

AYLIK POPÜLER BİLİM DERGİSİ

BİLİM ve TEKNİK



YENİ UFUKLAR

TÜRKİYE'DE GÖKBİLİM VE TUG 2

TELESKOPLAR, DETEKTÖRLER VE YÜKSEK ENERJİ ASTROFİZİĞİ

ŞUBAT 2004 SAYISININ ÜCRETSİZ EKİDİR

HAZIRLAYAN : Prof. Dr. Ali ALPAR - Prof. Dr. Zeynel TUNCA
TUG



TUG'UN KU VE RTT 150 TELESKO SERÜ

ye katılmakla ilk kez bir uluslararası bilimsel gözlem işbirliğine girmiş oluyordu. 1990'lar boyunca Rusya'nın yaşadığı kriz ve imkânsızlıklar yüzünden bu proje ne yazık ki, bugüne kadar gerçekleşmedi. Ancak bu projenin bir yan ürünü olarak gelen bir teklif, Ulusal Gözlemevine 1,5m'lik teleskopun getirilmesine yol açtı.

Bu sıralarda tüm Türk astronomlarının katıldığı, 20 yıl kadar süren bir arama, gözlem ve değerlendirme süreci sonunda Bakırlitepe, Ulusal Gözlemevi yeri olarak seçilmiş, ancak 1980'lerin sonunda ve 1990 yılında TÜBİTAK yönetimi Gözlemevi yapılması yönünde adım atmamıştı. Geçen ay Yeni Ufuklara'da aktarıldığı gibi, Türk Astronomi Derneği çevresinde astronomlar Ulusal Gözlemevi konusunu izlemeyi sürdürdüler. 1991'de işbaşına gelen yeni TÜBİTAK yönetimi Türk Astronomi Derneği'nden alınan bir kuruluş projesiyle DPT'den destek aldı. 1992'de yürürlüğe giren Prof. Zeki Aslan başkanlığındaki Ulusal Gözlemevi Kurulması Projesi 1m'lik bir teleskop da dahil olmak üzere 1.750.000 dolarlık bir bütçeyle DPT den onay almış, Bakırlitepe'de gözlemevi için arazi tahsisı yönünde ilk hazırlık çalışmalarına başlamıştı.

1993 Ocak ayında Hakkı Ögelman'la birlikte Moskova'ya yaptığımız ziyarette Raşid Sunyaev, Kazan Devlet Üniversitesi'nin Engelgardt Gözlemevi'ne ait bir teleskopun Türkiye'ye gönderilerek ortak kullanılması teklifini getirdi. teleskopun sahibi olan Kazan Devlet Üniversitesi'nden Prof. Nail Sakhibullin bizimle bu teklifi konuşmak üzere Moskova'ya geldi. Altyapı ve teleskop binaları, Türkiye'nin, teleskop da Rusya'nın katkısı olacak ve gözlem zamanı yüzde 40 Türk, yüzde 60 Rus tarafınca kullanılacaktı. Bu teleskop eski Sovyetler Birliği'nin en büyük teleskop yapımcısı LOMO firmasına sipariş edilmiş, bir zaman önce teleskopun yapımı bitmiş fakat Kazan Üniversitesi'nin teleskop için gözlemevi yapacağı imkanları olmadığından teslim alınamamıştı. Rus ve Tatar meslektaşlarımız, Türk astronomlarının yer seçimi sonucunda belirlemiş oldukları çok iyi bir gözlem yeri olduğunu biliyorlardı ve Türkiye'nin gözlemevi altyapısını kullanması halinde Rus tarafının yüzde 60 zaman kullanımı karşılığında bu teleskopun ülke dışına çıkarılması mümkün olabilecekti. Hakkı Ögelman ile birlikte bu teklife önemli bir fırsat olarak baktık. Toplantı notları olarak kayda alınan bu teklifi dönüşümüzde Ankara'da TÜBİTAK Başkanlığına ilettik. TÜBİTAK bu fırsatı değerlendirdi. Bindiği gibi, teleskop maliyeti ayna çapının kübüyle orantılıdır, 1,5 metre çapında bir teleskop sipariş edilse 1,5-2 milyon dolar kadar fiyatı olacak ve

Türkiye'de astronomi çalışmalarının ve bir Ulusal Gözlemevi'nin kurulmasının hikâyesi geçen ayın Yeni Ufuklara konusuydu, bu ay da devam ediliyor. Bu yazıda 1992 den itibaren, benim TÜBİTAK Bilim Kurulu üyesi olduğum 1993-1997 döneminde Gözlemevi'nin kuruluş aşaması ve teleskopların getirilmesiyle ilgili gelişmelere değineceğim.

Türkiye'nin ilk büyük teleskopu olan 1,5 metre ayna çaplı Rus-Türk teleskopunun ülkemize gelmesi ve bu olanak etrafında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin kurulmasında, önce yüksek enerji astrofizikinde ortaya çıkan bir uluslararası işbirliği belirleyici oldu. Gözlemevinin kuruluş aşamasında teleskoplarla ilgili teknik işler çetin sorunlar getirdi. Yer seçimi aşamasında olduğu gibi, bu sefer de astronomi camiasından TUG'da görevli olan ve olmayan birçok arkadaş, sorunların çözümüne destek verdiler. Geçen ayın ve bu ayın Yeni Ufuklara ekleri, gökbilimcilerimizin Ulusal Gözlemevi etrafında gerçekleştirdikleri gelişmeleri bilime hevesli gençlerimize önemli bir başarı ve güven öyküsü olarak aktarmaya fırsat verdi. Gelişmelerin hatırlanması, ileride TUG arşivine bir anı ve bilgi çekirdeği katmak ve umuyorum başka anıları da davet

etmek açısından önemlidir.

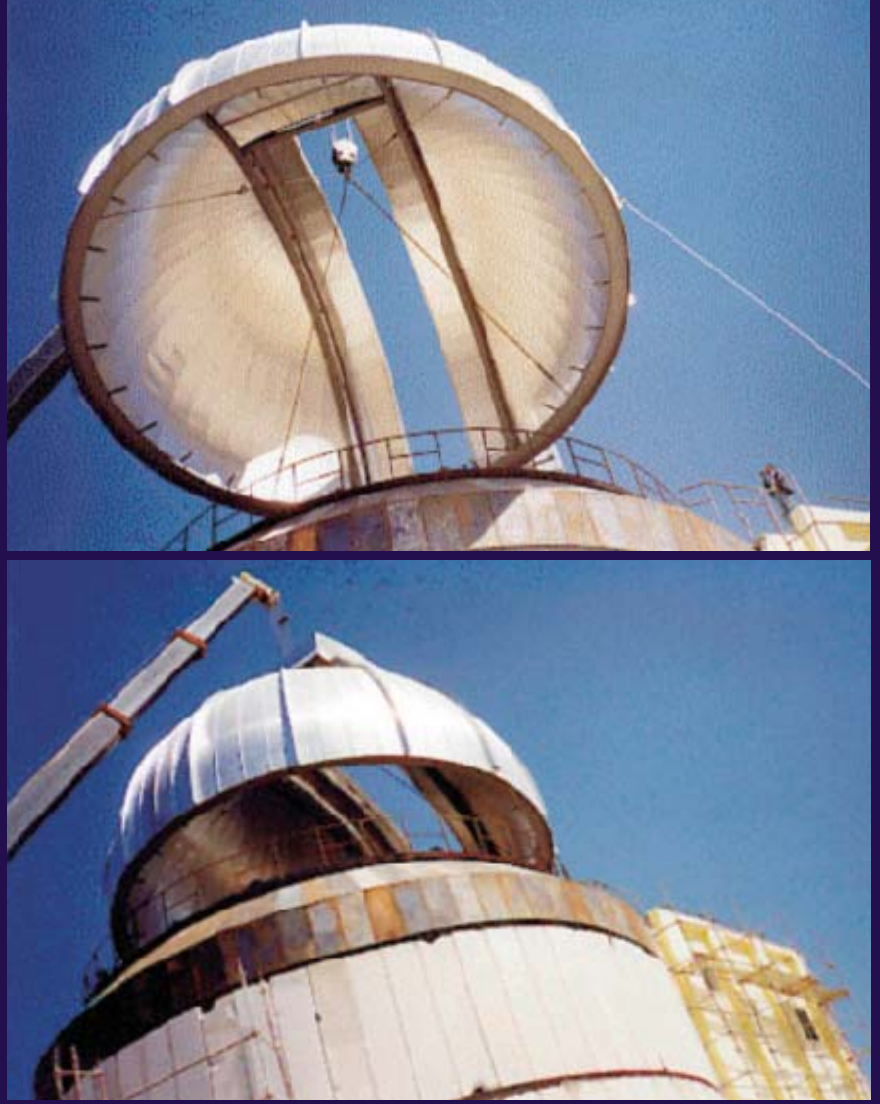
1992 yılı sonlarında dünyanın önde gelen astrofizikçilerinden Rus Bilimler Akademisi üyesi ve Moskova'daki Uzun Araştırmaları Enstitüsü Yüksek Enerji Astrofizik Grubunun yöneticisi Prof. Raşid Sunyaev, Prof. Hakkı Ögelman ve benimle temas kurdu. Prof. Sunyaev her ikimizi yayınlarımızdan biliyordu, Hakkı Ögelman ile şahsen de tanışmıştı. Bizlere o sıralarda Rusya önderliğinde hazırlanan uluslararası Spektrum X-Gama uydusu girişimine Türkiye'nin de katılması teklifini getirdi. Önemli bir bilimsel fırsat olarak gördüğümüz bu teklifi o zamanki yeni TÜBİTAK Başkanı Tosun Terzioğlu'na ilettik. Prof. Sunyaev sonraki aylarda Türkiye'ye geldiğinde o zamanki Başbakan yardımcısı Prof. Erdal İnönü ile görüşme fırsatı buldu. Başbakan yardımcısı Sayın İnönü'nün ve Başbakan Sayın Demirel'in kısa zaman içinde verdikleri onay ve destekle TÜBİTAK Spektrum X-Gama işbirliğine katıldı. Rusya önderliğinde Avrupalı ve ABD'li grupların hazırladığı Spektrum X-Gama uydusu, eksantrik bir yörüngeye oturtulacak ve bir kaynaktan gelen X ışınları, morötesi ve gama ışınlarının aynı anda gözlenmesiyle çok geniş spektrumlu gözlem olanakları sağlayacaktı. Türkiye bu proje

URULMASI RUS-TÜRK PUNUN VENİ

belli bir süre de beklemek gerekecekti. Hazır bir teleskopun gelmesi, Gözlemevi'nin yapımına hemen başlamak için bir gerekçe oldu. Böylece Raşid Sunyaev'in yaptığı teklifle Ruslarla yüksek enerji astrofizikinde girilen işbirliğinin bir yan ürünü olarak gelen 1,5 metrelik teleskop, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin kurulmasını çabuklaştıran bir katalizör işlevi gördü. O zamanki hükümetin de benimsediği bu politikayla bir sonraki yıldan itibaren TÜBİTAK bütçesine gözlemevi yapımı için para kondu ve süratle inşaat tamamlanarak 1997 yılında TUG açıldı. Bu süreç içerisinde Ulusal Gözlemevi, bir TÜBİTAK Enstitüsü olarak kuruldu.

TUG'un fiilen kurulması, binaların tasarımı ve inşası, yolun yapılması, teleskopların getirilmesi, kubbelerin montajı- bunların hepsinde birçok teknik ve bürokratik zorlukla karşılaşıldı. Gözlemevi yerseçiminde olduğu gibi, bu aşamada da astronom ve astrofizikçiler bu problemlerin çözümüne omuz verdiler. Bu sefer hem az sayıda insandan oluşan bir TUG yönetici kadrosu, hem de TÜBİTAK yönetiminin ve Bilim Kurulunun sürekli desteği vardı. (Bilim Kurulunda TUG ile özellikle ilgilenen diğer üye, astronom kökenli Doç. Dr. Güner Omay'dı). TUG Müdürü Prof. Zeki Aslan ve o zamanki TUG Müdür Yardımcısı Çukurova Üniversitesinden Prof. İlhami Yeğingil ile, o dönemlerde TUG'un Teknik Komisyonunda görev alan ODTÜ'den Prof. Ümit Kızıloğlu ve Dr. Akif Esendemir, Ankara Üniversitesinden Dr. Selim Selam ve Ege Üniversitesinden Dr. Varol Keskin birçok sorunu izlediler, çözüm ürettiler. Yapılan işlere çeşitli safhalarda başka astronomlardan da destek geldi.

İlk önce Utrecht Üniversitesi'nce verilen 40 cm'lik teleskopun hikâyesi var. Bu teleskop İsviçre'de Alplerin tepesinde bir küçük köydeydi. Oradan sökülmesi, dağdan aşağıya yükleme ve nakliye problemleri, Zürih havaalanındaki işlemler, Türkiye'ye uçakla gelen teleskopun Bakırtepe'ye nakli işlerinin tümünü tek başına İsviçre'ye gidip gerçekleştiren ODTÜ'den Dr. Akif Esendemir oldu. Bu arada 40 cm'lik teleskopun kubbesi, Amerika'dan Ashdome firmasından sipariş edilmiş, Ege Üniversitesinden Prof. Zeynel Tunca ve Varol Keskin, İstanbul Üniversitesinden Dr. Tuncay Özişik, Ankara Üniversitesinden Selim Selam bu kubbenin montaj aşamasını tamamlamışlardı. 1.5 m'lik teleskopun ve TUG servis binasının tasarımı sırasında Teknik Komisyon mimar Erkan Şahmalı ile birlikte çalışarak, astronomi gözlemlerinin özel gereksinimi ve pasif ısınma sisteminin geliştirilmesi yönünde ihtiyaçları belirledi, tasarıma yol gösterdi, inşaat çalışmalarını izledi. Teleskopun LOMO



St. Petersburg'dan alınıp, 4 TIR içinde tüm Rusya'yı ve karmaşık bürokratik formaliteleri aşarak Karadeniz'deki Novorossisk limanından Ro-Ro gemiye yüklenmesi sürecini Kazan Üniversitesinden meslektaşımız Dr. İlfan Bikmaev yönlendirdi. Selim Selam ve Birol Gürol (Ankara Üniversitesi) TIR'ları Samsun limanında teslim aldılar. Gümrükleme işlemi Ankara'da yapıldı. Teleskop parçaları bir sene kadar Akdeniz Üniversitesinde depolandı. Bu sırada Bakırtepe'ye yol yapımı tamamlandı. Bu kadar ağır yükleri teleskop binasının içine yerleştirecek vinç ve operatör arandı, ilk deneyen firma başarılı olmayınca bir başka vinç bulundu, Bakırtepe'ye çıkan yolun bazı virajları genişletildi, birçok zorlukla teleskopun en ağırlı 16,5 tonluk kade olmak üzere toplam 60 ton tutan parçaları binanın kubbesi henüz konmamış tepesinde hazırlanan yere birkaç santimlik hata içinde oturtuldu. Bu arada 1,5 m'lik teleskop için kubbe ABD'de Observadome firmasına ısmarlanmış, kubbe gemiyle İzmir'e, sonra TIRla Antalya'ya getirilmiş, Akdeniz Üniversitesi kampüsünde bir süre bekledikten sonra parçalar Bakırtepe'ye taşınıp, orada 1.5 m teleskop binasının dışında yerde monte edilmişti. Observadome firmasının Amerika'dan gelen iki teknisyeniyle birlikte TUG teknisyenleri Davut Yıldız ve Ferhat Durak, Akdeniz Üniversitesi'nden Serdar Özer ve komisyondan Selim Selam hızla ça-

lışarak 20 gün içinde montajı bitirdiler. Vinçle kubbenin kaldırılması, astronom ve teknisyenlerin imeceli ekibiyle kubbenin iplerle yönlendirilmesi ve yavaş yavaş binanın tepesine teleskopun üstüne oturtulması gerçekten heyecanlı ve sevinçli bir süreçti. Paraşüt gibi havada asılı duran kubbenin resimlerini çekerken yarım saat kadar süren bu sürecin sanki bütün gözlemevi macerasının bir kısası, sembolik özeti olduğunu düşündüm. Bu arada rüzgârın azizliğiyle kubbe vince çarptı; alüminyum parçada oluşan bombe neyse ki daha sonra düzeltildi. Yuvasına oturtulan kubbenin elektrik bağlantıları, rayların motorların ayarı bir süre sonra yenisinden gelen Amerikalılarla birlikte tamamlandı.

Bütün zorluklara, zaman zaman insanlar arasında doğal olarak başgösteren anlaşmazlıklara karşın, teknik işlerin herbirine yetkin insanların omuz vermesi, bilim yapmak, gözlem yapmak heyecanıyla süren girişim, yer arama çalışmalarından kuruluş ve işleyişe kadar Türkiye'deki astronomi camiasının ortak bir başarısı oldu. Teleskopun odak düzlemine konan ve konacak CCD, spektrometre gibi aletlerin seçimi, geliştirilmesi sürecinde büyük ölçüde yol alındı ve süreç devam ediyor.

M. Ali Alpar
Sabancı Üniversitesi
Türkiye Bilimler Akademisi

YILDIZ IŞIĞINI ALGILAMAK

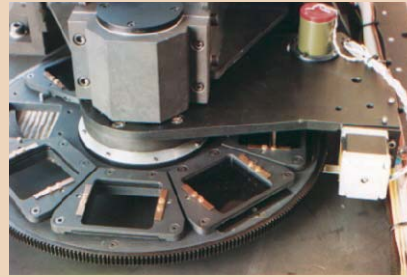
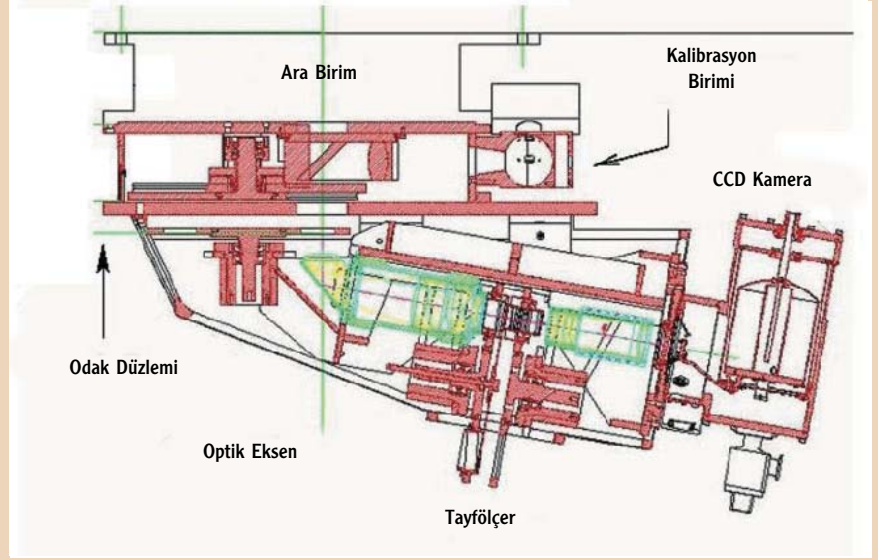
Astronomi ve astrofizikte belirli bir yere gelmenin ve gelişimin en önemli koşullarından biri duyarlı gözlemlerin yapılabilmesidir. İyi gözlem hem yeni buluntulara hem de bilinenleri çok daha derinlemesine incelemeye imkan vermektedir.

Teknolojinin gelişmesi, daha önceleri ancak görsel kanallarda ulaşılan nesnelerin/bölgelerin elektromanyetik tayfın diğer kısımlarında nasıl davrandığını izleme imkanı yarattı. Ancak bu kanalların gözlenebilmesi ve ekniklerin kullanılabilmesi için belirli koşulların yerine getirilmesi, özel düzeneklerin kullanılması gerekir. Örneğin, yüksek enerji bandında (x, gama ışın astronomisi) atmosfer dışına çıkmak, yani uydular, çok düşük enerji bandı (radyo astronomi) içinse özel antenler gerekir. Çok yüksek enerjilerse, ancak yer kabuğunun derinlerinde ya da denizlerin altında büyük hacimlerde (nötrino astronomisi) ya da üstünde büyük (1-10 km²) alanlara yayılmış algılayıcılarla (kozmik parçacıklar) ulaşılan araştırma konularıdır.

Bütün bunların yanı sıra görsel kanallarda yapılan gözlemler, gelişen teknolojiyle güncelliğini korumaktadır. Geleneksel yöntemde teleskop odak düzlemine konulmuş olan fotometreyle incelenmek istenen nesnede olan ışık değişimleri çeşitli görsel dalga boyu aralıklarında incelenir. Yine aynı şekilde odak düzlemine yerleştirilmiş olan tayfölcü yardımıyla incelenen nesne/bölgenin tayfı alınır. Odak düzlemine yerleştirilen fotoğraf plakları kullanılarak sönük nesnelerin görüntüleri alınır. Elde edilen verilerin indirgenmesi ve sonuca ulaşma, uzun zaman alır. Gelişen teknolojiyle beraber elektronik görüntü ön plana çıktı. Bu teknolojiye CCD (yük bağlamalı algılayıcı) kullanılarak incelenmek istenen bölge ve nesnelerin yine çeşitli dalga boylarında görüntüleri ayrıntılı bir şekilde alınabiliyor. Teleskop ayırma gücüyle orantılı olarak gerek konum, gerek parlaklık gerekse yaygın nesneler çok daha duyarlı gözlenebiliyor.

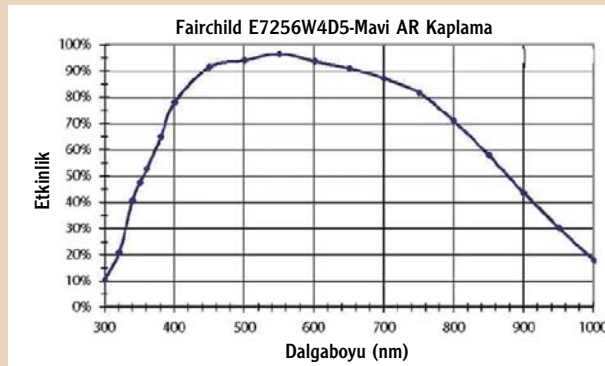
TUG 1,5 mlik teleskopu (RTT150) için, benzer teknolojileri kullanan TFOSC (TUG Sönük Nesne Tayfölcü ve Kamera) 2004 bahar aylarında çalışmaya başlayacak. TFOSC, görüntüleme ve çeşitli çözünürlükte tayf alabilme özelliklerine sahip. Sistemin temel parçaları, kalibrasyon birimi, tayfölcü ve kamera olarak özetlenebilir. Tasarım olarak "Odak İndirgeme Çarpanlı" olan sistem RTT150 teleskopu f/7,7 odağına göre tasarlanmıştır. İndirgeme oranı 0,58 olduğundan etkin görüntü alanı genişliği 13,6 yay dakikasıdır. 1,5-2 m sınıfı teleskoplar için ideal olan sistem CUO (Kopenhag Üniversitesi Gözlemevi) tarafından yapılan FOSC serisi sistemlerin onuncusudur. Optik tasarım FISBA, İsviçre; optik ağırlarsa Richardson Grating Lab., ABD tarafından yapılmıştır.

Çok amaçlı olan sistemle geniş alanda çeşitli filtreler kullanılarak görüntü alınabilir. Gerek tek nesne gerekse görüntü alanındaki bir çok nesnenin tayfı aynı anda (Çok Nesneli Tayf) olmak üzere, değişik dalgaboyu ayırma gücü kullanarak tayf çalışılabilir. Tayfölcü düzeninde odak düz-



mine yerleşmiş olan açıklık tekerleği yardımıyla 0,8-20 yay saniyesi genişlikte giriş açıklığı o anki görüş durumu ve yapılması düşünülen gözlem çeşidine göre seçilir. İstenilen ayırma gücü ve bakılması düşünülen dalga boyu aralığı yine optik yol üzerinde olan 2 adet tekerlek üzerinde yer alan çeşitli optik ağırlar (grizm) yardımıyla seçilerek poz süresi ayarlanır ve tayf CCD kamera üzerine kaydedilir. Görüntü çalışması düzenindeyse bu tekerleklerin açık olan konumları kullanılır. Her iki çalışma durumunda çalışılacak dalga boyu bölgesi filtre tekerlekleri üzerine yerleştirilmiş olan filtrelerle seçilebilir.

TFOSC temelde düşük ve orta dalga boyu ayırma gücü olan bir sistem olarak adlandırılabilir. Çeşitli ayırma güçleri için değişik optik ağırlar (grizm) kullanılmaktadır. Grizm, basit olarak bir prizma üzerine yapıştırılmış saçınım ağıdır.



TFOSC tayfölcü, 2 adeti "Echelle" olmak üzere, 9 grizmlle mavi dalga boylarından kırmızıya kadar çeşitli ayırma güçlerinde çalışma imkanı sağlar. Ölçülen dalga boylarının sağlıklı ve doğru kalibrasyonu için 4 adet tayf lambası ("hollow" katot Fe/Ar ya da Cu/Ar, iki Osram tayf lambası (He ve Ne) ve bir halojen lamba) ile toplayıcı ve optik grubundan oluşan kalibrasyon birimi ikinci önemli birimdir.

TFOSC un hem tayfölcü tarafından kullanılan hemde görüntüleme düzeninin son önemli parçası CCD kameradır. Kamera optik algılayıcı, gerekli kontrol elektroniği ve termos sisteminden oluşmaktadır. En önemli olan parça optik algılayıcı, 15x15 mikrometre ölçülerinde 2048x2048 piksel formatında, ön aydınlatmalı CCD yongasıdır. Astronomik amaçlarla kullanılan tipik algılayıcılarda olduğu gibi, en hassas olduğu dalga boylarında %95 dolayında etkinliğe sahip, yani üzerine düşen 100 fotondan 95 tanesini yakalama özelliğindedir. Elektronik gürültünün azaltılabilmesi için termos içinde sıvı azotla soğutularak (-110 °C, daha düşük sıcaklıklarda Si yonga fonksiyon kaybına uğrar) kullanım gereklidir. 3x3 cm boyutlarındaki yonganın kalınlığıysa 18 mikrometre. Yansımaları mani olmak ve etkinliğini artırmak için yapılmış olan kaplama (hafniyum oksit) ise, mavi dalga boylarında daha etkin olarak tasarlanmıştır. Bu Si yonganın kırmızı dalgaboylarına olan ağırlıklı etkinliğini dengelemek için gerekli bir işlem ve görünür bölgede %90 üzeri bir etkinlik sağlar.

Aletin bütün çalışması, filtre tekerleklerinin hareketi, optik ağırların seçimi ve kontrolü, tayf lambalarının güç kaynaklarının kontrolü ve CCD elektroniğinin çalışmasıyla veri alonması uzaktan kontrollu olarak yapılabilmektedir.

Ümit Kızıloğlu
ODTÜ - Fizik Bölümü

(<http://www.tug.tubitak.gov.tr/aletler/TFOSC/>)

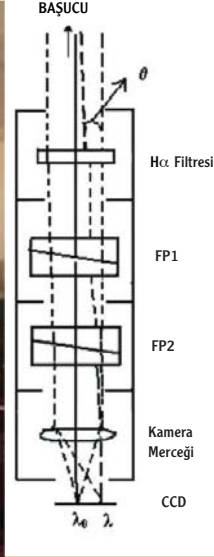
DEFPOS

Yıldızlararası ortam, yıldızların, gökadalının ve dolayısıyla evrenin gelişmesinde çok önemli rol oynar. Yıldızlar, bu ortamdaki maddeyi kullanarak doğarlar, yaşamları boyunca yıldızlararası ortama elektromanyetik radyasyon şeklinde enerji yayarlar. Öldüklerinde, hafif yıldızlar sakın bir şekilde dış kabuklarını bulutsu olarak ortama bırakırlar, ağır yıldızlara dramatik süpernova patlamasıyla, yıldızlararası ortamdan aldıklarını, madde ve enerji şeklinde ortama geri verirler. Yıldızlararası ortama dönen madde, yıldızlarda nükleer yanmayla oluşmuş olduğundan, ağır elementler yönünden daha zengindir. Bu zenginleşmiş madde, yeniden doğacak yıldızlar için materyel oluşturur. Göreceli olarak daha ağır maddeden oluşan yeni kuşak yıldızlar, daha değişik davranırlar. Doğuş, yaşam, ölüm ve yeniden doğuştan oluşan bu dönüşüm, %100 verimli değildir. Patlama sonucunda çıkan maddenin bir kısmı beyaz cüce, nötron yıldızı ya da karadelik gibi küçük ve sıkışmış gök cisimleri tarafından hapsedilir. Bu nedenle, yıldızlararası ortamdaki madde zamanla azalır; gökadalının ve evrenin kimyasal evrimi de bu dönüşüm şeklinde devam eder. Ağır elementlerin çoğalması da gezegenlerin, Dünyamızı oluşturan hava, su, toprak, kaya gibi maddelerin ve en sonunda da canlı organizmaların oluşmasını sağlar.

Yukarıda özetlediğimiz dönüşümde en az anlaşılan ve hakkında en az şey bilinen kısım, yıldızlararası ortamdır. Bu ortamın ana bileşeni tanımlanmıştır fakat yapısı ve gökadamız içerisinde nasıl dağıldığı büyük oranda bilinmemektedir. Tüm evrenin yapısında olduğu gibi içinde yaşadığımız Samanyolu Gökadasında da gözlediğimiz madde, sayısal olarak, %90 oranında hidrojen, %10 oranında helyum ve çok az miktarda da ağır elementlerden oluşur. Yıldızlararası ortamda doğal gazların (H I, O I, N I gibi- H I hidrojenin birinci durumu, yani iyonlaşmamış, yüksüz hidrojen atomu demektir) ve iyonize gazların (H II, O II, N II gibi- bunlar da bir elektron kaybetmiş yani + 1 yük taşıyan iyonlardır) çeşitli nedenlerle yaydıkları çizgi ışınlar çok sönüktür. Fakat bu sönük çizgiler, ortam hakkında çok önemli bilgiler içerirler. Bu çizgiler incelenerek gazların yoğunluğu, sıcaklıkları, dağılımı ve hareketleri incelenir. Örnek olarak H II bölgelerini incelemek için H II'nin ışınım yaptığı sönük H_α çizgisi gözlenir.

Böyle sönük çizgileri gözleyebilmek için, yüksek ayırma gücünde verimli çalışan tayföçerleri kullan-

DEFPOS'un resmi ve çizimi. Başucu (zenit) yönünden gelen ışık tayföçlerden geçerek tayfı oluşturmakta ve tayf CCD üzerine odaklanmaktadır. Tavanda (a) görülen beyaz boru başucu yönündeki açıklığın devamıdır. Tayföçlerin içerisinde filtre ve Fabry-Perot girişim aygıtları açıkça görülmektedir. Altta parlayan alüminyum kap CCD'nin soğutma kabıdır (dewar).



mak gerekir. Fabry-Perot girişim sistemi kullanan tayföçerler bunu yapabilecek hassasiyette tayföçerlerdir. Çok duyarlı olan bu tayföçerlerden bir tanesi, Wisconsin/Madison Üniversitesi'nin geliştirdiği, WHAM (Wisconsin H-alpha Mapper- Wisconsin H-alfa Haritalayıcı) adıyla bilinen ve Amerika'da Kitt Peak Ulusal Gözlemevi'ne kurulan sistemdir. WHAM bir derecelik açısal görüş alanı ölçeğinde yıldızlararası ortamdaki H II bölgelerini haritalamıştır ve çalışmalar devam etmektedir. Bizim yaptığımız ve DEFPOS (Dual Etalon Fabry-Perot Optical spectrometer - Çift etalonlu Fabry-Perot Optik Tayföçeri) adıyla bilinen hassas tayföçerse, TUG'a kurulumuş ve yıldızlararası ortamda bazı önemli bölgeleri, WHAM'den çok daha hassas olarak, dört dakikalık (1 dakika = 1/60 derecedir) bir açısal görüş alanı ölçeğinde inceleyecektir. DEFPOS sisteminde algılayıcı olarak CCD kullanılmaktadır. CCD teknolojisinin hızla gelişmesi ve yaygınlaşması, DEFPOS tipi sistemlerin daha verimli çalışmasını sağlamıştır. Eskiden kullanılan fotokatlandırıcı tüplerle altmış dakikada alınan bir H_α tayfı, CCD kullanıldığında bir dakikada alınabilmektedir. Bu nedenle de fotokatlandırıcı algılayıcılarla yapılamayan çalışmalar CCD ile yapılar duruma gelmiştir. Şekil-1a'da DEFPOS'un bir resmi ve çizimi verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi başucu (zenit) yönünden gelen ışınım için parazit ışığı yoketmek ve H_α ışınımını geçirmek için bir H_α filtresi kullanılmaktadır. Filtreden geçen ışınım iki tane Fabry-Perot (FP1 ve FP2) girişim ay-

gıtından geçerek tayfına ayrılmakta ve tayf bir mercekle yardımıyla CCD üzerine odaklanmaktadır.

DEFPOS, öncelikle H_α ve daha sonra yıldızlararası ortamdaki diğer maddelerin sönük çizgilerini incelemek için tasarlanan Türk malı bir tayföçerdir. DEFPOS, TUG'da bulunan 150 cm'lik teleskopun coude çıkışında kullanılmak amacıyla yapılmıştır. Fakat teleskopun coude çıkışı henüz çalışmadığından, tayföçer bir yıldan beri TUG'da 150 cm'lik teleskop binasının bir odasında, tavanda bulunan bir açıklıktan başucu yönüne

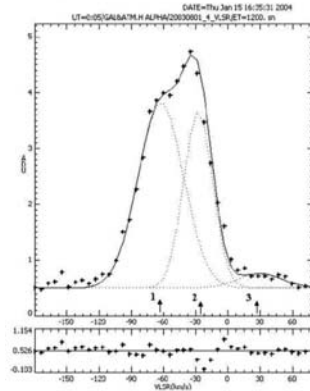
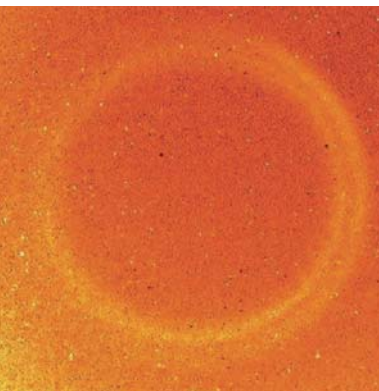
bakarak gözlem yapmaktadır. Teleskopa bağlanmadığı için DEFPOS'un görüş açısı ölçeği 4,76 derecedir. Tayföçerle ilk gözlem 30 Kasım 2002 gecesi yapılmıştır. Bir yıl içerisinde 37 gece gözlem yapılmış ve 545 değişik bölgeden H_α tayfı alınmış ve verilerin bir kısmının indirgeme işlemleri tamamlanmıştır. Tayf üç farklı yapıdan oluşmaktadır (kesikli çizgiler). Birinci ve üçüncü yapı gökadamızdaki gözlenen yöndeki HII bölgelerinden kaynaklanan yapıları göstermektedir. Ortadaki yapı da (2) dünya atmosferinde bulunan hidrojen kaynaklanmaktadır. Grafikte yatay eksen hızı, dikey eksen ise ışım şiddetini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi gözlenen yapıardan soldaki (1) gözlem anında Dünya Yerel Standart'a (LSR) 62 km/s hızla yaklaşmakta sağdaki (3) çizgiye 30 km/sn hızla uzaklaşmaktadır. Başucu bölgesinde atmosferimizde bulunan hidrojen bögesiye LSR'a 28 km/s hızla yaklaşmaktadır. Hareket bilgileri gibi sıcaklık, yoğunluk vb. bilgileri de elde edilen tayflardan çıkarılabilmektedir.

Görüldüğü gibi gökadalının ve yıldızların oluşumu, bunların yaşamları ve davranışları, yıldızlararası ortamdaki madde dağılımıyla yakından ilgilidir. Yıldızlararası ortamdaki maddelerin yoğunluğunu hidrojen ve iyonize hidrojen oluşturur. Dolayısıyla, bu ortamdaki iyonize hidrojen yoğunluğunun, sıcaklığının ve hareketinin hassas bir şekilde ölçülmesi güncel ve önemli araştırmalardan birisidir. Bu nedenle hazırladığımız DEFPOS'la gözlemlerimiz devam edecektir. Tayföçeri 150 cm'lik teleskopa birlikte kullanmaya başladığımızda, gökadamızda yapacağımız detaylı çalışmalarla yıldızlararası maddenin doğasını daha iyi anlayacağız. Bu bilgiler evrenin ve içerisindeki yıldızların, gökadalının ve kendisinin evrimini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır: nereden gelip nereye gittiğimiz konusu açıklığa kavuşacaktır.

DEFPOS, TUG, 1.5m'lik teleskopun odak düzlemi aletlerinden biridir. DEFPOS çalışması, Çukurova Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, TUG ve TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

WHAM NSF tarafından desteklenmektedir. DEFPOS ile ilgili web adresleri:
http://astro.physics.metu.edu.tr/defpos/hometr.html ve
http://www.tug.tubitak.gov.tr

İlhami Yeğingil
Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü



Şekil-2- Gökadamızdaki H II bölgesindeki ve dünya atmosferindeki atomik hidrojen kaynaklı H_α çizgilerinin CCD üzerinde oluşturduğu görüntü (a). CCD görüntüsünden elde edilen tayf (b). Tayfta üç farklı yapı açıkça görülmektedir: 1 ve 3

II yapılarını, 2 ise dünya atmosferindeki hidrojen yapısını göstermektedir. Tayfın (b) altında bulunan kutudaki noktalar deney-nel noktalarla bu noktalara uydurulan eğri arasındaki farkı göstermektedir.

TELESKOPLAR



İnsanoğlunun başını yukarıya kaldırıp, gökci-simlerini, gökolarılarını izlemeye başladığı ilk günlerden bu yana oldukça uzun zaman geçti. Bu süre içerisinde gelişmelerin ivmelenmesini sağlayan bazı olaylar, kişiler Gökbilimine yönvermiştir. Herşeye karşın, bugünkü düzeye ulaşılmasındaki en büyük pay, geçmişten gelen bilgi birikimlerinin yanı sıra, son 50-70 yıl içerisindeki bilgisayar ve teknolojiye çok hızlı gelişmelerdir. Ancak unutulmaması gereken en önemli konu, yeni bilgilerin, önceki bilgi birikimlerinin üzerlerinde yeşeriyor olmasıdır. Bu anlamda düşünürsek küt-le çekimi, birbirlerini çekimsel olarak etkileyen iki cismin devinimleri, havai fişekler gibi yüzyıllar önce çözümlenmiş bilgi birikimleri, uzaya çıkabilmek için temel oluşturmuştur.

Hubble Uzay Teleskopu (HUT), bugün hâlâ çok duyarlı gözlemler yapıyor ve bu gözlemlerle ilgili bilgi dağıtıcı-mız hızla genişliyor. Örneğin, Mayıs 1998'de gönderdiği bilgilerle ilk kez Güneş dışındaki bir yıldız etrafında olası bir gezegen oluşumu görüntülenmişti... Buna benzer daha birçok konuda HUT ile edinilen bilgiler, astrofizik alanında büyük ölçüde gelişme ve hızla ilerlemeye neden olmuştur ve olmaktadır. Ancak, HUT; bir uzay aracıyla yörüngeye oturtulmuş olan, çok amaçlı ölçü ve gözlem olanaklarıyla donatılmış bir aynalı teleskoptur. Geçmişte, gökbilimin gelişme sürecinde teleskopun bulunuşu ve onun gökyüzüne yönlendirilişi HUT için başlangıç oluşturmıştır. Başka bir deyişle, bugün, HUT'a ulaşan sürecin başlangıcı, teleskopun 1600'lü yıllarda bulunuşuna dayanmaktadır.

Teleskopun Bulunuşu - Tarihsel Gelişimi

15. yüzyılın ortalarına gelindiğinde bir mercekten oluşan büyüteçler, özellikle doğa bilimcileri tarafından mercekli mikroskoplar, gözlükler kullanılmaktaydı. 1590-1609 yılları arasıday-sa, iki ya da daha fazla merceğin birarada kulla-

nılması çalışmaları yapılmaya başlandı. 1590 yılının Ekim ayında, Hollandalı Hans Jansen, çok yakından bakarak herhangi bir cismin görüntüsünü, yüzlerce kez büyütebilen iki mercekli ilk ilkel mikroskobu bulmuştu. Bu buluş sayesinde özellikle dirimibilimde (biyolojide) çok hızlı bilgi birikimi başlamıştı. 1608 yılının Ekim ayında Hollandalı gözlükçü Jan Lippersheyse çok uzaktaki cisimleri sanki burnunuzun dibindeymiş gibi gösteren, iki mercek kullanarak yaptığı bir gözlem aletinin patentini almıştı. Lippershey, bu ilk dürbünü Hollanda Kralı'na hediye etmişti. Öncelikle askeri amaçlara hizmet etmiş olan bu alet daha sonra başka amaçlarla kullanılmaya başlan-mıştı.

Galilei Galileo, Mayıs 1609'da İtalya'da bu buluşu öğrenmişti. 1601 yılında ölen Tycho Brahe ve önceki astronomların, çıplak gözle (başka bir gözlem aracı kullanmaksızın) yapılan gözlemlere dayalı buluşları, kuramları vardı. Çıplak gözle ve aletsiz yapılan gözlemlerin duyarlılığı yeterli değildi. Kişiyi bağımlı hatalar da çoktu. Galileo, bu durumda, aklına geleni uygulamış ve biri yakınsak, diğeri ıraksak olan iki mercekten

oluşan kendi yaptığı bir gözlem aletini (17. yüzyılın "bilimsel devrim"i olarak adlandırılan ve temel bilimsel aletlerden birisi olan ilk teleskop) Padua kentinde gökyüzüne çevirmişti. İlk olarak Ay'a baktığında sonuç mükemmel olmuştu. Gökci-simlerinin ve evrenin incelenmesinde insan algılaması yerini gözlem aletlerine bırakıyordu.

Galileo'nun bu ilk gözlemleri sonrasında, o güne dek ortaya konulan bilgiler değişmeye başlamıştı bile.

Ay, hiç de sanıldığı gibi dümdüz değildi. Çukurlar, tepeler belirgin bir şekilde görünüyordu. Bu ilk gözlem sonrasında, Ay'ın "kusursuz küresel yapıda" olduğu şeklindeki varsayımlar bir anda yıkılmıştı. Galileo, daha sonra Merkür, Venüs ve Jüpiter'e baktı, ilk ikisinin Ay gibi evreler gösterdiklerini belirledi. Ancak bu ilk gözlemler içerisinde en kalıcı olanıysa, Jüpiter'in etrafında dolanan dört uydusunun (bugün bilinenler içinde en parlak olan dört uydu) bulunuşu olmuştur. Bu nedenle bu dört uyduya "Galileo Uyduları" denilmektedir.

Galileo'nun teleskopuyla elde edilen görüntüler çarpıcı olmalarına karşın net değillerdi ve renklemeler oluyordu. Daha sonraları, gezegen hareketleriyle ilgili üç temel yasayı ortaya koyacak olan Johannes Kepler, optik bilgisini kullanarak 1611 yılında Galileo'nun teleskopundaki bazı hataların giderilmesini sağlamıştır. Kepler, yeni teleskopta Galileo'dan farklı olarak herikisi de yakınsak olan iki mercek kullanmıştı.

1637 yılında, Descartes, küresel yüzeyli merceklerin kullanılmasıyla elde edilen görüntülerde bazı sapınçların (bozuklukların) oluştuğunu belirlemiş ve Dioptrique (ışık kırılması) adlı eserinde bu sapınçların giderilmesi için çözümler önermiştir.

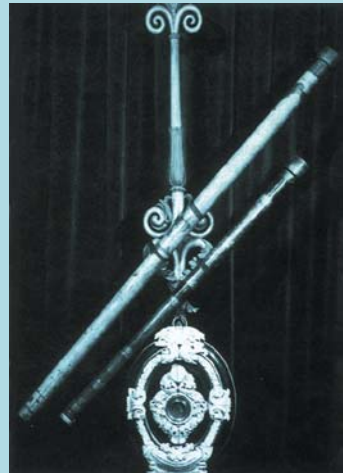
1650 yılına gelindiğinde teleskopların boy-ları, odak uzaklıklarına bağlı olarak 180 cm civarına ulaşmıştı.

Aynı yılda, C. Huygens mercekler üzerinde yapılan işlemleri geliştirerek daha duyarlı hale getirmiş ve uzun odak uzaklığının avantajlarını ortaya koyarak 1655 yılında 365 cm odak uzaklığı olan teleskop yapmıştı. Bu yeni teleskopla Satürn'ün en büyük uydusu olan Titan'ı belirlemiştir. Bir sonraki teleskopsa, yaklaşık 7 metre uzunlukta ve 70 cm çaplı merceği olan bir teleskop olmuştur.

1663 yılındaysa, James Gregory, küresel bir aynayla ışığı yansıtmayı, yansıyan ışınları ikinci bir tümsek aynayla geriye doğru yönlendirmeyi, birinci aynanın ortasında bırakılacak boşluktan arka tarafa geçmesini kağıt üzerinde tasarlamış, ortaya koymuştur. O yıllarda ayna yapım teknolojisi olmadığı için yapılması gerçekleştirilememiştir.

Sir Isaac Newton, 1671 yılında, renklemeye yapmayan (renkseme sapıncı olmayan - renksemez) ilk aynalı teleskopu yapmıştır. Çapı 5 cm olan metal ayna kullanılarak yapılmış bu ilk aynalı teleskop 38 kat büyütmekeydi. Newton, Gregory'nin tasarladığı kurguda bir değişiklik yapmış, birinci-büyük küresel aynadan çıkan ışınları ikinci-küçük-tümsek aynayla tekrar geriye yansıtmak yerine, birinci aynadan yansıdıktan sonra ikinci bir düzlem aynayla teleskopun yanından dışarıya çıkartmıştır.

1672 yılında, Fransız bi-



limadamı M. Cassegrain, Gregory'nin tasarladığı kurgudan yola çıkarak birinci çukur aynadan yansıyan ışığı, ikinci tümsek aynayla geriye yansıtmış, birinci aynanın ortasındaki açıklıktan dışarıya çıkartmıştır.

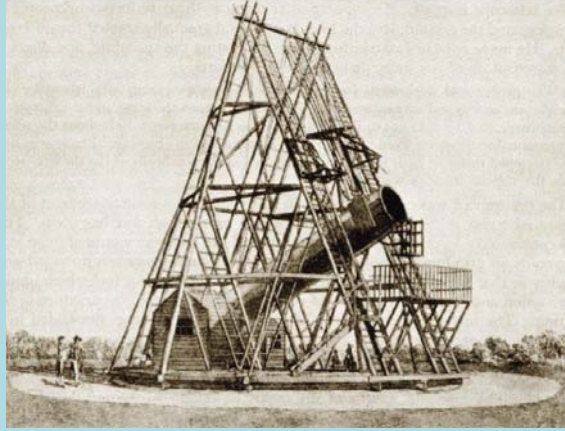
Bugün kullanılan teleskoplar, kurgusunu ilk tasarlayan kişinin adıyla anılır. Cassegrain türü, Newton türü.... gibi.

1722 yılına kadar mercekli teleskoplarda büyümeler sürmüş, boyu 45-60 m arasında olan mercekli teleskoplar kullanılmıştır. Teleskopun boyu uzadığında, mercek çapı büyüdüğünde sorunlar ve güçlükler çok hızlı artmıştır.

1700'lü yılların sonlarına doğru Lick Gözlemevi'nde 91 cm'lik ve Yerkes Gözlemevi'nde 102 cm'lik mercekli teleskoplar kullanılmaya başlandı. Ancak, mercekler büyüdükçe teleskoplar çok uzun ve ağır oluyordu, güçlüğüle kullanılabiliyordu.

Sir William Herschell, 1781 yılında çapı 18 cm olan aynalı bir teleskop yapmış ve o güne kadar varlığı saptanamamış olan Uranüs gezegenini ilk kez gözlemlemiştir. Bu heyecan verici buluş sonrasında, teleskopların kullanımı yaygınlaşmış ve bunun doğal sonucu gelişmeler daha hızlı olmuştur. Bunun en güzel örneği olarak William Herschell 1789 yılında, 122 cm çaplı, yaklaşık 12.5 metre uzunluğunda bir aynalı teleskop yapmıştır. Aynalı teleskoplarda ışık kırılması ve renklemenin olmayışı, merceklerdeki soğurmanın ortadan kalkmış olması, bu yıllarda aynalı teleskopları mercekliye üstün kılmaya başlamıştır.

1668 den sonra metal aynalar kullanılagelmiş, 1800 lü yıllardaysa üzeri gümüş kaplı camlar kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde da-



ha çok üzeri alüminyum kaplı ve çok özel işlemler sonucu çok duyarlı cam aynalar kullanılmaktadır.

12.5 m odak uzaklığına sahip, 1789 yılında dünyanın en büyük teleskopu, Slough - İngiltere'de Sir W. Herschell tarafından yapılmış..

Böylece, teleskoplar, bulunuşundan sonraki dönemlerde, değişik amaçlara yanıt verebilecek şekilde, değişiklere uğrayarak daha verimli, daha kullanışlı hale getirilmiştir. Teknoloji ve bilgisayar konusundaki gelişmeler, teleskoplardaki değişimi, gelişimi çok fazla hızlandırmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan ve kurulmakta olan en büyük teleskoplar bu sürecin ulaştığı sonuçlardır.

ABD'de California eyaletindeki Palomar Gözlemevi'ndeki ayna çapı 5 metre olan Hale Teleskopu, 1950 yılından beri kullanılmaktadır. Tek parça cam aynadan yapılmış dünyanın en büyük teleskopuysa 1976 yılında Rusya'nın Kafkas dağlarında kurulan (Zelenchinskaya) Rus Teleskopudur. Ayna çapı 6 metre olan bu teleskop çeşitli nedenlerle Hale teleskopu kadar verimli kullanı-

lamamaktadır. Günümüzdeyse daha büyük teleskopların yapımı, kurulması sürdürülmektedir. Örneğin: sekizgen aynalar kullanılarak petek şeklinde yapılan çapı 10 metre olan ikiz KECK teleskopları Hawaii adasında kurulmuştur

ESO'nun Şili'ye kurduğu, herbirinin ayna çapı 8,2 metre olan dört teleskop, güdümlü çalıştığında çok daha büyük ayna çaplı tek bir teleskop gibi işlev yapmaktadır. ABD'de de bu tür çalışmalar sürdürmektedir. Bunlara iki örnek: ABD'de Teksas eyaletine kurulacak olan çok parçalı 11 metre çaplı teleskopla Arizona'ya kurulacak olan 8,4 metre çaplı teleskop. Öte yandan 5 ülkenin ortak projesi olarak 8 metre çaplı iki teleskop Şili ve Hawaii'ye kurulmaktadır. Japonların yapacakları 8,2 metrelik teleskoplarını Hawaii'ye kurma tasarılarının yanı sıra, İspanya'nın Kanarya Adaları'na 10 metre çaplı bir teleskop için uluslararası çalışmada da sürmektedir.

Yerleşik bu büyük teleskopların işlevleri, yapabilecekleri çalışmalar yer atmosferi nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Bu denli büyük teleskopların yapabileceği gözlemleri, atmosfer dışına konuşturılmış daha küçük teleskoplar da yapabilir. Bu amaçla, 1995 yılında Yer çevresinde büyük bir yörüngeye oturtulmuş olan Hubble Uzay Teleskopu'nun ayna çapı 2,4 metre olmasına karşın daha iyi işler başarmıştır ve başarmaya devam etmektedir. Ancak böyle bir projenin de kendine özgü parasal boyutlarının yanı sıra kurma, denetim ve kullanım zorlukları vardır.

Prof.Dr. Zeynel Tunca
TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi,
Ege Üniv. Astronomi ve Uzay Bilimleri Böl.

TELESKOPLARIN ÇALIŞMA İLKELERİ

Gözümüzü gökyüzüne çevirdiğimizde görebileceklerimiz sınırlıdır. Büyüklükler, yakınlıklar, parlaklıklar hep sınırlıdır. Belirli bir uzaklıktan sonra, birbirine yakın olan iki cisim ayrı gözlemleyemeyiz. Parlaklığı belirli bir düzeyden daha azsa, bir başka deyişle sönükse gözlemleyemeyiz, algılayamayız. Boyutu belirli bir değerden küçük olanları gözlemleyemeyiz. Tüm bunlarda, gözümüzün yeteneklerinin kısıtlı olması önemlidir. Gözümüzün yeteneklerinin yeterli olmadığı durumlarda, daha sönük olanı görebilmek, daha büyük görebilmek, daha iyi ayırt etmek için dürbün, teleskop gibi çok daha üstün gözlem yeteneklerine sahip gözlem araçları kullanılır. Eğer bir gözlemede teleskopumuz da yetersiz kalıyorsa daha yetenekli bir teleskop gerekiyor demektir. Ancak, teleskoptan bakan gözümüzün yerine gelişmiş alıcılar konulduğunda çok daha ileri düzeyde gözlem yapabiliyoruz, gözlem verilerini biriktirebiliyor, saklayabiliyoruz.

Bütün bunlara karşın, büyüklükleri ne olursa olsun tüm teleskopların işlevleri aynıdır.

1- Işığı bir noktada toplamak (odaklamak)

Daha çok ışık toplamak istiyorsanız bu kez teleskopunuzun birinci merceği (objektif) ya da birinci aynasının çapı (teleskop açıklığı) büyük olmalıdır. Teleskop açıklığının artmasıyla daha sönük yıldızları görebilecek kadar ışık toplayabiliriz,

ancak bu kez karşımıza, çok büyük boyutlu teleskoplar, onu taşıyan çok büyük gövde, bunlara uygun koruyucu kubbeler gerekecektir. Büyük ağırlıklar, oylumlar nedeniyle, denge sorunları çıkabilecektir. Doğaldır ki bu, daha fazla yatırım ve işletim giderleri anlamındadır. Bu nedenle, çok büyük teleskop yerine, yapmak istediğimiz için gerekli ve yeter bir teleskop edinmek daha doğru olur. Gökcisimlerini incelemek istiyorsak teleskopumuzun odak noktasında topladığı ışığı inceleyecek Odak Düzlemi Alıcıları gereklidir. Yalnızca görmek istiyorsanız, alıcınız gözünüz olacaktır. Fotoğraf çekmek için fotoğraf makinanız alıcınızdır. Değişik gözlem aletleri (tayfçekkerler, ışıkölçerler, yüksek erke ışınımı alıcıları, vb.) alıcılar odak arkasına takılarak cismimiz değişik açılardan incelenebilir. Bu konu, Gözlem Türleri içerisinde ele alınacaktır.

Teleskopların, daha önemli olan bir işlevleri daha vardır: Gözlem yapılan süre boyunca, yıldızlar gökyüzünde doğudan batıya doğru günlük görünür hareketlerini yapacaklardır. Yıldızları sürekli gözlemek durumunda olduğumuza göre, teleskopumuz sürekli olarak gözlediğimiz yıldızla yönelik olmalıdır. Buna göre, teleskopların ikinci ana işlevleri de:

2- Gözlem süresince gözlenen yıldız (gökcis-

mini) izlemektir.

Sabit bir teleskopla baktığımızda yıldızın görüntüsünün odak düzleminde bir yöne doğru hareket ettiğini, kayma yaptığını görürüz. Bu, Yer'in dönme hareketinden kaynaklanan bir sonuçtur. Bir yıldız (gökcismini) odak düzleminde uzun süre aynı yerde görmek istediğimizde, teleskoplara Yer'in dönmesinin tersi yönünde ve eşit hızda bir dönme hareketi yaptırılır. Teleskopun yapacağı dönme hareketini eksen, yerin dönme ekسينe paralel olmak zorundadır. Başka bir deyişle, teleskopun dönme ekسينi, Gök Uçlak noktalarından geçmelidir.

Bunu sağlamaya yönelik farklı teleskop kurguları vardır. Bu kurgularda amaç yıldız izlemektir. Ancak, teleskopların hareketleri bilgisayarlarla duyarlı olarak denetlendiği ve yönlendirildiği için, farklı kurgular da aynı işlevi yerine getirebilmektedir.

Teleskopların bu iki işlevinden birincisi optik, ikincisiyse mekanik konusudur. Bu nedenle, teleskopların incelenmesinde de bu iki ayrı konuda yapmamız gerekecektir.

- Optik yapısına bağlı olarak Teleskopların Türleri

- Yıldız izlemesi esasına dayalı, mekanik yapı olarak Teleskopların Kurguları

TELESKOPLARIN TÜRLERİ

Gökcisimlerinden bize ulaşan görünür ışığı incelemeyi amaçladığımıza göre, kullanacağımız teleskoplar da, elektromanyetik tayfın, gözümüzün de duyarlı olduğu Görsel Bölge – Optik Pencere denen dar bir dalgaboyu aralığında çalışacak demektir. Bu nedenle bu tür teleskoplara Optik Teleskoplar denir. Yüksek erkeli olan kısa dalgaboyu ışınımı (x-ışın, gama ışını) incelemek için özel, uygun alıcılar bu tür teleskoplara takılabilir. Düşük erkeli olan uzun dalgaboyundaki radyo ışınımı incelemek için, radyo teleskoplar kullanılmaktadır.

Optik teleskoplar, bir bütün olarak ele alındığında üç ana parçadan oluştuğu görülür.

** Optik parçaların yer aldığı, gözlemin yapıldığı DÜRBÜN ve ona bağlı alıcılar

** Optik sistemi-dürbün kısmını taşıyan, onunla birlikte gözlenen cismi izlemek üzere dönme yapan GÖVDE

** Tüm sistemi taşıyan, Yer'e bağlı, sabit, dayanıklı, sağlam AYAK..

Bu üç ana parçanın yapısı, çeşitleri Teleskop Kurguları kısmında ele alınacaktır.

Optik Teleskopların Türleri

Görünür bölgedeki ışığı toplamak amacı taşıyan optik teleskoplar, optik yapılarına göre 3 gruba ayrılırlar.

- Mercekli Teleskoplar (Dioptric) Işığın kırılması esasına dayalıdır.
- Aynalı Teleskoplar (Catoptric) Işığın yansıması esasına dayalıdır.
- Aynalı-Mercekli Teleskoplar (Catodioptric) Yansıma ve kırılma, herikisi de vardır.

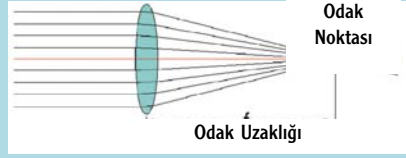
Mercekli Teleskoplar (Dioptrikler: Dioptrics, Refractors)

Önce bir incekenarlı (pozitif, dışbükey, yakın-sak) merceğin çok uzak bir gökcisminden paralel gelen ışınları nasıl kırıldığını basitçe görelim.

Böyle bir sistemde merceğin odak uzaklığı (odak uzunluğu) f , C cisminin merceğe uzaklığı d , ve G görüntüsünün merceğe uzaklığı olan g arasındaki ilişki basit bir denklemle belirlidir.

Bu denklemde, d yerine sonsuz uzaklık yazılırsa, $1/d$ oranı sıfıra eşit olur ve görüntünün merceğe uzaklığı $g = f$ bulunur. Buradan çıkan sonuç, sonsuz varsayılabilir çok büyük uzaklıklardaki cisimlerin görüntüleri odak noktası (F) üzerinde olmalıdır. Nokta kaynağı şeklindeki cisim sonsuz varsayılan uzaklıktaysa, o nokta kaynaktan çıkan ışınlar bize birbirine paralel olarak gelir ve hepsi odak noktasında birleşir. Bu sonuca göre, merceğimizin çapı ne kadar büyük olursa, odak noktasında toplanacak olan ışın demeti o kadar çok olacaktır. (Merceğin büyümesinin başka sorunlar doğurduğunu untmayalım.)

Mercekli teleskopların görevi, gökcisminden gelen ışık demetini objektif yardımıyla bir noktada toplamaktır. Gökcisimleri çok uzak oldukları için gelen ışınlar birbirine paraleldir ve toplandıkları nokta da objektifin ODAK NOKTASıdır. Gözlenen gökcismi, bir yıldızsa (çok uzaktaki bir nokta kaynağı) ve teleskopun asal ekseninin doğrultusu üzerindeyse, görüntüsü odak noktasında bir nokta olarak belirecektir. Eğer gözlediğimiz cisim yakın gökcisimlerinden biriyse (örneğin Ay), bu durumda görüntü odak noktasından geçen ve teleskopun

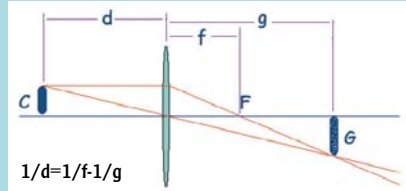


asal eksenine dik bir düzlem olan ODAK DÜZLEMİ üzerinde belirecektir.

Kullanılan objektif merceklerinin iki yüzü birbirinden farklı eğriliklerde olabilir. Değişik biçimlerde hazırlanmasının nedenleri mercek kusurlarının en aza indirmektir.

Gözmerceği:

Odak noktasındaki ya da odak düzlemindeki görüntüyü gözle görebilmek için ikinci bir mercek ya da mercek sistemi daha kullanılır. Buna da GÖZ MERCEĞİ – OKÜLER denir. Genelde iki mercek kullanılarak yapılırlar. Huygens, Ramsden, Kellner v.b. gibi değişik gözmerceği türleri vardır. İşlevleri, görüntü alanının büyüklüğünü ayarlamak, görüntüyü büyütme, mercek kusurlarını ve bozul-



malarını azaltmaktır. Gözmerceğinin yeri, objektifin odak noktasıyla gözmerceğinin odak noktası çakıştırılarak belirlenir. Gözmercekleri kolay takıp çıkartılabilir ve gözlem sırasında uygun gözmerceği seçilerek kullanılır

Buna göre, basit bir mercekli teleskopun parçaları;

- Bir tüp – boru. Silindirik şeklinde, sağlam, esnemeyen türden, çapı objektif çapı kadar olmalı...Boyut, en az objektifin odak uzaklığı kadar olmalı,

- Objektif.. Silindirik şeklindeki borunun bir ucuna, mercek asal eksenine, silindirin eksenine çıkacak şekilde sağlam tutturulmalı, konumu ayarlanabilmeli, odak uzaklığı bilinmeli,

- Gözmerceği, odağı, objektif odağına çakıştırılır. Eksenler çakışık olmalıdır.

Artık mercekli teleskopunuz, ya da dürbünüz hazır demektir.

Gökyüzünü gözümüzle görmek amacıyla teleskop kullanıyorsa, gözmerceği kullanmak zorundayız. Eğer, gözlemimizi fotoğrafik ya da başka bir yöntemle yapıyorsak, kullanacağımız alıcılar (fotoğraf makinası, ışıkölçerler v.b.) gözmerceğinin yerine takılarak kullanılır.

Barlow Merceği

Özellikle görsel ve fotoğrafik gözlemlerde kullanılır. Teleskopun odak noktası önüne konur. Kalın kenarlı (negatif) merceklerden oluşmuş bir sistemdir. Barlow merceğiyle odak uzaklığı artırıldıktan sonra, gözmerceğimiz yeni odak noktasına göre kullanılmalıdır.

İşlevi: Teleskopun odak uzaklığını biraz daha artırmaktır. (Bunun sonucunda, sistemin büyütmesi de artmış olacaktır..)

Görüntü kalitesi, Barlow merceği olmaksızın aynı odak uzaklığına (Barlow merceği takıldığında ulaşılan odak uzaklığına) sahip bir teleskopla elde edilen görüntü kalitesi kadar iyi değildir. Görüntü kalitesini bozmadan odak uzaklığı artırılmak isteniyorsa, kalın kenarlı tek bir mercek kullanılabilir. Bunun anlamı teleskopun optik kurgusunun değiştirilmesi demektir.

Aynalı Teleskoplar (Katoptrikler; Catoptrics, Reflectors)

Aynalı teleskoplar da mercekli teleskoplar gibidir. Gözlenecek cisimlerden gelen ışık ışınlarını odak noktasında toplamak ana işlevleridir. Objektif olarak ince kenarlı bir mercek yerine, birinci ayna olarak isimlendirilen bir çukur (konkav) ayna kullanılır. Bu aynanın yüzeyi, dönел koni yüzeyidir (bir küre yüzeyinin bir parçası da olabilir, dönел paraboloid ya da hiperboloid de olabilir). Bu aynalar, sonsuz uzaklıktaki cisme yöneltildiğinde, görüntüler aynanın odak noktasında (odak düzleminde) oluşur.

Aynaların, sıcaklık nedeniyle genleşmeleri söz konusu olacağından, ayna yapımında genleşme katsayıları çok küçük olan camlar kullanılmalıdır. Işığın yansıtacağı yüzey, genelde alüminyumla kaplanır. Alüminyum, üzeri havayla temas halinde olduğundan özel bir koruyucuyla kaplanmaktadır.

Aynalı teleskoplarda, merceklerden kaynaklanan birçok kusur (sapınc, bozulmalar) azalmıştır ya da yokolmuştur.

Aynamız küresel aynaysa: kürenin yarıçapı: R , aynanın odak uzaklığı $f = R/2$ olur.

Aynalarda da cismin (d) uzaklığı, oluşan görüntünün (g) uzaklığı ve aynanın odak uzaklığı arasındaki bağıntı da merceklerdeki gibidir.

Şekilden de görüldüğü gibi, sonsuz uzaklıktaki gökcisimlerinin görüntüleri, birinci aynanın odağında oluşmaktadır. Odakta oluşan görüntüyü gözle görmek ya da bir alıcıyla incelemek isterseniz odak noktasında çalışmanız gerekir. Küçük çaplı teleskoplar için bunun olanağı yoktur. Ancak çok büyük çaplı teleskoplarda, (örneğin: Mount Palomar ABD deki 5 m ayna çapı olan teleskopta), gözlemci ya da gözlem aleti birinci aynanın odağında çalışabilmektedir. Genelde, aynalı teleskoplardaki bu olumsuz durumun çözülmesi için, birinci aynadan yansıyan ışık ışınları, odak noktasında toplanmadan önce, yine bir aynayla birinci aynanın önünden bir başka yere yansıtılır. Yansıtmak için kullanılan aynaya, ikincil ayna denir. İkincil ayna, düzlemsel olabildiği gibi, dönел hiperboloid dışbükey-konveks ayna da olabilir. Boyutu, birinci aynadan küçüktür. Gökcisminden gelecek ışık ışınlarının yolu üzerine konulduğu için, birinci aynaya düşecek ışık miktarını azaltacak yönde olumsuz etkileri vardır.

Aynalı ve Mercekli teleskopların genel karşılaştırılması

Merceklerde; kısa dalgaboylarına doğru daha fazla olmak üzere gelen ışığın mercek tarafından soğurulması sözkonusudur. Gelen ışıktan azalma anlamındadır. Renklenme ve küresellik sapıncıları oluşur. Bu sapıncıları gidermek için ek mercek sistemleri kullanmak gerekmektedir. Buysa sisteme yeni merceklerin eklenmesiyle daha fazla ışık kay-

bi demektir. Çoğumuz, bu olayın benzerini, fotoğraf makinalarından da biliriz. Eğer daha uzaklardaki cisimleri görüntüleyebilmek amacıyla fotoğraf makinaımıza teleobjektif takarsak, vizörden bakıldığında normal tek objektife göre daha çok ışık kaybı olduğu farkedilir. Takılan her ek parça teleskopun ağırlığını da artırır. Aynalı teleskoplardaysa soğurma ve saçılma, aynanın ve üzerindeki kaplamanın kalitesine göre yok denecek kadar az olmaktadır. Aynalarla elde edilen görüntülerde renklenme sapıncı da yoktur. Küresellik sapıncı da ayna yüzeyinin küre yerine paraboloid yüzey şeklinde yapılmasıyla kolayca giderilebilmektedir.

Mercekli teleskoplarda objektiften geçen ışığın odakta görüntüyü oluşturabilmesi için teleskop borusunun en az objektif odak uzaklığı kadar olması gerekmektedir. Aynalı teleskoplardaysa, ikinci ve gerekirse daha çok ayna yardımıyla ışığın yolu kısaltılabilir ve istenilen yere yönlendirilebilir.

Aynalı Teleskop türleri

Aynalı teleskoplar, yansıyan ışık ışınlarının yoluna konulan ikincil aynalarla yollarının değiştirilmesi ve odak noktasının istenilen yere taşınması işlemine göre göre değişik türlere ayrılırlar.

Newtonian türü aynalı teleskoplar:

Birinci ayna: en basiti küresel ayna. Sapınçları azaltmak için dönel paraboloid

İkincil ayna: elips biçimde kesilmiş düzlem ayna

Görüntünün oluştuğu yer: Teleskop borusunun dışında ve açık ucuna yakın bir yerde.

Bu tür aynalı teleskoplarda, tüp-boru uzunluğu birinci aynanın odak uzunluğuna hemen hemen eşittir. İkinci ayna düzlem ayna olduğu için, birinci aynadan yansıyan ışınların yol uzunluklarını değiştirmez. Başka bir deyişle, görüntü birinci aynanın odağında oluşur, ancak odak teleskop borusu dışına taşınmıştır. Birinci aynanın konumunun ayarlanması, ikinci aynanın eğiminin ve odak ayarının denetimi kolay olduğu için oldukça kullanışlıdır.

Bu tür kurgu 17. yüzyılda Isaac Newton tarafından tasarlandığı için Newtonian türü denilmiştir.

Olumlu tarafları: Merceklere göre maliyetleri daha ucuzdur. Odak uzaklığı 100 cm kadar olanların taşınması kolaydır. Genellikle hızlı odak oranlarına ($f/4 - f/8$ gibi) sahip olduklarından, gökadalara, bulutsular, yıldız kümeleri gibi derin uzay cisimlerinin gözlenmesi için çok uygundur. Ay ve gezegenleri gözlemek ve fotoğrafçılık yapmak isteyenler için iyi bir seçim olacaktır. Optik sapınçları çok azdır.

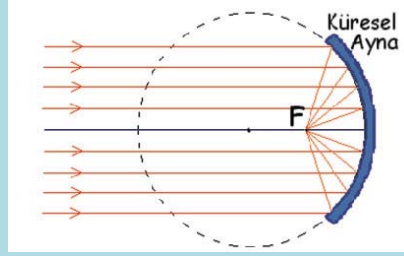
Olumsuz tarafları: Tüpün ağız açık olduğundan, tüp içersinde oluşacak hava akımları görüntüyü etkiler. Ayna, havayla doğrudan temas halinde olduğu için yüzey sırlanması bozulabilir. Mercekli teleskoplara göre daha duyarlıdır. Açıklık büyüdükçe ağırlık ve uzunluk yönünden taşıma zorlukları ortaya çıkar. Yeryüzündeki cisimleri incelemeye elverişli değildir. İkinci ayna nedeniyle ışık kaybı sözkonusu olur.

Cassegrain türü aynalı teleskoplar:

Birinci ayna: en basiti küresel ayna. Sapınçları azaltmak için dönel paraboloid çukur ayna

İkincil ayna: hiperboloid tümsek ikinci ayna

Görüntünün oluştuğu yer: Birinci aynanın arkasındaki açıklıktan çıkarak, birinci aynanın hemen arkasında, asal eksen üzerinde.



Gelen ışınlar önce birinci çukur ayna tarafından toplanır, tüp içersinde odak noktasının önünde yeralan eksen üzerindeki ikinci aynaya doğru yansıtılır. İkinci aynaya gelen ışınlar, tümsek hiperboloid aynadan odak uzaklığını arttıracak şekilde geriye doğru yansır, birinci aynanın ortasındaki dairesel açıklıktan geçer ve aynanın arkasında, tüp dışında odaklanır.

İkinci ayna, birinci aynadan yansıyan ışınların tümünü yansıtacak büyüklükte yapılır. Birinci aynanın merkezindeki açıklık, ikinci aynanın yansıttığı ışınların tamamını geçirecek büyüklükte belirlenir. İkinci aynanın yeri çok yavaş bir şekilde değiştirilebilir ve böylece birinci aynanın arkasında yeralan odak noktası için ayarlama ya da değişiklik yapma olanağı doğar.

Olumlu tarafları: Aynalı olması nedeniyle merceklerden daha ucuz olur. Sönük derin uzay cisimlerini incelemek için uygundur. Optik sapınçları azdır. Odak uzaklığı, tüpün boyundan çok fazla olur. Dengelenmesi daha kolaydır. Gözmerceğinden, incelenen cisim doğrultusundan bakılıyor olması kimileri için avantaj sayılabilir. Otomatik olmayan küçük teleskoplar için yönlendirmede daha kolaylık sağlar.

Olumsuz tarafları: Açık tüp olması nedeniyle Newtonian türü gibi tüp içindeki hava akımlarından görüntü etkilenir ve aynanın sırları, optik yapısı bozulabilir. İkinci aynadan kaynaklanan ışık kaybı daha fazla olur. Açıklık büyüdükçe taşıma zorlukları ve fiyatları artar.

Gregorian türü aynalı teleskoplar:

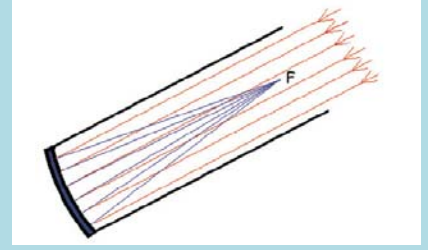
Birinci ayna: en basiti küresel ayna. Sapınçları azaltmak için dönel paraboloid çukur ayna

İkincil ayna: çukur ikinci ayna, birinci aynanın odağının ötesinde

Görüntünün oluştuğu yer: Birinci aynanın önüne 45 derecelik açıyla konulacak üçüncü bir düzlem aynayla ikincil aynadan yansıyan ışık ışınları teleskopun dönme ekseninden dışarıya alınır.. ya da Cassegrain türü teleskoplarda olduğu gibi birinci aynanın arkasındaki açıklıktan çıkarak, birinci aynanın hemen arkasında, asal eksen üzerinde.

Gregorian türü teleskoplarda, birinci aynanın küresel sapınçtan kurtarılmış görüntüsü ikinci çukur ayna tarafından bozulmadan aktarılır. Koma ve astigmatik sapınçlarıysa hala vardır. İkinci aynanın varlığı, birinci aynadan yansıyan ışınların bir kısmını engeller. Sisteme bir ayna daha eklendiği için aynanın çok küçük de olsa soğurması sözkonusudur. Bu olumsuz yönlerine karşın, odak teleskopun dışına çıkartıldığı için, tüp, odak noktasına konulacak özellikle ağır gözlem aletlerinin denge bozucu etkilerinden kurtulmuş olmaktadır. Bu tür odaklara Nasmyth odak adı veriliyor.

Gregorian sistemde, birinci ve ikinci aynadan yansıyan ışınlar, birden fazla aynadan oluşan bir sistemle, teleskopun dönme eksenlerinin içersinden geçirilerek, teleskopun gövdesinin de dışında



bir başka ortama aktarılabilir. Bu, bir başka oda, birim vb olabilir. Teleskopun hareketinden bağımsız olarak, hep istenilen bir yerde odaklama işlemi yapılmış olur. Bu noktaya, amaca uygun çok büyük ve ağır alıcılar (örneğin, tayfçekkerler) konulabilir. Bu yönden çok olumlu olmasına karşın, sisteme çok sayıda ayna eklenmiş olması nedeniyle soğurulmanın artması, ışınların geçeceği optik yolun çok uzaması nedeniyle çevre ve atmosfer koşullarından etkilene olasılığı bu tür sistem için olumsuz taraflardır. Bu tür odaklara da Coude odak adı veriliyor.

Katodiotrikler (Catadioptrics)

Aynalı + Mercekli Teleskoplar

Optik kurgusunda hem ayna, hem de mercekleri bulunduran teleskoplardır. En çok bilinen ve kullanılan türleri şunlardır:

- Schmidt Kamera
- Schmidt- Cassegrain
- Maksutov - Cassegrain
- Schmidt - Newtonian

Schmidt Kamera

Optik uzmanı Bernhard Schmidt, diğer optik sistemlerde özellikle geniş alan görüntülerinde ortaya çıkan, eğik gelen ışınların bakışsızlık doğurması ve görüntü hataları oluşturmasını, küresel sapınçları düzeltme mercekleri kullanarak ortadan kaldırmayı başarmıştır.

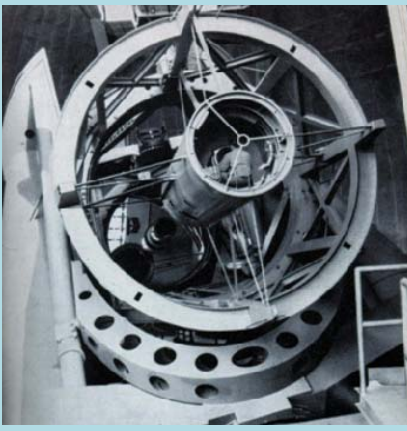
Birinci aynanın küresel olmasından kaynaklanan küresellik sapıncını ortadan kaldırmak için, giriş açıklığının olduğu yere bir düzeltme merceği koymuştur.

Odak noktasında, farklı açılarda gelen ışıkların oluşturacağı alan eğrililiğinin etkisini yoketmek için, odak düzlemi yerine tümsek bir yüzey kullanılır. Fotoğrafl çekimleri için film ya da plaklar bu yüzey eğrililiğinde olmalıdır. Bu oldukça güç bir iş tir. Bunun için de odak yüzeyi önüne, düzleyici bir mercek konur. Böylece odakta eksene dik bir odak düzlemi kullanılabilir.

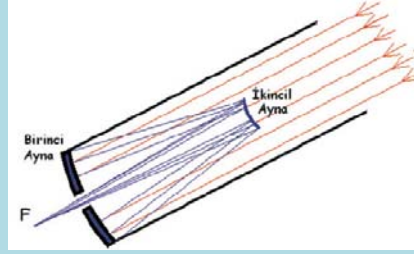
Schmidt kameralar hızlı teleskopik sistemler olarak ($f/3$ ve daha küçük) yapılmaktadır. Örneğin Almanya'daki Tautenburg Gözlemevi'ndeki Schmidt Teleskopun görebildiği, görüntüsünü alabildiği gökyüzü alanı, $3^\circ, 4 \times 3^\circ, 4$ lik bir alandır. ABD deki Mount Palomar gözlemevindeki Schmidt kameraya $6^\circ, 5 \times 6^\circ, 5$ lik bir alanı görüntüleyebilmektedir.

Schmidt - Cassegrain türü teleskoplar:

Schmidt kamerada ortaya çıkan hantal yapı ve kullanışsız odak düzlemi gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak için, sistemin Cassegrain sisteme uyarlanması şeklindeki bir yapıdır. $1^\circ - 2^\circ$ lik alanları görüntüleyebilir.. Bu teleskoplar genellikle $f/10 - f/12$ odak oranlarına sahiptir. Görüntü kalitesindeki üstünlük, kolay ulaşılabilen birinci aynanın hemen arkasındaki kullanışlı odak düzlemi ve küçük yapısı nedeniyle çok kullanışlıdır ve çok tercih edilmektedir.



- Tüm teleskop optik kurguları içerisinde en iyi olanıdır.
- Mercek ve ayna kusurları ortadan kalkmıştır.
- Geniş alan üzerinde net görüntüler elde edilebilen çok iyi bir optik yapıdadırlar.
- Hızlı filmlerle astrofotoğrafçılık derin uzay cisimleri gözlemleri için çok uygundur.
- Güneş dizgesi cisimleri ve yeryüzündeki uzak cisimlerin gözlemlerinde kullanım için idealdir.
- Kapalı tüp kurgusunda olduğu için hava akımları tüp içerisindeki optik davranışları etkilemez, kapalı olduğu için ayna koruma altında olmaktadır.
- Dayanıklı, masrafsız, kullanışlı, kolay taşınabilir durumdadırlar.

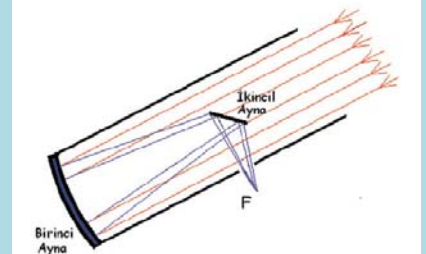


- Aynı objektif açıklığına sahip mercekli teleskoplardan daha ucuzdurlar.
- Odaklama yeteneği en iyi olan bir türdür.

Maksutov - Cassegrain türü teleskoplar:

Birçok özelliği, olumlu ve olumsuz taraflarıyla Schmidt-Cassegrain teleskoplara benzerler. Kurgu aynıdır. Ancak, düzeltici merceğin dışa bakan kısmı içbükey, iç tarafta kalan kısmıysa dışbükey konumlu bir mercek ve aynadan kaynaklanan küresel sapıncıları yokedecek yapıdadır. Birinci aynaya daha yakındır; bu nedenle tüp boyu biraz daha kısadır.

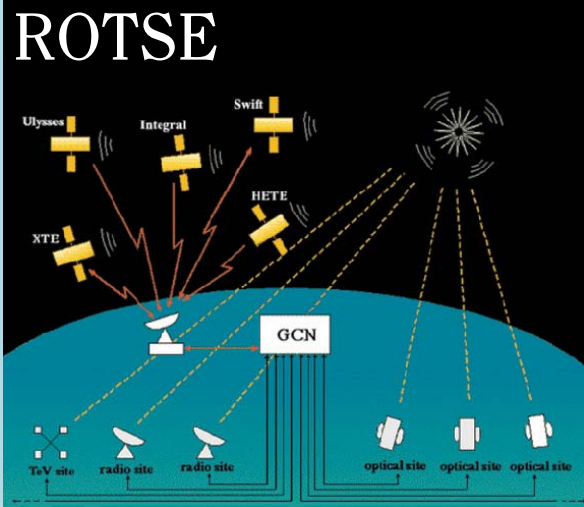
Maksutov teleskopların optik kurgusu daha basit ve kolaydır. Bu nedenle Schmidt-Cassegrain teleskoplardan daha ucuz olurlar.



Schmidt - Newtonian türü teleskoplar:

Bu tür teleskoplar Newtonian aynalarıyla Schmidt düzeltici merceklerini birarada bulunduran melez bir optik kurguya sahiptirler. Bu tür teleskopların odak oranları $f/4,5$ ya da daha küçüktür. Zengin bir görüş alanına sahip teleskoplardır. Yıldız kümeleri, gökadarlar, bulutsular ve kuyruklu yıldızlar gibi sönük uzay cisimlerini gözlemek için geniş bir görüntü alanı sağlarlar.

Prof. Dr. Zeynel Tunca
TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi,
Ege Üniv. Astronomi ve Uzay Bilimleri Böl.



Robotic Optical Transient Search Experiment (ROTSE) deneyi, geçici optik ışımların saniye-gün zaman ölçeğinde gözlenmesine ayrılmıştır. Temel olarak evrende olan en güçlü ışımlardan Gama Işın Patlamaları (GIP) buna ilave olarak x-ışın patlamaları ya da hızlı değişimleri gibi olayların görsel dalga boylarındaki davranışları deneyin bilimsel hedefidir.

"Uluslararası ROTSE işbirliği"ne University of Michigan başta olmak üzere ABD, Avustralya, Almanya, Namibiya ve Türkiye'den çeşitli üniversitelerden araştırmacılar dahildir. TUG, TÜBİTAK ve Michigan Üniversitesi arasında yapılmış protokol uyarınca işletilecektir.

ROTSE-III programı 4-6 arası tam otomatik yeni nesil teleskopun dünya üzerinde çeşitli yerlere konarak kısa süreli optik parlamaların 24 saat kesintisiz takibi olarak özetlenebilir.

Burada önemli olan, patlamaların çok kısa sürede öğrenilmesi ve buna yanıt vermektir. GCN (GRB Coordinates Network), uydular aracılığıyla tespit edilen gama-ışın patlamalarının olası koordinatlarını yeryüzündeki ilgili gözlem evlerine en kısa zamanda bildirmek ve yapılmış olan gözlem

sonuçlarını dağıtmak için oluşturulmuş bir sistemdir. Uydular tarafından tespit edilen gökyüzünün herhangi bir yerindeki yüksek enerjili foton aktivitesi GCN tarafından çıkarılan "alarm" raporuyla sisteme dahil olan gözlem yerlerine anında iletilir. Sistem üyesi ve tam otomatik bir teleskop olan ROTSE deneyi bu uyarılara 10 sn süre altında yanıt vererek belirtilen konumu gözleyecek şekilde tasarlanmıştır. Gama ışın patlamaları genelde çok kısa sürede en yüksek parlaklığa (kırımızı R filtresiyle 15-18 kadir) ulaşır, tipik parlaklıklar, 8-

10 gün içinde en yüksek parlaklığın yaklaşık yüzde birine kadar iner. ROTSE GIP gözlem programı bu ışık değişimlerini takip edecek şekilde planlanmıştır.

Teleskop/kamera sistemi, temel olarak düzeltilmiş "Cassegrain" düzeneğinde tasarlanmış olup, 450.0 mm ana ayna çapı, $f/1,80$ odak oranı ve düzelticiyle beraber 850.0 mm odak uzaklığı olan bir sistemdir. Son odak düzlemi ana aynadan 75,0 mm uzak, gök görüş alanı (FOV) ise 2,64 derece genişliğindedir.

CCD kamera olarak, 13.5x13.5 mikron piksel boyutunda, 2048x2048 formatında E2V, model CCD42-40 arkadan aydınlatmalı yonga kullanan, elektronik soğutmalı sistem kullanılmaktadır. Kamera okuma gücü 7 elektronken uzay gücü yaklaşık 15 elektron kadardır. 5, 20, 60 sn pozlarla filtre kullanılmadan en az 17, 17,5, 18,5 kadir limit parlaklığa ulaşmaktadır. İyi görüş koşulları sağlandığı takdirde ve gök parlaklığının düşük olduğu zamanlarda bu limit biraz daha sönük cisimlerin gözlenmesine imkan vermektedir. Teleskopun gerek odak ayarları gerekse verilerin indirgenmesi için gerekli

kalibrasyon gözlemleri tam otomatik olarak her gözlem gecesinde yapılmakta ve bu değerler gece içinde alınan verilerin indirgenmesinde kullanılmaktadır. GIP tespit edildiğinde ROTSE kontrol sistemi teleskopu bildirilen konuma çok kısa sürede yönlendirerek veri almaya başlamaktadır. Alınan veriler standart indirgeme yöntemleriyle otomatik olarak incelenmekte ve özet bilgiler hazırlanmaktadır. Bütün bu işlemlerin yapılabilmesi için gerekli programlama uzaktan erişimle yapılabilmekte, ve düzenlenebilmektedir. Geniş görüş açısı gökadarların gözlemlerine imkan verdiği gibi, 3,28 yay saniyelik açısal ayırma gücü oldukça iyi konum tespitini de aynı anda yapabilmektedir. GIP olaylarının takibi programı yanında, gökyüzünde seçilmiş alanlarda yapacağı tarama gözlemleri bir çok yeni nova parlamasının bulunmasına yardımcı olacaktır. Daha önceden bilinen gök nesnelerinin ışık değişimleri sistematik olarak izlenebildiği gibi yeni benzer nesnelerin bulunması da deneyin bilimsel beklentileri arasındadır.

Uzaktan kontrol, tam otomatik çalışma ve en önemlisi, GCN alarm uyarılarının takibi için uluslararası bilgisayar ağlarına (internet) kesintisiz bağlantı en önemli koşullardan biridir. Yapılan protokole göre toplam gözlem zamanının %70 kadarı "Uluslararası ROTSE İşbirliği"ne aittir. ROTSE İşbirliğine ait %70 zamanda yapılan gözlemler ve buradan kaynaklanacak araştırma ve yayınlarda işbirliğinin üyesi olarak TUG (Türk astronomları) pay sahibi olacaklardır. Geri kalan %30 gözlem zamanıysa TUG'a yani Türk astronomlarına aittir. Bu zamanın paylaşımı ve gözlemlerin düzenli bilimsel projeler yardımıyla olacaktır. Bakırtepe'ye kurulmuş olan ROTSEIII'de sistemi, odak düzlemi CCD kamerası hariç hazır durumdadır. Bahar aylarında CCD kamera monte edilerek gerekli ayarlar tamamlanacak ve ROTSE İşbirliğinin şimdi çalışan 3 sistemine ilave 4. ayağı da bilimsel veri almaya başlayacaktır.

Ümit Kızıloğlu
ODTÜ - Fizik Bölümü

TELESKOPLARLA İLGİLİ TANIMLAR

Odak Uzaklığı (f): Görüntünün oluştuğu noktanın aynaya (ya da merceğe) olan uzaklığına odak uzaklığı denir. Her merceğe ve aynanın odak uzaklıkları, yüzeylerinin eğrilikleriyle ilgilidir. Küresel yüzeye sahip mercek ya da aynalarda, odak uzaklığı, küre yarıçapının yarısına eşittir. Diğer dönele konik yüzeyli (elipsoid, paraboloid, hiperboloid) aynalarsa, yüzeyin geometrik özelliklerine bağlıdır. Ancak hepsindeki ortak özellik, yıldızlar gibi sonsuz uzaktaki cisimlerin görüntülerinin odak noktasında oluşmasıdır.

Bir teleskopun etkin odak uzaklığıysa merceklerde objektifin odak uzaklığıyken, aynalarda, birincil ve ikincil aynaların odak uzaklıklarından farklı bir değer olarak karşımıza çıkar. İkincil aynanın ana işlevi, sistemin odak uzaklığını büyüttür.

Teleskop Açıklığı (D): Teleskopun objektifinin ya da birincil aynasının çapına eşittir. $D = 2R$

Yıldızdan, gözlemcinin bulunduğu yere doğru gelen paralel ışık ışınlarından yalnızca teleskop merceğinden geçen ya da birincil aynasından yansıyanlar görüntü oluşturur ve görmemizi sağlarlar. Objektifimizin ya da aynamızın çapı ne kadar büyükse görüntüyü oluşturacak ışık ışınları o kadar çok olacaktır.

Odak Oranı (N): Teleskopun odak uzaklığının (f), teleskopun açıklığına (D) oranıdır. Odak Oranı $N = f / D$

Bunun anlamı, teleskopun etkin odak uzaklığının açıklığın, kaç katı olduğunu belirtmesidir.

Bunu belirten gösterim genellikle f / N şeklindedir. Örneğin $f/10$ verildiğinde teleskopun odak uzaklığı, açıklığının 10 katı demektir. Teleskoplarda birden çok merceğe ya da ayna kullanılmışsa, teleskoptan geçen ışığın odaklandığı noktaya göre hesaplanan uzaklık, sistemin (fs) etkin odak uzaklığıdır. Odak oranı hesabında fs kullanılır.

Örneğin: TUG'da bulunan $D=40$ cm lik teleskopun etkin odak oranı: $f/12,5$

Bu durumda bu teleskopun etkin odak uzaklığı $= 12,5 \times 40 = 500$ cm olur.

8" (8 inch) lik bir teleskopun odak oranı $= f/10$ ise;

bu teleskopun odak uzaklığı da $= 8 \times 2,54 \times 10 = 203,2$ cm olarak bulunur.

Odak oranları, özellikle fotoğrafik gözlemler için bir ölçek olmaktadır. Buna göre:

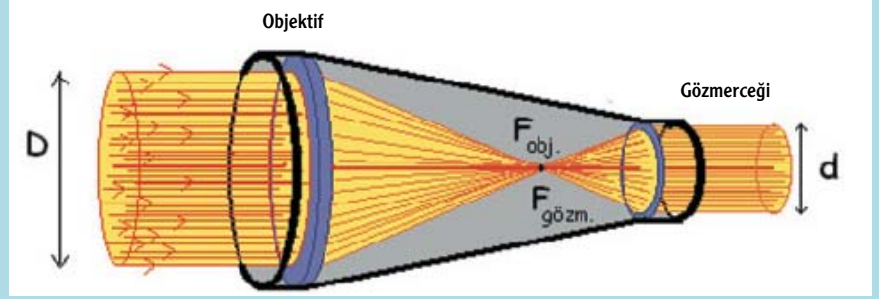
Hızlı: $f / 3,5 - f / 6$ arası

Orta: $f / 7 - f / 11$ arası

Yavaş: $f / 12 - \dots$

Küçük odak oranları, hızlı teleskop olarak adlandırılır ve daha kısa poz süresi gerektirir. Yavaş teleskoplardaysa aynı görüntüyü elde etmek için daha uzun süre poz verilmesi gerekir.

Görelî Işık Toplama Gücü: Yarıçap R ise, gelen ışınların gösterilen alan: $\pi R^2 = \pi (D/2)^2 = (\pi/4) D^2$ olur. Buna göre bir teleskop toplama



yabileceği ışık, onun açıklığının karesiyle doğru orantılıdır. Karşılaştırma yapabilmek için insan gözü dayanak olarak alınmıştır. İnsan gözünün, açıklığı 7 - 8 mm olan bir optik sistem kabul edersek;

Teleskopun göze göre ışık toplama gücüyse: $(D \text{ (mm)} / 7)^2$ oranında olacaktır.

Örneğin: 8" (8 inch) lik bir teleskop gözün $(8 \times 2.54 \times 10/7)^2 = 843$ katı kadar ışık toplayabilir demektir.

Göze göre çok fazla ışık toplayan bir teleskop, gözle göremediğimiz daha sönük olan yıldızların görünmesini sağlar. Benzer şekilde, bir teleskopun göremediği bir sönük yıldız, açıklığı daha büyük olan bir başka teleskopla görülebilir.

Giriş açıklığı (D): Teleskopa girebilen ışık demetinin çapı, objektif ya da birincil aynaya üzerine düşen dairesel ışık demetinin geçtiği açıklık = Teleskopun açıklığı (D)

Çıkış Açıklığı (d): Gözmerceğinden çıkan dairesel ışık demetinin çapı (d) = Gözmerceğinin odak uzaklığı/teleskopun odak oranı. Çıkış açıklığının, gözün açıklığına uygun olması gerekir. Gözün açıklığından daha büyük olursa gözlem sırasında görüntüde kayıplar olur. Daha küçük olursa, görme zorluğu yaşanır.

Teleskopun Büyütmesi (B): Teleskoplarda, bir cismin gözmerceğinden sonraki görüntüsü daha büyük olmaktadır. Görüntünün ne kadar büyüdüğünün bir ölçüsü vardır. Buna Teleskopun Büyütmesi-Gücü denir.

Büyütme (B) = (teleskopun etkin odak uzaklığı) / (gözmerceğinin odak uzaklığı)

Büyütme (B) = (giriş açıklığı D) / (çıkış açıklığı d)

Teleskoplarda birinci ayna ya da objektif o teleskop için değişmeyen parçalardır. Bu nedenle teleskopun (D) açıklığı da değişmezdir. Aynalı teleskoplarda, ikinci aynanın yeri genelde sabittir. Çok büyük teleskoplarda, farklı amaçlara yönelik değişik gözlemler yapılmak istendiğinde, ikinci aynanın yeri ve/ya da kendisi değiştirilerek sistemde değişiklikler yapılabilir. Bu değişiklikler sonucu, yıldızdan gelen ışık yansımaları istenilen yere yönlendirilir. Bu işlemler sırasında sistemin etkin odak uzaklığı da değişir. Küçük çaplı teleskoplar için bu söz konusu değildir. İkinci aynanın yerinin de sabit olduğunu bu nedenle teleskopun bir bütün olarak açıklık, et-

kin odak uzaklığı ve odak oranı gibi değerleri sabittir. Ancak: gözmercekleri, isteğe ve amaca uygun olarak değiştirilebilirler. Gözmerceği değiştirildiğinde, gözmerceğinin odak uzaklığı ve dolayısıyla çıkış açıklığı (d) değişiyor demektir. Bunun sonucu olarak, farklı gözmercekleri kullanıldığında farklı büyütme elde edilir

Örneğin: 8" (8 inch) lik teleskop - Odak Oranı $f / 10$ odak uzaklıkları 30 mm ve 10 mm olan iki gözmerceği kullanıldığında $B_{30} = 68$ $B_{10} = 203$ bulunur. Görüldüğü gibi, odak uzaklığı daha küçük olan gözmerceği kullanıldığında büyütme artmaktadır. Büyütme değerleri: 68X, 203X şeklinde gösterilir.

Büyütme, çıkış açıklığı gözün giriş açıklığıyla uyumlu olacak şekilde ayarlanmalıdır. Çıkış açıklığı (d), gözün giriş açıklığından ($\approx 7-8$ mm) daha büyük olan sistemlerde görüntünün gözmerceğinden izlenmesinde güçlükler, görüntü kayıpları gibi zorluklar oluşur. Gözün yeteneklerinin altında kalan bir açıklıktan da gözlem yapmak olanaksızlaşır.

Görsel olarak gözlem yapılacaksa, teleskoplar için büyütmenin alt ve üst sınırları söz konusu edilebilir. Bu sınırlar, insan gözünün doğası ve yeteneklerinin yanı sıra optik yasalarla belirlidir. Teleskopun optik kalitesi, gözün görme özellikleri, atmosfer koşulları v.b. olgular gözlemlerin kalitesi üzerinde etkilidir.

Teleskopun çıkış açıklığı (d) en fazla gözün giriş açıklığı kadar olmalı kuralı söz konusu olduğuna göre, sağlıklı bir büyütme için, minimum büyütme değeri gözün giriş açıklığı olan 8 mm ile belirlenir. $B_{\min} = D \text{ (mm)} / 8 \text{ mm}$

Büyütmenin üst sınırı için farklı değerler öngörülmektedir. Bunlardan birinde: teleskopun açıklığının inch değerinin 60 katı olarak verilmektedir. Örneğin 8" lik teleskop için $B(\max) = 8 \times 60 = 480 \Rightarrow 480X$ demektir.

Bir başka yaklaşımda da, gözün doğası düşünülerek, teleskopun mm cinsinden açıklık değeri kabul edilir. Örneğin 8" lik teleskop için $D = 8 \times 25.4 = 203.2 \text{ mm} \Rightarrow B(\max) = 203 \Rightarrow 203X$ demektir. Küçük teleskoplar için daha çok $B(\max) \approx 2 \times D \text{ (mm)}$ kullanılır. Büyütme değeri arttıkça görüntü yayılmış olacağından parlaklığı da azalacaktır.

Prof. Dr. Zeynel Tunca
TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi,
Ege Üniv. Astronomi ve Uzay Bilimleri Böl.



Resim 2: Samanyolu merkezinin Chandra ile X-ışını görüntüsü, NASA/UMass/D.Wang'dan.

UYDU TELESKOPLAR

Dünya atmosferi, elektromanyetik spektrumu oluşturan ışınlardan yalnızca görünen ışık ve radyo dalgalarına geçiren davranmakta, diğer ışınları soğurarak atmosfere girmelerine fırsat tanımamaktadır. Bu nedenle gök cisimleri tarafından üretilen yüksek enerjili X-ışınları ya da gama ışınlarnı gözlemlemek, bu ışınlara duyarlı teleskopları atmosferin üzerine çıkarmakla mümkün olabilmekte. 60'lı yılların başlarında balon ve roketler aracılığıyla yükseklerle fırlatılıp kısa süreliğine gözlem olanağı bulabilen yüksek enerji teleskopları, 70'li yıllarla birlikte uydular üzerinde taşınmaya başlandı. Böylece çok daha uzun süreliğine, daha yüksek hassasiyetle gözlem yapabilmek yeteneğine ulaşıldı. Günümüzde yalnızca X-ışını ya da gama ışıını teleskopları değil, yeryüzünde de gözlemlenebilen ışık ve kızılötesi ışınlarnı duyarlı bazı teleskoplar da yörüngedeki uydular üzerinde işletimleri sayesinde, atmosferin etkilerden bağımsız olarak, daha iyi gözlemler yapabilmekte.

Uydu teleskoplarının üretimi, yörüngeye fırlatılması ve işletilmesi oldukça yüklü bütçeler gerektiren projeler. Bu durum birçok ülke uzay ajansının, büyük uydu teleskopu projelerini hayata geçirilebilmesi için işbirliği yapmalarını gerektirmekte. Böylece çok geniş bir kullanıcı kitlesi bu teleskoplardan yararlanabiliyor. Bugün birçok uydu teleskopu için dünya üzerindeki tüm araştırmacılar gözlem önerilerini sunabilmekte, kabul edildiği takdirde bu enstrümanları kullanabilme hakkına sahip olmaktadır.

Başlangıcından itibaren uzay araştırmalarına en büyük yatırımları Amerikan Uzay ve Havaçılık İdaresi (NASA) yapmakta. NASA'nın sürdürmekte olduğu "Mükemmel Teleskoplar" programı, elektromanyetik

spektrumun 4 farklı enerji aralığına duyarlı 4 uydu teleskopunu içeriyor. Bunların ilk halkası 1990 yılında faaliyete başlayan Hubble Uzay Teleskopu. Üstün teknik özellikleri sayesinde evrenin çok uzak bölgelerini görüntüleyebilen Hubble ile gözlemlerin en az 2006 yılına kadar sürdürülmesi bekleniyor. İkinci halka olan Compton Gama Isını Gözlemevi (CGRO), 1991'de başladığı faaliyetlerini 2000 yılına dek sürdürmüştür. CGRO, işletimi süresince üzerindeki EGRET teleskopuyla tüm uzayın çok yüksek enerjili gama ışıması atlası oluşturup (Resim 1), BATSE teleskoplarıyla evrenin her yerinde meydana gelen gama ışıını patlamalarından 2704 tane gözlemledi. GLAST adı verilen, EGRET teleskopunun benzeri, ancak çok daha üstün özelliklere sahip olan teleskopun 2006 yılında; gama ışıını patlamalarını gözlemlemek için tasarlanan SWIFT isimli uydunusa 2004 yılı ortalarında fırlatılması planlanıyor. NASA'nın "Mükemmel Teleskoplar" serisinin üçüncü parçası olan Chandra X-ışını Gözlemevi 1999 ortalarından bu yana binlerce ışık yılı mesafelerde bulunan beyaz cüce, nötron yıldızı ve karadelik kaynaklarının, ve milyonlarca ışık yı-



Kızılötesi dalga boyunda Tarantula bulutsusu



Samanyolu merkezindeki bazı kaynakların INTEGRAL ile alınan gama ışıını görüntüsü

lı uzaklıklarda bulunan gökadalarnı yaydığı X-ışınlarını gözlemlemekte (Resim 2). NASA programının son halkası olan Spitzer Kızılötesi Uzay Teleskopu (SST) 2003 yılı içerisinde fırlatıldıktan sonra test safhasını tamamlayarak bilimsel gözlemlere başladı (Resim 3).

Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) işlettiği uydu teleskoplarından EXOSAT 80'lerde, ROSAT ise 90'larda X-ışını gökbilimine çok önemli katkılarda bulundular. ESA'nın şu anda sürdürdüğü "Ufuklar 2000" programı bünyesinde olan XMM-Newton X-ışını teleskopunun, 1999 sonlarında başladığı gözlemleri 10 yıl sürdürmesi bekleniyor. XMM-Newton, benzeri olan Chandra teleskopuyla karşılaştırıldığında, Chandra kadar duyarlı X-ışını görüntüsü oluşturamamasına karşın, sağlayacağı X-ışını spektral bilgileri, yani gözlenen gökcisminden gelen X-ışını fotonlarının enerji dağılımlarının ölçülmesi açısından Chandra'ya üstündür. Böylece bu iki X-ışını teleskopu bilimsel açıdan birbirini bütünülmekte. ESA yönetimindeki bir diğer uydu teleskopuysa Uluslararası Gama Işını Astrofiziği Laboratuvarı, ya da kısaca INTEGRAL. Bu projesi temelde gama ışıını teleskopu bulundurmasının yanı sıra, uydu üzerinde biri görünen ışık, diğeriye X-ışını teleskopları olmak üzere iki destekleyici enstrüman bulundurmaktadır. Böylece INTEGRAL, gözlenen gökcisminden değişik dalga boylarındaki davranışlarını aynı anda saptayabilme olanağı sunar.

Kısaca değinilen uydu teleskopları, benzeri tüm projelerin yalnızca küçük bir kısmını içermekte. Özellikleri ne kadar farklı olursa olsun, bütün uydu enstrümanlarının amacı birkaç bilimsel temelde odaklanıyor: kozmik olayların nedenlerini, gökadalarnı, yıldızlar ve gezegenler gibi kozmik nesnelerin nasıl oluşup evrimleştiklerini anlayabilmemiz yardımcı olmak.

Ersin Göğüş
-Sabancı Üniversitesi

KÜTLE AKTARIMI YAPAN

1960'lı yılların, gökbilim dünyasında X-ışını gözlemlerinin başlangıç dönemi olduğu kabul edilir. Oldukça yüksek enerjili fotonlardan oluşan X-ışınlarının atmosferin üst kısımlarında emilerek durdurulması nedeniyle, ilk gözlem denemeleri üst atmosfer tabakalarında yapılmaya başladı. Uydu teknolojisinin gelişmediği yıllarda X-ışını gözlemleri balon ve roketlere yerleştirilen detektörlerle yapılmaktaydı. Balonların atmosferde yeterince yükseğe çıkamamaları nedeniyle X-ışını kaynaklarından gelen fotonlar 10-15 dakikalık kısa sürelerle kaydediliyorlardı. Güneş sistemimizin dışındaki ilk X-ışını kaynağı 1962 yılında 5 dakika süreyle bırakılan bir roket deneyi sırasında keşfedildi. İlk X-ışını gözlem uydusu olan Uhuru, 1972 yılında yörüngeye bırakıldı. Bu uydu Centaurus X-3 ve Hercules X-1 gibi başka X-ışını kaynakları keşfetti. Bu X-ışını kaynaklarının çift yıldız oldukları ve bunların birkaç saniyelik atış (dönme) periyodlarının bulunmasından sonra X-ışını çift yıldızlarında, eşyıldızdan nötron yıldızına kütle aktarımı yapıldığı düşüncesi, gökadamdaki X-ışını yayan kaynaklar için vazgeçilmez bir model oluşturdu. X-ışınlarının oluşum mekanizmaları ve bu kaynakların evrimleri birçok bilimci tarafından araştırıldı. Geçtiğimiz 34 yıla yakın sürede X-ışını uyduları (Uhuru, Ariel, SAS3, HEAO1, Einste-

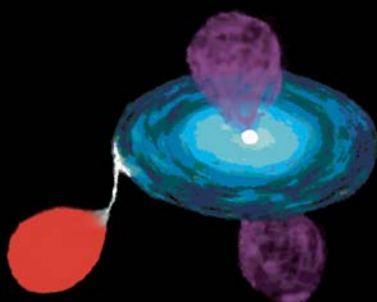
in, Tenma, Exosat, Ginga, Granat, Rosat, XTE, Chandra, XMM, Integral) tarafından bine yakın X-ışını kaynağı keşfedildi. Bu keşfedilen çift yıldızların yüzlercesi nötron yıldızı X-ışını çift yıldızlarıdır.

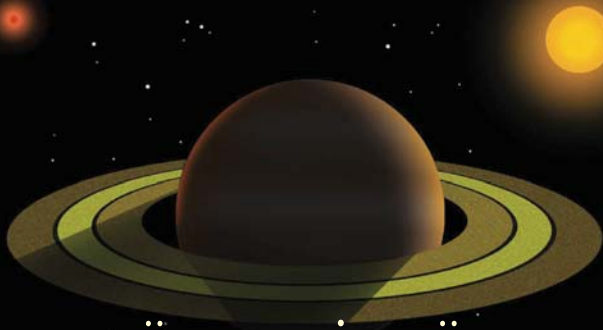
Nötron yıldızlarını, çok kuvvetli manyetik alanı olan dönen mknatıslar gibi düşünebiliriz. Nötron yıldızlarının manyetik alanları $10^9 - 10^{13}$ Gauss arasında değişmektedir. Dünyamızın manyetik alanının yaklaşık 1 Gauss olduğunu düşünürsek, nötron yıldızlarının ne yüksek mertebede manyetik alanlarının olduğunu rahatlıkla hissedebiliriz. Yeni keşfedilen, "magnetar" adı verilen nötron yıldızlarında manyetik alan şiddetinin 10^{15} Gauss kadar olduğu sanılmakta. Bu kadar şiddetli bir mknatıs, Dünya'dan Ay kadar bir mesafeye koysak cüzdanlarımızdaki kredi kartı bilgilerini rahatlıkla silecek kadar kuvvetlidir.

Nötron yıldızının çekim kuvvetiyle nötron yıldızına

akan plazma, nötron yıldızlarının manyetik kutuplarında birikir ve kutupları ısıtır. Ulaşılan sıcaklık yaklaşık 10^7 Kelvin derecedir. Bu kadar yüksek sıcaklıkta ısınan madde X-ışını yaymaya başlar. Nötron yıldızı, dönme eksenini çevresinde her dönüşünde bir ya da iki kez ısınan kutuplarını dünyamıza gösterir. Biz de bu kutupların varlığını X-ışını uydularındaki X-ışını detektörleriyle gözlemliyoruz. Manyetik alanı kuvvetli olan nötron yıldızlarından gelen X-ışınları bu yüzden periyodik sinyaller olarak algılanırlar.

Uyduyla gözlenen X-ışını fotonları geldikleri zamana göre uydunun bilgisayarına kaydedilirler. Uydu dünya çevresinde bir yörünge üzerinde hareket etmektedir. Dünyamız Güneş çevresinde ve nötron yıldızı da kendi eşyıldızı çevresinde dönmektedir. Dolayısıyla verilerimiz hareketli sistemlerde gözlenmiştir. X-ışını veri analizine başlarken öncelikle verilerimizin geliş zamanlarını Dünya, uydu ve Güneş'in ortak kütle merkezine taşımak gerekmektedir. Kütle merkezine göre düzeltme yapılmış veriler, analiz edilebilir konumdadır. Elimizdeki zaman serisinde ölçmek istediğimiz en önemli olgu, nötron yıldızının dönme periyodudur. Bu periyodu Fourier dönüşümü denen bir yöntemle ölçebiliriz. Bu yöntemde, dönme periyodunu zaman serisinin üzerinden





ÇİFT GÜNEŞLİ DÜNYALAR?

Çapları bir metrenin altında olan küçük optik teleskoplarla yapılabilen en etkin gözlemsel çalışmalar, etkileşen çift yıldızlara ilişkin çalışmalardır. Ülkemizdeki optik teleskoplar da hep küçük boyutlu oldukları için gözlemsel çalışmalar bu alanda yoğunlaşmaktadır. Etkileşen çift yıldızların optik gözlemlerinden, onların fiziksel ve geometrik yapıları çözümlenmekte ve sonuçlar uluslararası bilimsel arenaya sunulmaktadır.

Bu alanda yapılan çalışmalar içinde etkileşen çift yıldızların uzun süreli yörünge değişimleri de incelenebilmektedir. Söz konusu yörünge değişimlerinden bir kısmı bu sistemlerin çevresinde görünmeyen başka yıldızların da var olabileceğini göstermektedir. Bizim kendi araştırma grubumuzun çalışmalarıyla etkileşen çift yıldızların çevrelerinde farklı kütlelerde üçüncü cisimlerin varlığını gösteren kanıtlar birikmiştir. İlgili gözlem verilerinin duyarlılığı yeterli olmadığı için, daha çok yıldız kütleli üçüncü cisimler saptanmakla birlikte, yıldız altı kütlelere sahip 'kahverengi cüce' deyebileceğimiz cisimler de bulunmaktadır. Çevresinde başka yıldızların var olduğu etkileşen çift yıldızların listeleri Fekel, Chambliss ve Demircan tarafından ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu listeler incelendiğinde, görünmeyen cisimlerin kütle dağılımında bir süreklilik olduğu, daha küçük (gezegen) kütleli cisimlerin gözlem duyarlılığındaki yetersizlik nedeniyle saptanamadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ayrık çift yıldız bileşen-

leri her bakımdan tek yıldız gibi davranmaktadır. Bu nedenle uzun dönemli ayrık çift yıldız bileşenlerinin kendi çevrelerinde 1. kritik Roche lobları içinde gezegenlerin olmaması için hiçbir neden bulunmamaktadır.

Kısa dönemli etkileşen çift yıldızların çevresinde gezegen varsa, kararlılık açısından yörüngelerin Lagrange noktalarının çok dışında yer alması gerekir. Fekel, Chambliss ve Demircan'ın listelerinde tüm 3.cisimlerin yörüngeleri bu koşulları sağlamaktadır. Şimdiye kadar etkileşen çift yıldızların çevrelerinde gezegen saptanamamasının nedeni, bu konuda sistematik bir çalışma yapılmamış olması, gözlem duyarlılığının yetersizliği ve etkileşen çift yıldızlarda manyetik etkinlik ve madde hareketleri gibi olaylara ilişkin gözlemsel etkilerin gezegen etkilerini kamufle etmiş olmasıdır. Dikkatli bir seçimle bu etkilerin olmadığı etkileşen çift yıldızlar seçilir ve sistematik gözlemler birkaç yıl sürdürülebilirse, bu sistemler çevresinde gezegen varlığı kanıtları bulunabilir.

Bilindiği gibi son on yılda Güneş Sistemi'nin dışında 100 kadar gezegen keşfedildi. Önce hatırlatmak gerekir ki, hiçbir teleskop ne yerden ne de uzaydan bu gezegenleri göremiyor. Peki bu gezegenler nasıl keşfediliyor dersiniz. Bu gezegenlerin varlığı, dolaylı fakat sonuçları kesin olan yöntemlerle saptanmaktadır. Söz konusu dolaylı yöntemler ülkemizde etkileşen çift yıldız gözlem-

lerinde de uygulanmaktadır. Ancak ülkemizde kullanılan teleskopların ışık toplama kapasitesi çok sınırlı olduğu için yıldızların çevresinde küçük kütleli gezegenler saptanamamakta, küçük kütleli görünmeyen yıldızlar saptanabilmektedir. Ülkemizde daha büyük teleskopların olması halinde bu çok güncel alanda uluslararası katkılar yapılabilecek, başka dünyalar keşfedilebilecektir.

Yıldızların oluşumunda bir araya gelen kütle Yer kütesinin 27.000 katından daha fazlaysa bu oluşum nükleer tepkimelerle ısımaya başlar ve yıldız oluşur. Kütle daha küçükse, ısıma başlamaz ve yıldız ölü doğmuş olur. Ancak bu kütle de birkaçbin Yer kütesinden büyükse bir süre (100 milyon yıl kadar) lityum yakarak sıcaklığı nedeniyle kırmızımsı bir renkte pırıldar. İşte bu ölü doğmuş yıldızlara kahverengi cüce denir. Oluşumda bir araya gelen kütle birkaç bin Yer kütesinden küçükse, artık gezegen demektir. Kahverengi cüceler ve gezegenler bir arada bulunmakta ve genellikle yıldızların etraflarında yer almaktadır. Şimdiye kadar elde edilen bulgulardan anlaşıldığına göre;

(i) Birden fazla gezegen oluşum mekanizması var olmalıdır. Gezegen oluşumu, yıldız oluşumuyla bağlantılı olabildiği gibi yıldız ölümüyle de bağlantılı olmalıdır. Çünkü pulsarların çevresinde de gezegen bulunmuştur. Bu bize yıldızlar çevresinde gezegen oluşumunun, beklenenden çok daha fazla olduğunu göstermektedir.

(ii) Farklı yıldızların çevresinde farklı uzaklıkta ve farklı büyüklükte gezegenler bulunabilmektedir. Ancak bugünkü tekniklerle normal yıldızların çevresinde Jüpiter kütesinden daha küçük kütleli gezegenleri saptamak mümkün olmamaktadır. Bundan sonra Yer benzeri küçük gezegenlerin keşfi için büyük teleskoplarla ve uydü gözlemleriyle çok özel projeler geliştirilmektedir.

Prof. Dr. Osman Demircan
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

N NÖTRON YILDIZLARI

çok sayıda frekans değeri olan harmonikler geçirerek bulabiliriz. Daha sonra zaman serimizi bu bulduğumuz periyodla katlayarak tek bir puls (atış) yapısı elde ederiz. Bu puls yapıları durağan hale geldiğinde bulmuş olduğumuz periyod, en hassas periyod ölçümüdür. Bugüne kadar ölçülen X-ışını kaynaklarında nötron yıldızlarının periyodları 0,069-1450 saniye arasında değişmektedir.

Bu periyodlar zaman içinde değişmektedirler. Bu değişimin nedeni, bu nötron yıldızları üzerine aktarılan kütlelenin verdiği torklardır. Nötron yıldızları çevresinde oluşan kütle aktarım diskleri nötron yıldızlarının manyetik alanlarıyla etkileşip aktarılan maddeden ve manyetik alandan kaynaklanan torklar uygulamaktadır. Bu torklar nötron yıldızlarının zaman içinde hızlanmasına ve yavaşlamasına neden olmaktadır. 1990 yılında yörüngeye bırakılan Compton Gamma Ray Observatory üzerindeki BATSE detektörleri, kütle aktarımı yapan nötron yıldızlarını sürekli olarak izledi. Bu gözlemler ortaya şaşırtıcı sonuçlar çıkardı. Kısa zaman aralıklarında (örneğin haftalar mertebesinde) nötron yıldızları hızlandıkları oranda yavaşlama da gösteriyordu. Bu yavaşlamaları, zaman içinde kararlı bir kütle aktarım diskinin nötron yıldızına uygulayaca-

ğı torklarla açıklamak oldukça güçtü. Bu değişimleri izah etmek için kütle aktarım disklerinin topaç hareketleriyle salınım yaptıkları öne sürüldü. Bu salınımlar sırasında nötron yıldızlarına ters torklar verdiği öne sürüldü. Diğer bir modelse, eşyıldızın plazma rüzgârına maruz kalan nötron yıldızının zaman zaman yıldız rüzgârı altında yörüngeye ters yönde dönen disk oluştuymasıydı. Bu yavaşlamanın diğer bir nedeniyse nötron yıldızlarının içinde bulunan süper akışkan sıvının bazı kısa dönemlerde düzensiz yavaşlamalara neden olabileceğiydi. Kütle aktarımı yapan nötron yıldızlarının periyod değişimlerinin araştırması hâlâ uluslararası platformda güncel bir konudur ve ülkemizdeki Yüksek Enerji Astrofiziği gruplarında araştırılmaktadır.

Tork değişimlerine eşlik eden çok önemli diğer bir gözlemsel bulguysa, kütle aktarımın miktarı ve nötron yıldızlarından gelen X-ışınlarının enerji spektrumlarıdır.

Hali hazırda, yörüngede bulunan Chandra ve XMM uydularının olağanüstü enerji ayrıştırma gücü sayesinde, nötron yıldızlarının spektrumlarını ve saniyedeki aktarılan kütleli hesaplayabilmekteyiz. Spektral parametrelerdeki değişimlerle tork değişimleri arasındaki

ilişkiden, nötron yıldızlarının çevresindeki kütle aktarım disklerinin ve eş yıldızdan gelen yıldız rüzgarlarının yapısı hakkında bilgi edinmekteyiz. Kütle aktarımı sırasında oluşan emisyon çizgilerinin Doppler kaymalarını hesaplayıp X-ışınlarının nötron yıldızlarının hangi bölgesinden geldiklerini tahmin edebilmekteyiz. Bu önemli bilgilere halen yörüngede olan RXTE, Chandra, XMM uydularından gözlem zamanı alarak ulaşmaktayız. Uydulardan gözlem zamanı almak için bu uydulara her yıl belirli dönemlerde proje vermektediriz. Uluslararası yarışmaya açık olan bu projelerden aldığımız projelerle araştırmalarımıza sürdürmekteyiz.

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevindeki 1.5 metrelik Rus-Türk Teleskopu RTT150'ye verilen gözlem projeleriyle, kütle aktarımı yapan nötron yıldızlarının eş yıldızları gözlenmektedir. Bu gözlemler yüksek enerji astrofiziği çalışmalarımızdaki eksikliklerimizi tamamlamakta ve eş yıldızlar hakkında bize bilgi vermektedir. Ülkemizdeki genç araştırmacıların katkılarıyla astrofizik araştırmalarının önümüzdeki on yıl içinde çok daha ileriye gideceğini umuyoruz.

Altan Baykal
ODTÜ Fizik Bölümü

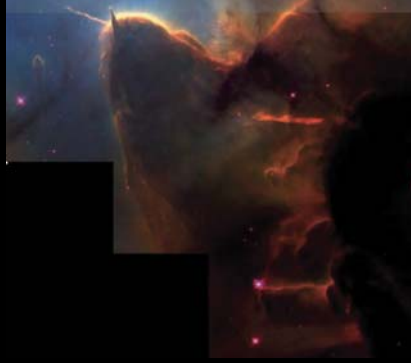
YILDIZLARIN YAŞAM ÖYKÜSÜ

17. yüzyıla kadar evrenin değişmediği, gökyüzündeki her şeyin değişmeden aynı kaldığı ve yerini koruduğu sanılıyordu. 1687 yılında Isaac Newton'un Principia adlı eserini yayımlamasıyla, gezegenlerin Güneş çevresindeki dolanımalarının ve bir cismin yer yüzeyine düşüşünün aynı fizik yasasının sonucu olduğu anlaşıldı. Böylece üzerinde yaşadığımız Yer'in de bir gök cismi olduğu, mekanik yasalara göre evrimin kaçınılmaz olduğu tartışmaları başladı. Ancak, yıldızların evriminin tam olarak anlaşılabilmesi için termodinamikteki gelişmelerin doruğa çıktığı 19. yüzyılın ikinci yarısına kadar beklemek zorundaydık.

Evrenin evrimi düşüncesi elbette gök cisimlerinin gözlemlerine dayanmaz. Bu evrim öylesine yaşıttır ki gökyüzündeki herşey insanlık tarihi boyunca hiç bir değişime uğramamış gibi görünür. Ancak, 1572 yılında Tycho Brahe'nin Koltuk takım yıldızında yeni bir yıldız (üstnova) bulmasıyla "evrenin değişmezliği" düşüncesi yıkılmaya başlamıştır. Hayvan ve bitki fosilleri incelendiğinde güneş ısınımının yeşilliğinin milyonlarca yıldan bu yana önemli bir değişim göstermediği görülmüştür. Öyleyse, Güneş bitmez, tükenmez dev bir enerji kaynağı mıdır? Yer yüzeyindeki yaşamın bağlı olduğu bu kaynak daha ne kadar aynı miktarda enerji göndermeyi sürdürecektir? Bu soruların yanıtını ancak 1919 yılında bulabildik: Güneş ve yıldızların enerji kaynağı termonükleer birleşme tepkimeleri olmalıdır.

Yaşamımızı sağlayan Güneşimizin kütlesi 1.99×10^{30} kg, yarıçapı da 700.000 km dolayındadır. Samanyolu gökadasında 200 milyar dolayında yıldız bulunmaktadır. Bunların kütleleri, Güneş kütesinin 0.08 ile 100 katı arasındadır. Ancak % 80'inin kütlesi Güneş'ininkine yakındır. Yarıçaplarıysa 10 ile 700 milyon km gibi geniş bir aralığı kapsar. Yıldızların yoğunlukları da geniş bir aralıkta dağılır. Örneğin bir kırmızı dev olan Betelgeöz'ün yoğunluğu soluduğumuz havanın yoğunluğundan daha azdır. Buna karşın beyaz cüce yıldızların bir çay kaşığı kadar maddesinin yoğunluğu 1 tondan daha fazladır. Son olarak, yıldızların yüzey sıcaklıkları 2000 ile 300.000 derece arasında, kırmızıdan mavi-beyaz renge doğru bir dağılım gösterir.

Bir gökadamdaki yıldızlararası bulutların çekimsel çökmesiyle yeni yıldızlar oluşur. Onların evrim hızlarını başlangıçtaki kütleleri belirler. Bir yıldız soğan kabukları gibi katmanlar şeklinde düşünürsek, her katmanda basınç kuvvetiyle çekim kuvveti birbirini dengelemeye çalışır. Buna hidrostatik denge denir. Güneş kütesindeki bir yıldızda bu denge 10 milyon yılda ancak kurulabilir. Bu süre içerisinde yıldızın saldırdığı enerji, büzülmeyle açığa çıkan toplam enerjinin yarısı kadardır. Öteki yarısı da yıldızın iç kısımlarının ısıtılmasında kullanılır. Büyük kütleli yıldızlar bu dengeye daha kısa zamanda ulaşır. Güneşte hidrostatik denge kurulduğunda merkezdeki sıcaklığın yaklaşık 15 milyon derece, yoğunluğun da suyun yoğunluğunun 160 katına ulaştığını tahmin ediyoruz. Bu yüksek sıcak-



Trifid bulutsusu. Bizden 9 000 ışık yılı uzaklıktaki bir yıldız oluşum bölgesi. Yıldızların doğum bölgelerinden biri. APOD 990607



Orion bulutsusu. Yerden 1500 ışık yılı uzaklıktaki gökadamızın spiral kolundaki yıldız oluşum bölgesi. APOD 990522



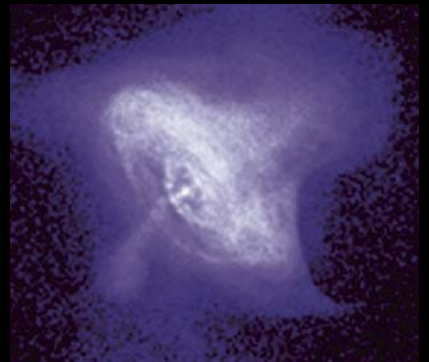
Abell 39 gezegenimsi bulutsusu ve merkezindeki beyaz cüce yıldız kalıntısı. Bulutsu bizden 7000 ışık yılı uzaklıkta ve 5 ışık yılı çapındadır. APOD 010123



Ring Bulutsusu. 2300 ışık yılı uzaklıktaki bu bulutsunun merkezinde 100.000°C sıcaklığında bir beyaz cüce vardır. APOD 030322



Yerden 6000 ışık yılı uzaklıkta, 1054 yılında patlayan ve merkezinde saniyede 30 kez dönen bir nötron yıldızı bırakan Crab atarcası. Soldaki resim optik görüntüyü, sağdakiyse röntgen dalgaboyundaki görüntüyü göstermektedir. APOD 030914 APOD990929



lıkta en hafif parçacıklar olan protonların itme kuvvetini yenecek kadar yüksek hızlara ulaşacaklarını ve çarpışarak helyum çekirdeklerini oluşturacaklarını ancak 1939 yılında anlayabildik. Bugünkü bilgilerimize göre Güneş'in toplam kütesinin ancak yüzde 12'si nükleer tepkimeye giriyor. Güneşimiz 4.6 milyar yıldır hidrojen çekirdeklerini nükleer tepkime yoluyla birleştirerek helyum çe-

kirdeklerine dönüştürmektedir. Güneşimizin uzaya saniyede 3.84×10^{33} erg'lik enerji saldırdığını biliyoruz. Bu enerjinin merkezdeki nükleer tepkimelerle karşılanabilmesi için saniyede 600 milyon tondan fazla hidrojen helyuma dönüşmelidir. Dört protondan bir helyum çekirdeği oluştuğunda proton başına binde yedililik bir kütle kaybı olmaktadır. Buna göre saniyede 4.3 milyon ton kütle,



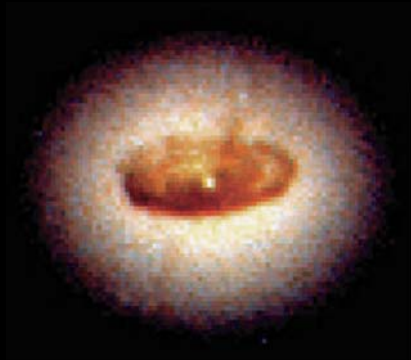
Komşu gökadamız Macellan Bulutlarında 1987 yılında patlayan SN 1987A'nın Hubble Uzay Teleskopuyla 1996 yılında alınan bir görüntüsü. APOD 020331

Einstein eşitliği $E=mc^2$ ye göre enerjiye dönüşmektedir. Bu enerji üretimi bir hidrojen bombasından çok, düzenli çalışan bir reaktöre benzer. Hidrojen yanarak helyuma dönüşürken güneşin toplam kütleindeki değişme, boşlanabilecek kadar azdır. Ancak, çekirdekteki parçacık sayısı hızla azalır. Dolayısıyla çekirdekte hidrostatik denge bozulur ve çekirdek büzölmeye başlar; sıcaklık ve yoğunluk artar. Bu büzölme nedeniyle nükleer tepkime miktarı da artar ve Güneş'in parlaklığı büyür. Isıtmadaki artmanın dış katmanlara doğru akmasıyla dış katmanlar genişlemeye başlar. Merkezden enerji taşıyan fotonlar soğurularak yeniden salınarak 10 milyon yılda ancak yüzeye ulaşabilir. Günümüzde geçerli olan modellere göre Güneşimiz 4.6 milyar yılda çekirdeğindeki hidrojenin yarısını helyuma dönüştürmüş olmalıdır.

Çekirdekte hidrojenin tümüyle tükenmesiyle çekirdek büzölür; çekirdeği saran ince bir zarfta hidrojen yanması sürerken dış katmanlardaki genişleme en büyük değerine ulaşır ve Güneş bir kırmızı dev olarak görünür. Güneşimiz evriminin bu aşamasına geldiğinde yarıçapının büyüyecek Merkur gezegenine kadar genişleyebileceği tahmin ediliyor.

Küçük kütleli yıldızların merkez bölgesindeki 100 milyon derecelik bu yüksek sıcaklık nedeniyle elektron yozlaşması olur. Kısaca söylemek gerekirse, artık merkezdeki sıcaklık basınca bağlı değildir. Dolayısıyla merkez bölgesindeki büzölme çok fazla olur ve bu yüksek sıcaklık nedeniyle bir anda büyük miktarlarda helyum yanması başlar. Buna helyum parlaması diyoruz. Çekirdekteki helyum yanması yaklaşık bir milyar yılda bittikten sonra tümüyle karbondan oluşan merkez bölgesi büzölür, dış katmanları genişler. Ancak, çekirdek ne denli büzölürse büzölsün, karbonu tutuşturmayaya yetecek sıcaklığa ulaşamaz. Dış katmanlardaki bu genişleme nedeniyle yıldızın dış katmanları yıldızdan ayrılarak, merkezinde beyaz cüce bir yıldız bulunduran gezegenimsi bulutsu oluşturur. Bu terim, evrimin bu aşamasında yıldızın görüntüsünün Uranüs ya da Neptün gezegenine benzeyeceği düşüncesine dayanır. Güneş'imizin evrimi sırasında çekirdekteki helyum tümüyle tükendiğinde yarıçapının Dünya'mızı da içine alacak kadar büyüyeceği tahin ediliyor. Kütleleri yarım Güneş kütlesi kadar olan yıldızlarsa evrimleri boyunca helyumu yakamazlar.

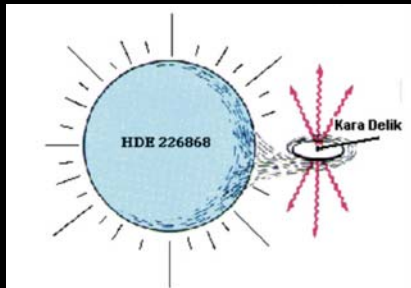
Kütleleri 1.3 ile 8 Güneş kütlesi arasında olan yıldızlara da orta kütleli yıldızlar diyoruz. Bunların



45 milyon ışık yılı uzaklıktaki NGC 4261 gökadasının çekirdek bölgesinde yer alan karadelğin çevresindeki görüntü. APOD 971019

evrimi de Güneş'imizin evrimine benzer. Ancak çekirdekte hidrojen yanması bittiğinde elektron yozlaşması olmaz. Evrimin sonu yine çekirdeği saran zarfın atılarak merkezinde bir beyaz cüce olan bir gezegenimsi bulutsu oluşumuyla sona erer. Küçük ve orta kütleli yıldızların evrimi sonunda geriye kalan beyaz cüceler, artık enerji üretmeyen, yoğunluğu güneşinkinden bir milyon kat daha yüksek olan, Güneş yarıçapının yüzde biri kadar yarıçapa sahip, çok düşük ısıtmalı bir yıldızdır. Zamanla soğuyarak görünmez olur.

Kütleleri 8 Güneş kütlesinden daha fazla olan yıldızlara büyük kütleli yıldızlar diyoruz. Bu yıldızların evrimi çok hızlıdır. En hafif parçacıklar olan hidrojenen başlayarak çekirdekteki her elementin yanma işleminin sonunda yıldızın yarıçapındaki değişme, Güneş'ininkin binlerce katına çıkar. Yıldızın çekirdeğindeki madde sonunda tümüyle demire dönüşür. Böyle bir yıldızda merkezden yüzeye doğru demir, nikel, silisyum, oksijen, neon, karbon, helyum ve hidrojen kabukları oluşur. Yıldızın merkezinde demir oluştuğunda ortamın sıcaklığı neredeyse 5 milyar dereceyi bulur. Demir, doğadaki en kararlı elementtir ve nükleer tepkimeye girmesi çok zordur. Tersine, parçalanarak helyum atomlarına dönüşür ve bu işlem sırasında ortamın sıcaklığı düşer. Dolayısıyla, basınç kuvveti üzerindeki maddenin ağırlığını taşıyamaz. Yıldızın tüm maddesi çekirdeğe düşerek bir üstnova (süpernova) patlaması meydana gelir. Üstnova patlamasıyla uzaya bir anda salınan enerjinin Güneş'in saldığı enerjinin bir milyar katı yoresinde olduğunu tahmin ediyoruz. Bu patlamayla yıldız maddesinin tamamına yakını uzaya atılır; geriye, bir kaç kilometre yarıçaplı bir küreye sıkıştırılmış madde kalır. Bu kalıntı tümüyle nötronlardan oluşur ve santimetre kübünde 10^{15} ton madde bulunduran



Cygnus x-1 yıldızına ilişkin bir gösterim. Soldaki optik bileşen 20 Güneş kütlesindedir. Sağdaki bileşense bir karadelik olup, 7 Güneş kütlesindedir.

ölü bir yıldızdır. Bunlara nötron yıldızları diyoruz. Açısal momentumun korunumu nedeniyle bir nötron yıldızı saniyede birkaç kez döner. Manyetik alanın da yüksek olması nedeniyle yıldızdan çıkan radyo atmaları yalnızca kutup bölgesinden salınır. Bu nötron yıldızlarına atarca diyoruz. Atarcalar yüksek çekim alanı içerisine yerleştirilmiş bir saate benzer. Bu saatin davranışını inceleyerek, genel görelilik kuramının öngörülerini test edebiliriz. İlk atarca 1967 yılında Jocelyn Bell tarafından keşfedildi. Crab bulutsusundaki bu atarca 1054 yılında patlayan bir üstnovanın kalıntısı olup uzun süre gündüzleri bile görülebilmştir. En hızlı dönen atarlardan birisi olan bu yıldız kendi eksenini çevresinde saniyede 33 kez döner. İki nötron yıldızından oluşan atarcaların varlığını da biliyoruz. Bu atarcalar, genel görelilik kuramınca ivmelendirilmiş kütlelerin çekim dalgaları yayacağı öngörüsünün gözlemsel kanıtı için en uygun cisimlerdir. Günümüzde bilinen atarca sayısı 1200 dolayındadır. Atarcanın dönmesi zamanla yavaşlar ve soğuyarak görünmez duruma gelir.

Başlangıç kütleleri çok büyük, tahminen 30 Güneş kütlesi ya da daha büyük yıldızlarsa, üstnova patlamasının sonunda Güneş kütlesinin beş katından daha büyük bir kütle bırakabilir. Yıldızdan atılan madde ışık hızına yaklaşır. Bu aşamadaki bir yıldız kalıntısından, ışık bile kaçamaz. Uzay ve zamanın durduğu, başka bir deyişle kütle için yer olmadığı ve zamanın durduğu böyle kalıntılara "karadelik" diyoruz. Karadeliklerin varlığı iki yolla anlaşılabilir. Çevrelerindeki toz maddeye uyguladıkları yüksek çekim etkisiyle onlardan röntgen ışınlarının salınmasına neden olur. İkinci yolsa, bir çift yıldız bileşeni olan karadeliklerin kütesinin, bileşeninin deviniminden hesaplanması. Bu yıldız nötron yıldızlarına karşılık gelen yaklaşık 5 güneş kütlesinden daha büyükse, bir karadelik olmalıdır. 1963 yılında Cyril Hazard bir radyo kaynağının Ay tarafından örtüldüğünü gözledi. Çok uzak olan bu kaynağın yıldız benzeri bir cisimle aynı yerde bulunduğu görüldü. Otuz yıl kadar önce atmosfer dışına gönderilmeye başlayan uydulara yerleştirilen röntgen alıcıları, çift yıldız üyesi olan karadelikleri tanımamızı ve bulmamızı kolaylaştırdı. Bugün en azından on çift yıldızda bileşenlerden birisinin karadelik olduğunu biliyoruz. Son çalışmalar yıldız cisim dediğimiz kuazarların, gökadalardan çekirdeklerinde bulunduğunu gösteriyor. Kuazarların boyutlarının güneş dizgesi kadar olduğu ve gökadamızdan bin kat daha fazla enerji saldıkları biliniyor. Bunların çekirdeklerinde birer karadelğin bulunduğu ve karadelğin onu çevreleyen gökadanın yılda bir Güneş kütlesi kadar maddeyi aldığı tahmin ediliyor.

Evrenin temel taşları olan gökadalarda dengede tutan yıldızlar da zamanla evrimleşiyor. Evrimin hızını yıldızların başlangıç kütleleri ve bulundurdıkları ağır elementler belirliyor. Yıldızların yaşamları genellikle bir patlamayla sona eriyor. Dolayısıyla gökadalarda ağır elementlerce zenginleşiyor. Yeni doğan yıldızlar, evrende ilk oluşan yıldızlara göre daha fazla ağır element bulunduyor ve daha büyük kütleli doğuyorlar. Kütle büyüdükçe evrim hızlanırken, ağır elementlerin bolluğu büyüdükçe evrim yavaşlıyor.

Cafer İbanoğlu
Ege Üniv. Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

KÜTLE ÇEKİMSEL MERCEKLER

Hubble Uzay Teleskopunun verileri, gökbilimcileri çığır açan yeni bulgulara taşımaktadır. Bu bulgulardan biri, “hayalet” evrendir! Mercekler ışığı bir odak noktasında toplamayı yanı sıra, kaynaktan gelen ışığın yeğinliğini de yükseltir. Hubble Uzay Teleskopu, doğal mercekleri ve onların ışık yeğinliğini yükseltme özelliklerini kullanarak, Yer konumlu teleskopların beceremediği “hayalet avcılığı”nı çok iyi yapıyor.

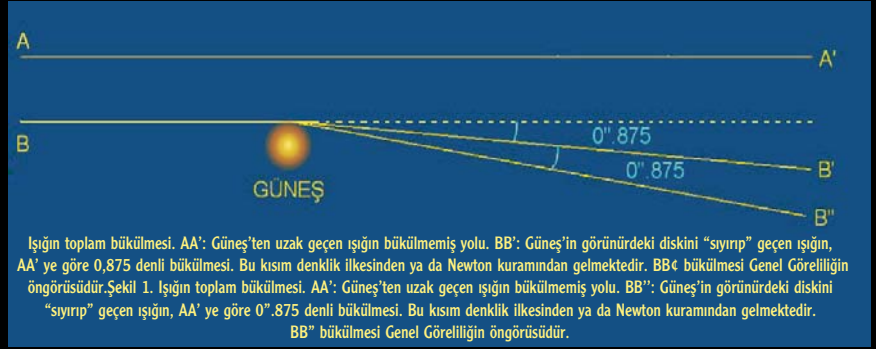
Hubble Uzay Teleskopunun “hayalet avcılığı”nda sergilediği becerileri incelemeyen önce konunun ilginç tarihçesine bir göz atalım.

Tarihçe

18. yüzyılda bilim adamları, ışığın yayılma doğrultusunun çekim alanı tarafından nasıl etkileneceğini araştırmaya başladılar. Çekim alanının ışık üzerine olan etkisini ciddi olarak inceleyen ilk kişi, İngiliz gökbilimci, rahip John Michell'dir. Işığın, “korpüskül” adı verilen taneciklerden oluştuğu düşüncesi Newton zamanında ortaya atılmıştı. 1783 yılında Michell, ışığın da tıpkı madde gibi çekim alanından etkilenmesi gerektiğini düşündü. Michell, Yer ya da Güneş gibi bir gök cisminin dışarıya doğru yayılan ışığın hızının, uzaklıkla azalacağını savundu. Kuşkusuz Michell zamanında ışık hızının sabit olduğu gerçeği bilinmiyordu. Michell'in kendisine sorduğu soru şuydu: “Yoğunluğu Güneş'inkine eşit olan bir yıldız ne denli büyük olmalı ki, saldırdığı ışık sonsuza erişmeden önce dursun ve geriye, salındığı noktaya dönsün?” Bu sorunun yanıtı, çapı 500 Güneş çapı olan bir yıldız işaret ediyordu. Michell'in hesaplarına göre ışık, böyle bir yıldızdan asla kurtulamazdı! Bu, olağanüstü bir görüştü; çünkü Michell'in yıldızı bugün karadelikler simgeler. Michell'in çalışmalarından 15 yıl sonra Fransız matematikçi Pierre Simon Laplace da benzer bir sonuç elde etti. Zaman, Michell'in de Laplace'ın da ayrıntılarda yanıldığını gösterdi. Ancak, her ikisinin de kullandığı hipotez - ışığın çekim alanından etkilendiği hipotezi - doğru çıktı.

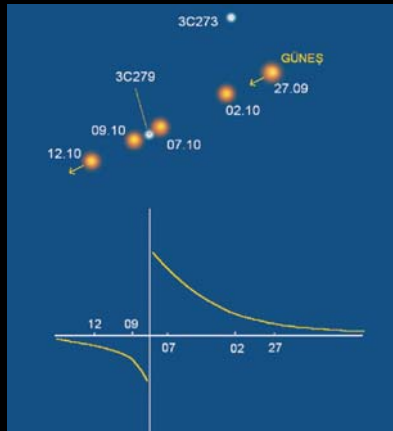
Laplace'ın bu konudaki spekülasyonlarından etkilenen Bavyeralı gökbilimci Johann Georg von Soldner (1776 - 1833), kendisine, “Çekim alanı ışığı büker mi?” sorusunu sordu. Sorunun çözümünü Einstein yaptı; ancak soru Einstein'dan 100 yıl önce sorulmuştu. Soldner, kendi kendini yetiştirmiş saygın bir gökbilimciydi. Gök cisimlerinin konumlarını büyük doğrulukla saptama çalışmalarına (astrometri) katkıları olmuş. Soldner daha sonra Münih Bilimler Akademisine müdür olarak atandı. 1801 yılında Berlin Gözlemevi'nde Johann Bode adlı gökbilimcinin yardımcısıyken çok önemli bir çalışma yaptı. Bu çalışmada ışığın “korpüskül” adı verilen parçacıklardan oluştuğu varsayımını kullandı. Bu varsayımı kullanarak Soldner, Güneş'e çok yakın geçen yıldız ışığı doğrultusunun kaç yay saniyesi sapacağını hesapladı. Önce Soldner ve 100 yıl sonra Einstein'ın incelediği durumda ışık hızı çok büyük ve çekim kuvveti de çok küçük olduğundan ışığın “yörüngesi” doğruya yakın bir hiperbol olur. Bu sapma, çok küçük olmasına karşın hesaplanabilir bir değerdir. Soldner bu değeri 0.875 yay saniyesi olarak buldu (Şekil 1).

Gerçekten çok güzel ve oldukça özgün olan bu çalışma 1803 yılında bir Alman gökbilim dergisin-



de yayımlandı. Konu, daha fazla ilgi toplamadığından hemen unutuldu. Unutulmasının nedenlerinden biri, etkinin o günkü teleskopların duyarlık sınırlarından daha küçük oluşu; diğeryse, 19. yüzyılda gelişen elektromanyetik kuramın, ışığın tanecek özelliğinden çok dalga özelliğini ön plana çıkarmasıdır. O zamanlar ışığın, “aether” adı verilen, ne olduğu belirsiz, hafif, gözlenemez bir ortam içinde yayıldığına inanılırdı. Bilim tarihçilerine göre Einstein, Soldner'in çalışmalarından kesinlikle habersizdi.

Einstein, Annalen der Physik adlı bilimsel derginin 1911 yılında yayınlanan 35 numaralı sayısında, Güneş'e oldukça yakın geçen yıldız ışığının Güneş'in çekim alanı tarafından bükülmeye uğratılacağını ve bunun yaklaşık 1 yay saniyesi kadar olacağını yazdı. Aynı bildirisinde Einstein, “Tam Güneş tutulması sırasında, Güneş'in yakın komşuluğundaki yıldızlar görülebilir duruma geldiğinden, bu etkiyi gözlemlerle sınamak olasıdır” dedi. Bunun üzerine, 1922 yılında 3; 1929 yılında 1; 1936 yılında 2; 1947 yılında 1; 1952 yılında 1 ve 1973 yılında 1 adet olmak üzere bir dizi gözlem yapıldı. 1973 yılında yapılan gözlemi Texas ve Princeton Üniversiteleri birlikte örgütledi. O yılın tam Güneş tutulma gözlemi Haziran ayında Mauritania'nın Chinguetti Oasis yöresinde gerçekleştirildi. Sonuç, Einstein'ın önerisinden 0.95 ± 0.11 kez daha küçüktü. 1973 gözlemi bu tür gözlemlerin sonuncusu oldu. Çünkü, ışığın bükülmesine ilişkin gözlemler radyo bölgesine kaymış ve çok



Şekil 2. Güneş, 3C273 ve 3C279 kuazarlarının 8 Ekim tarihi dolaylarındaki birbirlerine göre durumları. Altta grafik, iki kuazar arasındaki açısal uzaklığın zaman değişimini vermektedir

çok daha duyarlı gözlemlerle çok daha iyi sonuçlar elde edilmeye başlanmıştı bile! Yeni tür gözlemler, 20. yüzyılın iki büyük bulgusu olan radyo teleskoplar ve kuazarları kullanarak, 1969 yılından başlayıp 1975 yılına dek her yıl yapıldı. Bu gözlemlere, NRAO'ya bağlı olan radyo teleskoplar, Goldstone'dan Haystack'a; İngiltere'deki Mullard'dan Hollanda'daki Westerbork'a dek uzanan tüm radyo teleskoplar katıldı.

Radyo teleskopların rolü

Radyo teleskop gözlemlerinde, gökyüzünün en parlak iki kuazarı olan 3C273 ve 3C279 numaralı kuazarlar kullanıldı. Her iki kuazarın da açısal çapı oldukça küçüktür. Yer'deki bir gözlemciye göre Güneş, Ekim ayının 8. günü bu kuazarlara çok yakın bir konuma gelir. 3C279 kuazarı Güneş tarafından örtülürken 3C273 kuazarının Güneş'e en yakın uzaklığı 4° kadar olur (Şekil 2). Radyo girişimölçerleriyle herhangi iki kaynağın açısal uzaklığı son derece yüksek doğrulukla saptanabilir. 8 Ekim'i merkez alan 10 günlük bir zaman diliminde kuazar çifti Güneş'in bir yanından diğer yanına geçer. Kuazarlar arasındaki açı, girişimölçerle hergün ölçülür. Her iki kuazar da Güneş'ten uzakken ölçülen açı, kuazarlar arasındaki “gerçek”, değişmeye uğramamış açı olacaktır. Günler ilerledikçe kuazarlar Güneş'e yaklaşacak ve 7 Ekim'de 3C279 Güneş'e 3C273'den daha yakın bir konuma gelecektir. Açısal uzaklığın değişme niceliği ışık yolunun Güneş'e olan uzaklığıyla ters orantılı olduğundan 3C279 dan gelen radyo dalgaları 3C273'den gelen radyo dalgalarından daha çok sapacaktır. Bu durum, iki kuazar arasındaki açının büyümesine neden olacaktır. 3C279 kuazarı Güneş diskini “sıyrıp” geçtiğinden, ışığının doğrultusu, Genel Görellik kuramının öngördüğü gibi 1.75 yay saniyesi kadar sapacaktır. Diğer yandan, 3C273'ün Güneş'le arasındaki uzaklık 9° olduğundan ve de Güneş'e 35 kez daha uzak olduğundan, ışığının doğrultusu yalnızca 0.05 yay saniyesi sapacaktır. 9 Ekim'de 3C279 da 3C273 gibi Güneş'in “aynı tarafında” olacak ve iki kuazar arasındaki açısal uzaklık azalacaktır. Günler geçtikçe iki cisim Güneş'ten uzaklaşacak ve aralarındaki açısal uzaklık ilk değerine dönecektir.

İki kuazar arasındaki açısal uzaklığın zaman değişimini büyük bir doğrulukla saptayan radyo gökbilimciler, ışığın bükülme niceliğini Güneş'ten olan uzaklığın bir işlevi olarak bulur ve bu değeri, Güneş'i “sıyrıp” geçen ışığın bükülme niceliğine dönüştürebilirler.

Işığın bükülme niceliğinin daha duyarlı ölçül-

me çalışmalarına 1975 gözlemleriyle son verildi. Gözlemlerin iyileştirilmesini sınırlandıran başlıca etmen, 2 milyon derece sıcaklığa varan Güneş tacıdır. Güneş tacı, Güneş'ten 2-3 \odot (Güneş yarıçapı) uzaklıklara dek uzanır. Güneş tacından geçen radyo dalgaları kırılmaya uğrar. Kırılma uzun dalga boylarında daha büyüktür. 3.7 cm dalga boyuna sahip radyo dalgalarıyla yapılan kuazar gözlemlerinde, Güneş'e 3 \odot uzaklıktan geçen ışığın kırılması, çekimsel bükülme için öngörülen değerin dörtte biri kadardır. Çekimsel bükülme deneylerine bulaşan kırılma etkisi oldukça büyük bir etkidir. Güneş'e daha yakın geçen radyo dalgalarının kırılması, çekimsel bükülme ölçümlerine daha olumsuz

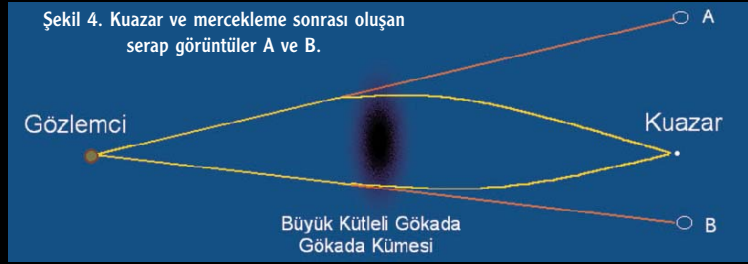
etki yapar (Optik bölge gözlemleri için Güneş tacının kırma etkisi boşlanabilecek kadar küçüktür). Bugünkü radyo girişimölçer tekniğiyle kırma etkisini 0.01 duyarlılıkla ölçebiliyoruz. Amerika kıtasını boydan boya kateden ve kıtalararası radyo teleskoplarla oluşturulan girişimölçerler vardır. VLBA (Very Large Baseline Array) adı verilen bu girişimölçer Şekil 3'te gösterilmiştir. VLBA'nın eriştiği açılal çözünürlüme gücü 0.0001 yay saniyesidir! Güneş'le kuazar arasındaki açı 90° de olsa, bu duyarlılığa sahip VLBA ile çekimsel bükülme etkisi algılanabilmektedir. 90° lik açılal uzaklığın ürettiği çekimsel bükülme değeri 0.0004 yay saniyesidir! Aslında VLBA radyo girişimölçeri, çekimsel bükülme etkisini, açılal uzaklık 175° olsa bile algılayabilmektedir! VLBA girişimölçerinde erişilen bu duyarlılıkla Güneş tacının kırma etkisi 0.01 duyarlılıkla hesaplanabilir ve çekimsel bükme etkisinden arındırılabilir. Ancak, Güneş tacı plazmasında zaman zaman ortaya çıkan yoğunluk dalgalanmalarının neden olduğu belirsizlikler, erişilen duyarlılığı 0.01'in altına çekme çabalarını zorlaştırıyor. Bu değer yine de optik bölgedeki % 20 - 30 belirsizlikten daha iyidir.

Çekim alanı, ışığı bükmenin yanı sıra cismin parlaklığını artırma ve görüntüyü bozma gibi etkiler de yapar. 1923 yılında Eddington ve 1936 yılında Einstein, ardalandaki bir yıldız ışığının şiddetinin önalandaki bir yıldız tarafından yükseltilemeyeceği ve 1'den fazla görüntü oluşturmayacağını yazdılar. Ancak 1937 yılında Zwicky, bu etkinin gökadalararası uzaklık ölçeklerinde gözlenebilir olduğuna dikkat çekti. Zwicky, N türü sıkışık gökadaların görüntülerinin önalandaki bulunan gökadalar tarafından önemli ölçüde bozulacağını bildirdi. Zwicky'e göre bu etki, tümüyle çekim alanından kaynaklanan bir etki olduğundan, gökadalarındaki madde dağılımının saptanması çalışmalarında yeni ve bağımsız bir yöntem oluşturabilir.

Kuazarların bulunmasıyla birlikte bu alandaki çalışmalar canlandı. Kuazarlar, ışığın çekim alanında büküldüğünü göstermenin



Şekil 3. 10 adet 25m çapında çanak antenden oluşan VLBA radyo girişimölçeri



Şekil 4. Kuazar ve merceklenme sonrası oluşan serap görüntüler A ve B.

yanısıra, birden fazla görüntü oluşturma ve ışık şiddetinin ne denli arttığının belirlenmesi çalışmalarında da kullanılmaya başlandı. Çünkü, 1) ısıtma güçleri çok yüksek olduğundan, çekimsel etkinin neden olduğu parlaklık artışı kuazarlarda kolaylıkla gözlenebilir; 2) kuazarların uzak gök cisimleri olduğu hipotezini onarsak, görüntünün Yer'deki gözlemciye odaklanması için gerekli uzunluğu sağlayabilirler. Kuazarlara ilişkin bu iki fiziksel parametre, kuazarları, merceklenme olasılığı yüksek cisimler yapar. Bu alanın ilk çalışmalarından biri, Walsh, Carswell ve Weymann'ın çalışmasıdır. 0957+561 radyo kaynağı üzerine çalışan Walsh ve arkadaşları, kaynağın çift görüntü verdiğini ve çok görüntülü kuazar özellikleri gösterdiğini bildirmişlerdir. (Şekil 4). Kuazarın iki görüntüsü arasındaki açılal uzaklık 6 yay saniyesidir. Görüntülere A ve B adı verilmiştir. Gökada konsayı düzeneğine göre betimlersek, B görüntüsü, A görüntüsünün güneyindedir. Görüntülerin herikisi de hem benzer tayf hem de aynı kırmızıya kayma sergilemektedir. Stockton ve Young ve arkadaşlarının gözlemleri, 0957+561 kuazarı doğrultusunda, kuazarla Yer arasında bir gökada kümesinin bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Kümenin en parlak gökadası, kuazarın B görüntüsünün 1 yay saniyesi kuzeyinde yer alan dev bir CD türü gökadadır.

Çekimsel mercek kuramının gözlemlerle tutarlı olması durumunda evrenbilimin birçok sorununa açıklama getirilebilir: 1) mercek görevi gören

maddenin dağılımı ve doğasına ilişkin bilgi sunabilir; 2) Λ kozmolojik sabitinin hesaplanmasında etkin bir yöntem olabilir; 3) parçacık fiziği bağlamında ortaya çıkan bir kuramın spekülasyonu olan "gölge evren"in ortaya çıkarılmasında kullanılabilir; 4) kuazarların parlaklığı gün, hafta, ay ya da yıl düzeyindeki zaman aralıklarında değişebilmektedir. Bu parlaklık değişimi, kuazarın tüm görüntülerinde eşzamanlı değildir. Görüntülerin maksimum parlaklığa ulaşmaları arasında geçen zamandan yola çıkarak H_0 Hubble sabitinin değeri saptanabilir.

Ancak çekimsel mercek kuramı, bu alanda yapılan gözlemler karşısında sık sık tutarsız kalmaktadır. Şekil 5 bilinen 6 çekimsel mercek dizgesinin optik görüntülerini göstermektedir. Koyu renkli görüntüler kuazarları, açık çemberlerle mercek görevi gördüğü sanılan gökadaları göstermektedir.

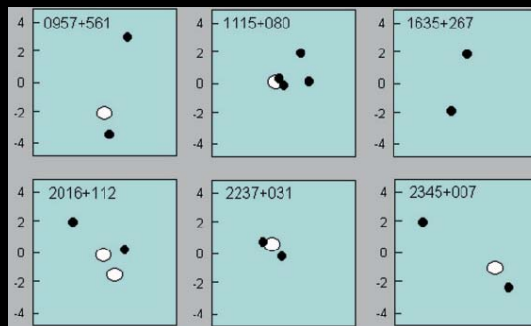
Herbir çerçevenin açılal boyutu 10 yay saniyesi \times 10 yay saniyesidir.

Bu görüntülerin, kuramla gözlemleri tutarsız kılan 3 özelliği şunlardır: 1) Kuram 3 görüntünün oluşacağını öngörürken, örneklerin hiçbirinde 3. görüntü bulunamamıştır (1115+080 kuazarında 5 görüntü beklenirken 4 görüntü gözlenmiştir); 2) kurama göre, kuazarın 3 görüntüsüyle, mercek görevi gören gökadanın aynı doğru üzerinde olması gerekir. Ancak gözlemler 3. görüntüyü vermediği gibi, mercek görevi gören gökada da bir durumda gözlenmiş, diğer 5 durumda gözlenememiştir. 3) kuazar görüntüleri arasındaki kuramsal maksimum açılal uzaklık 0.5 - 1 yay saniyesi olması gerekirken, gözlemlerde 6, bazen de 7 yay saniyesi kadardır.

Çekimsel mercek araştırmalarında kullanılan yöntemse gökbilimcilerin ortak çalışmalarının güzelliğini çok güzel yansıtmaktadır. Önce, MIT-Green Bank'daki 100 metrelik radyo teleskopla elde edilen radyo kaynakları belirlenir. Daha sonra, VLA radyo girişimölçeriyle bu kaynakların konumu ve yapısına ilişkin "şipşak" veriler elde edilir. Görelilik olarak sıkışık olan ve birden fazla görüntüye sahip kaynaklar "doğal aday" olarak belirlenir. Genellikle, 10 kaynaktan 1 tanesi "doğal aday" olma niteliğindedir. Bir sonraki aşamada, adayların optik bölgedeki görüntüleri elde edilir. Bu işlem için Kitt Peak'deki 4 metrelik teleskop kullanılır.

Eğer optik görüntülerde birden fazla bileşen görüntü varsa, kaynak tayfsal incelemeye alınır. Tayfsal adaylar "doğal adaylar"ın 1/10'u; MIT Green - Bank kaynaklarının da 1/100'üddür. Son aşamada, seçilen adayların ya Kitt Peak'deki 4 metrelik ya da Palomar'daki 5 metrelik teleskopla tayfları alınır. Eğer görüntülerin tayfları denk ve kırmızıya kaymaları da eşitse, görüntülerin aynı kuazarın görüntüleri olduğu onanır.

Bu aşamaya dek incelediklerimiz, kuazar gibisinden nokta kaynaklara ilişkin çekimsel mercek sorunları, gözlem yöntemleri ve geleceğe yönelik öngörülerdir.



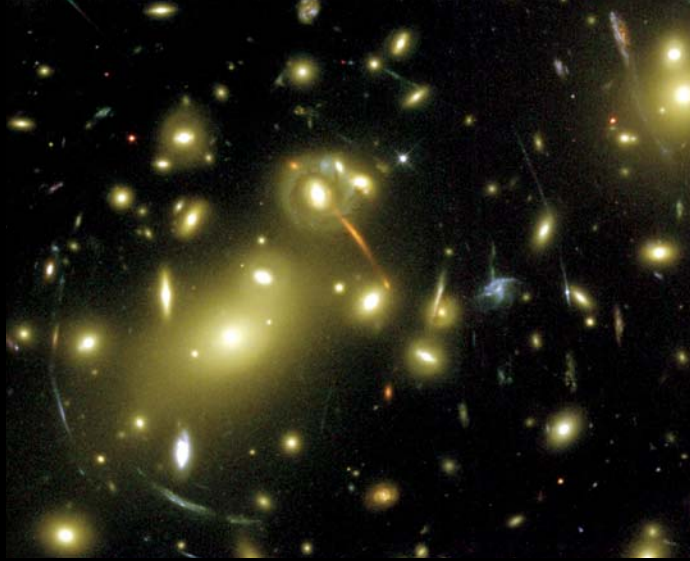
Şekil 5. 6 adet çekimsel mercek dizgesinin optik görüntüleri. Koyu renkli alanlar kuazar, çemberlerle mercek görevi gören gökadaları temsil etmektedir.

Hubble Uzay Teleskopunun gönderdiği veriler bu alandaki çalışmaları yüreklerindeki niteliktedir. Hubble'in çekimsel mercekleme olayına ilişkin elde ettiği bir görüntü, 5 Nisan 1995 tarih ve STScI - PF95 - 14 dosya numarasıyla ve Internet aracılığıyla dünyadaki tüm ilgililerin kullanımına sunuldu (Şekil 6). Geniş Alan Gezegen Kamerası - 2 (WFPC - 2) ile alınan görüntü, Abell 2218 adlı zengin gökada kümesinin neden olduğu bir çekimsel mercekleme olayını yansıtmaktadır. Şekil boydan boya çember parçalarıyla kaplanmıştır. Bu çember parçaları arasında "optik illüzyon" dur. Abell 2218 kümesi gökada yönünden o denli zengindir ki, ortaya çıkan çekim alanı, ardalandaki cisimlerden gelip küme içinden geçen ışık ışınlarının bükülmesine neden olur. Daha önce de değindiğimiz gibi, çekimsel mercekleme etkisi, gökada kümesinin çok çok ötesinde, ardalandaki bulunan bir cismin (kuazar ya da gökadanın) görüntüsünü, 1) büyütür; 2) parlaklığını artırır ve 3) görüntüyü bozar. Çekimsel mercekleme büyütme etkisi, "zoom mercekleme" görevi yapar. Yer konumlu teleskoplarla asla göremeyeceğimiz uzak gökadalara görmemizi sağlar.

Hubble'in yüksek çözünürlük gücü, zayıf ışığı toplayabilme yeteneğiyle birleşince, ardalandaki gökadalara, çember yay parçaları biçiminde görünür duruma gelmiştir. Çekimsel mercekleme kuramının da belirttiği gibi, eğer merceklelenen ardalarda kuazar, mercekleme görevi gören önalan cisim (genellikle bir gökada özeği) ve gözlemci bir doğru üzerindeyse ve merceklelenen - mercekleme - gözlemci kusursuz bir bakışıklık sergiliyorsa, kuazar görüntüsü bir çember biçiminde oluşacak, çemberin özeği de gökada özeğinde olacaktır. Eğer ereksel (ideal) bakışıklık yoksa, çember görüntü parçalanacak ve nokta görüntülere dönüşecektir. Yay parçaları biçimindeki görüntüler, Abell 2218 gökada kümesinin bize olan uzaklığından 5 - 10 kez daha büyük olan uzaklıklardaki bir gökada topluluğunun bozulmaya uğramış görüntüleridir. Bu görüntülerden elde edilen bilgiler ışığında, merceklelenen gökada topluluğunun yaşı, Büyük Patlamaların evreninin bugünkü yaşının 1/4'ü olarak belirlenmiştir. Görüntü yayları ek olarak, merceklelenen uzak gökadalardaki yıldız oluşum bölgelerine ilişkin dolaysız bilgi de sunmaktadır. Aynı yaylar, gökada evriminin erken aşamalarına da açıklama getirebilecek bilgiler içerir.

HUT, gökadalara "çoklu" görüntülerini de sergilemektedir. Bu etki, ender karşılaşılan bir etkidir. Mercekleme uyguladığı bozma yeterince büyükse, aynı gökadanın birden fazla görüntüsü oluşur. Abell 2218 gökada kümesi 7 adet gökadanın "çoklu" görüntüsünü saptamıştır. Kümede mercekleme görevi gören maddenin bolluğundan yola çıkarak, küme özeğindeki maddenin dağılımını sergileyen ayrıntılı bir harita yapılmıştır. Bu harita yardımıyla, şekildeki 120 yay parçasının uzaklıkları belirlenebilecektir. Bu yay parçaları, Yer konumlu teleskopların görebileceği cisimlerden 50 kez daha sönük olan gökadalara temsil etmektedir.

HUT'nun olağanüstü yetenekleri ve Abell 2218 gökada kümesi gibisinden çok büyük kütleli "doğal" mercekleme yardımıyla evrenin erken aşamalarına bakmanın olası olabileceği savunul-



Şekil 6. HUT'nun WFPC2 adı verilen Geniş Alan Gezegen Kamerasıyla alınmış olan Abell 2218 gökada kümesinin görüntüsü. Yay parçaları biçiminde oluşan görüntüler, ardalandaki gökadalara merceklemeyle oluşan görüntülerdir.

maktadır.

HUT'nun çekimsel mercekleme görüntüleri gerçekten nefes kesici! Ancak bu güzelliklerin bazen olumsuz, anlaşılmasız yanları da olabiliyor. Çok güzel "şeyleri" bazen çok kötü nedenlerle yapıyoruz. Mercekleme olayına maddenin neden olduğu varsayıldı. Bu varsayımı haklı çıkaracak HUT gözlemleri elimizde. Buraya dek herşey güzel! Madde iki gruba ayrıldı: 1) aydınlık ve 2) karanlık. Karanlık madde de ikiye ayrıldı: a) Baryonik ve b) Baryonik olmayan. Baryonik madde, elektron, proton, nötron gibi "bildiğimiz" madde türü; baryonik olmayan madde de kendi içinde üçe ayrılıyor: I) sıcak; II) ılık ve III) soğuk. Baryonik olmayan karanlık maddenin doğası belli olmadığı için, baryonik maddeyle nasıl etkileştiği bilinmiyor. Ancak gözlenen çoğu "anormallikler" (gökada dönme eğrilerinin "düzlüğü, mercekleme yayları, kuazarların birden fazla görüntüleri, vb) gözlenemeyen ve adına baryonik olmayan karanlık madde denen maddeye bağlamak anlaşılır gibi değil.

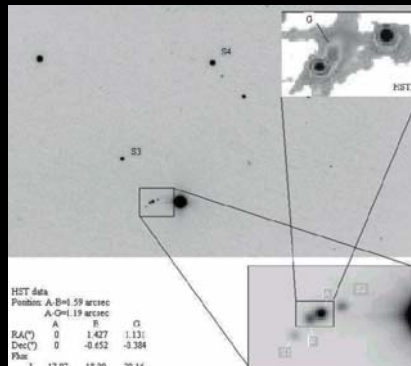
Eğer uzak cisim olan kuazar, mercekleleyen gökada ya da gökada kümesi ve yer bir doğrultuda yeralıyorsa, ve mercekleleyen cisim ereksel yapıdaysa, mercekleme sonrası gözlenen bakışıklı görüntüleri oluşturan ışınların, kaynakla yer arasında izledikleri yolların uzunlukları da eşit olur. Eğer, mercekleleyen cisim Yerle kuazar doğrultusu üzerinde değilse bu kez oluşan görüntüler (A,B) için sinyalin izlediği yol farklı olur. Kaynaktan çıkan özdeş ışınım, farklı uzunlukta yol izlediği için, gözlemciye farklı zamanda ulaşır. Merceklelenen A ve B görüntülerinin eşzamanlı optik gözlemlerinden, yol farkından kaynaklanan zaman farkı (gecikme zamanı) belirlenebilmektedir. Böylece bir çalışma için nesnenin sürekli gözlenmesi

gerekmektedir. Bunu sağlamak için de boyamsal dağılımı uygun uluslararası kampanyalar düzenlenmektedir.

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG), gözlem olanakları çerçevesinde Kütleli Mercekleme gözlemlerini de yürütmektedir. Bunlardan uluslararası bir proje (QUOC - Quasar Observing Consortium for around the Clock Monitoring) içerisinde yapılan gözlemler, gecikme zamanı parametresini belirlemeye yönelik çalışmalardır. 2000 yılından bu yana

RTT150 teleskopla kütleçekimsel mercekleme olayı için iyi bilinen ve yıllarca değişim gösteren QSO 0957+561 A,B'nin CCD gözlemleri yapılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlar XIII. Ulusal Astronomi Toplantısında sunulmuştur. Bu gözlemler için bu proje çerçevesinde üç ayrı kampanya düzenlenmiş, TUG üç kampanyada da yer almıştır. Kampanya sonunda elde edilen bulgular (gecikme zamanı yaklaşık 420 gün) değerlendirilerek uluslararası yayınlarla duyurulmuştur. Bir diğer kütleçekimsel mercekleme olan SBS1520+530 Temmuz 2001'den bu yana gözlenmektedir. Şekil 7'de B serap görüntüleri içerisinde işaretli olan A ve B serap görüntüleri birbirine çok yakındır. Aralarındaki açısal uzaklık 1.59 yay sanye olan bu iki görüntüyü, ölçüm yapılabilecek düzeyde ayırık görebilmek için, gözlem yapılan gecelerde atmosferik görüşün bu değerin çok altında olması gerekmektedir. Sönük olmaları nedeniyle de uzun poz süresi gerekmektedir. Bu koşulların sağlandığı gecelerde gözlemler sürdürülmüştür. Nesnenin gösterdiği ışık değişimi, A ve B serap görüntülerinden zaman kaymasıyla elde edilmektedir. Eğrilerin karşılaştırılması için gerekli kayma miktarı zaman gecikmesini vermektedir. Bu yolla, SBS 1520+530 için yaklaşık 130 günlük zaman gecikmesi doğrulanmıştır. Gözlem araçlarında yapılan iyileştirme ve geliştirme çalışmaları sonrasında kütleçekimsel merceklemeyle ilgili çalışmalar daha duyarlı olarak sürdürülecektir.

Prof.Dr. Rennan Pekünlü
Ege Üniversitesi
Prof.Dr. Zeynel Tunca
Ege Üniversitesi, TUG



TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde yapılan Kütleçekimsel Mercekleme Gözlemleri

- Kaynaklar
Clifford M. Will, Was Einstein Right?, 1986, Basic Books, Inc. Pub., N.Y.
Meylan, G., Europhysics News, Vol. 22, No. 11, Dec. 1991.
Walsh, D., Carswell, R.F. and Weymann, R.J., Nature, 279, 381.
Stockton, A. Ap. J. 242, L141, 1980.
Young, P. et al. Ap. J., 241, 507, 1980.
Narayan, R., Quasars, IAU Symposium No: 119, s.529
Burke, B.F., Quasars, IAU Symposium No: 119, s.517.
Tyson, J.A., Quasars, IAU Symposium No: 119, s.551.
Turner, E.L., Dark Matter in the Universe, IAU Symposium, No: 117, s.227.
Bennett, C.L. ve ark., Ap. J. Supp., 1986.
Lawrence, C.R., Ap. J. 278, L95.
Khamitov, I. et al., XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı, 2-6 Eylül, 2002, Antalya
W.N. Colley, ..., Z.Asan, ..., I. Khamitov, ..., "Around the Clock Observations of the Q0957+561 A,B Gravitationally Lensed Quasar" Astrophysical Journal, 565, 105-107, 2002
Colley W.N., ..., Aslan Z., Bilkmaev I., ..., Golbasi O., Khamitov I., ..., "Around the clock observations of the Q0957+561 A,B gravitationally lensed quasar. II. Results for the second observing season" Astrophysical Journal, 587, 71-79, 2003

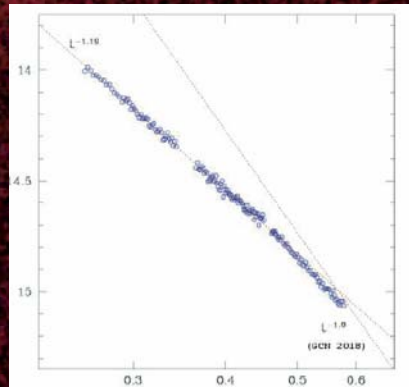
YÜKSEK ENERJİ ASTROFİZİĞİ

Astronomi bilimsel devrimin başlangıcında yeni ufuklar açmış, Kepler ve Galileo'nun gözlemlerden çıkarak ulaştıkları anlayış, Newton'la yeni fizik bilimine ulaşmıştı. Yeni anlaşılan doğa yasaları gök cisimleri için de, yeryüzündeki nesneler için de aynı şekilde geçerliydi. Teleskopun Galileo tarafından gök cisimlerini izlemekte kullanılmasıyla gözlemlerde açılan yeni ufuklar, fikir alanında da bilimsel rönesans ve aydınlanma çağıyla özdeşleştirdiğimiz yeni ufuklara uzanmıştı. 20. yüzyılda fizikteki büyük devrimlerle beslenen gökbilimde, kuramsal alanda, sonunda yıldızların yapı ve evrimlerinin anlaşılması önemli bir gelişmeydi. Kozmolojinin bir gözlemsel bilim olarak ortaya çıkmasıyla bir kez daha yeni ufuklar açıldı. Bu gelişmeler gözlem alanında yeni teknolojilere dayanmıyordu; yalnızca birkaç metre ayna çapı olan büyük optik teleskoplar kullanılıyordu. 20. yüzyılın ikinci yarısında elektromanyetik dalgaların gözle görüldüğü türü olan ışık dışındaki türlerinin gözlenmesiyle, gökbilimde yeni gözlem ufukları açıldı. Gök cisimleri tarafından üretilen radyo dalgaları, X (röntgen) ışınları, gama ışınları gibi farklı tür elektromanyetik dalgaları da algılayabilen teleskoplar geliştirildi. Atmosfer ışık ve radyo dalgalarından başka ışıını geçirmediği için, X ve gama ışınına duyarlı teleskop ve detektörler gözlem uydularıyla uzayda, atmosferin üzerindeki yörüngelere taşındı. Elektromanyetik dalgaların ışıktan farklı türleri demek, farklı dalga boyları, başka bir deyişle bildiğimiz renklerin ötesinde renkler demektir. Elektromanyetik dalgalar enerjili foton dediğimiz paketler halinde taşıyor. Kısa dalgaboylu, yüksek frekanslı dalgaların fotonları, yüksek enerjiye sahipler. (Planck ilişkisi: Foton enerjisi = Planck sabiti X frekans). Böylece elektromanyetik tayfın en yüksek enerjili fotonları yüksek frekanslı X ve gama ışınlarının fotonları. Günümüz gökbiliminin yeni ufuklarında işte böyle renkötesi renkler gözleniyor.

X-ışınları, gama ışınları ya da radyo dalgaları aracılığıyla hangi tür gök cisimlerini gözliyoruz? Hemen her tür yıldız bu farklı dalga boylarındaki elektromanyetik ışıını üretiyor. Ancak yüksek enerjili ışıının en kuvvetli kaynakları, kütleçekimi enerjisini ya da dönme enerjisini ışıınımına dönüştürmekte etkin olan kaynaklar. Bu kaynaklar, yıldızlar arasında kütleçekimi alanları en yoğun olan türler, yani karadelikler, nötron yıldızları ve beyaz cüceler. "Çökmüş cisimler" dediğimiz bu yıldızlar, adı üstünde, yıldız evriminin en sonunda yıldızın kütleçekimi altında kendi üzerine çökerek ulaştığı durumlar. Her yıldız, kütleğine göre, evriminin sonunda bu üç çökmüş durumdan birine ulaşıyor. Karadeliklerin uzaktan gözlemlenmelerinde yalnızca kütleleri, açısal momentumları (dönme özellikleri) ve eğer varsa elektrik yükleri gözlemlenebilir. Beyaz cücelerden milyarlarca kez daha yoğun olan nötron yıldızları, gözlemlenebilir ve var olabilecek en yoğun cisimler. Bu yıldızlar Güneş'inki kadar kütleli yalnızca 10 km kadar yarıçapı olan bir hacimde barındırıyorlar. Bu yıldızların içinde bir santimetreküpe yüz milyonlarca ton madde sıkışıyor. Oysa dünyamızda, çevremizdeki maddede, yalnızca atom çekirdeklerinin içinde bunca yüksek yoğunluklara ulaşıyor. Atom çekirdekleriyse atomların hacimleri içinde yalnızca bin trilyonda bir oranında yer tutuyorlar. Demek ki, nötron yıldızları maddenin gözlemlenebilir en yoğun ve aşırı biçimlerini içermekle

kalmıyor, bu koşulları bir atom çekirdeği boyutunda değil, Güneş'inki kadar kütle ve birkaç bin kilometreküp hacim üzerinde gerçekleştiriyorlar. Bir gök cisminin dağılmadan yüksek hızlarla dönebilmesi için onu bir arada tutan kütleçekiminin de kuvvetli olması gerek. Gözlemlerle de doğrulandığı üzere, gerçekten de bildiğimiz en hızlı dönen cisimler, gözlemlenebilir en çökmüş, en yoğun cisimler olan nötron yıldızları arasından çıkıyor. Bilinen en hızlı dönen nötron yıldızı, PSR 1937+214 adlı pulsar, kendi çevresinde saniyede 642 kez dönüyor. Nötron yıldızlarının miknatıs alanları da, örneğin Güneş'in yüzeyindeki miknatıs alanından bir trilyon, hatta bazı nötron yıldızları (magnetarlar) için belki bin trilyon kez daha kuvvetli. Bu kadar uç noktalarda olmasalar da beyaz cüceler de normal maddeye göre çok yoğun ortamlar taşıyorlar. Çökmüş cisimlerin önümüze açtığı yeni ufuklar fizik açısından maddenin en yoğun hallerine, gökbilim açısından da yıldız evriminin sonuçlarına açılıyor.

Yüksek enerjili ışıının kaynakları yıldızlar arasında nasıl öncelikle çökmüş yıldızlarda bulunuyorsa, galaksiler (milyarlarca yıldızdan oluşan sistemler) arasında da merkezlerinde büyük kütleli karadelikler taşıyan aktif galaksiler, kuazarlar ve galaksi merkezlerindeki yoğun enerji taşıyan oluşumlar, yüksek enerjili ışıını kaynakları olarak öne çıkıyorlar. Buralarda da çok sayıda yıldızın ve karanlık (gözlenmeyen) maddenin yığılmasından kaynaklanan yoğun kütleçekimi, Kepler yasasının gösterdiği şekilde yüksek yörünge hızlarına, dönme enerjisine olanak veriyor. Genellikle galaksinin ortasında milyonlarca yıldız kütle taşıyan bir karadeli oluyor. Galaksi çekirdeği çevresinde yassı diskler halinde biçimlenen madde yüksek dönme enerjisi depoluyor. Bu enerjinin henüz tam anlaşılmayan mekanizmalarla dönüşümü, ışık hızına yakın hızlarla akan jetlerin oluşumuna ve büyük miktarlarda radyo ve X-ışını üretimine yol açıyor. Diskler aslında üzerine kütle aktarımı bulunan, genellikle çiftyıldız sistemleri içindeki karadelikler ve nötron yıldızları çevresinde de bulunuyor. Bazı



030329 ışık eğrisi

karadelikli çiftyıldız sistemlerinden de, tıpkı aktif galaktik çekirdeklerde olduğu gibi, ışık hızına yakın hızlarda püskürtülen jetler görülüyor. Bunlara mikrokuazarlar deniyor.

Yüksek enerji astrofizikinin en ilginç güncel problemlerinden biri de evrenin her yanından, uzak yakın gökadalardan gözlenen gama ışıını patlamaları. Bu patlamalar, her gökadamda çok nadir olarak görülen olaylar. Bu patlamaların, birbirini çevresinde dönen iki nötron yıldızı ya da bir nötron yıldızı ve bir kara deliğin yörünge evriminin son aşamasında birbirleriyle birleşerek çökmelerinden kaynaklandığı sanılıyor. Her gama ışıını patlaması gökadalardan normal toplam ışıınmasından milyarlarca kez daha güçlü. Gama ışıını parlamaları gama ışıını uydularıyla gözleniyor. Aynı zamanda ışık da yayıldığından dünyadaki optik teleskoplar parlamadan sonra uzun süre cisim izlemeyi sürdürüyorlar.

Uluslararası X ve gama ışıını gökbilimi 1970'li yıllarda NASA'nın girişimlerinden başlayarak çeşitli uluslararası uyduların elde ettikleri verileri kullanarak gelişti. Türkiye'de de 1970'li yıllardan başlayarak Hakkı Ögelman'ın girişimleriyle X ve gama ışıını uyduları ile çalışmalar başladı. Kuramsal yönde de nötron yıldızlarının yapı ve dinamiği, X-ışıını

yayan karadeli ve nötron yıldızlı çiftyıldızlar gibi konuların eklenmesiyle, şimdi ülkemizde yüksek enerji astrofizik alanında etkin bir araştırmacı grubu var.

X ve gama ışıını kaynaklarının optik dalgaboylarında gözlenmesi de her zaman önemli bir araştırma alanı olmuştur. TÜBİTAK Ulusal

Gözlemevindeki 1.5 metrelik Rus-

Türk Teleskopu RTT150 ile X ışıını çiftyıldızları, nötron yıldızları üzerindeki parlamalar, bazı mikrokuazarlar, ve son bir yıldır da gama-ışıını patlamalarının ışık parlaması ve sönümleri gözleniyor. Yüksek enerji astrofizikinde yapılan bir uluslararası işbirliği girişiminin bir yan ürünü olarak bu teleskopun Türkiye'ye getirilmesi sağlanmış, teleskopun temini de, o zamanki TÜBİTAK yönetiminin bu fırsatı aktif şekilde değerlendirmesiyle Ulusal Gözlemevinin kuruluşunun kısa zamanda gerçekleşmesine olanak vermişti. Şimdi TUG'da yüksek enerji astrofizik çalışmalarını tamamlayan, bu alana ışık tutan gözlemler yapılıyor. Bu gözlemler, özellikle parlamalar için, önce parlamanın bir X ya da gama ışıını uydusunca tespit edilmesiyle tetikleniyor. TUG'a yerleştirilen ROTSE otomatik teleskopu tüm uluslararası uydulardan gelen gama patlaması haberleri üzerine otomatik olarak patlamanın gözlemlendiği yerde bir optik sinyal arayacak.

Bizim araştırmacılarımızın da, başından beri önemli ve sürüp giden katkılarla yüksek enerji astrofizikinin yeni ufuklarına açıldıklarını söyleyebiliriz. Bu yeni ufuklar Dünya'nın her yerindeki araştırmacılarla birlikte Türkiye'deki bilim insanlarının da katkısıyla açılıyor. Meraklı gençlerimizi bilimin yeni ufuklarına bekliyoruz.

M. Ali Alpar

Sabancı Üniversitesi,

Türkiye Bilimler Akademisi üyesi