

**T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ
ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ**

**ÖZEL KONU
NEPTÜN'ÜN KEŞFİ**

**Gökhan ÖZHAN
93050083
Danışman: Prof.Dr.İ.Ethem DERMAN**

İÇİNDEKİLER

1. ÖZET.....	2
2. GİRİŞ.....	3
3.ANTİK GÖZLEMLER.....	6
4.MODERN GÖZLEMLER.....	6
5.LE VERRIER VE ADAMS'IN ÇALIŞMALARI.....	10
6.NEPTÜN'ÜN KEŞFİ.....	18
7.KEŞİF TARTIŞMALARI.....	19
8.UYGULAMA.....	28
9.SONUÇ.....	30
10.KAYNAKLAR.....	31

ÖZET

Uranüs gezegeninin hareketine yaptığı çekim etkisini dikkate alarak çok başarılı bir biçimde Neptün gezegenini 1846 yılında teorik yolla keşfedilmesi Newton mekaniğinin belki de en önemli başarısıdır. Böyle büyük ve heyecan verici bir başarının altına imza atan astronomları tanımak ve düşünce yollarını anlamaya çalışmak, bir astronomi öğrencisi olarak benim tez konumun temellerini oluşturmaktadır. Burada iki bilim adamının adlarının altı çizilmelidir. İlki Fransız matematikçi ve astronom Le Verrier diğeri de İngiliz matematikçi ve astronom John Couch Adams'dır. Çünkü bu büyük başarı bu iki isim tarafından paylaşılmaktadır. Onların bu konudaki mücadelelerini ve hesaplamalarını incelerken hayranlık duymamak elde değildir.

GİRİŞ

1769 Yılında Lemonnier Uranüs'ü 4 gün boyunca gözledi. Fakat gözlemlerini ve tahminlerini iyi inceleyemediği gibi kayıtlarında çok düzensiz tutmuştu. Ama şu bir gerçektir ki Uranüs'ün keşfi Herschel'e aittir. Uranüs'ün bu ön keşiflerine antik gözlemler denir. Bundan sonra ki keşiflere de modern gözlemler denir.

1821 yılında Alexis Bouvard, Lemonnier'in tablolarını düzenleyerek tekrar yayınladı. Modern gözlemler ve antik gözlemler yardımıyla yapılan hesaplamalarda, Uranüs'ün teorik ve gözlemsel boylamları arasında büyük çelişkilerin ortaya çıktığı görüldü.

Eugene Bouvard (Alexis Bouvard'ın yiğeni) amcasının araştırmalarını yeniden ele aldı ve Uranüs'ün ötesinde, Uranüs'ün yörüngesini tedirgin edebilecek bir kütlenin bulunabileceği teorisini ileri sürdü. Bu teori o zamanların en büyük astronomlarından biri olan Airy tarafından çürütüldü. Astronomlar aynı yıl Uranüs'ün teorik hesaplamalarının yanlış çıkmasına neden olan bilinmeyen fiziksel etkiyi araştırmaya başladılar.

Astronomlar, Newton'un yasaları yanlış olabiliyordu diye düşündüler. Belki de ters kare yasası Güneş'e yakın gezegenler için geçerli fakat Uranüs gibi uzak gezegenler için değiştirilmeliydi, diye düşünmeye başlamışlardı. Fakat o tarihteki astronomların hepsi olmasa da çoğu Newton yasalarına güveniyorlardı. Çünkü Newton yasaları geçmişteki tüm testleri geçmişti.

Uranüs'ü etkileyen "bilinmeyen ve dışsal etki yaratan " la ilgili ilk öneri Bouvard'dan gelmişti. Bouvard bunun bilinmeyen bir gezegen olduğunu daha önce söylemişti. Hussey ise bilinmeyen gezegenle ilgili ilk açık referans veren kişiydi. Hussey 1834'de Airy'e yazdığı bir mektupta Uranüs'ün ötesinde bir gezegen olması gerektiğini hatta Hansen'in çalışmalarına göre 1821'den beri gözlenen sapmalarda Uranüs'ün ötesinde iki gezegen olması gerektiğini dile getirmiştir. Hussey gezegenin optik olarak keşfedilmesi için bir çok prodesür tavsiye etti. Fakat Airy konuya hala sıcak bakmıyor ve bu konuyla ilgilenen insanlara da cesaret vermiyordu. Çünkü Airy Uranüs'ün aykırı hareketini yeni bir gezegen teorisi olmadan açıklama çabasındaydı.

O yıllarda Bessel derslerinde Uranüs'ün hareketlerindeki sapmaları açıklamak için bilinmeyen bir gezegenin yörüngesinin ve kütesinin keşfedilmesi gerektiğini savunuyordu. Bu düşüncesini ölene kadar da devam ettirdi.

Artık Uranüs problemi, o zamanın en acil modern astronomi konusuydu. 1845 yılında İngiliz astronom Adams, Bouvard'ın Uranüs tablolarını tekrar gündeme getirdi. Aynı yıl Fransız astronom Le Verrier'de Uranüs'le ilgili ilk çalışmasını Fransız Akademisine sundu. Her ikisi de hesaplamalarında Bode Kuralı'nı kullandılar. 31 Ağustos 1846'da Le Verrier Uranüs üzerine üçüncü kitabını Fransız Akademisine gönderdi ve 23 Eylül 1846'da sekizinci gezegen gözlemlerle Berlin Gözlemevi'nde bulundu.

Neptün'ün keşif başarısı Le Verrier ve Adams'a aittir. Çünkü Adams'da, Le Verrier'den habersiz olarak yaptığı çalışmalarda gezegeni bulmuş fakat Challis gözlemlerden istenilen sonucu çıkaramamıştır. Le Verrier ve Adams'ın bu müthiş başarısı kesinlikle tesadüfi değildir.

Araştırmamda Neptün gezegeninin matematiksel yolla keşfinin basit bir hali de bulunmaktadı. Bu uygulamada Uranüs'ün teorik ve gözlemsel boylam farklarından yola çıkarak Neptün gezegenine ait yörünge elemanlarının nasıl bulunduğu gösterilmektedir.

ANTİK GÖZLEMLER

Uranüs gezegeni bulunmadan çok önce 1690 yılında Flamsteed (ilk kraliyet astronomu) Uranüs gezegenini 34 Tauri olarak belgeledi. Fakat en gerçekçi araştırma 1769'un Ocak ayında yapıldı, Lemonnier dört gün boyunca Uranüs'ü gözlemledi. Eğer gözlemlerini ve tahminlerini iyice inceleydi Uranüs'ün keşfinde hiç bir şüphe olmadığını görürdü. Çünkü Lemonnier'in gözlem kayıtları çok düzensizdi. Uranüs gözlemlerini kağıt çantası üzerine yazmıştı. Herschel 'in daha sonraki başarılarını hatırladığımızda kabul etmeliyiz ki Uranüs'ün keşfi Lemonnier'e değilde Herschel'e aittir. Uranüs'ün bu ön keşif gözlemleri antik gözlemler olarak tanımlanır, bundan sonraki keşiflerde modern gözlemler olarak tanımlanır.

MODERN GÖZLEMLER

1821 yılında Alexis Bouvard Lemonnier'in Uranüs tablolarını yayınladı. Geçen kırk yıl boyunca modern gözlemler, antik gözlemlere ek olarak yardımcı oldu. Alexis Bouvard Jüpiter ve Satürn'ün yörüngelerindeki tedirginlikleri gözlediğinde (Uranüs'ün yörüngesinde yalnızca gezegenler mantıklı değişiklikler yapabilir) ve yörünge hesaplamaları yaptığında bir sürpriz ile karşılaşmıştır: Hem antik hem de modern gözlemlerin her ikisiyle de yörünge hesaplamaları yanlış çıkmaktadır. Antik gözlemler tek başına kullanıldığında onları gösterebilecek bir yörünge bulunabilirken modern gözlemlerde böyle bir sonuca varılamıyor. Diğer bir deyişle, yörünge hesaplamaları yalnızca modern gözlemlere göre yapıldığında çok iyi sonuç vermiyordu (gözlemler ve teori arasında çok büyük zıtlıklar vardı, öyleki olası hata miktarı ortalama gözlemsel hatanın iki üç katıydı), dolayısıyla antik gözlemler başarısızdı. Bouvard'ın Uranüs tablolarına göre yaptığı çalışmalar Neptün'ün keşfinde önemli bir rol oynamıştır, yörüngeyi yalnızca modern gözlemlerden yola çıkarak hesaplanmasını temel almıştır.

Bouvard'ın tablolarının yayınlanmasından beş-altı yıl sonra Uranüs'ün gözlemsel ve teorik boylamlarının arasında ciddi çelişkiler olduğu anlaşıldı. Airy, İngiliz Birliğine verdiği raporunda Uranüs'ün tahmini konumundan boylamının yarıya düştüğünü bildirdi. Eugene Bouvard (Alexis Bouvard'ın yiğeni) amcasının araştırmalarını yeniden ele aldı. Airy onu hızla yükselen boylam hataları için bilgilendirdi. Airy, ek olarak bu hataların sebebinin tahmin edemiyordu ama tedirginlikteki hataları inceledi. Daha sonra Airy "Uranüs'ün daha dışında yörüngeyi tedirgin edecek bir kütlenin bulunması imkansızdır" dedi. Aynı yıl teori ve gözlemlerin uyuşmadığı kesinlik kazandı. Bazı bilinmeyen etkenler Uranüs'ün teorik hesaplamalarının yanlış çıkmasına neden oluyordu. Astronomlar bu çelişkinin fiziksel sebebinin araştırmaya başladılar.

Newton'un çekim kanunu yanlış olabilirmiydi? Belki de ters kare kanunu Güneş'e yakın gezegenler için geçerli ama Uranüs gibi uzak gezegenler için değiştirilmeliydi.

Halley'in "eski" tutulmaları ve Ay'ın hareketinde görülen ivmelenmeler, çekim yasalarının doğruluğu ile ilgili yeni şüpheler doğurdu. Halley'in 1770'de ödül alan makalesi Ay'ın hareketlerini Newton yasalarına göre inceliyordu. Bu inceleme Ay'ın ivmelenmesinin kabul edilen çekim yasalarından kaynaklanamayacağı sonucuna varıyordu. Lagrange'da 4 yıl sonra aynı sonuca vardı. Fakat Lagrange'in söylediği tutulmalarla ilgili verilerin doğru olmayabileceği ve ivmelenmenin gerçek bir olay olmayabileceğiydi. Laplace 1787'de ivmelenmenin yerçekimi teorisinden çıkarılabileceğini keşfetti ve ayın açısız hareketini $10'' \cdot 1816213t^2$ olarak buldu. Bu keşif ile birlikte ondalık sayılar tutulmalaradan elde edilen değerlerle uygun hale geldi. Laplace'in keşfi onun dahiliğinin ispatı ve Newton yasalarının mükemmel başarısı olarak görüldü.

1826 yılından beri incelenen Uranüs'ün hareketindeki farklılıklar Newton yasasının geçerliliği ile ilgili yeni kuşkular yarattı. Uranüs ve güneş arasındaki büyük uzaklığın yarattığı görünen etkileri hesaplamak için ters kare yasasında yapılan küçük modifikasyonlar astronomlar arasında belli bir destek buldu. Daha popüler olan Direnç Gösteren Alan hipotezi başka gezegenlere uygulanamasa da yandaş buluyordu. Diğer bir hipotezde hala keşfedilmemiş olsa da Uranüs'ün, kütlesi olan bir uyduya sahip olduğu hipoteziydi. Fakat bu düşünce reddedildi. Çünkü Uranüs'ün bulunduğu pozisyon itibariyle kısa zaman aralıklarında düzensizlik göstermeliydi. Ama bu gözlenemedi. Ayrıca büyük kütlelerin büyük hacimlere sahip olması gerekirdi ve bu tür bir uydunun teleskoptan görülmesini gerekirdi. Diğer bir hipotez de Uranüs ile ilgili 'eski' gözlemlerin yapıldığı yörünge ile 1821'e kadar yapılan 'modern' gözlemlerin yörüngesinin farklı olmasıydı; tahmini olarak gezegenin bulunduğu zamanlarda bir kuyruklu yıldızın Uranüs'e çarptığı ve bundan kaynaklı olarak Uranüs'ün yörüngesinin değiştiği idi. Fakat 1781-1821 yılları arasında yapılan gözlemler; 1826'dan itibaren yapılan gözlemlerle kıyaslanınca Uranüs'ün yörüngesinden daha da kayması ile birlikte bu düşünsel hipotez popüleritesini kaybetti.

O tarihteki astronomların hepsi olmasa da çoğu Newton yasalarına tam olarak güveniyorlardı. Çünkü Newton yasaları geçmişteki testlerin hepsini geçmişti. Bu bağlamda Airy'nin konumunu anlamak biraz güç. Çünkü o tarihte gezegenlerin hareketleri ile ilgili Uranüs dışında bir problem yoktu. Bu da Airy'nin Adams, Bessel, Le Verrier ve diğer meslektaşlarından farklı olarak Newton'un çekim yasalarına tam olarak güvenmemesinden kaynaklanıyordu.

Uranüs'ü etkileyen 'Bilinmeyen ve dışsal etki yaratan 'la ilgili ilk öneri Bovvard'dan geldi. Daha öncede bahsedildiği gibi Bouvard'a göre bu etki bilinmeyen bir gezegenden kaynaklıydı. Rev.Dr. T.J. Hussey bu yeni gezegenle ilgili ilk açık referansı veren kişiydi.

Hussey 17 Kasım 1834'de Airy'ye yazdığı mektupta Bouvard'ın tablolarını referans göstererek : ' Eski ve yeni gözlemler arasındaki yok sayılmayacak farklılıklar bana göre Uranüs'ün ötesinde varolan bir kütlenin varlığını gösteriyor. Bu hesaba katılmadı çünkü bilinmiyordu."diyordu. Hussey konu üzerinde daha fazla bilgi veriyor. Bouvard'ın ve Hansen'in de aynı düşüncede olduğunu söylüyordu. Hussey' e göre, Hansen'in tahminlerine göre 1821'den beri gözlenen sapmalar hipotezin Uranüs'ün ötesinde iki gezegene sahip olması gerektiğini gösteriyordu. Daha sonra Hansen kendisinin 2 gezegenin varlığı hipoteziyle ilgisiz olduğunu açıkladı. Hussey yanlış anlamış olmalıydı, çünkü Hansen'in görüşüne göre 1 tane bilinmeyen gezegen vardı. 1834'de bilinmeyen bir gezegen teorisi ciddi olarak araştırılmaya başladı. Hussey gezegenin optik olarak keşfedilmesi için bir çok prosedür tavsiye etti. Eğer Airy hipotez gezegenin olası yaklaşık konumunu hesaplırsa kendi teleskobuyla araştırmanın genişletilebileceğini önerdi. 23 Kasım 1834'de Airy'nin Hussey'e cevabı pek cesaret verici değildi, yeni gezegenin hareketiyle ilgili kuşkularını belirtiyor ve şunu ekliyordu: "Eğer yeni gezegenin yarattığı dışsal bir etki varsa bile bu etkiyi yaratan gezegenin yerini belirlemek çok olası gözüküyor. Eminim ki bu düzenin doğası birçok başarılı devrimler sonucunda belirlenmedikçe yapılmaz." 1837'lerin sonunda Airy aynı düşünceyi Eugene Bovvard'a da belirtmişti. Uranüs teorisini iyi yöntemlerle düzene koyma çalışmaları başarısız olmasına rağmen Bouvard Neptün'ün keşfine kadar gezegenin tabloları üzerinde çalıştı. Airy ise hala Uranüs'ün aykırı hareketlerini yeni bir gezegen teorisi olmadan açıklama çabasındaydı. Bessel derslerinde Uranüs'ün hareketindeki sapmaları açıklamak için bilinmeyen bir gezegenin yörüngesinin ve kütesinin keşfedilmesi gerektiğini savunuyordu. Bu sayede Uranüs'ün gözlenen yörünge sapmaları açıklanabilecekti ve bu bilinmeyen gezegenin Satürn üzerindeki etkileri açıklanabilecek, varlığını pekiştirecekti. Bessel yeni bir gezegen bulmanın problemiyle ölene kadar uğraştı, öğrencisi Flemming'e Uranüs ile ilgili gözlemleri tamamlaması konusunda güvenirdi. Sir John Herschel'e dayanarak 1842'lerin

sonuna kadar Bessel'in kendisinin ciddi bir şekilde Uranüs'ün incelenmesiyle ilgilendiğini fakat acı veren ve ilerleyen ölücü hastalığı yüzünden 1846'da araştırmalarını bırakmak zorunda kaldığını biliyoruz. 1842'de Gauss'un onuruna the Royal Society of Sciences of Göttingen tarafından Uranüs'ün aykırı hareketleri tartışması için ödül verildi.

Uranüs problemi o zamanın modern astronomisinin en acil ilgilenilen konusuydu ve konu gitgide artan bir şekilde bir gezegenin bu duruma yol açtığı yönündeydi. Gezegen keşfinin tanımlanmasının büyük zorluğu Airy'e göre, eğer gezegen gerçekten var olsaydı, birkaç asır boyunca toplanan verilerle keşfi olanaksızdı. Neyse ki, Adams ve Le Verrier probleme bakışı Airy'e göre daha açık hale getirdiler ve onlar konunun öneminden ve zorluğundan dolayı biraz olsa yıllarda, onlar kendilerini eşsiz matematik becerilerine adanmışlardı. Onların araştırmalarının başlangıcında, bilinmeyen bir gezegenin varlığından ve bunun güçlü analizler sonucunda teleskobik gözlemine emindiler. İki de şimdiye dek keşfedilmemiş gerçekler için öncü görüş olmuşlardır ve azimle hedefe ulaşmışlardır. Neptün'ün hikayesi direk olarak Adams ve Le Verrier'in başarılarıyla ilgilidir.

ADAMS VE LE VERRIER'İN ÇALIŞMALARI

1845 Haziran'ın da, Adams Cambridge'deki British Association'a girdi. 1845 Eylül'ün de, Adams hemen hemen Uranüs problemini çözmüştü. Anormal hareketlerin yeni bir gezegenin tedirginlikleriyle açıklanması yeterliydi ki, yörünge ve pozisyonu herhangi belli bir tarih için kolayca hesaplanabilirdi. Ve bunun sonucunda optik keşfide yapılabilirdi. 22 Eylül 1845'de Challis Fransa'daki Airy'e Adams'ın çalışmaları ve saklı gezegen hakkında hesaplamaları anlatan bir mektup yazdı. Bu olay Neptün tarihinin en büyük tartışmalarından biri oldu. Bouvard'ın Uranüs tabloları tekrar gündeme geldi. Ve Bouvard'ın teorisinden Jüpiter ve

Satürn etkisi çıkarıldı. Eğer bilinmeyen bir gezegen varsa Uranüs'ün hareketlerindeki düzensizlikler ve hesaplamalardaki hatalar ortadan kalkacaktı. Uranüs'ün yörüngesi ile ekliptik arasındaki ayrıklık yalnızca bir derecenin üç çeyreği kadardır ve bunu doğrulamak için Uranüs'ün dört tane yörünge elemanına ihtiyaç vardır: Yarı-büyük eksen uzunluğu (a), dış merkezlik (e), perihel uzunluğu (ω) ve epok (ϵ). Bu elemanlar δa , δe , $\delta \omega$ ve $\delta \epsilon$ olarak matematiksel hesaplamalarda kullanılmıştır. Herhangi bir zamanda bu dört bilinmeyenle Uranüs'ün yarıçap vektörünü ve gerçek uzaklığını analitik hesaplarla elde edebiliriz. Ancak varsayımsal bir gezegen Uranüs'ün koordinatları üzerinde etkili olabilir. Jüpiter, Satürn ve Uranüs'ün yörüngelerinin ekliptik üzerindeki küçük açısal değişimleri, hem Adams hemde Le Verrier tarafından varsayılan bir gezegenin ekliptik deki hareketiyle açıklanmıştır; ayrıca problemdeki dört bilinmeyene, yarı-büyük eksen uzunluğu a' , dış merkezlik e' , perihel uzunluğu ω' , epok ϵ' , birde gezegenin kütlelerini m' eklemişlerdir. Burada e' çok küçük bir değer olduğu ve kuvveti alındığı için Adams onu sıfır olarak almıştır. Biz bu ilişkiyi sembolik olarak şu şekilde yapabiliriz: (i) Gözlemlerden varılan Uranüs'ün uzaklığı (bunu O olarak alıyoruz), (ii) Bouvard'ın elemanlarına göre hesaplanan değer (bunu B olarak alıyoruz), (iii) Uranüs'ün yörünge elementlerinin hatalarındaki düzeltilmiş uzaklık (bunu U olarak alıyoruz), (iv) bilinmeyen uzaklıktaki tedirginlikleri (bunu N olarak alıyoruz):

$$\mathbf{O} = \mathbf{B} + \mathbf{U} + \mathbf{N}.$$

Tabi ki burada Jüpiter ve Satürn'ün bilinen tedirginlik etkilerinin çıkarıldığını varsayıyoruz. Gözlemlerden bulunan Uranüs'ün uzaklığı ile Bouvard'ın Uranüs uzaklığı arasındaki fark herhangi bir zamanda bilinirse ve eğer bu farkıda D olarak alırsak, yukardaki eşitliğe göre şöyle yazabilir.

$$U + N = D \quad (I)$$

Bu eşitliği kısaca şu şekilde açıklayabiliriz: Sağ-el kuralına göre bilinen açı D , U 'yu, δa , δe , $\delta \omega$ ve $\delta \epsilon$ olarak alıyoruz, N 'yi de a' , e' , ω' , ϵ' ve m' olarak ifade ediyoruz. (I)'deki eşitlik doğru uzaklığın farkıdır. Bu eşitlikte dokuz bilinmeyen olduğu için sonuçta pek pratik olmayan bir eşitliktir. a' 'nın tahmini bir değeri olduğunu varsayarsak birçok zorluk ortadan kalkacak ve bilinmeyenlerin sayısı sekize düşecektir.

Adams ve Le Verrier'in ikisi de a' 'nın ilk değerini Bode'nin kuralına göre seçtiler; Jüpiter, Satürn ve Uranüs mesafeleri için, Satürn'ün heliosantrik mesafesi yaklaşık Jüpiter'in iki katı ve Uranüs'ün heliosantrik mesafesi yaklaşık Satürn'ün iki katı olarak. Buna göre a' 'nın ilk değeri $2a$ oldu.

Adams'ın çözümü 1843'ün sonuna doğruydı. Bu çalışmada $a' = 2a$ olarak alındı. Hipotez I aldığı bu değerle Hipotez II'de kullandığı $a' = 1.942a$ değerine varıyor. Bu değerler Tablo I'de gösterilmiştir.

TABLO I

	Hipotez I ($a' = 2a$)	Hipotez II ($a' = 1.942a$)
6 Ekim 1846'daki boylam	325° 07'	323° 02'
Perihel boylamı	315° 57'	299° 11'
Dış merkezlik	0.16103	0.12606
Kütle (Güneş baz alınarak)	0.0001656	0.0001500

Tablo II’de o zamana kadar D için bulunan değerler bulunmaktadır. Buradan da hesaplamaların ne kadar yanlış olduğu görölmektedir.

TABLO II

	D (Bouvard, Göz.-Hes.)	Residuals (Adams, Göz.-Hes.)	
	"	Hip.I "	Hip.II "
“Antik” Gözlemler	"		
1712	+84.5	+6.7	+6.3
1715	+67.2	-6.8	-6.6
1750	-51.8	-1.6	-2.6
1753	-43.2	+5.7	+5.2
1756	-50.1	-4.1	-4.0
1764	-37.8	-5.1	-4.1
1769	-20.5	+0.6	+1.8
1771	-2.4	+11.8	+12.8
“Modern Gözlemler”			
1780	+3.4	+0.3	+0.5
1783	+8.2	-0.2	-0.2
1786	+11.7	-1.0	-1.1
1789	+17.7	+1.8	+1.6
1792	+17.2	-0.9	-1.1
1795	+19.5	+0.1	0.0
1798	+19.1	-1.8	-0.9
1801	+20.2	0.0	+0.1
1804	+22.2	+1.8	+1.9
1807	+20.5	-0.2	-0.1
1810	+21.9	+0.6	+0.6
1813	+21.2	-0.9	-1.0
1816	+22.5	-0.3	-0.5
1819	+20.8	-2.0	-2.2
1822	+21.5	+0.3	+0.1
1825	+19.0	+1.9	+1.9
1828	+11.5	+2.2	+2.3
1831	-4.3	-1.1	-0.8
1834	-22.6	-1.4	-1.2
1837	-46.7	-1.6	-1.5

1840	-73.1	+1.7	+1.3
------	-------	------	------

Bu tablodan da anlaşılacağı gibi modern gözlemlerdeki anormallikler antik gözlemlere göre çok daha kabul edilebilir değerlerdir.

1843, 1844 ve 1845 yıllarındaki çalışmalardaki alınan sonuçlardaki hatalar daha bir mantıklı olmuştur. Değerler Tablo III'dedir.

TABLO III

	Hip.I	Hip.II
1843	+7.1"	+5.8"
1844	+8.8"	+7.0"
1845	+12.4"	+10.2"

Bu sonuçlardan sonra $\dot{a} = 1.743a$ olarak alınmıştır. Ve Adams son hesaplamalarını Neptün'ün optik keşfinden iki hafta önce yapmıştır.

1838 yılında Airy 1833-1836 yıllarında Bouvard teorisinden hesaplanan Uranüs'ün çap vektörünün gözlenenden daha küçük olduğunu ve ileriki yıllarda yapılan gözlemlerin bu sonucu doğruladığını göstermekte olduğunu söylemektedir. Airy'nin Adams'ın görüşlerine dayanarak pozisyon almıştır. 18 Kasım 1846'da Adams'ın Airy'ye mektubunda yaptığı açıklamada şöyle denmektedir: "Uranüs'ün gerçek açisal hareketi tablolarda belirtilenden daha yavaştır. Bu da

$$r^2 \cdot \frac{d\theta}{dt} = \sqrt{\mu a(1 - e^2)}$$

denklemindeki 2.üyenin değişiminin çok küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak çalışmalarımda sadece eliptik elementleri düzeltirsem, buna bağlı olarak yaşanan çap vektöründeki değişimin teorisinin sonucundan farklı olmayacağıydı.

İlk başlarda gözlenen tutarsızlıkların dış bir gezegenin varlığına bağlı olduğunu düşünmüştüm. Diğer hipotezler hiç de olası gözüküyordu. Hesaplamalarımın doğruluğundan tamamen emindim çünkü onları birçok kere incelemiş ve büyük bir dikkatle yapmıştım. Kuşku doğuran tek nokta ortalama uzaklık tahmini idi ve onu da düzeltmiştim. Çalışmalarım çok yavaş ilerliyordu. Astronomların benim sonuçlarımı inceleyecek zamanları yoktu ve gezegeni araştırma işini St. Jonh gözlem evinde benim yapmam gerekti.”

Sonrada şu sözlerle devam ediyor: “Southampton’daki British Association toplantısına bir yazı gönderdim fakat onu sunmak için zamanında yetişemedim çünkü tahminimden bir gün önce kapanmıştı.”

Airy’nin çap vektörünün doğrulaştırılması ile ilgili ısrarları daha sonra Challis tarafından “deneysel çap” adı altında çalışıldı.

Şimdi Neptün’ün tarihi hakkında diğer konulara geçeceğiz. Senaryo Paris’e kayıyor. 10 Kasım 1845 ‘de Le Verrier French Academy’ye Uranüs ile ilgili ilk çalışmasını sundu. Bu çalışma aynı tarihte ilk kez Comptes Rendus’ta yayınlandı. Bu çalışma Uranüs’ün yörüngesiyle ilgiliydi ve Bouvard’ın teorisinin düzeltilmiş ve modernleştirilmiş haliydi. Fakat Uranüs’ün hareketindeki düzensizlikler hakkında hiçbir yorum yapmıyordu. 1 Haziran 1846’da Comptes Rendus’ta Le Verrier’in Uranüs hakkındaki ikinci araştırması yayınlandı. Bu çalışma en azından bir noktada bütün kuşkuları sildi: Şu anda varlığı bilinen gezegenlerin hareketleri Uranüs’ün hareketlerindeki düzensizliği açıklamakta yetersiz kalıyordu. Birçok hipoteze dayanarak, Le Verrier’de Adams gibi Uranüs’ün hareketindeki düzensizlikleri açıklamak için dışsal bir gezegenin varlığını savunan hipotez dışındaki bütün hipotezleri

dışarı attı. Le Verrier'in araştırmalarını dayandırdığı eşitliğin formu řu şekildeydi: $U+N=D$ ve heliosantrik doğru uzaklıkları kapsıyordu. Adams gibi o da başta Bode'un kuralının yararlı bir şekilde uygulanabileceğini dűřündü ve $a=2a$ kuralını Adams'ın 1. hipotezindeki gibi kullandı. Denklem sekiz bilinmeyenden oluşuyordu ve bunlardan yedisi lineer (doğrusal)'dı, kalan bir tanesi (ϵ , epok'un ortalama uzaklığı) $\sin i\epsilon$ yada $\cos i\epsilon$, i 1, 2 ve 3 değerlerine sahip olarak belirliyordu. Denklemlerini başarılı bir şekilde dűzenleyerek ve gözlemden kaynaklanabilecek olası hataları dikkate alarak m' cinsinden ve ϵ 'u kapsayan başarılı bir lineer denkleme ulaştı. m' değerini her kırk tane ϵ değeri için 9 derecede 0 dereceden 360 dereceye olan aralıkta hesaplıyordu. m' aldığı eksi değerler olabileceği için ϵ değerlerine m' pozitif bir değer alana kadar sınırlama getiriliyordu. Hesaplamalar etki yapan gezegenin ϵ değerine bağlı olarak 1847 yılı başında 325. derecede bulunduğunu, yanılığı payının 10 dereceden fazla olamayacağını gösteriyordu.

Daha sonra Le Verrier ap vektöründeki hataları hemen hesaba kattığını ve Airy'nin onun çalışmasına yeterli güveni duyması ve bir gezegen aramaya başlaması gerektiğini, bu amaçla Astronomer Royal'e elde ettiği gibi gezegenin tam pozisyonunu göndereceğini bildiriyor. Fakat Airy bu konuda Le Verrier'i dikkate almıyordu.

Le Verrier'in 28 Haziran tarihli mektubu Airy'nin eline geçmeden önce 29 Haziran 1846'da Greenwich'te Kraliyet Gözlemevi Ziyaretçi Kurulu'nun yıllık toplantısı yapıldı ve orada bulunanlar arasında Challis ve Sir John Herschel vardı. Kurulun davetiyle orada bulunan Airy, astronomlar arasında uluslararası işbirliğinin yararları üzerine tartışmada bir Uranüs ötesi gezegen hipotezinden türeyen Adams ve Verrier'in sonuçları arasındaki yakın tesadüfü kurula bildirdi. Ama konuyu önemsemedi.

İleri sürülen ve Challis tarafından kabul edilen araştırılan burçlar kuşağının büyüklüğü

Adams ve Le Verrier tarafından kuşağın yaklaşık olarak merkezinde olduğu sonucuna varılan bilinmeyen gezegenin konumuyla birlikte 30° uzunluğunda ve 10° genişliğinde hesaplanmıştı. Tüm kuşağın üç kez izlenmesine girişildi ve 11'inci kadirde büyük daha belirsiz olmayan tüm yıldızlar gözlemlendi. Kuşaktaki yıldızların konumlarının haritasının tamamen çıkarılması programın 300 gözleme saati süreceği hesaplandı. Plan kesinlikle çok dikkatli bir biçimde kavramlaştı ve onun büyüklüğü (eğer varsa) bilinmeyen gezegenin teorik yerinin kanıtlandığı fakat bunun gerçeğe pek kaba bir tahminle yapıldığı konusunda hem Challis'in hem de Airy'nin kanıtıydı. Kuşağın temel parçasını oluşturan ve daha sonra Neptün'ün başarıyla saptanmasında Berlin'de kullanılan Berlin Yıldız Haritası (Hora XXI)'nin henüz dağıtılmamış ve Challis Üniversite Kütüphanesi'nde onu saptayınca kadar basılmamış olduğu belirtilmelidir.

Challis kendi gözlemlerini kurarken 2 farklı metot kabul etmişti. Airy tarafından ileri sürülen birincisi teleskobu sabit bir konumda tutmak ve gözlemleri geçiş gözlemi haline getiren görüş alanı boyunca sürüklenen yıldızlara izin vermek. Bu yöntem çok fazla sayıda olmayan referans yıldızları ve de alan yıldızlarının konumlarını çıkarmada yararlıydı. Eğer gözlemler bulutlar tarafından engellenseydi, Challis'in yardımcısı son gözlemin altında bir çizgi çekmek için eğitilmişti. Eğer yıldız olanları özellikle zenginse, hepsini bu metodla gözlemlemek imkansızdı. Bu zorluğu aşmak için Challis koşullar gerektirirse iki asistanı olan Morgan ve Breen'in yardımını gerektiren farklı tipte bir alternatif yöntemi kabul etti. Saat gibi bir sürüşle, tüm yıldızların konumları kesin referans yıldızlarına göre elde edilinceye kadar özel bir alan gözlem altında tutulacaktı. Adams Challis'i yeni gezegenin 9. büyüklükteki bir yıldızdan daha az parlak olmadığı konusunda bilgilendirmesine rağmen Challis 11. büyüklüğün altındaki kuşaktaki tüm yıldızları gözlemeye karar verdi. 29 Temmuz ve 1846 Eylül'ünün sonu arasında Challis 3150 konum kaydetti.

NEPTÜN'ÜN KEŞFİ

Southampton'daki İngiliz Ortaklığı Başkanı olarak emeklilik adresinde 10 Eylül 1846'da Sir John Herschel önceki Haziran'daki yönetim kurulu toplantısında zaten üstü kapalı olarak belirtilmiş büyük bir gezegenin beklenen keşfinin ilk resmi açıklamasını yaptı. Geçen yılın yeni küçük bir gezegenin keşfini gördüğünü söyledikten sonra, şöyle devam etti: "Daha fazlası yapıldı. Bize bir diğerinin keşfinin olası başarı şansı sunuldu. Biz onu Colomb'un Amerika'yı İspanya kıyılarından görmesi gibi görüyoruz. Onun hareketlerini görsel kanıtlamanınkinden aşağı kalmayan bir kesinliği analizimizin uzak erimli yolu boyunca ürpererek hissediyoruz."

Aynı anda, 31 Ağustos 1846'da Le Verrier Uranüs üzerine üçüncü kitabını Fransız Akademisi'ne gönderdi. $a=2a$ hipotezinde tüm ϵ için bir değer (devirdeki asıl büyüklük) açıkça açıklanmamasına rağmen önceki Haziran'daki araştırmasında bilinmeyen gezegenin asıl büyüklüğünün değerini elde etmişti. Ağustos çözümünde varsayılan oran $a:a$ 'nın bir düzeltmesi olan durumların denkliğine bir ek bilinmez soktu. Bilinmez olarak ϵ 'yi kullanmanın yerine Haziran değerine bir $\delta\epsilon$ düzeltmesi ileri sürdü. Koşulun 33 denkleminin en küçük kareler çözümü ona altüst edici gezegen elementlerini elde etmesini sağladı. Artığın hesaplanması gözlem ve teori arasında tatmin edici bir anlaşmanın olduğunu gösterdi. Adams'ın çözümü için atıkların Tablo II'de gösterildiği gibi aynı büyüklük sırasına sahip

olduğu eklenebilir. Le Verrier, bilinmeyen gezegenin iyi bir teleskopla kolaylıkla görülebilen yaklaşık 3" çapında bir yuvarlaklık gösterdiği sonucuna da vardı. 18 Eylül'de Le Verrier, daha sonra Berlin Gözlemevi'nde asistan olan Dr. Galle'ye gezegeni araştırmasını rica eden bir yazı yazmış ve mektubun eline ulaşmasından üç gün sonra, ayın 23'ünde Bremiker'in yıldız çarkının (Hora XXI) yardımıyla çarkta bulunmayan 8. büyüklükte bir nesne keşfetti. Şimdi bir gerçeklik olan yeni gezegen Le Verrier tarafından gösterilen konumdan bir derece daha az ve onun hesabıyla neredeyse tam örtüşen yaklaşık 3" çapında bir diskle bulundu. Berlin Rasathanesi'nin Müdürü Encke Neptün'ün keşfini 25 Eylül'de açıklamasında bunun bir disk değil fakat onun saptanmasını sağlayan Bremiker'in yıldız çarkındaki nesnenin yokluğu olduğunu ima etti. Burada çok kısaca belirtildiği gibi Berlin'de gezegenin keşfinin gerçek koşulları daha sonra tanımlayacağımız onlarla ilgili bazı ilginç özelliklere de sahiptir.

Yeni bir gezegenin keşfi haberi bilimsel çevrelerde ve aslında uygar dünyanın her yanında büyük coşku uyandırdı. Le Verrier'in ismi astronominin bu en son zaferini ne derecede anlarsa anlasın herkesin ağızındaydı ve onun başarısı çağın mucizelerinden biri olarak ilan edildi. Yurtsever bir hararetilikle Arago hemen Neptün'ün keşfinin astronomi teorisinin en muhteşem zaferlerinden biri, Fransız Akademisi'nin başarılarından biri ve gelecek kuşakların minnettarlık ve hayranlığına ülkesinin en soylu katkılarından biri olarak kalacağını derhal bildirmişti.

KEŞİF TARTIŞMALARI

Bu ulusal ve evrensel sevinç atmosferine ilk bomba atıldı. 3 Ekim 1846 tarihli Athenoum'a bir mektubunda (1 Ekim 1846'ya tarihlenir) Sir John Herschel Adams ve onun araştırmalarına ilk resmi referansı yaptı. Southampton'daki adresindeki pasajı alıntıladıktan sonra şunu söylemeye devam eder: "Şimdilerde görülen düzensizliğin ters problemini çözerek

yeni gezegenin neredeyse doğru konumunu gösteren M. Le Verrier'in dikkate değer hesaplamaları (diğer bir elden veya bir başka üç aylık süreden bağımsız bir araştırma yoluyla çok sayıda hesaplamaların tekrarlama yoluyla pekiştirilmemişse) yukarıdaki vurgularımı ima etme yoluyla nakledilmiş olarak bir çok güçlü bir inandırıcı sözü güçlkle haklı çıkar. Fakat, benzer bir araştırmanın bağımsız olarak başlatılmış olduğunu ve M. Le Verrier'in vardığıyla (sonuçlarından tamamen habersiz) çok yakın olan bir gezegenin konumuna, umarım burada ismini zikretmemden dolayı beni bağışlayacak olan ve şüphesiz iyi hareketleriyle kamudan önce hesaplarını veren genç bir Cambridge matematikçisi Bay Adams tarafından o zamanda varıldığı (yetkim olarak astronomer Royal'e kaynak gösterme özgürlüğümü kullanıyorum) benim tarafımdan bilinmektedir.

İkinci bomba Adams'ın öngörüsü uyarınca yeni bir gezegen için bir araştırmanın Temmuz'un sonundan beri Cambridge'de sürekli ilerleme olduğu açıklamasıydı. Dahası, keşfin açıklanmasından sonra gözlemleri üzerine incelemede Challis gezegeni onun gezegen olma statüsünden şüphe duymaksızın üç farklı zamanda (en azından ilk iki zamanda) gözlemlediğini buldu. Challis'in gözlemlenen yıldızların konumlarını ölçen ve son kayıt yaptığı olarak "12 Ağustos'tan sonra" Temmuz 30'da aynı alanı kapsayan gözlemlerle 12 Ağustos'ta yapılan gözlemlerle "belli bir dereceye kadar" karşılaştırdığı iki yöntem kabul etmişti. (12 Ağustos için serideki 39 sayılı yıldız kadar) Challis'in kendisinin metodlarının yeterliliği konusunda kendi tatminkarlığını vurguladığı araştırma süresince 12 Ağustos için yapılan kayıtlarda görünen tüm yıldızlar daha erken gözlemlendi. Bu yıldız gezegendi. Daha ciddi bir inceleme de 4 Ağustos'ta gezegeni gözlemlediğini göstermektedir. 12 Ağustos 1846'da Üniversite Senatosu'na özel raporunda yazdığı gibi, "bu", gezegenin iki konumunu 4 günlük bir gözlemden sonra elde edilmişti. Bu tamamen, Bay Adams'ın benim için yazma nezaketinde bulunduğu bir kağıtta bana verilen talimatlara göre gezegenin teorik yerine doğru

yöneltmiş teleskobun kalkışıdır.” Challis konuşmaya, “Kuyruklu yıldız gözlemlerinin indirgenmesiyle çok meşgul olmak ve teorinin göstergelerinin çok kısa bir zamanda bir keşif şansı vermek için yeterince doğru olduğuna dair küçük bir şüphe” gözlemlerin tartışmasını ertelerek keşfi bildirme fırsatını kaybettiğini söyleyerek devam etmiştir. Bir ipucunu izlemeyi ihmal ettiğini ve onun ihmali yüzünden Neptün’ü keşfetme fırsatını Berlin’deki optikel saptamanın yararına kaybettiğini ileri sürmektedir.

Airy hem Adams’ın hem de Le Verrier’in ilk araştırmalarında Bode Kanunu’nun kullanılmasına atıfta bulunur. O şöyle diyor: “Çalışmalarını tanımladığım matematikçiler Bode’nin Mesafe Kanununu kabul etmezlerse yörüngenin öğelerine asla varamazlardı.” Bu neredeyse saçmadır. Karışıklık sorununun doğası, eğer bilinmeyen bir gezegeni hipotezi takip edilirse (Adams ve Le Verrier bu hipotezin savunulabilecek tek şey olduğuna sıkı bir biçimde inandırılmışlarsa) daha sonra ilk çözüm rahatsızlık verici gezegenin yörüngesel yarı eksenini için bazı seçilmiş değerinin varsayımına göre önceden gelmesidir. O dönemde, Bode kuralına güvenecek bir şeyler varmış ve her iki araştırmacının da bu temelle işe başlaması doğal gibi görünmektedir. Fakat her ikisi de bu kuralın bilinmeyen gezegene uygulanamaz olduğunu buldular ve esas aralığın ilk değerini mecburen azaltmak zorunda kaldılar. Neptün, kuralın hatasını kanıtladı. Bode’nin X”kural”ı ikna politikası asla kanıtlanmasaydı “deneme yanılma” yöntemi mutlaka Uranüs ötesi bir gezegenin varlığındaki kaderi yakalayacak kişi tarafından kabul edilmelidir, çünkü başka bir uygulanabilir yol yoktu.

Neptün’ün teorik keşfinin sadece Le Verrier’e mal etmek mümkün değildir. Gezegenin gözlemsel keşfini Galle’ye mal etmenin bilimde daha sonra çok yüksek mevkilere ulaşan D’Arrest’e yapılan bir adaletsizlik olduğu ise genellikle bilinmemektedir. Aslında, teorik ve optik keşif arasında dikkate değer paralellikler vardır. Yeni gezegenin

tespitinin bildirilmesinde Encke tüm başarıyı Berlin Rasathanesi'nde bir öğrenci olan D'Arrest'in payına atıfta bulunmaksızın Galle'ye verdi. Uzun yıllar Galle D'Arrest'le keşfi paylaştı. D'Arrest'in ölümünden sonra 1877'de Galle keşfin koşullarının dökümünü hazırladı. 1845'te, 1846 Eylül'üne kadar açıklanmayan kendi yazılarından birini Le Verrier'e gönderdi. Bu mektupla Le Verrier'in öne sürme fırsatını Galle'nin bilinmeyen gezegeni aramasıyla olduğu vardır. Bu mektup 23 Eylül'de Berlin'e varmış ve Galle araştırmaya gecikmeksizin girişme niyetini bildirdiğinde D'Arrest yardım etmeyi önermişti.yapılacak ilk şeyin Bremiker'in yıldız tablosu bitirilip bitirilmediğini bulmak olduğu önerisi D'arrest'indi. Encke'nin evindeki tablolar arasındaki bir araştırma başarıyı ortaya çıkardı. Orada onlar yeni bir tablo yapılıncaya kadar 1846'nın başına kadar oyulmuş ve dağıtımdan dönmüş tutulan ilişkili bir tablo buldular. Galle tabloyu gökyüzüyle karşılaştırdığında daha sonra nesnenin gezegensel karakterini oluşturan sekizinci büyüklükte bir yıldızın tabloda ve gözlemlerde kaydedilmediğini farkettiğini söylemektedir. Fakat D'Arrest'in yardımı Galle'nin yavaş tanınmasını tamamlamadı. Çünkü o gerçek gözsel keşifte ikincinin payını ihmal etti. Galle teleskoptaydı ve D'Arrest yıldız tablosunun yerleştirildiği bir masada oturuyordu. Galle, D'Arrest'in tabloda kontrol ettiği görüş alanındaki yıldız düzenlerini tanımladı. Sonra Galle sekizinci büyüklükte bir yıldızın konumunu tanımladı. D'arrest hemen yanıtladı: "Bu yıldız haritada yok." Neptün'ün gözsel keşfi D'Arrest'in isminin Galle'nin ismiyle sıkı bir biçimde bağlantılandırılması gerektiği ortak bir keşiftir.

Eğer yıldız tablosu oyulduktan hemen sonra dağıtılsaydı. Challis'in emekleri düşürülecek ve Cambridge'deki keşif neredeyse kesin olacağından hiçbir şüphe olamaz. Challis Bremiker'in yıldız tablosunun potansiyel değerinin farkındaydı, çünkü 1846 Temmuz'unda Üniversite Kütüphanesi'ne onu araştırmaya gittiğinde bulduğu tek şey onun henüz alınmadığıydı. Tüm önemli tabloların onların gelecekteki arkadaşlığı beklenmeksizin

Kasım 1846'da dağıtıldığını öğrenmek onun ve Adams için boşa ümit verici olmalıydı.

Neptün'ün yörüngesinin ilk belirlenmesi (en azından kısmen) Challis'in 4 ve 12 Ağustos'taki gözlemlerini kullanarak Adams tarafından yapıldı. Neptün önceki bir dönemde bir yıldız olarak gözlenmesini tespit etmesini Adams'a bu elde edilen yörüngeyi kullanma gereği eklenmelidir. Bu hazırlık araştırmasındaki şaşırtıcı sonuç, gezegenin güneşten uzaklığını Adams ve Le Verrier'in çözümlerinde bulduğundan çok daha küçük hesaplamıştır. Airy yörüngeyi belirlemedi çabaların nafi olduğunu düşünüyordu. 1847 Şubat 1'de Adams'a yazısında şöyle diyor: "Gözlemlerden size en küçük bir hizmet sağlayacak doğrulukta Yeni Gezegenin Güneşten uzaklığını elde edebileceğinize inanamıyorum. İlk görünüştekiyle keşilen sonraki görünümün başlangıçtaki tek gözlemi ona büyük bir doğruluk verecektir. Ve bu elde edilene kadar çok sayıda hesaplamayla saatler harcamayacağım. Fakat elbette onlar için her şeyi hazırlarım." Airy böyle bir fikri vurgulayarak yörüngenin öğelerini belirlemedi olasılıkların yükselmesine ve Uranüs örneğinde çok verimli olarak çalışan "eski" gözlem araştırmasını bunun için kullanmada yetersizlik gösterdi. Bununla birlikte, Adams Neptün'ün keşişme noktasına ulaşmasından sadece bir ay önce 15 Ocak 1847'ye kadar Challis'in gezegen gözlemlerinden ulaştığı daha ileri bir yörünge belirlemeden caydırılmadı. Bu gözlemler meridyen araçlarıyla belirlenmiş 28 pozisyon ve Northlamberland teleskobuyla belirlenmiş 25 pozisyon verdi. Benzer yörüngesel hesaplamalar Galle ve Binet tarafından da yapıldı. Bütün bu araştırmalarda şu eklenmelidir ki: Gözlemlerin menzili yörüngesel dış merkezliliğin belirlenmesi için yetersizdi. Bununla birlikte Neptün için yaklaşık bir gelip geçici yörünge tamamlanırken, Neptün'ün "eski" bir gözlemini keşfinin yalnızca şans olduğu Lalonde'nin kataloğu çalışmasında Washington'da Walker ve Altono'da Petersen tarafından bağımsız bir biçimde sonuçlandırıldı. Neptün'ün hesaplanmış yörüngesini kapsayan Lalonde'nin kataloğundaki bir bölge tablosu inşa ederek Petersen gökyüzünde şimdi kayıp

olan ve bir gezegen olduğuna inanılan, Lalonde tarafından 10 Mayıs 1795'te gözlemlenen özel "bir yıldız" olduğunu keşfetti. Birkaç hafta önce, Walker şüpheli kuşakta Bessel tarafından yapılan karşılaştırmalı olarak güncel gözlemler yoluyla Lalonde'nin katalogunu karşılaştırarak benzer bir sonuca ulaştı. Fakat Lalonde'nin şüpheli olacak bu özel yıldızın gözlemini belirttiği konusundaki argümanda zayıf bir nokta vardır. Binlerce yıldız arasında Neptün'le tanımlanabilecek tek yıldızın Lalonde'nin gözlemlerinin belirsizliği nedeniyle atılabileceği kaderin bir cilvesi olarak görünmektedir. Fakat Lalonde'nin Paris Rasathanesi'nde şanslı bir biçimde korunan kopyalarına atfen 10 Mayıs'taki gözlemin hiçbir "şüphe" işareti taşımadığı gerçeği ortaya çıkmaktaydı. Dahası, Lalonde'nin 8 Mayıs'ta ona yıldız gibi görünen şeyi gözlemlediği ve 10 Mayıs'taki gözlemi lehine bunu derleme çalışmasında bastırıldığı bulunmuştur. Dahası, tutarsızlıklar gezegenin iki gündeki hesaplanmış hareketlerine göre kesin olarak kolaylıkla görülmektedir. Astronomların, ilk başta şüpheli bir karakter görünen şey yerine iki güvenilir "eski" Neptün gözlemleriyle donatıldığından hiçbir şüphe olamaz. Lalonde'nin bu iki "eski" gözlemiyle ve Neptün'ün keşfinden sonra saklanan yüzlercesiyle Walker yörüngesi hesaplandı. Sonuçlar Adams ve Le Verrier'in keşif öncesi araştırmaları sonucunda ulaştıkları öğelerle karşılaştırıldığında şaşırtıcı görünmektedir. Aşağıdaki Tablo bu karşılaştırma'nın temel detaylarını vermektedir.

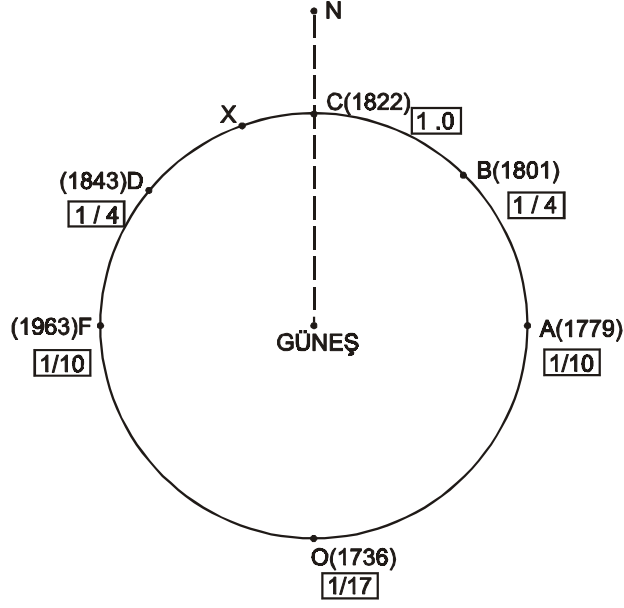
TABLO V

	Adams	Le Verrier	Walker
Perihel boylam	299° 11'	284° 45'	48° 21'
Yarı-büyük eksen	37.25	36.15	30.04
Yörünge dönemi (Yıl)	227.3	217.4	164.6
Dış merkezlik	0.1206	0.1076	0.0086
Kütle (Güneş kütlesi bazdır)	1/6666	1/9300	1/15000
Doğru boylam	329° 57'	326° 32'	327° 34'

Öncelikle bu tablodaki girdiler hakkında bir iki belirtme yapalım. Birincisi, yarı büyük

eksenin temizlenmiş değerleri Walker'de Neptün'ün yörüngesinin araştırmasından çıkarılmışken Adams ve Le Verrier tarafından varsayıldığı hatırlanmalıdır. Walker'in Neptün'ün kütle değeri gezegenin kendisinin Berlin'de bulunmasından kısa bir süre sonra Lassell tarafından Neptün'ün tek uydusu Triton'un keşfini takip etti. Neptün'ün kütlelerinin modern değeri yaklaşık 1/19.000'dir. Bu nedenle ters uyumsuzluk sorununun çözümlerinde Adams ve Le Verrier tarafından elde edilen değerler ve doğru değer arasındaki uyumsuzluk tablodan gösterilenden daha büyüktür. Adams ve Le Verrier'in yörüngeleri ve doğru yörünge arasındaki tutarsızlıklar Neptün gezegeni geometrik analizi teleskopa yönlendirilen bir gezegen değildir. Yörünge rahatsızlıkların kaynağı için araştırma yapan geometriciler tarafından keşfedilen uzayın sınırları içinde kapsamamıştır; ve Berlin'de onun keşfi mutluluk verici bir kaza olarak kabul edilmelidir. Harvard'lı Profesör Benjamin Pierce'a açıklamasını yaptırdı.

“Neptün'ün keşfi mutlu bir kaza mıydı?” Yanıt kesin olarak “hayır.” Argümanları aşağıdaki gibi hem bir biçimde gösterebiliriz. Uranüs ve Neptün'ün yörüngelerinin bilinen öğelerinden güneşin ve iki gezegenin yaklaşık göreceli duruşlarını şekildeki gibi sunabiliriz. Yerleri şekilde N ve C ile gösterilen Neptün ve Uranüs'ün en yakın olduğu zamanın 1822 olduğu bulundu. Uranüs'e göre Neptün'ün takvimsel dönemi 172 yıldır. Bu nedenle Neptün ve Uranüs'ün en uzak olduğu dönem 1736'ydı (Oven) Flansleed'in gezegeni ilk gözlem yılına yaklaşık olarak Uranüs'ün yaklaşık keşif yılına göre A ve F'de iki gezegenin güneşi merkez alma boylamındaki sayısal fark 180° dir. Uranüs'ün “eski” gözlemleri FOA yarı dairesinde temel olarak içerilmiştir.



Şimdi Neptün ve Uranüs'ün çekimi iki gezegenin kütlesi ve onların arasındaki mesafeye bağlıdır. Uranüs bir birim olarak C'de iken, A ve F için çekim $1/10$, O'da $1/17$, B ve D'de yaklaşık $1/4$ 'dir. 1693 ve 1779 arasında Neptün ve Uranüs'ün karışıklığının 1779 ve 1843 arasındaki rahatsızlıkla küçük bir karşılaştırması yapılması açıktır. Eğer 1663 ve 1779 arasındaki etkileri ihmal edersek “eski” gözlemler Uranüs'ün yörüngesinin temelde doğru öğelerini sağlamalıydı. Bouvard'ın bu gözlemleri Neptün'ün çekiminin Uranüs'ün konumu üzerinde makul etkiler ürettiği “modern” olanlar (kadranda ABC) lehine ihmal ettiğini görüyoruz. BCD dışındaki yörüngenin tüm parçalarında Neptün'ün etkisini ihmal ederek problemi daha basit hale getirebiliriz. Yayıdaki X konumuna mukabil Uranüs'ün boylamdaki düzensizlikler Neptün'ün kütlesine, iki gezegen arasındaki uzaklığa ve onların güneşi merkez olarak farklılığına bağlıdır. Diğer bir deyişle, gerçek değerden tamamen farklı olmayan bilinmeyen gezegenin yörüngesinin büyük yarıçapının herhangi bir değer varsayımı 1801 ve 1843 arasında doğru değerlerin birkaç derece içinde olan böylece bilinmeyen gezegenin teleskopik saptaması için yeterli bilgi sağlayan Neptün'ün güneş merkezli boylamının değerine yol açmıştır. Neptün'ün gerçek boylamlarıyla birlikte Adams ve Le Verrier'in teorisinden türeyen değerleri veren aşağıdaki tablo bu noktayı gösterir.

	Neptün	Adams	Le Verrier
1800	226.1	238.1	231.6
1810	247.3	256.6	251.2
1820	268.9	276.1	271.5
1830	290.5	295.9	292.1
1840	312.3	316.2	312.6
1850	334.2	335.8	332.4
1860	356.2	354.6	351.3

Neptün'ün keşfinde bir "kaza" ögesi varsa bu gezegenin "Uranüs'e en yakın olduğu zamanın 1822 olmasından kaynaklanmaktadır. Keşif yılında Uranüs A'da olacağına F'de olsaydı, Neptün tarafından Uranüs üzerindeki etki müteakip yüzyıl boyunca miktar olarak ihmal edilebilir olacaktı ve bu dönem boyunca Uranüs' gözlemleri onun yörüngesinin öğelerini doğru yorumlamalarına yol açacaktı. Öngörülen yolundan Uranüs'ün sapmasının şüpheli hale gelmesi yalnızca geçtiğimiz yüzyılın sonuna doğru olacaktı. Bu varsayımda matematiksel işlemlerle Neptün'ün keşfi (eğer aynı zamanda gezegen teleskopik keşiften kaçmada başarılı olsaydı) bu yüzyılın başına ertelenebilirdi.

Neptün'ün keşfini hemen takip eden yıllarda Adams'ın kendisi güneşsel ve gezegensel teorilerin önde gelen savunucusu oldu. Sonraki yıllarda göksel mekaniğin temel ilkeleri üzerine en önde gelen kıta astronomlarının çoğu, Challis ve Airy ile uyuşmazlığa girdi bundan zaferle çıktı. Argümanı ne içerirse içersin Airy sonuçta, Adams'ı yerçekim teorisinin zirvesinde kabul ettiğini itiraf etti.

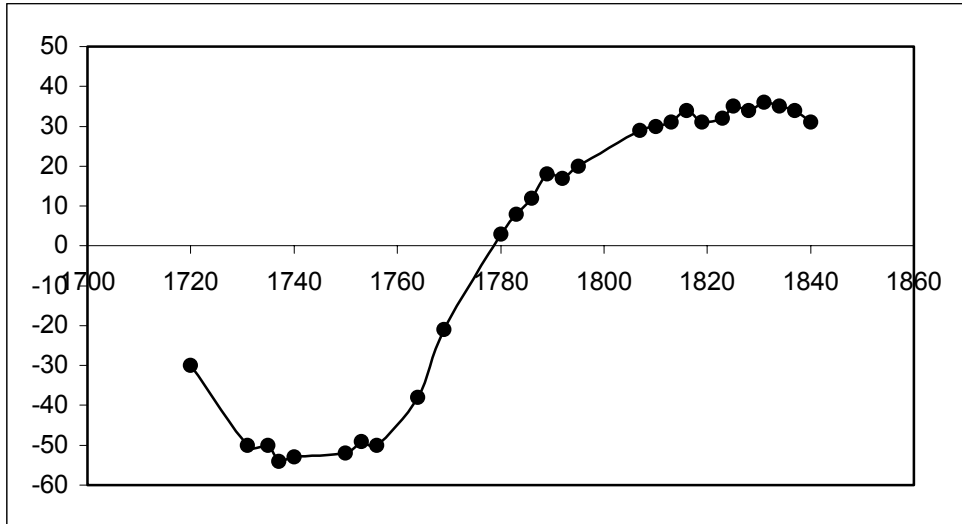
Adams, D'Arrest'e 1875'te ve Le Verrier'e 1876'da Altın Madalya'yı önerdiğinde 1874-76 yıllarında Topluluğun Başkanı olarak ikinci dönemindeydi. Bu Le Verrier'e topluluğun üstünlük simgesinin ikinci verililişiydi. İlki 1868'de verildi. Neptün olayından sonra Adams ve Le Verrier iyi arkadaşlar oldular. Adams'ın yaradılışında kıskançlıktan hiçbir eser yoktu, yalnızca Fransız meslektaşının büyük hediyeler ve başarıları için hayranlık duyuyordu.

Adams'ın bir arkadaşı daha sonra şöyle yazdı: “Profesör Adams ve Le Verrier arasındaki ilk tanışmasının bir tanığı olduğumu ve samimi bir el sıkışmada büyülediğimi hatırlıyorum.” Benzer bir tanıklık Adams'ın ölümünden sonra Pritchard'a (Oxford'da Savilion Profesör) yazdığı bir mektupta Kingsley tarafından verilmiştir: “Hayatımda geriye baktığımda en mutlu şeylerden biri, birbirine hayranlık duyan ve kıskançlıktan uzak olan Adams ve Le Verrier'le yaptığım yürüyüşür.”

UYGULAMA

Uranüs'ün Boylam Farklarının Güneş Merkezi Boylama Göre Değişimi

Yıl	Boylam Farkları (Δ)	Boylam (λ)
1720	-30"	196°
1731	-50"	244°
1735	-50"	261°
1737	-54"	270°
1740	-53"	283°
1750	-52"	326°
1753	-49"	339°
1756	-50"	352°
1764	-38"	26°
1769	-21"	48°
1780	+3"	96°
1783	+8"	109°
1786	+12"	121°
1789	+18"	134°
1792	+17"	146°
1795	+20"	159°
1807	+29"	209°
1810	+30"	222°
1813	+31"	235°
1816	+34"	248°
1819	+31"	261°
1823	+32"	278°
1825	+35"	287°
1828	+34"	300°
1831	+36"	313°
1834	+35"	326°
1837	+34"	339°
1840	+31"	352°



Boylam farklarına karşılık gelen zaman grafiğinde, oluşan eğride eğimin işaret değiştirdiği dönüm noktalarına karşılık gelen t_1 ve t_2 anlarını belirlersek, Uranüs'ten görünen Neptün'ün sinodik periyodunu (S) bulabiliriz.

$$S = 2*(t_2 - t_1)$$

Bu durumda Neptün'ün sideral yılı (P_n) bulunabilir.

$$P_n = (S + P_u)/(S - P_u)$$

P_u : Uranüs'ün yıldızlı periyodu olup 84,02 yıldır.

Kepler Kasasından da Neptün Güneş arasındaki uzaklık olan A_n değeri bulunur.

$$a_n^3 = P_n^2$$

Formülünden hesaplanır.

Neptün'ün Güneş merkezli ortalama açısal hızı (W_n)

$$W_n = 360^\circ / P_n$$

Formülünden bulunduktan sonra Neptün'ün herhangi bir t anındaki Güneş merkezli boylamı

$$\lambda_t = \lambda_0 + W_n (t - t_0) \text{ dan bulunur.}$$

λ_0 : Boylam farklarının sıfır olduğu zamana karşılık gelen zamanı göstermektedir.

Böylece sadece Uranüs'ün boylam farklarının zamana göre değişiminden Neptün gezegeninin temel parametrelerine ulaşabiliriz

SONUÇ

Sonuç olarak Neptün gezegeninin keşfi asla tesadüfi bir sonuç değildir. Bu keşif gerçektende Newton mekaniğinin çok büyük bir başarısıdır. Le Verrier ve Adams matematik dehaları olarak astronomi tarihinde yerlerini fazlasıyla hak etmişlerdir. Yıllar süren teorik çalışmalarla Uranüs'ün ötesinde bir gezegenin varlığını ispatlamaya çalışan bu iki bilim adamı Uranüs'ün teorik ve gözlemsel boylam farklarından yararlanarak Neptün gezegeninin varlığını birbirlerinden habersiz bir şekilde matematiksel olarak ispatlamışlardır. Böyle büyük bir başarının paylaşılması ilk önce bazı gerginlikler yaratsa da kendilerini bilime adanmış olan Le Verrier ve Adams daha ilk görüşmelerinde birbirlerine ısınmışlardır. Bu iki bilim adamı tüm spekülasyonları bir kenara iterek aralarında sıcak bir dostluk kurmuşlardır.

Bu iki bilim adamının yılmadan, usanmadan sürdürdükleri çalışmalar ve elde ettikleri bu sonuç asla hor görülemez. Le Verrier ve Adams tüm astronomi tarihi içinde hayranlık ve saygıyla anılmayı hak etmişlerdir.

KAYNAKLAR

SMART W. M. , 1947

“JOHN COUCH ADAMS AND THE DISCOVERY OF NEPTUNE”

R. A. S. Press.

CULVER R. B. , 1973, “An Introduction to Experiment of Astronomy”

F.Press