan bir hal arzeder. Bu halka en kuvvetli bir teleskopla bakılırsa bile katı bir cisim görünür. Rasat neticesi, halka kalınlığının yaklaşık olarak 20 kilometre ve genişliğininde 60 000 kilometre kadar olduğunu gösteriyor. Onsekizinci ve ondokuzuncu yüzyılda Satürn halka yapısının katı mahiyette olup olmaması üzerine büyük münakaşalar ceryan etmiştir. O zamanki astronomlardan bazıları o devirde bile gezegenin etrafında pek geniş ve ince dairesel plak şeklinde bir katı cismin bulunmasına pek ihtimal veremiyorulardı. B sorunun doğru cevabı, ondokuzuncu yüzyılın ortalarında Büyük İngiliz Fizikçilerinden Maxwel, tarafından verilmiştir. Maxwel'in mütalaasına göre eğer halka maddesel bir cisim ise, çekim kanununa tabi

* Hakikate yakın olarak diyebiliriz ki buz devri ve yer yüzündeki diğer büyük değişiklikler sırf "mevzii" yahut "arza bağlı" sebeplerden ileri gelmiş olabilir. Bilfarz okyanus akıntılarında daimî ve büyük mahiyetteki değişiklikler gibi.

olmalıdır, eğer hareket etmiyorsa gezegenin çekim kuvveti etkisi altında gezegenin üzerine düşmelidir. Binaenaleyh halka hareket halindedir. Fakat ince plâk halinde bulunan bir halka gezegenin çekme kuvveti etkisi altında durumunu böylece muhafaza edebilir mi ? Maxwel böyle katı bir halkanın kararlı olamıyacağını deneylerle göstermiştir. Katı bir kurşun zamanla küçük küçük parçalar halinde ayrılması icabeder. İşte Maxwel de satürn halkasının katı bir cisim olmayıp, küçük parçalardan müteşekkil olduğunu böylece ortaya koymuştur. Bu parçalardan herbiri Newton'un gravitasyon kanununa göre Satürnün etrafında dönmektedirler.

Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında ve yirminci yüzyılın başlangıcında Rus astronomu Belopolsky ve Amerikalı Artronom Keeler iş birliği yaparak Maxwel'in buluşunun doğru olduğunu kabul etmekle beraber, halkanın dış kısmındaki parçalarının iç kısmındaki parçalarına nazaran daha yavaş hareket ettiklerini söylemişlerdir. Katı bir cismin bu tarzda hareket edemiyeceği aşikârdır. Bunun manâsı şudur ki Satürnün halkası katı bir cisim olmayıp, Kepler'in üçüncü kanununa göre hareket eden ve birçok serbest cisimlerden müteşekkil bir halkadır.

Astroitlerin ve peyklerin hareketine ait bir çok enteresan kalitatif araştırmalara ait problemler vardır. Peyklerle astroitlerin hareketleri ve bu problemlere eşlik eden peyklerin, astroitlerin ve bütün güneş sisteminin orijinlerine ait birçok sayıda enteresan ve kalitatif araştırma metotlarını ilgilendiren birçok problemler vardır.

Meselâ astroitlerin hareketlerinde, pek uzun zamandanberi nekadar bir değişiklik vuku bulduğunu bilirsek, astroitlerin nasıl meydana geldiklerine dair bir fikir edinebiliriz.

Astroitlere ait etütlerden misal olarak aşağıdaki enteresan problemleri ele alalım. Bilinen astroitlerin % 98 i ki sayıları

1500 ü geçer, güneşten olan ortalama uzaklıkları (yani yörüngelerinin yarı büyük eksenleri) 2,2 astronomik birimle (330 milyon kilometre) ile 3,6 astronomik birim (540 milyon kilometre) arasında bulunmakta olup, periotları da 3,2 ile 7 sene arasında değişmektedir. Mamafih bu ortalama uzaklıklar düzgün olarak yayılmış değillerdir. Meselâ güneşten olan uzaklıkları 3,27 ; 2,84 ve 2,5 astronomik brimler kadar olan Astroitler yok gibidir. Güneşten olan ortalama uzaklıkları, bu değerde olan cisimlerin yörünge periotları yaklaşık olarak 5,9 ; 4,8 ve 4 yıldır ki, bunlar da Jüpiter periodunun 1/2, 2/5 ve 1/3 ne tekabül eder.

Bundan da astroitlerin yörünge periotları Jüpiterinki ile ortak ölçüde bulunurlar manası çıkarılır. Bu da astroitlerin güneşten ortalama uzaklıktaki yayılmalarında "aralıklı boşluklar" denilen keyfiyeti meydana getirir.

Mamafih güneşten olan uzaklığı ana kümenin uzaklığından daha fazla bulunan pek enteresan olan iki astroit grubu vardır. Bunların güneş etrafındaki yörünge periotları, Jüpiterin dönme periodu ile ortak ölçüdedir. Bu gruplardan biri bilinen 16 astroidi havi olup güneşten olan uzaklıkları yaklaşık olarak 4 astronomik brim ve dolanım süreleri de 8 yıla yakındır. Bu gruba üyelerinden birinin adına izafetle HILDA GRUBU denilir. Bilinen 14 astroidi ihtiva eden ve adına TROJAN GRUBU denilen astroitler ikinci grubu teşkil etmektedirler. Bu astroitler Homer'in İLYADA adlı eserinde Achilles Odysseus, Hector ve diğerleri gibi isimleri geçen Trojan harbi kahramanlarından adlarını taşımaktadır. Bunların güneşten olan ortalama uzaklığı yaklaşık olarak Jüpiterinkine (5 astronomik brim kadar) eşit olup bunun neticesi yaklaşık olarak yörünge periodu 12 yıl kadardır.

Astroitlerin güneşten olan uzaklıkları 3,27 ; 2,8 ve 2,5 astronomik birimler arasında bu boşlukların bulunması nede-

nini aramak akla gelebilir. Neden astroitler güneşten bu ortalama uzaklıklarda bulunmaya karşı koyuyorlar ? Diğer taraftan nasıl oluyor da astroitlerin yörünge periotları Jüpiterin periodu ile ortak ölçüde bulunan 8 ve 12 yıllık iki periotlu gruba ayrılıyor.

Bu sorulara mümkün olan iki türlü cevap verilebilir.

a) Astroitlerin hareketindeki bu özellikler bunların doğuşundaki hareket özelliklerinin aynı olabilir.

b) Bu özelliklerin doğuşta olmayıp gezegenlerin bozucu etkilerinden ileri gelmesi ihtimal dahilindedir.

Bu iki görüşten birini tercih etmek için astroitlerin hareketlerinde pek uzun zamandanberi geçirdikleri değişiklikler üzerinde araştırmalar yapmak lâzımdır. Meselâ yörünge periotları 5,9 ; 4,8 ve 4 yıl olan astroitlerin 100 yıllık pertürbasyonlardan müteessir olması ki, bu da binlerce yılda bu periotları değiştirebilir. Bu keyfiyet ikinci görüşü teyit eder. Bu takdirde yukarıda geçen aralıkların teşekkülü için lâzım gelen zamanı kabaca hesaplamak mümkün olduğu gibi, astroidal sisteminde ömürlerini de hesaplamak mümkün olabilir. Buna mukabil bu astroitlerin yörünge periotlarında saf 100 yıllık değişiklikler yoksa, astroidal hareketlerin değişimi işleminde boşlukların bulunması icabeder. Bu halde bu boşlukların astroitlerle beraber doğduğunu kabul etmek zarureti vardır.

Bu mesele daha evvel uzun uzadıya münakaşa edilmiş ve sonuç olarak aralıkların Jüpiterin bozucu etkisiyle eşlik ettiği kararına varılmıştır. Jüpiter ile bir astroidin yörünge periotları ortak ölçülü ise astroidin pertürbasyonlarının ortak ölçülü olmaması haline nazaran daha büyük olması icabeder. (Yukarıda periotları ortak ölçülü olan Jüpiter ile Satürnün pertürbasyonlarına ait analize dikkatinizi çekeriz.)

Mamafih bu da aralıkların orijinine ait tam ve ikna edici bir cevap değildir. İlk olarak bahsedilen iki astroit gruplarının 100 yıllık pertürbasyonları üzerindeki etütler daha geniş mikyasta yapılmış olmakla beraber, az muvaffak olmuştur. Bu hususta Trojanlar hususiyet arzeder. Bu astroitler ana kümeden ayrılmış olup enteresan bir tavır arzetmektedirler. Acaba bunlar milyonlarca yıl evvel nasıl hareket ediyorlardı ? Evvelâ birbirlerinden ayrılmışlar da, daha sonra hareketlerindeki değişiklikler yüzünden birleşmişler mi ? Bu grup gelecekte de durumunu muhafaza edecek mi ? Yahut 100 yıllık pertürbasyonlar, Trojanların yörüngelerini birbirinden ayıracak mı ? Bu sorulara verilecek cevaplar Trojanların mümkün olabilen yaşantıları hakkında bize bir fikir verebileceği gibi, bunların teşekkülleri hakkında fikirlerimizi de açıklayabilir.

Aynı yörüngedeki astroit gruplarının teşekkülü problemi, bu gibi grupların sayısının çokluğundan dolayı hususî entrikalı meseleler meydana çıkarır. Bugün bütün astroitlerin esas itibariyle bir büyük gezegenin parçalanması ile meydana geldiğine dair hipotezler mevcut olup, astroit gruplarının parçalanmış gezegen parçalarının tekrar parçalamnası ile meydana geldiklerine dair fikirler mevcuttur.

Bir taraftan bu gibi astroit gruplarının, gezegenlerin pertürbasyon etkileri ile teşekkül edip etmemesi, diğer taraftan gezegenlerin hasıl edebildikleri 100 yıllık pertürbasyonların böyle grupların zamanla parçalanmasına sebep oldukları meseleleri çok enteresandır. Bu gibi araştırmalar elde mevcut hipotezi ya teyit eder veya reddeder.

Maalesef bu mahiyetteki problemlerin çözümünde rastlanan zor matematik ifadeler henüz çözülememiştir. Gök cisimlerinin hareketlerine ait kalitatif araştırmalarla çözülen problemlerden çoğuna henüz cevap bulunmuştur. Daha mühimi KOZMOGONİ —Gök cisimlerinin menşe ve

tekâmül ilmi— ile sıkı ilişkisi olan enteresan problemler şimdiye kadar ihmal edilmiştir. Gelecekte de bu problemlerin daha mükemmel bir şekilde çözülmesi beklenilir.

Peykimiz olan "Ay" ile Marsın peykine ait pek enteresan ve heyecan verici problemler vardır. Burada yalnız Newton'nun kanunları değil kabarma sürtünmesini de hesaba katmak icabeder.

Yukarıda kabarma sürtünmesinin arzın dönme hareketini yavaşlattığını söylemiytik. Bu yavaşlamadan başka arzla ay arasındaki ortalama uzaklıkta da pek cüz'i artış keyfiyeti vardır. Bu ise ayın eski zamanlarda arza, bugüne nazaran daha yakın olduğu manâsına gelir. Eğer arzın dönme periodu beher yüz senede 0,001 saniye kadar artarsa, ay ile aramızdaki uzaklık ta her yüz senede iki metre kadar uzamış olur. Gerçi bu rakamlar pek küçük görünürse de, arz ile ayın bin milyonlarca senedenberi hareket etmekte oldukları düşünülecek olursa, bu rakam epey büyük bir miktara baliğ olur. Kabarma sürtünmesinin etkisi de hatırı sayılır derecededir.

İngiliz alimlerinden George Darwin'in yaptığı hesaplara bakılırsa, ayın milyar yıl önce arzdan 14 000 kilometre uzakta bulunduğu anlaşılıyor. Bu sırada arz da gün, beş saat daha uzundu. Yirminci yüzyılın başlangıcında George Darwın ay ile arzın bir zamanlar birleşik olup sonradan birbirlerinden ayrıldıkları fikrini ileri sürmüştü. Bu Hipoteze göre ay arzdan gittikçe uzaklaşmış ve arz günleri de uzamıştır. Birkaç bin milyon sene sonra arz, ve ayın uzaklığı % 50 kadar artacak "Ay" ayı uzayarak 47 günü (628 saat) bulacak, arz günü de hemen hemen aynı kalacaktır. Darwin'e göre bu safhada kabarma sürtünmesi tersine çalışacak ve ay da tekrar arza yaklaşmağa başlıyacaktır. Sonunda ay arza çok yaklaşıp arzın çekme kuvveti etkisi altında parçalanacak, ve bu kuvvet ay yüzeyinde büyük kabarmalar hasıl edecektir. Bu son safhada

ayın yörünge periodu arzın dönme periodu olan bir günden daha kısa olacaktır.

Maalesef bir hipotezin geçmişe ait kısmını yani ayın arzdan kopmuş olduğunu kabul etmek biraz zor olsa gerektir. Rus Matematikçilerinden Lyapunov'un yapmış olduğu son araştırmalara göre ayın arzdan kopmuş olması imkânsızdır. Darwin ayın gelecekteki tekâmülü üzerinde araştırmalar yaptığı zaman arz ve ayın hareketlerine etki eden, Gravitasyondan gayrı diğer herhangi kuvvetleri hesaba katmamıştı. Araştırmalara göre bukadar uzun zaman içerisinde ay, arz ve hatta bütün güneş sistemi fiziksel yapısında değişiklikler olması imkân dahilindedir. Fakat böyle olsa bile, kabarma sürtünmesinin, pek uzun olan bir zaman aralığında cisimlerin hareketleri üzerinde ciddi bir etki siolduğunu kabul etmeliyiz.

Kabarma sürtünmesinin etkisi üzerindeki hipotez, marsın peykleri hakkındaki etütlere yardım eder. Bu peykler bütün güneş sisteminde en dikkate şayan cisimlerdir. Evvelâ bunlar ana gezegene pek yakındırlar. Birinci peyk olan PHOBOS marsın merkezinden 9380 kilometre mesafede olduğuna göre, gezegenin merkezinden çapının birbuçuk katı kadar yani yüzünden ancak 5930 kilometre mesafededir. İkincisi olan DEIMOS Marsın merkezinden, 23500 kilometre veyahut gezegen çapının 3,5 katı kadar uzaklıktadır. Diğer enteresan bir nokta Fhobos tam bir dolanımını mars gününün 1/3 ünde yapmakta, (Mars günü 24 saat 37 dakika olup buna nazaran Fhobos dolanımını 7 saat 39 dakikada yapar). Diğer bir deyimle mars üzerindeki (Fhobos bakımından) ay günden kısadır. Arzın benzer bir peyki olsaydı doğudan batıya doğru hareket edeceği yerde batıdan doğuya doğru hareket edecek veya batıdan doğup doğudan batacaktı. Bunların hepsi yeryüzünden atılan sun'i peykler de dahil olduğu halde, bütün gök cisimlerinin hareketlerine karşı olacaktı.

Darwın teorisine göre peykin yörünge periodu (yani Ay'ı) evvelâ gezegenin dönme periodundan (yani gününden) uzun olup, peyk yavaş yavaş ana gezegenden uzaklaşmaktadır. O halde belirli bir safhada, belirli bir uzaklığa vardıktan sonra peyk, yavaş yavaş gezegene yaklaşmağa başlıyacaktır. Bu safhada ayın uzunluğu, gün uzunluğundan daha kısa olacak ve peyk te gezegene fevkalâde yaklaşmış olacaktır.

İlk bakışta Fhobos bu tekâmül işleminde (Marstaki ay Fhobos bakımından günden kısadır) ve fhobos ta ana gezegene çok yakındır. Bu işleme göre peyk marsa yaklaşmakta devam edecektir.

Diğer taraftan Darwın'e göre Deimos gezegenden ilk uzaklaşma safhasında bulunacaktır. Çünki, (Deimos bakımından) ay 30 saat 18 dakika kadardır ki bu da günden uzundur.

1879 ile 1941 seneleri arasında Mars üzerinde yapılan araştırmalar, (Mars'ın peykleri 1877 yıllarında keşfedilmiştir) neticesinde Amerikalı Astronom B. Sharpless Fhobos'un yörünge periodunun yılda 0,00025 saniye kadar, tedricen kısalmakta olduğunu teyit etmiştir. Bu rakam yarı büyük eksende yılda, 646 santimetrelik bir azalmaya tekabül eder. Bundan anlaşıldığına göre, 100000000 yıl sonra Fhobos marsın üzerine düşecektir.

Fhobos'un yörüngesinde bu derece bozucu sebep henüz muamme şeklinden çıkamamıştır. İngiliz Astronomlarından H. Jeffreys mars yapısı üzerinde teoriler yürüttükten sonra, yarı büyük eksendeki kısalmanın ancak 1/1000 ninin kabarma sürtünmesinden ileri geldiğini bulmuştur. Diğer Astronomlar, bu azalmanın gezegenler arasın bir olay olduğunu söylemişlerdir. Bu arz atmosferinin sun'i peyklere yapmış olduğu etkiye benzer. Sovyet Astronomlarından N. Parysky (Arzla Mars aynı viskositeyi haiz olduklarına göre) Jeffreys'in buluş-

larına katılmayarak, kabarma sürtünmesinin müşahede edilen etkiyi hasıl edebileceğini söylemiştir.

Mars'ın peykleri Astronominin kalitatif problemlerini ilgilendirmek hususunda başta gelen problemlerdir.

20. YILDIZ HAREKETLERİ VE GENEL ÇEKİM KANUNU

Gökteki yıldızlar günden güne değil, hatta bir hayat boyunca da hiçbir değişiklik göstermezler. Eskilerin bu yıldızlara "Sabit yıldızlar" demelerinin yeğane sebebi de budur. Mamafih daha münasip bir terimde bulmak herhalde kolay değildir. Kuvvetli teleskoplarla yapılan ince araştırmalar, gökteki yıldızların da hareket etmekte olduklarını göstermiştir. Bu hareketin bir kısmı, bunları hareket halinde bulunan arzdan seyrettiğimizden ileri gelmektedir. Fakat bu hareketler bilfiil yıldızların hareketleri olup, güneş de kendi gezegenler sistemi ile birlikte uzayda hareket etmektedir. Yıldızın kendi hareketinden ve güneş sisteminin hareketinin yapmış olduğu tesirden dolayı, zahirî durumundaki itilmeye ÖZ HAREKET denilir. Yıldızların özel hareketleri pek küçüktür. Bunların çoğu yılda 0,01 saniye kadar hareket ederler. Bu da o kadar küçük bir açıdır ki, iki kilometre uzaktaki bir kılın kalınlığı, gözümüzde bu açıyı meydana getirir. Bu yıldızlardan bir kaçının öz hareketleri bir saniyeyi bulur. Bunlardan 10 adet kadar seri hareket eden yıldız, senede takriben (4-10) saniyelik bir yay parçası üzerinde hareket etmektedirler. Yıldızların çoğunun areketlerinin, çıplak gözle takdir edilememesinin sebebi budur. Eğer yıldızların hali hazır durumları ile, birçok yüz yıllık durumları mukayese edilecek olursa, bunların hareket ettikleri kolayca anlaşılabilir. Eski çinliler ince araştırmalar neticesi olarak

yıldızların hareket halinde olduğlarını bildirmişlerdir. O devirlerde Avrupalı Astronomların bu harikulâde keşiflerden haberleri dahi yoktu.

1718 yılında Halley (Sirius, Procyon, Arcturus) adlı üç yıldızın gökteki durumlarının, Greklerin bildirdikleri durumlardan çok farklı olduklarını bildirmiştir. Bu yıldızların rasat edilen durumları, Hipparchus'un (Milâddan evvel birinci yüzyıl), bildirmiş olduğu durumlarla kıyas ederek, Halley, Sirius'un 1,7 derece, Procyon'un 0,7 derece ve Arcturus'ün 1,1 dereceye kadar yer değiştirmiş olduğlarını bulmuştur. Onsekizzinci yüzyılın sonunda İKİLİ YILDIZ sistemlerin yörünge hareketleri üzerinde de araştırmalar yapıldı.

Çıplak göz için ikili yıldızlar, diğer yıldızlardan pek farklı değildir. Fakat bir teleskopla bakılacak olursa ikili yıldızın birbirinden ayrı, fakat aralarındaki açıklık bir kaç saniyeyi geçmiyecek kadar az olan iki ayrı yıldızdan mürekkep olduğu görülür. İkili yıldızlara ait ilk esaslı araştırmalar, onsekizinci yüzyılın sonunda ve ondokuzuncu yüzyılın başlangıcında Herschel tarafından yapılmıştır. Herschel ikili yıldızların birbirine göre hareket halinde olduklarını bulmuştur. Herschel aynı zamanda bir çok ikili yıldız da keşfetmiştir. Bugün bilinenlerin sayısı 20 000 den fazladır.

Bu yıldızları hangi kuvvetler idare eder, hangi kuvvet etkisi altında biri diğerinin etrafında dönmektedir. Yıldızlar güneşimiz gibi kor halindedir.

Bunlar Newton kanunlarına göre birbirlerini çeken maddesel cisimlerdir. İkili sistem üzerine yapılan müşahedeler, yıldızların, çekme kuvvetine tabi olduklarını gösteriyor.

Bu yıldızlardan biri diğerine nazaran daha parlaktır. Bunlardan birine PARLAK BİLEŞEN, yahut PRİMER, diğerine ise SÖNÜK BİLEŞEN, veya PEYK denilir. Bu yıldızlar üze-

rinde yapılan dikkatli araştırmalar, peykin primeri etrafında ve bir elips yörünge üzerinde dolaştığını göstermiştir. Peykin bu hareketi Kepler'in ikinci alanlar kanununa uygundur. Bu da bize yıldızların karşılıklı etkiler altında hareket ettiklerini göstermektedir. Acaba bu kuvvet, Newton'un genel çekim kanununa, yani uzaklığın karesi ile ters orantılı çekme kanununa tabi değil midir ? Ondokuzuncu asrın ortalarında, Alphand, Darboux ve Bertrand adlı üç Fransız matematikçisi, pek kat'i matematik bir dil ile bu yıldızların tamamiyle Newton kanunlarına göre haretek ettiklerini ispat etmişlerdir. Bu üç matematikçi ikili yıldızlardan sönük olanının, parlak olanı etrafında ve bir elips üzerindeki hareketinin ancak iki hale inhisar ettiğini söylemişlerdir.

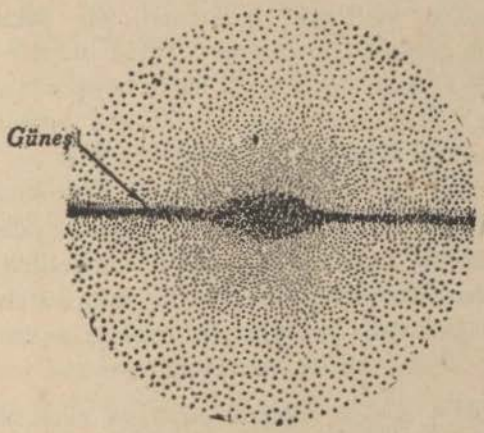
1) Eğer çekme kuvveti uzaklıkta orantılı olarak artıyorsa, Parlak yıldız, sönük yıldızın çizdiği elipsin merkezinde bulunur.

2) Eğer kuvvet Newton kanununa göre yani (Uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalıyorsa, bu takdirde parlak yıldız, peykin çizmiş olduğu elipsin odağında bulunur.

Diğer bütün hallerde kuvvet, uzaklığın başka türlü fonksiyonu olduğuna göre. peyk, ana yıldız etrafında, bir eliptik yörünge üzerinde hareket etmiyecektir.

Yapılan rasatlar parlak yıldızın, hiçbir halde sönüğün çizmiş olduğu elipsin merkezinde olmadığını göstermiştir. Bu birinci hale karşı gelir. Dahası var, bu hal kuvvet bakımından da imkânsız gibidir. Bir yıldızın diğer yıldızdan olan uzaklığının artması ile kuvvetin de artması akla uygun düşmemektedir. Binaenaleyh bu iki yıldızın Newton genel çekim kanununa göre hareket etmekte olduklarını kabul etmeliyiz. Siriüs'ün arkadaşının keşfi, Newton kanunlarının en parlak tatbikatlarından biri olmuştur. 1844 de Bessel Sirius'ün uzayda dalgalı bir yörünge üzerinde hareket ettiğini müşahede etmişti. Buradan bu yıldızın görünmeyen bir arkadaşının bulunduğunu ve

her ikisinin kütle merkezi etrafında devrettikleri neticesine varmıştı. Bessel bu görülmeyen yıldızın yörüngesini ve hatta kütlesini hesap etti. 1862 de Bessel'in ölümünden 20 sene sonra varlığı anlaşılan bu yıldız keşfedilmiştir ki, onun yörüngesi Bessel'in hesapladığı yörüngenin hemen hemen aynıdır. İkili yıldızlara ilâveten herbiri 3,4 veya daha ziyade yıldızdan mürekkep sistemler de vardır. Bunlara ÇOĞUZ YILDIZLAR, ÇOĞUZ SİSTEMLER denilir. Bu sistemlerde yıldızlar, birbirlerine yakın olup, karşılıklı etkiler altında bulunurlar. Çoğuz sistemlerde, artık iki cisim meselesi kalmayıp çok cisim problemi işe girmiş olduğundan hareketlerinin etüdü oldukça zordur. Bu nevi sistemlerde bileşenlerin hareketlerine ait teorik araş-



Şekil 50. Galaksinin "kenardan" şematik olarak görünüşü

tırmalar henüz başlamıştır. Gökte çıplak gözle gördüğümüz yıldızlar GALAKSİ denilen büyük sistemin birer fertleridirler. Galakside 150 milyar kadar yıldız bulunmaktadır. Galaksinin şekli yandan bakıldığına göre (Şekil 50) de görüldüğü gibi, ortası şişkince bir merceğe benzemektedir. Galaksinin çapı

85000 ışık senesi kadar olduğu halde, merkeze yakın en sık kısmının çapı ise 1000 ışık senesi kadardır*.

Buna göre galaksideki yıldızlar GALAKSİ DÜZLEMİ denilen bir düzleme yakın yerlerde toplanmışlardır. Güneş kendi sistemi ile beraber, Galaksi düzlemine yakın olarak merkezden, 23000 ışık yılı uzakta yer almış bulunmaktadır. Güneş sistemi Galaksi düzlemine yakın bir yerde bulunduğundan biz bu düzleme paralel durumdaki yıldızları görürüz. Saman yolunun göğü kucaklayan parlak benekleri galaksinin yıldızlarıdır. Galaksi düzlemine ilk baktığımız zaman pek uzakta tek tük yıldızlar görebiliriz.

Galaksideki yıldızlar nasıl hareket ediyorlar ?.

Galaksideki yıldızların hareketleri, bir bakışta hiçbir sisteme bağlı değilmiş gibi görünür. Fakat yıldızlar üzerindeki uzun ve ince araştırmalar halinde hiç te böyle olmadığını göstermektedir. Galaksideki bütün yıldızların ortalama olarak Galaksi merkezi etrafında (Münferit yıldızlar ve kümelerin hareketlerinden sarfınazar edersek) aynı doğrultuda hareket ettikleri görülür. Buna göre Galaksi, merkezi etrafında döner. Tabiî kelimenin öz anlamıyla bu bir dönme değildir. Tabiîdir ki merkezden olan uzaklığına göre bir hızla hareket etmekte olup uzaktakiler daha yavaş hareket etmekte, ve bu hareketler toptan bir dönme hissini vermektedir.

Yıldızların Galaxi merkezi etrafında hareketlerini idare eden kuvvetler Newton'un çekme kanununa göre olan kuvvetlerdir. Her yıldız, Galaxi deki diğer milyonlarca yıldızın etkisi altındadır. Galaksideki yıldızlar merkeze nazaran simetrik bir sistem teşkil ettiklerinden bunlara etki eden kuvvet-

---

* Bir ışık senesi ışığın bir yılda almış olduğu yoldur ki bu da yaklaşık olarak, $9{,}5 \times 10^{12}$ kilometredir. Işık güneşten arza ancak sekiz dakika 18 saniyede ulaşır.

ler de merkeze doğrudur. Mamafih bu kuvvetlerin merkezden olan uzaklığı ile Galaksi düzleminden olan uzaklığının ne şekilde değiştiği henüz bilinmeyen problemler arasındadır.

Bu taktirde kelimenin tam manâsiyle Newton'un çekim kanunu caridir denilemez, yani (uzaklığın karesi ile ters orantılı kanunu) tam olarak cari değildir.

Galaktik gravitasyon kanununa iki yoldan yaklaşılabilir. Bunlardan birincisi, teorik yaklaşmadır. Bundan maksat Galaksinin mekân içerisinde belirli bir hacım işgal eden 150000 milyon yıldızının bir tek yıldıza yaptığı etkiyi, bulmak ve Newton kanununa göre hesabetmektir. Burada matematik zorluklardan başka, bu 150000 milyon yıldızın mekânda nasıl yayılmış olduğuna dair ayrı bir zorluk daha vardır. Bunlar bilinmedikçe bu yıldızların tatbik ettikleri kuvvetlerin doğru olarak hesabını yapmak ta imkânsızdır. Bu ancak Galaksideki yıldızların düzgün (üniform) yayılmasını farzetmekle (yahut bu kadar basit bir faraziyeyi kabul etmekle) yapılabilir, veyahut ta Galaksideki yıldızların yoğunluk dağılımının merkezden olan uzaklığının belirli bir kanuna bağlı olduğunu kabul etmekle olur.

İkinci yol, probleme amprik yoldan yaklaşmadır. Bu taktirde yıldızların müşahede edilen hareketlerinin, bu hareketleri meydana getiren kuvvetlerin hesabında kullanmak yoludur (yani bilinen hareketten kuvvet tayini problemi) dir. Büyük Sovyet ilim adamlarından P. Parenago tarafından bu yol kullanılmıştır ki buna göre Galaksideki yıldızlar, merkeze doğru :

$$F \cong \frac{R}{(1 + aR^2)^2}$$

formülüne göre etki eden kuvvetlerle hareket etmektedirler ki burada R yıldızın Galaksi merkezinden olan uzaklığı ve a da belirli bir sabittir.

Galaksi düzleminin dışındaki yıldızlara ait, çekim kanunu daha karışıktır. Yapılacak şey, teorik ve amprik metotların verdiği sonuçları telif ederek, gök mekaniğinin teorik ve müşahede cepheleri arasındaki açıklığı bulmaktır.

Yıldızların hareketlerine ait sözümüze son verirken, gravitasyon kanununun yalnız güneş sistemindeki gezegenlerin hareketlerine değil aynı şekilde, pek uzaklardaki yıldız sistemlerinin hareketlerine de tatbik edilebileceğini söyleyebiliriz.

21. GENEL ÇEKİM NEDİR ?

Newton genel çekim kanununu yayınladıktan sonra, bu kanunun mahiyeti üzerinde çok ilgilendi. Gravitasyon nedir ? Maddesel parçacıklar nasıl oluyor da birbirlerini çekiyorlar. Newton kanunundan sonra bu gibi soruların akla gelmesi kadar tabiî bir şey olamazdı. Fakat bu suale cevap vermek te pek kolay olmasa gerektir. Fizik bakımından Gravitasyonun anlaşılması zordur. Bundan dolayıdır ki, Newton kanunlarını yayınladığı zaman şüphe ile karşılanmıştır. Birçok âlimler, bu kanunların aksini ispata kalkışmışlardır. Hatta bunların arasında Newton'un kanunlarını red ve inkâr edenler de vardır. Zamanla şüpheler ortadan kalkmış, ve Newton kanunlarının doğruluğu kabul edilmiştir. Fakat buna rağmen genel çekim kuvveti, muamma halini hâlâ muhafaza etmektedir.

Bu problemin karışıklık kaynağı nerededir ?

Herşeyden evvel gravitasyon uzak mesafeden de etki göstermektedir. Filhakika iki cisim arasındaki gravitasyon kuvveti, bu iki cisim birbirinden nekadar uzak mesafede olurlarsa olsunlar, etkisini göstermektedir. Bunların arasında havasız mekân bulunup bulunmaması bahis konusu değildir. Newton'un muasırları iki cisim arasındaki kuvvetin ancak birbirine

dokunarak (itme, çekme) yolları ile etki edebileceğini ve bunun da deney yolu ile tahakkukunun doğru olduğunu kabul ediyorlardı. Newton bir cisim ile, bu cisimden uzakta diğer bir cisim arasındaki etkinin "esir" vasıtasiyle nakledildiğine inanmıştı. Bu öyle bir ortam idi ki bütün boşluğu doldurduğu gibi katı cisimlerin içinden de geçiyordu. Newton'dan sonra gelen ilim adamları, gravitasyon kuvvetinin, esir ile ne suretle nakledildiğine dair araştırmalar yapmışlardır.

Diğer bir düşünce de, gravitasyonun, mekânda her doğrultuda hareket eden "Ultra partiküller" tarafından yapılan etki olarak kabul edilmesi idi. Belirli bir cisim mekânda kendi kendine bu kuvvetlerin dengede bulunması ile durabiliyordu. Fakat mekânda iki cisim bulunduğuna göre bunlardan biri bu kuvvetlere karşı diğerine mani oluyor ve onu kuvvetlerin tesirinden koruyordu. Bu suretle kuvvetler iki cisim arasına inhisar edip, bunlardan birinin diğerine doğru çekilmesine sebep oluyordu.

Diğer bir faraziyeye göre "Ultra partiküller" yerini esir akıntısı almıştır. Gravitasyon kuvvetini izah hususunda bu gibi hipotezleri kuranlar, büyük gayretler sarfediyorlardı.

Mamafih bu hipotezler gravitasyonun diğer garip özeliklerini izahtan âcizdiler.

Bunlardan birincisi, gravitasyonun âni olarak tesir icra etmesidir. Filhakika Newton, gravitasyon kanununa göre iki cisim arasındaki karşılıklı çekme etkisi, bu iki cismin aralarındaki uzaklığa bağlı olup, bu uzaklığın değişmesi ile kuvvet te derhal değişir. Eğer bu etki esir dediğimiz bir ajan yolu ile vaki oluyorsa, kuvvetin bunun içerisinde hangi hızla yayıldığını bilmek icabeder. Aynı veçhile gravitasyon olayı, "Ultra partiküller" veya esir akıntısı yolu ile nakledilliyorsa, bunun ne hızla intişar ettiğini de bilmek lâzımdır.

Eğer hal böyle ise, cisimler arasındaki gravitasyonun hesabında, bu hızlar için düzeltmeler de yapılmalıdır. Meselâ

bir A cismi bir B cisminden r uzaklığındaki bir noktaya t_0 anında taşınmış ise bu anda A, B yi $1/r^2$ ile orantılı bir kuvvetle çekemiyecektir. Gravitasyon kuvvetinin A dan B ye nakli hususunda bir belirli zamanın geçmesi icabederse, bu esnada A boşlukta diğer bir noktaya varmış olacaktır.

O halde gravitasyon kuvvetinin cisimlerin yalnız durumlarına değil, aynı zamanda kuvvetin intişar hızına da bağlı olarak değişmesi icabeder. Bu düzetmeler yapılmazsa, cisimlerin hareketlerini Newton kanunlarının emrettiğinden, farklı görmemiz icabederdi. Henüz böyle ayrılıklar görülmemiştir. Gravitasyon kuvveti, harekete bir tesiri olmıyacak derecede pek büyük olursa bu ancak vaki olurdu. Bu da demektir ki, pratikte intişarın gravitasyonun yayılmasının ani olmasıdır. Astronomik cisimlerin hareketlerinde düzeltilmesi gereken ve cisimlerin müşahedelerinde takdir edilemeyen (Meselâ ay gibi) gravitasyon minumum hızı Laplace tarafından hesap edilmişti. Bulduğu netice en az ışık hızının milyon katı kadardır. Bugün maddî parçacıkların bu hızda seyretmeleri, veyahut fiziksel olayın bu hızda yayılması imkânsız görünmektedir.

İkinci olarak gravitasyon, engel tanımayan bir kuvvettir. Ne yıldızlar arası ortamda absorbe edilir, ne zorlanır ve ne de rast geldiği cisimler tarafından mukavemet görür. Meselâ ay tutulmasında arz, güneş ile ayın arasına girip ışınları tuttuğu gibi gravitasyonu da tutması icabederdi. Eğer bu ay tutulması esnasında güneşin çekme kuvvetinde bir değişiklik olsa ayın hareketinden bunun hesaplanması imkân dahilinde olurdu. Fakat böyle bir hadisede bu gibi pertürbasyonlar vukua gelmemektedir.

Cisimleri arzın merkezine doğru çeken çekim kuvvetini durduracak veya perdeleyecek hiçbir madde bulunamamıştır. Maddesel parçacıkların veyahut rakik ortamın ani olarak yayılmasını ve hiç zora gelmiyerek, her cisme kolaylıkla nüfuz etmesini akıl nasıl kabul eder ?

Tabiatte böyle zerrelere veyahut zerreler akımına tesadüf ediyor muyuz, ve bu gibi fiziksel olaylar ve işlemlerin yayıldığına şahit oluyor muyuz ? Misal olarak Işık, X ışınları, radyo dalgaları, elektrik ve magnetik kuvvetlere bakacak olursak, bunların hepsinin maddesel cisimler veya maddesel ortam tarafından az çok absorbe edildiklerini, veyahut cümlesinin belirli bir hızla yayıldıklarını görürüz. Buna göre gravitasyonun basit mekanik temele dayanan ilkel mekanik, yahut esirin akımlarına dayanan, veyahut ta parçacık akımlarına dayanan tefsiri, onun şaşırtıcı özeliklerini izaha muktedir kılmaz. Bugün için genel çekimin bu şekildeki tefsiri, kabul ettiğiniz fiziksel kavramlara uygun düşmemektedir. Fakat bir anda uzaktan etki yapan ve heryerde etkisini gösteren bu kuvveti nasıl izah etmeliyiz ?

Bu suale zamanımızın en büyük âlimlerinden Albert Einstein (1879-1955) cevap vermiştir. Einstein, başlıbaşına fiziğin ehemmiyetli sahalarında da dikkate değer problemleri çözmüştür. Fakat bu şahsın ilimdeki en büyük zaferi, ÖZEL İZAFİLİK" yahut zaman ve mekân" teorisi ile, GENEL İZAFİLİK TEORİSİ, daha münasip bir deyimle "gravitasyon teorisidir". Bu teoriler, zaman ve mekâna ait olan düşüncelerimize, maddesel cisimlerin hareketlerine, zaman-mekân ve gravitasyonun aralarındaki bağlara ait fikirlerimizde büyük inkilâplar yapmıştır. Özel izafilik teorisine göre zaman-mekân birbirlerine bağıntılı olup, her cismin kütlesi enerjisine bağlıdır. Genel izafîlik teorisine göre, bizi çeviren kâinatın, zaman-mekân özelikleri (onun GEOMETRİSİ), maddesel cisimlerle tayin edilir.

Maalesef, gerek özel ve gerekse genel izafîlik teorilerinin popüler dilde ifadeleri kolay değildir. Bunun bir sebebi, teorilerin kendilerinin zor oluşunda, diğer bir sebebi ise bunlara ait matematik işlemlerin pek karışık mahiyette olması ve nihayet

teorilerin sonuçlarının meydana getirdiği bazı problemlerin bizim aklı selimimizin pek kavrayamıyacağı şeyler olmasıdır. Mamafih okuyucularımıza bu teoriler hakkında bir fikir vermeğe çalışacağız.

Newton-Galile mekaniğinde yahut KLASİK MEKANİK te zaman ile mekân ve mekândaki maddesel cisimler arasında yakın bağ yoktur. Mekânda vukua gelen türlü türlü işlemler, düzgün akan bir zaman ile ölçülür. Bunun mekân ile bir bağı olmadığı gibi, mekândaki maddesel cisimlerle de bir ilgisi yoktur. Başlıca rolü, maddesel cisimleri ihtiva eden pasif bir kap gibi olan mekân, daima sabit kalıp maddenin dağılımı ile ilintisiz addedilmiştir. İster madde bulunsun veya bulunmasın, mekânın geometrisi, öklid geometrisi olup hepimiz mekteplerde okumuşuzdur. Buna göre mekânda, iki nokta arasındaki en kısa mesafe bu iki noktayı birleştiren doğrunun boyundan ibarettir. Buna göre bir ışık ışını mekânda bir noktadan diğerine giderken bu doğruyu takip eder. Klâsik mekanikte, bir cismin kütlesi değişmez, yani sabit kalıp cismin geometrik özelikleri de (yani uzunluk, genişlik ve şekil ilâ.) cisim ister dursun ister hareket halinde olsun değişmez addedilmektedir.

Mamafih bize göre tabiî ve mantıkî gibi görünen bu şeyler günlük tecrübelerimizle realitenin yaklaşık bir telakkisinden ibarettir. Tabiat, zaman-mekân ve madde arasında daha ileri mahiyette bağlar bulundurmaktadır. Öklid geometrisi, maddesel cisimleri ihtiva eden mekân için cari değildir. Cisimlerin kütleleri ile geometrileri hareketlerine bağlıdır. Maddesel cisimlerin hareketlerinin özelikleri çekim kuvvetlerine değil de, mekânın geometrik özeliklerine bağlı telâkki edilmektedir.

Eylemsizlik kanununu düşünelim, dışarıdan bozucu etki olmadıkça, bir cisim duruyorsa daima durur, veyahut düzgün hareketle hareket eder. Bu kanunun deneyle tahkikine çalışalım. Yer yüzündeki şartlar altında hareket eden bir cismin

üzerindeki kuvvetin kalkması ile sürtünmeden dolayı hareketsiz kalacağını biliyoruz. Sürtünme olmadığını farzedelim. Cisim bir doğru üzerinde düzgün bir hareketle mi gidecektir ? Bunun cevabı hayırdır. Çünki cisim, ay, arz, güneş ve gezegenlerin etkisi altındadır. Güneş sisteminden uzaklaşıp yıldızlara doğru gidersek, en yakın yıldızlara ve Galaksideki yıldızlara varmış oluruz. Bu şartlar altında cismin bir doğru üzerinde düzgün harekette bulunması keyfiyetine daha yaklaşmış oluruz. Fakat cisme yakın bir yıldız veya diğer bir cisim bulunursa, bu sefer cismin hareketi, bir doğru üzerinde düzgün bir hareket değildir. Yıldızların çekme hareket ve kuvvetinden dolayı yörünge eğri şeklini alır.

Şimdi iki hali kıyas edelim. Birinci halde, izole edilmiş bir cisim mekânda bir DOĞRU üzerinde hareket eder. Eğer bu cisim boş mekânda hareket ediyorsa, boş mekânın geometrik özeliği bu cismin bir doğru üzerindeki hareketine bağlıdır. İkinci halde, cisim boş mekânda değil, diğer maddesel cismin çekme kuvveti etkisi altındadır. Bu takdirde cismin takip ettiği yörünge bir EĞRİ den ibarettir. Bu da maddesel cismin, hareket halinde bulunan cismin izini değiştirdiği manâsına gelir. Maddesel cisimleri havi olmayan mekân homogendir. Bu hakikat bütün doğrultuların eşit oluşu şeklinde ifade edilir ki, bu doğrultularda izole edilmiş bir maddesel cisim eylemsizlik ile hareket eder. Maddesel cisimlerin bulunması ile mekân eğrilmiş olur*. Mekânın bu homogensizliği ve eğriliğine gravitasyon gibi bakıyoruz.

* Mekânın "eğriliği" ile, "eğri" mekânda iki nokta arasındaki en kısa mesafenin bir doğru olmayıp, bir EĞRİ çizgiden ibaret olduğunu kastediyoruz. Maksadımızı izah için bir düzlem i e bir küreyi ele alalım. Düzlem ile küre üzerindeki iki nokta arasındaki mesafeyi (düzlemle, kürenin sınırları dışına çıkmamak şartıyla) ölçelim. Bunun iç'n bir iplik parçasını bu iki nokta arasında tutup boyu ö çe im. İplik düzlemde bir doğru üzerinde bulunduğu halde küre üzerinde bir eğri çizgi, kürenin üzerindek', büyük dairenin üzerindedir.

Böylece Einstein'in teorisine göre gravitasyon kâinatın, zaman-mekân tezahüründen ibaret olup maddesel cismin dağılımı mekânın GEOMETRİ sini tayin eder ki, o mekân içerisinde maddesel cisim ve bunun hareketi yer almıştır.

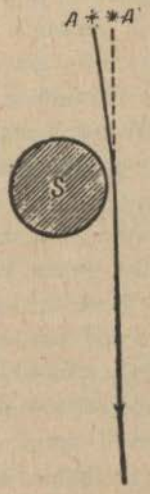
Bu mefhumlara dayanarak Einstein, teorisini matematik olarak inkişaf ettirdi ve deneyle tahkik edilen dikkate şayan sonuçlara varmış oldu.

Bu çalışmalarla Einstein gravitasyonun sırlarını çözmeğe muvaffak olduğu gibi, bu hayret verici nüfuz kabiliyetini de meydana çıkarmış oldu. Fakat maalesef bu problemler, pek karışık matematik Analizlere lüzum gösterdiğinden bu kitapta bahis konusu olamaz. Biz burada Einstein tarafından, doğruluğu teorik olarak ispat edilen ve parlak deneylerle elde edilen teorisinin dikkate şayan iki sonucuna temas edeceğiz. Einstein teorisine göre maddesel cisimler yalnız, birbirlerini çekmekle kalmayıp ışınlar da maddesel cisimlerin çekme kuvvetine maruz kalır ve ışınlar maddesel cisimler yakınından geçerken kendi doğrusal yollarından (pek az da olsa) sapmış olurlar. Işığın yayılma doğrultusu, tam olarak söylemek lâzım gelirse bir doğru üzerinde değildir. Bir bakımdan bu, garip olduğu kadar, günlük tecrübelerimize de aykırı gibi görünür. Bunun böyle olduğunu o zamana kadar hiç kimse tecrübe etmemişti. Einstein bunun doğruluğunu ispat etmiş oldu. Güneş tutulmasında güneşin çevresine yakın yıldızlar görülür. Bu esnada yapılan ince araştırma ve ölçüler, yıldızların tam yerinde değil, pek az miktarda yerdeğiştirmiş durumdadırlar. (Şekil 51) Bu yerdeğiştirme pek küçük (Yaklaşık 2 saniye kadar) olmasına rağmen, Einstein'in teorisine uygun düşmektedir.

Einstein'in izafîlik teorisi aynı zamanda merkürün hareketindeki özelikleri de teorik olarak ispat etmiştir.

Ondokuzuncu yüzyılın ortalarında Leverier merkürün hareketlerinin Newton kanunlarının tahminlerine uymadığına dikkati

çekmişti. Burada bütün gezegenlerin pertürbasyon etkisi görülmektedir. Bu ayrılıklar merkür yörüngesinin ASAL EKSEN'lerinin yüzyıllık hareket periodundan ileri gelmekte olup fevkalâde küçüktür. Merkürün periheli her yüz senede klasik teorinin emrettiği miktardan 43 saniye ilerde bulunur. Bu problem gök mekaniğinde uzun yıllar münakaşa konusu olmuştur. Bu ayrılık Newton kanunlarının tam olmadığı suretinde tefsir ve izaha çalışılıyordu ki, gravitasyon kuvveti, tam olarak mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişmez. Bu değişiklik rasatla teoriyi armonize etse bile bu sefer diğer gezegenler için doğru olmaz. Diğer çabalar bu ayrılıktan sarfınazar etmek yolunu tutmuşsa da hiçbir zaman iyi sonuçlar alınamamıştır.



Şekil 51. Bir ışığın güneş yanından geçerken sapması. *A* yıldızından gelen bir ışın sapar ve yıldız da *A* yerine *-A* de görünür

Einstein teorisi merkürün esrarlı hareketini de izah etmiştir. Bu teoriye göre, iki cisim (yani Güneş ve bir gezegen) probleminde gezegenin yörüngesi mekânda yavaş yavaş dönen bir elipsten ibarettir. Bu hareketin hızı, güneşin kütlesi ile gezegenin güneşten olan mesafesine bağlıdır. Merkür için asal eksen yüz yılda 43 saniye kadar hareket etmekte olup bu miktar merküre ait eski teorilere idhal edilmemiştir. Bu suretle eski muamma büyük gezegenlerin hareketlerine ait analitik teoriyi, ve hem de Einstein'in gravitasyon teorisinin doğruluğunu ispat etmiştir.

Gerçi Einstein'in izafîlik teorisi, mekân, zaman, cisimlerin hareketleri ve bunlar arasındaki karşılıklı etkiler hakkında günlük düşüncelerimizi değiştirdiği gibi, bir çok olaylarda

pratik olarak kabul edilen Newton mekaniğini de değiştirmiştir. Bu hangi hallerde görülür ? Cismin hızı ışık hızı olan saniyede 300 000 kilometreye nazaran pek küçükse ve nispeten çok küçük cisimlerle ilgilendiğimiz zamanlarda, Newton kanunları pratik olarak doğrudur. Cismin v hızı ışık hızına nazaran hesaba katılmazsa, yani v/c yi sıfır addedersek Einstein'in formülleri klasik mekanik formülüne irca edilmiş olur ki bu takdirde Newton'un gravitasyon kanunu da dahil olmak üzere, bütün gök mekaniğine ait formüller doğru addedilir. Yer yüzünde hızları ışık hızına nazaran pek küçük olan cisimlerin hareketleri ile, güneş sistemindeki gezegenlerin hareketleri, astroitlerin, peyklerin ve Galaksideki yıldızların hareketleri hakkında Newton kanunları ile Einstein kanunları arasında pek az fark kalır. Fakat hâlâ bu ayrılıklar mevcuttur.

Uzun periotlar için eğer Newton kanunlarına göre kâfi derecede rasatlar yapılırsa, bu ayrılıklar merkürün hareketinde olduğu gibi şahit olarak gösterilebilir. Yer yüzüne yakın yerde maddesel cisimlere tatbik edilen çekim kuvveti, arzın çekim kuvveti etkisi altında hareket eden cisimlerin hareketlerini nazarı dikkate alırsak, arz kütlesinin küçük olmasından dolayı, Einstein tashihlerinin çoğuna lüzum kalmaz. Fakat güneşin, yüzüne yakın cisimlere tatbik ettiği kuvveti düşünürsek, güneş kütlesinin çok büyük olmasından dolayı, Einstein etkileri hesaba katılır.

Bu noktada şu sual akla gelebilir. Einstein'in teorisi mutlak olarak doğru mudur ? Bunun da cevabı hayırdır. Tabiata ait olayları kavrayacak bir matematik teori mevcut olmadığına göre, bu olayın sayısız karşılıklı etkilerine cevap verilemez. Belirli ilim kanunu yaklaşıklıktan ibaret olup, tabiatın derinliklerine nüfuz etmeğe çalışır. Newton kanunları bu yönde atılmış ilk adımlardır ve gök cisimleri arasındaki karşılıklı bağları veren Einstein teorisi realiteye biraz daha yaklaşmış olup, o da ikinci bir adım olmaktan ileri gidememiştir.

EK

Üçüncü ve dördüncü bölümlerde bir takım teoremleri ispatsız olarak vermiştik. Newton'un prensiplerine dahil olan bu teoremlerin ispatlarını da burada vereceğiz. Bunların çoğunda Newton'un tuttuğu yolu takip edeceğiz. Bu hususta elementer matematik kâfi gelmediğinden, Newton, yüksek matematiğin (Diferansiyel ve integral hesap) esasını teşkil eden kendi metodunu kullanmıştır. Mamafih Newton basit matematik prensipleri ile de teoremleri ispat edip, yüksek matematiğe lüzum göstermeden de okuyucu tarafından anlaşılacak şekilde teoremleri ispatlamıştır.

TEOREM I

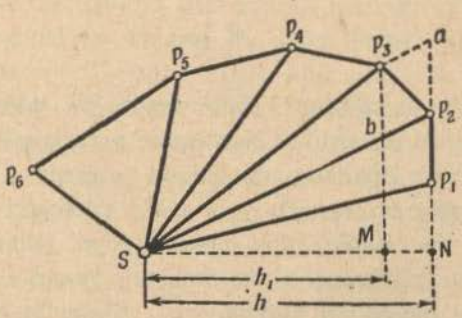
Dolanım hareketini yapmakta olan cisimlerden, bu hareket düzleminde bulunan ve hareket etmeyen bir kuvvet merkezine çizilen vektör yarı çaplarının süpürmüş oldukları alanlar, bunların çizilmesi için geçen zamanlarla orantılıdır.

İSPAT

Hareket etmeyen bir kuvvet merkezini S ile gösterelim. P de merkezsel kuvvetin çekim etkisi altında hareket eden

cismi göstermektedir (Şekil 52). Kuvvetin evvelâ cisme sürekli bir şekilde değil de, süreksiz olarak tatbik edildiğini farzedelim. Bu da Δt gibi bir zaman aralığında vaki olsun. S merkezinin çekim kuvveti etki ettirdiği eşit aralıklı zamanları t_1, t_2, t_3 ilâ. ile gösterelim.

t_1 ve t_2 arasındaki birinci zaman aralığı süresinde kuvvet



Şekil 52. Teorem I in ispatı

etki etmeyip P cismi eylemsizliği ile ve sabit bir v_0 hızı ile bir doğru üzerinde hareket eder. Bu esnada : $P_1 P_2 = v_0 . \Delta t$ mesafesini kateder. t_2 anında P, P_2 ye varacaktır. V_0 hızı ile eğer bu noktada cisim bir kuvvet etkisi altında bulunmasa idi. $P_1 P_2$ doğrusu boyunca aynı v_0 hızı ile hareket edecekti. t_3 anında cisim a noktasına varmış olurdu ($P_1 P_2 = P_2 a$). Fakat tarife göre t_2 zamanında P cismi P_2 noktasına vardığı zaman ani olarak (Newton'un ifadesine göre "birden büyük bir impuls ile") bir çekme kuvvetinin etkisi altında bulunur. Bu kuvvet cismin $P_2 a$ hareket doğrultusunu değiştirip ona $P_2 S$ doğrultusunda ivme kazandırır. Fakat yine ani olarak ortadan kalktığından cisim $P_2 S$ doğrultusunda birden ilâve bir v_1 hızı kazanır. Bundan sonra tekrar (Bu sefer başka bir sür'at ve başka bir doğrultuda olmak üzere) tekrar düzgün doğrusal hareketi kazanmış olur. Böylece t_2 ile t_3 arasındaki zaman aralıkla-

rında P cisminin hızı, $P_2 a$ doğrultusundaki v_0 hızı ile $P_2 S$ doğrultusundaki v_1 hızının bileşkesine eşit olur. Cisim sadece v hızı ile hareket etseydi Δt zamanında $P_2 a$ mesafesini alırdı. Eğer sadece v_1 hızı ile hareket etseydi, bu zaman aralığında, $P_2 b = v_1 . \Delta t$ mesafesini alacaktı. Fakat bu hızların terkibinden dolayı, cisim kenarları, $P_2 a$ ve $P_2 b$ olan paralel kenarın $P_2 P_3$ köşegeni boyunca hareket eder ve t_2 den t_3 e kadar olan zaman aralığında P_3 noktasına varır.

Tabiî olarak $P_2 P_3$ köşegeni $P_2 a$ ile $P_2 b$ yi havi olan, yani t_1 den t_2 ye kadar zaman aralığında cismin hareket etmiş olduğu, $S\ P_1 P_2$ üçgeninin düzleminde bulunur.

$SP_1 P_2$ ve SbP_3 üçgenlerinin SN ve SM yüksekliklerini h ve h_1 ile gösterelim. Buradan $MN = (h\text{-}h_1)$, $b\ P_2 P_3$ üçgeninin yüksekliği olacaktır. $S\ P_1 P_2$ üçgeninin alanı ise, $1/2\ h.\ P_1 P_2$ dir. $S\ P_2 P_3$ alanı ise

$$S\ b\ P_3 \text{ alanı} + b\ P_2\ P_3 \text{ alanı}$$

olur. Fakat

$$b\ P_3 = P_2 a = P_1\ P_2$$

olduğundan $S\ b\ P_3$ üçgeninin alanı $1/2\ h_1 . P_1\ P_2$ ve $b\ P_2\ P_3$ üçgeninin alanı da: $1/2\ (h\text{-}h_1)\ P_1\ P_2$ dir.

Böylece:

$$SP_2\ P_3 \text{ alanı} = 1/2\ h_1 . P_1\ P_2 + 1/2\ (h\text{-}h_1)\ P_1\ P_2 = 1/2\ h . P_1\ P_2$$

bundan anlaşılır ki $SP_1\ P_2$ üçgeninin alanı ile $SP_2\ P_3$ üçgeninin alanı birbirlerine eşittir.

Aynı mülâhazayı yürüterek, P_3, P_4, P_5,... noktalarına ani olarak etki eden kuvvetler hakkında da benzer fikir yürütülebilir ve cisim de $P_3\ P_4$, $P_4 P_5$,... doğrultularında hareket eder, bütün

bu son bölümler tek bir düzlemde bulunur ve $S\ P_2\ P_3$ ve $S\ P_3\ P_4$ üçgenlerine alanları da birbirlerine eşit olurlar. Fakat bu üçgenlerin alanları, eşit zaman aralığında S merkez noktasından P cismine çizilmiş olan vektör yarı çapının süpürmüş olduğu alanlardır.

Şimdi zaman aralığını komşu anlar arasında almayıp meselâ t_1 ve t_3 veya t_3 ve t_5 .. ilâ anları arasında alalım. $t_1\ t_3$ zaman aralığında P cismi, $P_1\ P_2\ P_3$ kırık çizgisini çizmiş olur. $t_3\ t_5$ zaman aralığında ise $P_3\ P_4\ P_5$ kırık çizgisini çizer. $S\ P_1\ P_2\ P_3$ ve $S\ P_3\ P_4\ P_5$ alanları, eşdeğer üçgenleri havi olduklarından, birbirlerine eşittirler. Eşit etki anlarına tekabül eden eşit aralıklar ne olursa olsun P cisminin vektör yarı çapı zaman aralıkları esnasında eşit alanlar çizer.

Şimdi kuvvetin impulsları arasında geçen zaman aralıklarını gittikçe kısaltırsak, impulslar da sürekli kuvvet haline yaklaşmış olur. Ve $P_1\ P_2$, $P_2\ P_3$ uzunlukları da kısalmış olur. Cismin katetmiş olduğu kırık çizgi de bir eğriye yaklaşmış olur. Bölümlerin büyüklüğü rol oynamadığından, çıkartılan hareket özeliği değişmemiş olacaktır. Hulâsa ederek diyebiliriz ki, impuls kuvvetimizi, sürekli bir kuvvete istediğimiz kadar yaklaştırabiliriz, ve bizim kırık çizgi de S deki cismin çekme etkisi altında hareket eden cismin, çizdiği eğri olmuş olur, ve ispat edilmiş olan özelik te böylece değişmemiş olur.

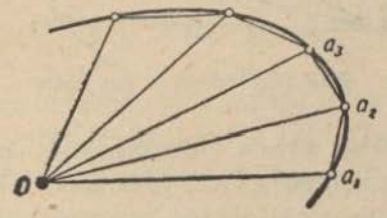
Netice olarak diyebiliriz ki, kuvvet impulslarının arasındaki Δt zaman aralıkları, limitte sıfıra yaklaşır, yani kuvvet te, sürekli etki eden kuvvet halini almış olur. P cismi de S tarafı konkav olan ve bir tek düzlemde kalan bir eğri üzerinde hareket eder. Eşit zaman aralıklarında vektör yarı çapı da eşit alanlar süpürecektir. Diğer bir deyimle verilen bir merkezsel kuvvet için, vektör yarı çapının süpürmüş olduğu alanlar, zamanlarla orantılıdır. Bu alanlar da $k\,(t' - t'')$ çarpımına eşittirler. Burada k sabitesi alan sabitesi ve $(t' - t'')$ zaman aralığıdır. Bu suretle teorem I ispat edilmiş olur.

TEOREM II

Eğer maddesel bir cisim bir düzlemdeki eğri üzerinde, kendisini hareketsiz bir noktaya birleştiren vektör yarı çapı eşit zaman aralıklarında eşit alan süpürmek şartıyla hareket ederse, bu cisim, bu sabit noktaya doğru yönelen bir kuvvetin etkisi altındadır.

İSPAT

Şekil 53 hareket eden bir P cisminin izinin bir parçasını ve o noktası da hareketsiz noktayı gösteriyor. Bu eğri üzerinde ve eşit aralıklı t_1, t_2, t_3 zamanlarında P nin bulunduğu a_1, a_2, a_3 konumlarını alıp bunları O ile birleştirelim ve $Oa_1\ a_n$ sektörünü

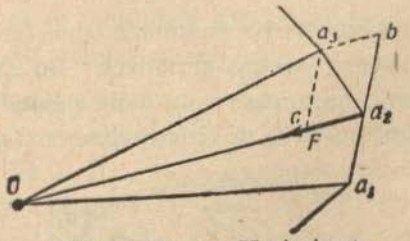


Şekil 53. Teorem II nin ispatı

çok sayıda (elemanter) küçük sektörlere bölelim. Bir taraftan zaman aralıkları eşit alındıklarından iki elemanter sektörün alanları birbirine eşittir. Diğer taraftan bütün $a_1\ a_2$ ve $a_2\ a_3$ yay parçaları pek küçük olduklarından doğru parçalarına çok yakın olarak kabul edilebilir. Binaenaleyh bu sektörlerin alanları $Oa_1\ a_2$ ve $Oa_2\ a_3$ ... üçgenleri alanlarından pek az farklıdır. t_1, t_2, t_3 zaman aralıklarında limitte sıfıra yaklaştığı takdirde elemanter sektör alanı ile üçgen alanı arasındaki oran 1 olur. Binaenaleyh limitte bütün elemanter üçgenlerin alanları birbirlerine eşittirler. Şimdi eğri üzerindeki hareket yerine

$a_1\ a_2\ a_3\ a_4\ ..\ a_n$ kırık çizgisi üzerindeki hareketi ikame edelim. Bu kırık çizgi üzerindeki hareket sürekli bir kuvvetin etkisi altında hasıl olmuş hareket olmayıp t_1 , t_2 , t_3 ... anlarında etki eden impuls kuvvetinin etkisi altındadır. Bundan sonra yürütülecek fikir evvelki teoremdekinin aynı olacaktır.

Meseleyi daha açık kılmak için, Şekil 54 $a_1\ a_2\ a_3$ yörüngesinin büyütülmüş bir bölümünü vermektedir. $t_1\ t_2$ zaman aralıklarındaki P cismi $a_1\ a_2$ ve t_2 zamanında da a_2 noktasına erişir. $a_1\ a_2$ bölümünü eşit uzaklıktaki b noktasına uzatalım. Eğer cisim



Şekil 54. Teorem II nin ispatı

bir kuvvet etkisi altında bulunmasaydı, daha ileri $a_2\ b$ boyunca gidecek ve t_3 anında da b ye varacaktı. Fakat t_2 anında cisim bir kuvvetin etkisi altında bulunduğundan, bu kuvvet hareket doğrultusunu değiştirir ve cisim de t_3 anında a_3 noktasına varmış oldur. ba_3 parçası t_2 anında S merkezsel kuvvetinin etkisinden dolayı cismin hareketindeki ilâve hız doğrultusunu tayin eder. Bu doğrultu da, verilen anda, kuvvetin doğrultusudur. $a_2\ b$ ye parelel olarak $a_3\ c$ yi çizip $O\ a_1\ a_2$ ve $O\ a_2\ a_3$ üçgenlerini mukayese edelim. Teorem I in ispatında kullanılan işleme benzer bir işlemle $a_2\ b\ a_3\ c$ şekli paralel kenar olduğu taktirde bu üçgenlerin alanları birbirlerine eşittirler. Binaenaleyh $b\ a_3$ parçası $a_2\ c$ ye paralel olur.

Bu sebepten P cismi a noktasında iken kendini çeken kuvvet, $a_2\ O$ doğrultusunda bulunmalıdır. Aynı işlemi sonraki

üçgenlere peşi sıra tatbik ederek sonunda cismin a de bulunduğu anda tatbik olunan kuvvet, a_3 O doğrultusunda bulunacak, ilâ.

Şimdi Δt zaman aralığını küçülterek limite geçelim. Limitte şunları görürüz.

a) Kırık çizgi üzerindeki hareket eğri çizgi üzerindeki gerçek hareketi verir.

b) Üzerinde durduğumuz üçgenlerin alanları da karşılık sektörlerin alanlarına eşit ve çakışık olur.

c) P yi hareket ettiren kuvvet doğrultusu da, O ya doğrudur. Diğer bir deyimle, cisim O nuktasından çıkan çekici bir kuvvetin etkisi altında hareket eder*.

TEOREM III

Bir P cismi bir elipsin bir odağında bulunan S merkezinin çekme kuvveti etkisi altında hareket ederse, bu kuvvet, cismin S merkezinden olan uzaklığının karesi ile ters orantılıdır.

İSPAT

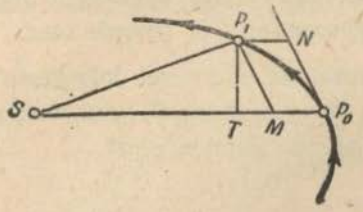
Bu teoremin ispatını üç parçaya böleceğ:z. Evvelâ hareket etmeyen bir S noktasındaki çekme kuvveti ile, cismin üzerinde

---

* Şekil 52 ve 53 deki kırık çizgiler arasında esaslı farkı kaydedelim. Şekil 53 de $a_1\ a_2\ a_3\ \ldots\ a_n$ kırık çizgisi bir eğri içine ÇİZİLMİŞ olup cismin bilfiil üzerinde hareket ettiği eğri izini göstermektedir. Şekil 52 deki P_1, P_2..., genel olarak söylemek lâzım gelirse, hareketli cismin çizdiği eğri üzerinde bulunmaz öyle ki $P_1\ P_2\ \ldots . P_5$ kırık çizgis', bu eğr ye nazaran ne içte ve ne de dışta ç'zilm ştir. Sadece $\triangle t$ sıfıra yaklaştığı zaman limitte eğriye yaklaşmış ve onunla çakışmış olur.

hareket ettiği eğrinin geometrik özelikleri arasındaki bağıntıyı bulmağa yarayacak bir formül çıkaracağız. Bundan sonra bir elipsin bazı özeliklerini gözden geçireceğiz ve daha sonra da teoremi ispat edeceğiz.

S kuvvet merkezinin etkisi altında bir eğri üzerinde hareket eden ve kütlesi m olan P cismine bakalım (Şekil 55). Cisim, şekil 55 te oklarla gösterilen doğrultuda hareket etmiş olsun ve t_0 anındada P_0 'a varmış olsun Δt gibi pek kısa bir zaman



Şekil 55. Teorem III ün ispatı

aralığında da P_1 noktasına ulaştığını düşünelim*. P_0 noktasında eğriye $P_0 N$ teğetini çizelim. Cisim P_0 a vardığı zaman çekme kuvveti ani olarak kesilirse, P cismi aynı hızla (doğrultu ve şiddet bakımından) hareketine devam ederdi, yani cisim P_0 dan kalkıp $P_0 N$ teğeti boyunca Δt zamanında N ye varmış olurdu. Diğer taraftan P cismi P_0 noktasına vardığı zaman hızını tamamen kaybetseydi, S deki çekme kuvvetinden dolayı $P_0 S$ doğrultusunda hareket etmesi icabederdi, Δt zaman aralığında da $P_0 M$ mesafesini alırdı. $P_0 P_1$ arasındaki uzaklık ile bunu almak için geçen zaman aralığı pek kısa oldukça, bu zaman aralığında P ye etki eden kuvvet değişmemiş addedilebilir. Binaenaleyh P cisminin ivmesi, Newtonun ikinci hareket kanununa göre $\gamma = F/m$ olduğundan bu da sabit kalmış olur. Düzgün değişen hareket formülünden

* Keyfiyeti daha iyi açıklayabilmek için Şekil 55 de $P_0 P_1$ yay parçasının uzunluğu fazlaca büyütülmüştür.

$$P_0 M = {}^1/_2 \gamma (\Delta t)^2 = {}^1/_2 \frac{F}{m} (\Delta t)^2$$

buluruz.

Daha ciddî olarak düşünürsek Δt sıfıra yaklaştığı zaman $P_0 M$ ile $1/2 F/m (\Delta t)^2$ arasındaki oran bire eşit olur. Bu oranda $P_0 M$ ile Δt değiştiklerinden F ile m sabittirler. Buna nazaran da $P_0 M / (\Delta t)^2$ oranın limiti, $F/2m$ ye eşit olur.

Bu iki hareketin terkibi dolayısiyle P cismi (Δt zaman aralığında) P_1 noktasına varmış olur. P noktası ise $P_0 M$ ve $P_0 N$ doğru parçalarını üzerine kurulan paralel kenarın köşesidir. Böylece $NP_1 = P_0 M$ olur.

Merkezsel bir kuvvetin etkisi altında hareket eden bir cismin alanlar kanununa bağlı olduğunu biliyoruz. Bu sebepten dolayı, $S P_0 P_1$ kesmesinin alanı, zamanla orantılı yani :

$$S P_0 P_1 \text{ alanı} = k \cdot \Delta t$$

dir. Fakat $P_0 P$ yay parçası pek küçük ise $S P_0 P_1$ kesmesinin (sektörünün) alanı büyüklük itibariyle $S P_0 P_1$ üçgeninin alanına yaklaşır ki, bu üçgenin alanı da $1/2 S P_0 . P_1 T$ ye eşittir. Bu alanlar limitte çakışırlar. Buradan :

$$\frac{P_0 M}{(\Delta t)^2} = \frac{k^2 P_0 M}{(S P_0 P_1 \text{ alanı})^2} = k^2 \frac{NP_1}{({}^1/_2 S P_0 . P_1 T)^2} \cdot \frac{({}^1/_2 S P_0 P_1 T)^2}{(S P_0 P_1 \text{ alanı})^2}$$

sonucuna varılır. Bu halde $F/2m$ e eşit olan $P_0 M / (\Delta t)^2$ oranının limitinin,

$$4k^2 \frac{NP_1}{(SP_0 . P_1 T)^2}$$

oranının limiti ile çakışır. Kuvvetin kendisi de büyüklük itibariyle

$$8\,k^2 m\,\frac{NP_1}{(SP_0 \cdot P_1T)^2}$$

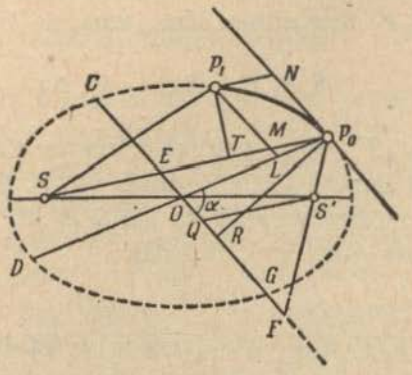
limitine eşittir.

Kabul edilen matematik sembolleri kullanarak ve $N\,P_1$ ile $P_1\,T$ ancak P_0, P ye yaklaştığı zaman değiştiğini göz önünde tutarak şunu yazabiliriz :

$$F = \frac{8\,k^2 m}{(SP_0)^2}\,\lim_{P_0 \to P_1}\,\frac{NP_1}{(P_1T)^2}\,\cdot\,*$$

Bu limitin verilen eğrinin geometrik özeliklerine bağlı olduğu aşikârdır.

Bu denklem, bir cismin izi bilindiği taktirde, cismi hareket ettiren kuvvetin şiddetini bilmeğe hizmet eder.



Şekil 56. Teorem III ün ispatı

Bir P cisminin merkezi O ve bir odağı S de bulunan bir elipsin bir yay parçası üzerinde hareket ettiğini farzedelim. (Şekil 56) Bu elipsin yarı eksenlerini a ve b ile gösterelim. Elipsin

* Limitte $\lim_{x \to x_0} y(x) = a$ notasyonu "x, x_0 a yaklaştığında $y(x)$, a ya yaklaşıyor" anlamına gelmektedir.

$P_0 D$ çapını çizelim*. $P_1 M$ doğrulsunu, $P_0 D$ doğrusunu L noktasında kesmek üzere uzatalım.

Elipsin özeliklerinden birinden şu oranı yazabiliriz :

$$\frac{P_1N}{(P_1T)^2} = \frac{a}{b^2} \cdot \frac{P_0D}{2DL} \cdot \left(\frac{P_1L}{P_1M}\right)^2 \qquad (1)$$

Hiç te kolay görünmeyen bu oran aşağıdaki tarzda elde edilmiştir.

Elipsin merkezinden CG çapını çizelim. Bu da $P_0 D$ çapına eşleniktir. Verilen bir çapın uçlarındaki (bu halde P_0 ve D noktalarındaki) teğete paralel olarak çizilen çapa verilen çapa EŞLENİK denilir. $P_0 O = a_1$ ve $CO = b_1$ diyelim. Evvelâ CG çapı ile P_0S nin kesişme noktası E ise PE nin uzunluğunun elipsin a büyük eksenine eşit olduğunu gösterelim.

Elipsin özeliklerinden, bir noktasından çizilen teğetin o noktayı odaklara birleştiren doğrularla yaptıkları açıların eşit olduklarını biliyoruz.

Bu sebepten dolayı, P ile elipsin öteki S odağını birleştirir ve bu doğruyu CG nin devamı olan doğru ile de kesiştirirsek, $P_0E = P_0F$ olduğu görülür.

$P_0 S$'e paralel olarak $S'Q$ yü çizelim. Böylece $S'O\ E$ ve $S'O\ Q$ üçgenleri birbirlerine eşittirler ve $S'Q\ F$ ikiz kenar bir üçgendir. Bunun neticesi olarak, $SE = S'Q = S'F$ ve $SP_0 + P_0S' = P_0E + P_0F$ yani :

$$P_0E = \frac{SP_0 + P_0S'}{2}$$

olur. Bir elipste, $SP_0 + P_0S' = 2a$ olduğundan $P_0E = a$ dır.

* Bir elipsin çapı, elipsin iki noktasını birleştirip merkezden geçen bir doğrudur.

$P_0M\,L$ ve $P_0E\,O$ üçgenlerinin benzerliğinden,

$$\frac{P_0M}{P_0L} = \frac{P_0E}{P_0O} \text{ yahut } \frac{P_0M}{P_0L} = \frac{a}{a_1} \text{ yahut } \frac{P_1N}{P_0L} = \frac{a}{a_1} \quad (2)$$

yazılabilir. P_0 noktasından CG çapına $P_0\,R$ dikini indirelim, P_1 den de SP_0 a ayrıca bir dik indirelim. Böylece $P_1\,T\,M$ ve $P_0\,E\,R$ üçgenlerinin benzerliğinden :

$$\frac{P_1T}{P_1M} = \frac{P_0R}{P_0E}$$

P_0 ile OF arasındaki açıyı α ile gösterelim. Elipsin bilinen özeliklerinden, $a_1b_1 \sin\alpha = ab$ ve $P_0\,OR$ üçgeninde $P_0\,R = a_1 \sin\alpha$ olduğundan buradan $P_0R = a\,b/b_1$ ve sonuç olarak

$$\frac{P_1T}{P_1M} = \frac{ab}{b_1a} = \frac{b}{b_1} \quad (3)$$

Eşlenik çapların özeliklerinden

$$\frac{OL^2}{a_1^2} + \frac{(P_1L)^2}{b_1^2} = 1$$

Bu eşitlikten de

$$(P_1L)^2 = \frac{b_1^2}{a_1^2}(a_1^2 - OL^2) = \frac{b_1^2}{a_1^2}(a_1 + OL)(a_1 - OL)$$

yazılır. $a_1 + OL = DL$, $a_1 - OL = P_0L$ olduğundan

$$\frac{(P_1L)^2}{P_0L \,.\, DL} = \frac{b_1^2}{a_1^2} \quad (4)$$

bulunur. (2), (3), (4) eşitliklerinden ve $P_1N/(P_1T)^2$ oranından şunu elde ederiz :

$$\frac{P_1N}{(P_1T)^2} = P_0L\,\frac{a}{a^2}\cdot\frac{b_1^2}{b^2\,(P_1M)^2} = \frac{aa_1}{b^2}\cdot\frac{1}{DL}\cdot\frac{(P_1L)^2}{(P_1M)^2} =$$

$$\frac{a}{b^2}\cdot\frac{P_0D}{2\,DL}\cdot\frac{(P_0L)^2}{(P_0M)^2}$$

Bu suretle istenilen (1) oranını bulmuş oluruz. P_1 noktası P_0 a yaklaşırsa, L noktası da P_0 yaklaşır, M noktası ise L ye yaklaşır. Bu halde limitte

$$\lim_{P_0\to P_1}\frac{P_1N}{(P_1T)^2} = \frac{a}{2b^2}$$

olur.

Bu ifadeyi F kuvveti için evvelce bulunan ifade ile mukayese edersek, bir elipsin boyunca hareket vukubulduğu taktirde şu formülü buluruz :

$$F = m\,\frac{4k^2a}{b^2}\cdot\frac{1}{(SP_0)^2} \qquad (5)$$

k, a ve b kemiyetleri sabit olduklarından verilen bir elips boyunca hareket vukubulduğu taktirde, P ye etki eden kuvvet P ile S arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olur ki bu suretle teorem ispat edilmiş olur.

TEOREM IV

Bir takım maddesel cisimler, bir S çekici kuvvet merkezinden ileri gelen, S den olan uzaklıkla ters orantılı olarak değişen bir kuvvetin etkisi altında, elipsler üzerinde hareket ederlerse, bu cisimlerin yörünge periotlarının kareleri, eliptik yörüngelerinin yarı büyük eksenlerinin küpleri ile orantılıdır.

İSPAT

Bu teoremin ifadesine göre S kuvvet merkezi, kütlesi m olan ve merkezden r uzaklığındaki herhangi bir P cismini bir

$$F = m \frac{L}{r^2}$$

kuvvetiyle çekiyor demektir. Burada L orantı kat sayısıdır.

Bu cisim odağı S olan bir elips üzerinde hareket ediyorsa, evvelki teoremde ispat edilmiş olan (5) denkleminden L orantı kat sayısının :

$$L = 4k^2 \frac{a}{b^2}$$

olduğu çıkar, burada k "alan sabitesi" olup değeri elips üzerindeki hareket hızı ile tayin edilir, a ile b ise elipsin yarı büyük eksenleridir. Buna göre muhtelif elipsler için a, b ve k nin değerleri değişir, fakat $4k^2\, a/b^2$ oranı sabit bir L değerinde kalır.

Yörünge periodu olan T ye eşit zamanda P cismi tam bir dolanımını yapar ve vektör yarı çapı da elipsin alanı olan ab alanını süpürmüş olur.

Alan sabitesi olan k nın tarifine göre :

$$ab = kT \quad \text{yahut} \quad T/a = \pi b/k$$

Bu eşitliğin ikinci kuvvetini alırsak

$$\frac{T^2}{a^2} = \frac{\pi^2 b^2}{k^2}$$

Bu eşitliği aşağıdaki şekilde yazalım :

$$\frac{T^2}{a^2} = \frac{4\pi^2 b^2}{4k\,a}$$

veya

$$\frac{T^2}{a^2} = \frac{4\pi^2}{L}\,.$$

Hulâsa edersek, başka başka elipsler üzerinde hareket eden cisimler için T^2/a^3 sabit kalır. Binaenaleyh S etrafında $(a_1, a_2, \ldots)$ yarı eksenleri başka başka olan bir takım elipsler üzerinde $(T_1, T_2, \ldots)$ gibi başka başka yörünge periotları ile hareket eden bir takım maddesel cisimler alırsak, o takdirde

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \cdots$$

olmakla teorem IV ispat edilmiş olur.

TEOREM V

Bir takım maddesel cisimler S merkezsel kuvvet etkisi altında, merkezi S de bulunan daireler üzerinde düzgün hareket yapmakta iseler, ve yörünge periotlarının karaleri dairesel yörüngelerinin yarı çaplarının küpleri ile orantılı ise, bu maddesel cisimler S merkezinden olan uzaklıklarının karesi ile ters orantılı bir kuvvetle S ye doğru çekilirler.

İSPAT

Bunun için III ncü teoremde F kuvveti için bulunan $a=b=P_0S=r$ ifadesini kullanacağız, r dairenin yarı çapı olmak üzere $a=b=P_0S=r$ olduğunu kaydedelim, böylece

$$F = m\frac{4k^2}{r^3}$$

elde ederiz.

Bu bağıntı, kuvvetin şiddetini, sabit alana ve cismin üzerinde hareket ettiği dairenin yarı çapına bağlar. Sabit alan, yörünge periodu ve dairenin alanıyla $k\ T=\pi r^2$ formülüne göre bağlı olduğundan, F kuvvetine ait ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir :

$$F = m\frac{4\pi r^2}{T^2}\ *$$

Kütleleri m_1, m_2 olan iki cisim yarı çapları $r_1\ r_2$ olan daireler üzerinde hareket etse, ve yörünge periotları da T_1, T_2 olsa

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2}\cdot\frac{r_1T_2^2}{r_2T_1^2}$$

olur.

Keplerin üçüncü kanunu gerçeklenirse

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{r_1^3}$$

olup bu takdirde

* Aynı sonuca daire üzerinde düzgün hareket yapan bir cismin merkeze doğru ivmesine ait çok kullanılan $\gamma=v^2/r$ formülü de ulaştırır. Bu sonuç Newton'dan ayrı olarak (1673 de) Huygens tarafından bulunmuştur.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

bulunur.

TEOREM VI

Bir maddesel homogen kürenin dışına konmuş olan bir maddesel nokta, küre merkezi tarafından, merkezden uzaklığının karesi ile ters orantılı olarak çekilir.

İSPAT

Şekil 57 (a ve b) birbirinin aynı iki maddesel küresel yüz tarafından çekilen P ve p maddesel noktalarını gösteriyor (şekilde küresel yüzeylerin bir kısmı gösterilmiştir)

$P\ H\ K$ ve $P\ I\ L'$ $p\ h\ k$ ve $p\ i\ l$ nin kesenlerini çizelim, öyle ki, birbirlerine yeter derecede yakın ve her kii yüzdeki karşılıklı kirişler birbirine eşit olsun :

$$HK = hk, \quad IL = il$$

Buradan $DO = do$, $EO = eo$ eşitliklerini buluruz. PIR ile PFD benzer üçgenlerinden

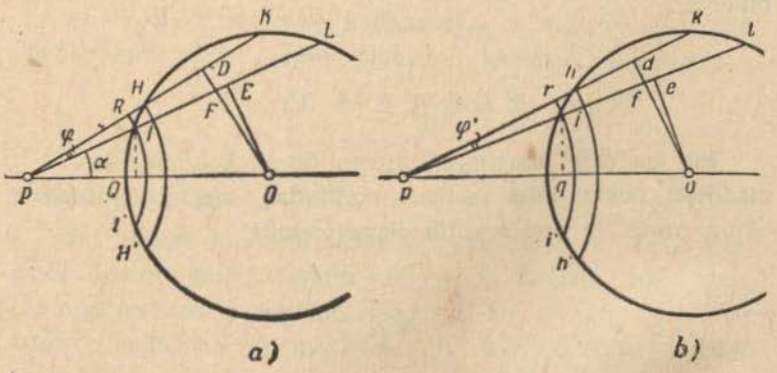
$$\frac{PI}{PF} = \frac{RI}{DF}$$

ve PIQ ile PEO benzer üçgenlerinden de

$$\frac{PI}{PO} = \frac{IQ}{EO}$$

bulunur.

Benzer yoldan yürüyerek diğer küresel yüzler için (Şekil 57, b)



Şekil 57. Teorem VI nın ispatı

$$\frac{pf}{pi} = \frac{df}{ri} \text{ ve } \frac{po}{pi} = \frac{eo}{iq} = \frac{EO}{iq}$$

yazılır. Dört eşitliğin sağ ve sol tarafını birbirleriyle çarparsak

$$\frac{PI^2 . pf . po}{pi^2 . PF . PO} = \frac{RI . IQ , df}{ri . iq . DF}$$

bulunur. Kesenler arasındaki φ ve φ' açıları sıfıra yaklaştıkları zaman df/DF onanı 1e yaklaşmış olur. Buna ilâveten $HK=hk$ olduğundan dolayı, PH ve ph kesenlerinin küre yüzlerini aynı açıda kesecekleri gösterilebilir (okuyucuya bırakılmıştır). yani PH ve ph kesenlerinin yaptığı açılar ve H, h teğetleri birbirlerine eşittirler. Aynı şey PI ve pi kesenleri için de tatbik edilebilir. Bu sebepten dolayı IH ve ih yayları kâfi derecede küçükse ve bunlar doğru parçalarının uzunluklarıyla gösteri-

lirse, RHI ve rhi üçgenleri benzer olacak yani limitte $H \to I$ ve $h \to \imath$ olursa,

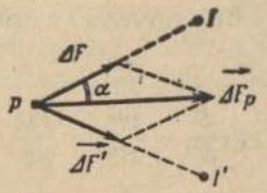
Sonuç olarak limitte

$$\frac{PI^2 . pf . po}{pi^2 . PF . PO} = \frac{\widehat{HI} . IQ}{\widehat{hi} . iq}$$

olur.

Şimdi yarı çapları IQ ve iq olan küresel kabuklara bakalım, bu kabuklar $\widehat{HI}$ ve $\widehat{hi}$ yaylarının QB ve qb çapları etrafında dönmesi ile hasıl olur.

Bu kabuğun münferit parçaları, noktalarını, küresel kabukların kütleleriyle (yani kendi alanlarıyla) orantılı olarak (yani kendi alanları ile) ve bunlardan olan uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak çekerler. Bu kabukların herbiri üzerinde, meselâ I, I', i, i' noktaları yakınlanında simetrik bulunan kesit elemanları alalım. I ile I' ne yakın kesitler, P ve p yi şiddetçe $\mu \frac{\Delta\sigma}{(PI)^2}$ ye eşit ΔF ve $\Delta F'$ kuvvetleriyle çeker (Şekil 58), burada μ orantı katsayısı ve $\Delta\sigma$ bu parçaların herbirinin alanıdır.



Şekil 58. Teorem VI nın ispatı

$H \to I$ ve $H' \to I'$ olduğunda bu kuvvetlerin doğrultusu da limitte, PI, $P'I'$ ile çakışır. Bu iki simetrik elemanter kesitlerin toplam çekimi, PO boyunca kürenin merkezine doğru olup ΔF_p ye eşittir. Fakat $\Delta F_p = 2\Delta F . \cos\alpha$ olduğundan

$$\Delta F_P = \mu \frac{\Delta \sigma}{PI^2}, \quad \cos \alpha = \frac{PQ}{PI}$$

olup

$$\Delta F_P = \mu \frac{2 \Delta \sigma}{PI^2} \frac{PQ}{PI}$$

bulmuş oluruz.

Bu küresel kabuğun bütün elemanter kesitlerinin çekimini çifter çifter toplarsak kürenin O merkezine doğru olan çekim kuvvvetinin

$$F_P = \mu \frac{S}{PI^2} \cdot \frac{PQ}{PI}$$

olduğunu buluruz, ki burada S bu kabuğun yüz ölçümüdür.

Şekil 57 b deki küresel kabuk için aynı yoldan yürüyerek çekiminin

$$F_p = \mu \frac{S'}{pi^2} \frac{pq}{pi}$$

olduğunu buluruz. Bu kuvvetler arasındaki oranı alarak limitte

$$\frac{F_P}{F_p} = \frac{S}{S'} \cdot \frac{pi^2}{PI^2} \cdot \frac{PQ}{pq} \cdot \frac{pi}{PI}$$

olur. PIQ ve POF üçgenleri benzer olduklarından limitte

$$\frac{PQ}{PI} = \frac{PF}{PO}$$

olur. Benzer şekilde

$$\frac{pq}{pi} = \frac{pf}{po}$$

bulunur.

S ve S' alanlarının yüz ölçümleri sırayla $2\pi\, IQ \,.\, \widehat{HI}$ ve $2\,\pi\, iq \,.\, \widehat{hi}$ ye eşittir. Binaenaleyh

$$\frac{F_P}{F_p} = \frac{IQ \,.\, \widehat{HI}}{iq \,.\, \widehat{hi}} \cdot \frac{pi^2}{PI^2} \cdot \frac{PF \,.\, po}{pf \,.\, PO}$$

dur. Bunları (6) eşitliğiyle mukayese ederek

$$\frac{F_P}{F_p} = \frac{PI^2 \,.\, pf}{pi^2 \,.\, PF} \cdot \frac{po}{PO} \cdot \frac{pi^2}{PI^2} \cdot \frac{PF \,.\, po}{pf \,.\, PO} = \frac{po^2}{PO^2}$$

buluruz. Bu ise küresel kabukların çekim kuvvetlerinin PO, po uzaklıkların kareleri ile ters orantılı olması demektir.

Benzer sonuç KL, kl nin döndürülmesi ile elde edilen küresel kabuklar için de bulunabilir.

Buna göre izole edilmiş olan küresel yüzeylerin kabukları, P ve p maddesel noktalarını küre yüzeylerinin merkezinin bu noktalardan uzaklıklarıyla ters orantılı olarak çeker. Fakat biz bütün küre yüzünü, benzer küresel kabukları a bölebiliriz. Her kabuğun ve binaenaleyh bütün yüzeyin çekimi, çekici kuvvet merkezinin bu noktadan olan uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.

TEOREM VI NIN SONUCU

Yoğunluk dağılımı küresel olan bir kürenin dışına konmuş olan bir maddesel nokta, küre merkezine, bu maddesel noktayla küre merkezi arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak çekilir.

İSPAT

Küreyi birçok sayıda ince küresel tabakalara bölelim, bu parçalara da homogen gibi bakılabilir. Hemen yukarda ispat edilmiş bulunan VI ncı teoreme göre her tabaka bu noktayı tabaka merkezine, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak çekecektir. Bütün tabakaların toplam çekimi olan tüm kürenin çekiminin, kürenin merkezine doğru olup, şiddetçe noktanın küre merkezinden uzaklığının karesiyle ters orantılı olacağını ifade eder. Herhangi maddesel noktaların çekimi bunların kütleleri ile orantılı olduğundan bir kürenin merkezine konmuş ve kütlesi tüm kürenin kütlesine eşit olan bir maddesel noktanın tıpkı bütün küre gibi çektiği söylenebilir.

Yayınlanmış olan eserler:

1 — Eşitsizlikler (160 Krş.)
2 — Çokrenk problemleri (180 Krş.)
3 — Sayılar teorisinden problemler (500 Krş.)
4 — Tesadüfi hareketler (250 Krş.)
5 — Geometrik ispatlarda hatâlar (180 Krş.)
6 — Mekaniğin matematiğe bazı tatbikleri (180 Krş.)
7 — Yalnız pergelle yapılan çizimler (250 Krş.)
8 — Diofant denklemleri (220
9 — Gruplar teorisine giriş (375 Krş.)
10 — Eşitsizliklere giriş (425 Krş.)
11 — İndüksiyon metodu (220 Krş.)
12 — Sayılar teorisine giriş (550 Krş.)
13 — Geometrik eşitsizlikler (450 Krş.)
14 — Yalnız cetvelle yapılan çizimler (250 Krş.)
15 — İhtimaller hesabına giriş (550 Krş.)
16 — Rasyonel ve İrrasyonel sayılar (600 Krş.)
17 — Çeşitli Geometriler (750 Krş.)
18 — İndirgemeli diziler (200 Krş.)
19 — Geometri (Cilt I) (500 Krş.)
20 — Geometri (Cilt II) (750 Krş.)
21 — Geometri (Cilt III) (400) Krş.
22 — Algoritmalar ve otomatik hesap makinaları (400 Krş.)
23 — Konum Teoremleri (200 Krş.)
24 — Matematiksel sonsuz (100 Krş.)
25 — Sayılar ve şekiller (850 Krş.)
26 — Eşdeğer ve Eşparçalanabilen şekiller (300 Krş.)
27 — Oyunlar teorisine giriş (300 Krş.)
28 — İhtimaliyet ve Enformasyon (750 Krş.)
29 — Matematik ve akla yakın muhakeme (Cilt I). Matematikte Endüksiyon ve Benzetme. Kısım I (750 Krş.)
30 — Matematik ve akla yakın muhakeme (Cilt I). Matematikte Endüksiyon ve Benzetme. Kısım II (750 Krş.)
31 — Matematik ve akla yakın muhakeme (Cilt II). Akla yakın muhakeme modelleri (Basılmaktadır)
32 — Gök Mekaniği (10 lira)

Matematik Derneğinin adresi :
Fen Fakültesi Matematik Enstitüsü
Vezneciler — İstanbul

Fiatı 10 lira