T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ASTRONOMİDE OPTİK ARAÇLAR ve ADAPTİF OPTİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Reydün BUDAK
0502040010

Anabilim Dalı: Fizik
Program: Fizik

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Dursun KOÇER

HAZİRAN 2021

T.C.
İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ASTRONOMİDE OPTİK ARAÇLAR ve ADAPTİF OPTİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Reydün BUDAK
0502040010

Anabilim Dalı: Fizik
Program: Fizik

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Dursun Koçer
Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Dursun Koçer
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. Yelkenci
Doç.Dr. Emre Işık (Türk Alman Üniversitesi)

HAZİRAN 2021

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, astronomide kullanılan optik araçlar ve bu araçların özellikleri ile adaptif optik sisteminden bahsedilmiştir. Adaptif optik sisteminin, aktif optik sistem ile kıyaslaması yapılmış ve aralarında bulunan farklar incelenmiş, adaptif optik sistemlerinin aktif optik sistemlerine göre avantajlı olduğu durumlar ön plana çıkartılmıştır. Ayrıca yer ve uzay tabanlı teleskop sistemleri incelenmiş, örneklenmiş ve kullandıkları optik sistemler hakkında bilgi verilmiştir.

Bu çalışmanın hayata geçirilmesi sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül F. YELKENCİ'ye ve araştırmanın her bir aşamasında görüşleriyle beni destekleyen, samimiyetini her zaman hissettiren ve beni doğru yönde yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Dursun KOÇER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, bana olan güvenlerini hiç kaybetmeyen aileme de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
KISALTMALAR iv
ŞEKİL LİSTESİ v
SİMGE LİSTESİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
1. GİRİŞ 1
2. ASTRONOMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ 2
3. ASTRONOMİDE OPTİK ARAÇLAR 9
3.1. Teleskopların Gelişimi 9
3.2. Teleskop Çeşitleri 11
3.2.1. Mercekli Teleskoplar 11
3.2.2. Aynalı Teleskoplar 14
3.2.3. Katadioptrik Teleskoplar 18
3.3. Bir Teleskobun Gücü 19
3.3.1. Açısal Büyüklük ve Büyütme Gücü 19
3.3.2. Işık Toplama Gücü 20
3.3.3. Ayırma Gücü 20
3.4. Uzay Teleskopları 21
3.4.1 Kızılötesi Teleskoplar 21
3.4.2 Morötesi Teleskoplar 22
3.4.3 X-ışın Teleskopları 22
3.4.4 Gama Işın Teleskopları 23
3.4.5 Hubble Uzay Teleskobu 24
4. ADAPTİF OPTİK 25

4.1. Atmosferik Türbülans 27
4.2. Astronomide Adaptif Optik 28
4.3. Adaptif Optik Kullanımı 29
4.3.1. Güneş ve Güneş Sistemi 29
4.3.2. Yıldız Oluşumları ve Ötegezegenler 30
4.3.3. Kararlı Yıldız Popülasyonları 31
4.3.4. Galaktik Merkez Bölgesi 31
4.3.5. Galaksi Çekirdekleri ve Aktif Galaksiler 31
5. SONUÇLAR 32
KAYNAKÇA 35

KISALTMALAR

ISS-WAC - Imaging Science Subsystem Wide Angle Camera
SOFIA - Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy
NASA - National Aeronautics and Space Administration
WISE -Wide-field Infrared Survey Explorer
ESA - European Space Agency
GALEX - Galaxy Evolution Explorer
XMM-Newton - X-Ray Multi-Mirror Mission-Newton
NuSTAR - Nuclear Spectroskopic Telescope Array
INTEGRAL - International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory
HST - Hubble Space Telescope
JWST - James Webb Space Telescope
ESO - European Southern Observatory
NTT - New Technology Telescope
VLT - Very Large Telescope

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL 1 YER TABANLI VE UZAY TABANLI TELESKOPLAR İLE BU TELESKOPLARIN GÖZLEM YAPTIKLARI DALGA BOYU ARALIKLARI [1] 1
ŞEKİL 2 BATLAMYUS (A VE B), KOPERNİK (C) VE TYCHO'NUN (D) EVREN MODELLERİ.[9] 3
ŞEKİL 3 GNOMON ÇUBUĞU VE ÇALIŞMA ŞEKLİ [10] 4
ŞEKİL 4 SİNÜS KADRANI [11] 5
ŞEKİL 5 USTURLAB [11] 6
ŞEKİL 6 USTURLAPIN PARÇALARI [12] 7
ŞEKİL 7 ERKEN ALETLERDE KULLANILAN NİŞAN SİSTEMLERİ 8
ŞEKİL 8 TYCHO BRAHE'NİN PARALAKSI ORTADAN KALDIRMAYA YÖNELİK NİŞAN SİSTEMİ. [2] 9
ŞEKİL 9 KEPLER TİPİ MERCEKLİ TELESKOBUN ÇALIŞMA ŞEMASI [13] 12
ŞEKİL 11 KÜRESEL ABERASYON [18] 13
ŞEKİL 10 KROMATİK ABERASYON [18] 13
ŞEKİL 12 AYNALI TELESKOPLARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ [14] 15
ŞEKİL 13 ESO'YA AİT VLT'NİN 8 METRE ÇAPLI BİRİNCİL AYNASI. [15] 16
ŞEKİL 14 KOMA HATASI [18] 17
ŞEKİL 15 BİR KATADİOPTRİK TELESKOP TÜRÜ OLAN SCHMİDT - CASSEGRAİN TÜRÜ TELESKOBUN ÇALIŞMA ŞEMASI [16] 19
ŞEKİL 16 ATMOSFERİK TÜRBÜLANSIN ETKİSİ [33] 28

SİMGE LİSTESİ

M- Büyütme gücü

f- Odak uzaklığı

θ-Yay saniyesi biriminde ayırma gücü

λ- Kullanılan ışığın metre biriminden dalgaboyu

D- Teleskop objektifinin metre biriminden çapı

z -Kırmızıya Kayma

Üniversite : **İstanbul Kültür Üniversitesi**
Enstitü : **Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü**
Dalı : **Fizik**
Programı : **Fizik**
Tez Danışmanı : **Prof.Dr. Dursun Koçer**
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans – Haziran 2021**

ÖZET

ASTRONOMİDE OPTİK ARAÇLAR VE ADAPTİF OPTİK

Reydün BUDAK

Bu çalışmanın konusu, astronomide kullanılan optik araçların ve bu optik araçlarda kullanılan optik yöntemlerinin tanıtılmasıdır.

Araştırma, teleskop ve optik aletleri temel alarak optik sistemlerini ve teleskop türlerini amaçlamaktadır. Optiksel kusurları incelemek ve bu kusurlara karşı olası çözümleri önermek için de kaynak taraması yapılmıştır.

Çalışmada, gözlemsel optik araçların neler olduğunu ve bu optik araçlarda kullanılan optik yöntemlerin nasıl çalıştığını gösterilmiştir. Ayrıca Adaptif (Uyarlanabilir) Optik'in kullanım alanlarına ve çalışma yöntemine değinilmiş, bu uygulamanın yakın geçmişte ve günümüzde nerelerde ve ne şekilde kullanıldığından bahsedilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Optik Araçlar, Teleskop Çeşitleri, Optik Yöntemler, Adaptif Optik, Aktif Optik,

University : **Istanbul Kültür University**
Institute : **Institute of Graduate Education**
Department : **Physics**
Programme : **Physics**
Supervisor : **Prof. Dr. Dursun Koçer**
Degree Awarded and Date : **MS – June 2021**

ABSTRACT

OPTICAL INSTRUMENTS IN ASTRONOMY AND ADAPTIVE OPTIC

Reydün BUDAK

The subject of this study is the introduction of optical instruments used in astronomy and optical methods used in these optical instruments.

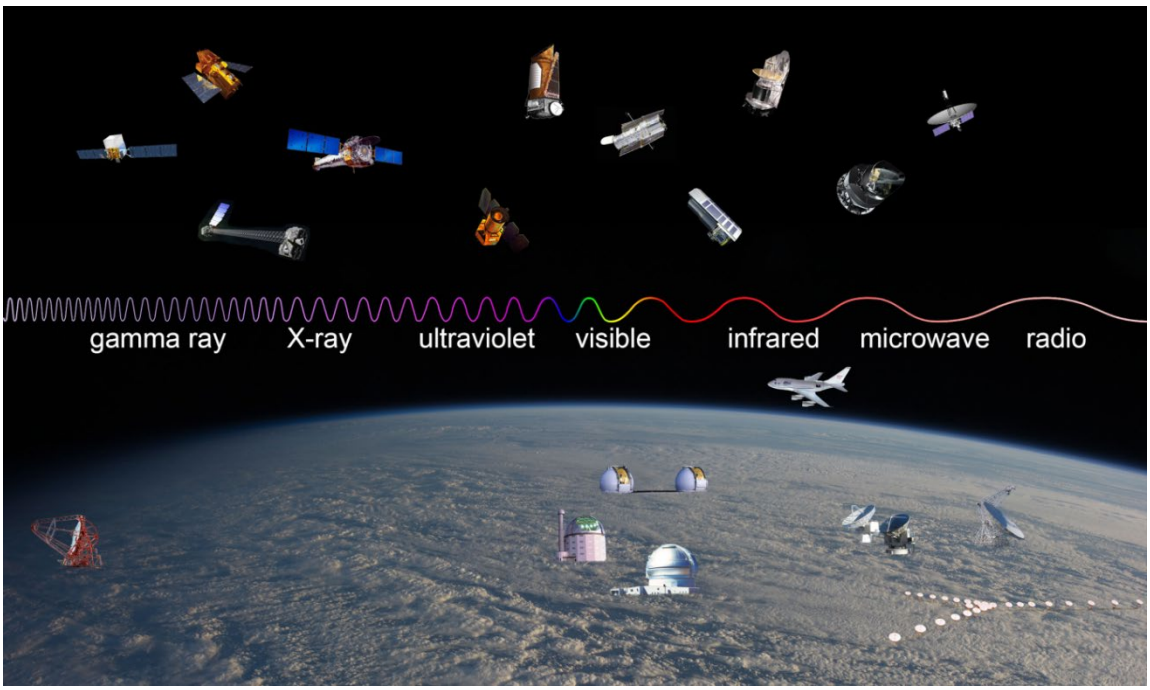
The research aims at optical systems and types of telescopes based on telescopes and optical instruments. A literature review was made to examine optical defects and suggest possible solutions to these defects.

The study showed what observational optical devices are and how the optical methods used in these optical instruments work. In addition, the usage areas and working method of Adaptive Optics, where and how this application has been used in the recent past and today was mentioned.

Keywords: Optical Instruments, Telescope Types, Optical Methods, Adaptive Optic, Active Optic

1. GİRİŞ

Astronomi bilimi, insanlıkla beraber başlayan ve atalarımızdan bize miras kalan en eski bilim dalıdır. İnsanlık, ilk andan itibaren gökyüzünü incelemiş, gördüklerine kendi yorumunu katarak anlamlar yüklemiş ve merak etmiştir. Merakını giderebilmek için ise farklı dönemlerde farklı metodlar ve aletler kullanarak gökyüzünü incelemeye ve gördüklerinin arkasındaki mekanizmayı anlamaya çalışmıştır. Bu merakın getirdiği yeniliklerden biride teleskobun icadıdır. Gökyüzünü daha iyi gözlemlemek, daha net ve temiz görüntüler elde etmek için değişik türde teleskoplar geliştirilmiş ve farklı optik gözlem metodları kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde farklı amaçlara hizmet eden hem yer tabanlı, hem de uzay tabanlı teleskoplar ve optik araçlar sayesinde astronomi bilimi tüm hızıyla ilerlemeye ve gelişmeye devam etmektedir (Şekil 1). Gelecekte yapılacak olan yeni nesil yer tabanlı ve uzay tabanlı teleskop ve gözlemevleri sayesinde, günümüzde bildiğimizden kat kat daha fazlasını elde etmemize olanak sağlayacaktır.



Şekil 1Yer tabanlı ve uzay tabanlı teleskoplar ile bu teleskopların gözlem yaptıkları dalga boyu aralıkları [1].

2. ASTRONOMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

MÖ 600 yıllarında Babilli astronomlar yönlerini belirlemek için basit gözlem aletleri kullanarak Güneş, Ay ve gezegenlerin hareketlerini şaşırtıcı bir doğrulukla belirleyebilmelerini sağlayan kayıtlar tutmuştur. Bu bilgiler, aralarında Platon'un da bulunduğu astronomlar tarafından eş merkezli kürelere dayanan basit bir Yer merkezli evren modelini tanımlamışlardır . Bu model, bilinen tüm gök olaylarını açıklayamamıştır çünkü Platon'un takipçileri, evrenin soyut modelini gözlemlerle destekleyememişlerdir. Gezegenlerin gözlemlenen düzensiz hareketlerini daha iyi açıklamak için Eudoxos, her gezegene dört tane küre denk gelecek şekilde 27 küreden oluşan karmaşık bir yermerkezli sistem geliştirmiştir. [2]

Platon'un öğrencisi olan Aristoteles (MÖ 384- 322), daha objektif bir doğa görüşüne sahipti ayrıca matematiğe değer veriyordu ve fiziksel dünya hakkında bilgi edinmenin tek yolunun doğrudan gözlem olduğunu düşünüyordu. "Matematiksel ilişkilerin doğada keşfedilmesi gerektiğini, ancak ona dayatılmaması gerektiğini" savunuyordu. King'e (1955) göre, Aristoteles, Eudoxos'un sistemini, gezegenlerin ve yıldızların bağlı olduğu 55 adet dönen şeffaf kristalin küre ve merkezde hareketsiz duran Yer ile daha tutarlı bir fiziksel modele dönüştürdü.[2]

Milattan önce 300 civarında, Yunan Astronomisinin hem teorik hem de gözlemsel merkezi haline gelen İskenderiye'de ve kütüphane kurulmuştur. Öte yandan Samoslu Aristarchos (M.Ö. 310-230), tutarlı bir güneş merkezli evren modeli yaratmıştır, ancak bunu yalnızca matematiksel bir hipotez olarak görmüş ve fiziksel gerçekliği temsil etmediğini düşünmüştür.[2]

Yıldızların konumlarının ve büyüklüklerinin ilk kataloğunu derleyen gözlemsel ve teorik bilgileri birleştiren Hipparchos (M.Ö.190 - 120) ile Yunan astronomisi zirveye ulaşmıştır.

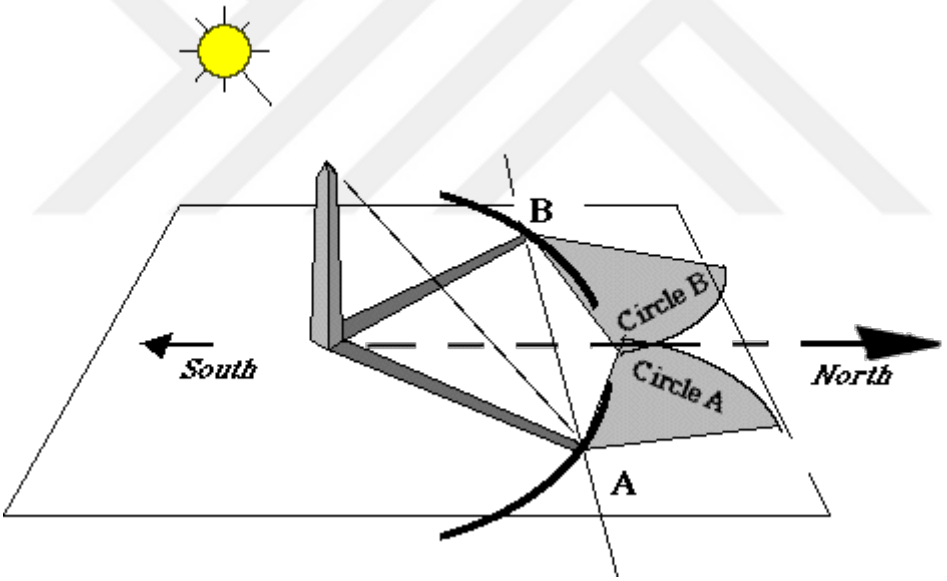
Hipparchos'un mirası, 1000 yıldan fazla bir süredir astronomi için ana referans kaynak olan Almagest veya "Büyük Kompozisyon" adlı eserinde Batlamyus (M.Ö. 90 - 160) tarafından özetlenmiş ve genişletilmiştir.

Şekil 2Batlamyus (a ve b), Kopernik (c) ve Tycho'nun (d) evren modelleri.[9]

Antik çağlarda, Yer atmosferinin optik özellikleriyle ilgili çok az bilgi vardı. Optik yansıma ve kırılma olgusu M.Ö. 5. yüzyılda biliniyordu. Güneş ışınlarını odaklayan aynalar

ve camların kullanılmasıyla ile ilgili ancak ilk niceliksel açıklama, ikinci yüzyılda Batlamyus'un optik üzerine yazdığı kitabına kadar görülmemiştir. M.Ö. 400 civarında Platon zamanında, gezegenlerin hareketinin tüm ana özellikleri, retrograd hareket de dahil olmak üzere) bilinmekteydi. Bu tür gözlemler alet gerektirmediğinden, atmosferik etkiler önemsizdi. [2]

İlk astronomik aletler, Mısır ve Mezopotamya'da MÖ 1500 civarında Güneş'in günlük ve yıllık hareketini ölçmek için kullanılmıştır. "Gnomon" adındaki dikey bir çubuk ve "Polos" adındaki Gnomon çubuğunu çevreleyen ve üzerine çubuğun gölgesinin düştüğü bir platformu kullanılmıştır. Gündönümleri ve ekinoksların tarihleri ve gün olarak bir yılın uzunluğu hesaplanmıştır (Şekil 2.2). İlginçtir ki, bu tür astronomik gözlemler güneş sistemine ait resmi teorilerden yaklaşık 1000 yıl öncesine dayanmaktadır. [2]

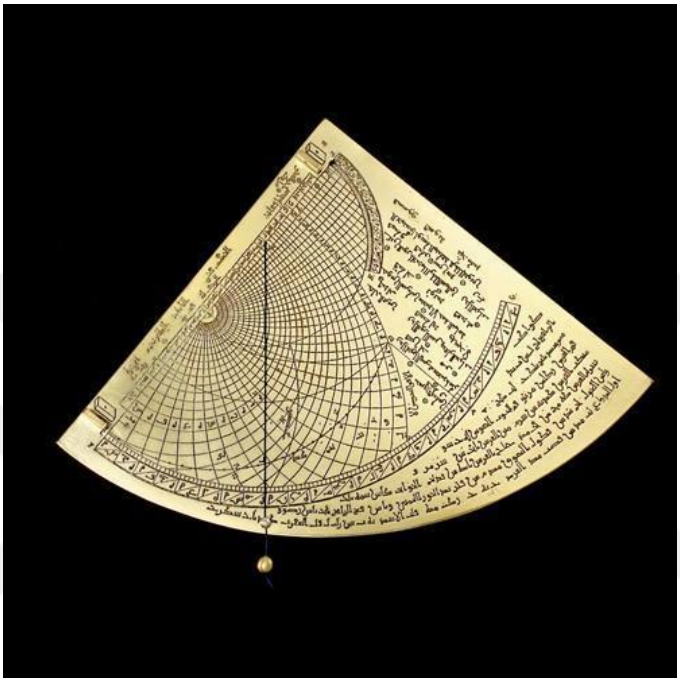


Şekil 3Gnomon çubuğu ve çalışma şekli [10]

MÖ dördüncü yüzyılda, gnomon platformları saatlere bölünerek ilkel bir güneş saati haline getirilmiştir. Gündüz ve gece 12 saate bölünmüştür. Ekinokslarda saatler eşittir, ancak yılın diğer zamanlarında gün uzunlukları değişiyordur. Gündüz saatleri yazın uzun, kışın ise kısadır. Kısa süreler ise, suyun küçük bir açıklıktan bir kaptan akıtıldığı su saatleri ile ölçülmüştür. Doğru zaman tutma, on sekizinci yüzyıla kadar astronomide önemli bir sorun olarak kalmıştır. [2]

Roma İmparatorluğu'nun dağılmasından ve İskenderiye'de MS 641'de kütüphanenin yakılmasından sonra Arap halifeleri Bağdat, Kahire ve Şam astronomi merkezleri haline

gelmiştir. Batlamyus' un çalışmaları incelenmiş ve yıldızların yüksekliğini ölçmek için kadran kullanma fikri büyük ölçekte uygulamaya konulmuştur (Şekil 3).[2]



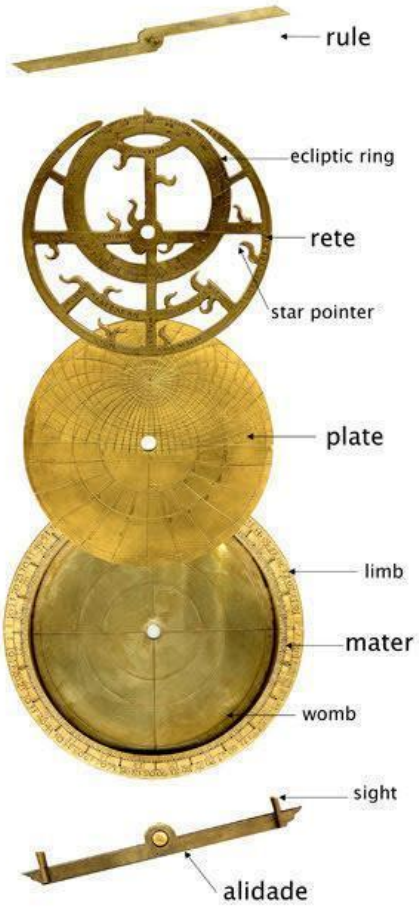
Şekil 4Sinüs kadranı [11]

On birinci ve on ikinci yüzyıllarda Avrupa, Arabistan ve Hindistan'da gözlem araçları inşa edilmiştir. O zamanlar büyük Arap fizikçi İbn el-Haitham (Alhazen, 965- 1039) atmosferin astronomik gözlemler üzerindeki etkilerini ilk kez tanımlamıştır. Ufka yaklaştıkça Güneş ve Ay'ın değişen şekli ve yıldızların konumlarını belirlemede atmosferik kırılmayı hesaba katma ihtiyacını anlatmıştır.[2]

Bu zaman zarfında Arap zanaatkârlar, Güneş'in veya yıldızların konumundan zamanın Güneş, Ay, gezegen ve yıldızın konumlarının belirlenmesini sağlayan küçük bir alet olan "Usturlab"ı geliştirmişlerdir.Usturlab'ın temel teorisi Batlamyus tarafından geliştirilmiştir.[2]

Şekil 5 Usturlab [11]

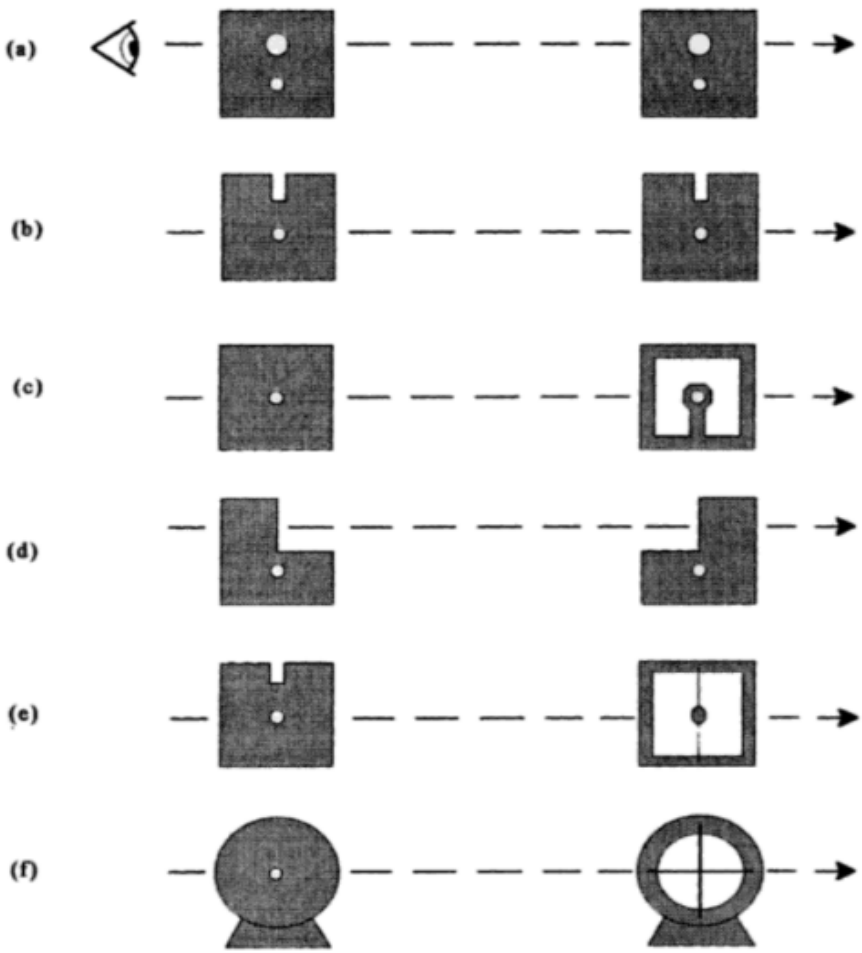
MS üçüncü veya dördüncü yüzyıllarda Mısır'da ortaya çıktığı düşünülen Arap Usturlab'ı, bir halkadan sarkıtılarak dikey konumda tutulan dairesel bir diskten oluşuyordu. (Şekil 5) Diskin bir tarafında parlak bir yıldıza veya Güneş'e nişan alınmasını sağlayan iki nişangahla donatılmış, yüksekliği derece olarak kalibre edilmiş bir ölçekten okunarak bulunabilen, döndürülebilen bir kol vardır. Cihazın diğer tarafında, ölçülen açıyı yerel saate dönüştüren bir hesap makinesi bulunmaktadır.Usturlab küresel geometri problemlerini çözerek, aletin astronomi ve jeodezi için yararlı hale getirir. Usturlab muhtemelen en uzun süre yararlı olan bilimsel alet olmuş ve 1000 yıldan fazla bir süre kullanımda kalmıştır.[2]



Şekil 6Usturlapın parçaları [12]

Bu türden basit bir açısal ölçüm cihazının doğruluğu iki faktöre bağlıdır:

1. Aletin yıldıza veya başka bir nesneye doğrultulma hassasiyetine.
2. Ölçeklerin cihaza kazınmasındaki doğruluk miktarına bağlıdır.

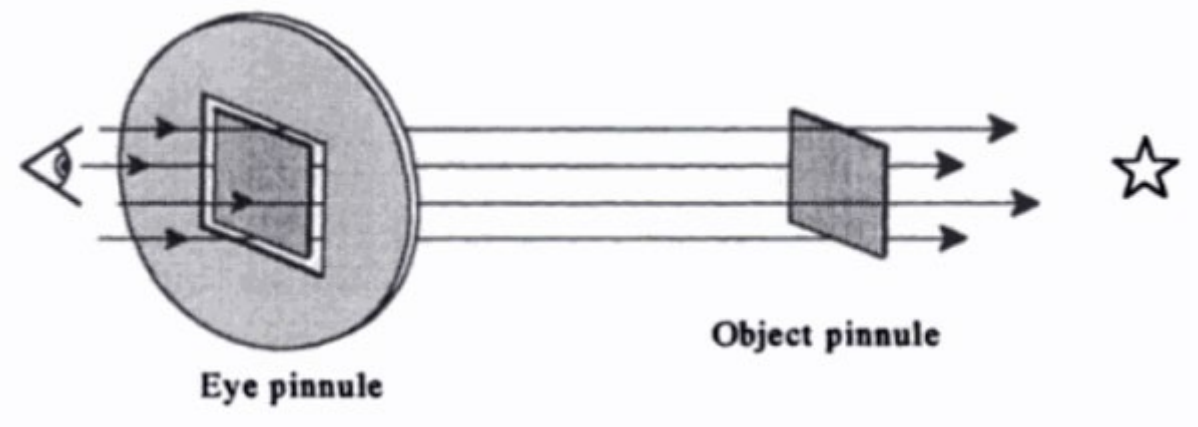


Şekil 7Erken Aletlerde Kullanılan Nişan Sistemleri

Şekil 7: Erken aletlerde kullanılan nişan sistemleri. (a) Arap usturlapları (yaklaşık MS 1000 - 1500). (b) Graphometer, Philip Danfrie, 1597. (c) Alidade, Hans Christoph Schissler Jr, 1591. (d) Graphometer, Matteo ve Giovanbattista Botti, tarihsiz. (e) Quadrant, Tobias Volckmer, 1608. (f) Quadrant, Carlo Rinaldini, 1667. [2]

Çıplak gözle yapılan gözlemler astronominin doruk noktası on altıncı yüzyılın sonlarında, gök cisimlerinin konumlarını ölçmek için büyük kadranlar ve küreler kullanan Danimarka'daki Tycho Brahe'nin Uraniborg gözlemevi (1576'da kuruldu) kullanılmıştır. Bu gelişmelerin teleskopun icadından önce olduğu ve gök cisimlerinin gözlemlenmesi için herhangi bir optik yardımın kullanılmadığı unutulmamalıdır. Tycho Brahe'den önce, çoğu astronomik ölçümün doğruluğu ±10 yay dakikasından daha iyi değildir.[2]

Tycho Brahe, gözlem cihazlarının dikkatli bir şekilde inşa edilmesi ve kalibrasyonu sayesinde görüş hatalarını yaklaşık 2 yay dakikasına düşürebilmiştir. Göz merceği, Şekil 8'de gösterildiği gibi bir kareyi tanımlayan dört yarıktan oluşmaktadır. Cihazın diğer ucuna tam olarak aynı boyutta opak bir kare yerleştirilmiştir. Alet, karşılık gelen yarıktan bakıldığı zaman yıldız, karenin her iki tarafına dokunacak şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede Tycho Brahe, gözlemlerindeki hatayı 1/2 yay dakikasının altına düşürmüştür.[2]



Şekil 8Tycho Brahe'nin paralaksı ortadan kaldırmaya yönelik nişan sistemi. [2]

Bu arada Kopernik (1473 - 1543) gezegenlerin hareketlerini belirlemek için daha iyi bir model olarak Güneş merkezli sistem fikrini geliştirmiştir, ancak Tycho Brahe, üstün cihazlarıyla elde ettiği bilgilere rağmen, bu fikri Yer merkezli bir evren lehine reddetmiştir. On yedinci yüzyılın başlarında Kepler, Tycho Brahe'nin gözlemlerini kullanarak gezegenlerin hareket yasalarını bulmuştur.[2]

3. ASTRONOMİDE OPTİK ARAÇLAR

3.1. Teleskopların Gelişimi

Astronomide optik araçlar, teleskobun icadıyla başlamıştır. Teleskobun geçmişi, 1608'de Hollanda'da bir gözlük üreticisi olan Hans Lippershey tarafından bir patent başvurusunda ortaya çıktığı bilinen en eski teleskobun icadına kadar gider. Lippershey patentini almamış olsa da, buluşla ilgili haberler kısa sürede Avrupa'ya yayılmıştır. Bu ilk

mercekli teleskop tasarımı, bir ince kenarlı objektif merceği ve bir kalın kenarlı göz merceğinden oluşuyordu. Galileo, 1609'da bu tasarımı geliştirmiş ve ilk kez gökyüzüne bakmak için astronomiye uygulamıştır. 1611'de Johannes Kepler, iki ince kenarlı mercek ile çok daha kullanışlı bir teleskopun nasıl yapılabileceğini göstermiştir.[3]

Isaac Newton, 1668'de ışığı teleskopun yan tarafına monte edilmiş bir göz merceğine yansıtmak için küçük bir düz diyagonal ayna ile bir ışık toplayıcı içbükey ayna içeren bir tasarım kullanarak, ilk aynalı teleskobu 1668'de inşa etmiştir. 1672'de Laurent Cassegrain, ışığı ana aynadaki merkezi bir delikten yansıtmak için küçük bir dışbükey ikincil aynaya sahip bir teleskop tasarımı kullanmıştır. [4]

Objektif merceklerindeki renk sapmalarını büyük ölçüde azaltan, daha kısa ve daha işlevsel teleskoplara izin veren akromatik mercekler, ilk olarak Chester Moore Hall tarafından yapılan 1733 teleskopunda kullanılmıştır. [4]

Teleskoplardaki önemli gelişmeler, John Hadley'in 1721'de daha büyük iç bükey aynalar üretmesi, 1857'de Léon Foucault tarafından tanıtılan cam aynaların gümüşle kaplanması süreci ve 1932'de aynalarda uzun ömürlü alüminyum kaplamaların benimsenmesi şeklindedir. Cassegrain tipi aynalı teleskopların Ritchey-Chretien versiyonu 1910 civarında icat edilmiş, ancak 1950 sonrasına kadar yaygın olarak benimsenmemiştir; günümüzde Hubble Uzay Teleskobu da dahil olmak üzere birçok modern teleskop, klasik Cassegrain tasarımından daha geniş bir görüş alanı sağlayan bu tasarımı kullanmaktadır.[4]

1850 - 1900 döneminde, önemli sayıda büyük aynalı teleskop, 60 cm ile 1 metre çaplı aynalar kullanılarak inşa edilmiştir. 1900'lerin başında 60 inçlik (1.5 metrelik) ayna çapına sahip Mount Wilson teleskobu, 100 inçlik (2.5 metrelik) ayna çapına sahip Hooker Teleskopu (1917) ve 200 inçlik cam aynalı teleskoplar kullanılmaya başlanmıştır. 1975 - 1985 döneminde Hawaii ve Şili'deki Atacama Çölü gibi daha yüksek rakımlı yerlerde bir dizi 4 metre sınıfı (160 inçlik) teleskop inşa edilmiştir. 1970'lerde bilgisayar kontrollü alt azimut kundağın ve 1980'lerde aktif optiklerin geliştirilmesi, 1993 / 1996'da 10 metrelik (400 inçlik) ayna çapına sahip Keck teleskoplarından başlayarak, yeni nesil daha da büyük teleskoplara olanak sağlamış ve ESO Çok Büyük Teleskop (VLT), Gemini Gözlemevi ve Subaru Teleskopu dahil bir dizi 8 metrelik teleskop yapılmıştır.[4]

Radyo teleskoplar çağı (radyo astronomisi ile birlikte), 1931'de Karl Guthe Jansky'nin astronomik bir radyo kaynağını tesadüfen keşfetmesiyle doğmuştur. 20. yüzyılda radyodan gama ışınlarına kadar çok çeşitli dalga boyları için birçok teleskop türü geliştirilmiştir. 1960'tan sonra uzay teleskoplarının geliştirilmesi ile, X ışınları ve daha uzun dalga boylu kızılötesi bantlar dahil olmak üzere, yerden gözlemlenmesi imkansız olan birkaç bantta gözleme izin vermiştir.[4]

3.2. Teleskop Çeşitleri

Optik teleskop çeşitlerini mercekli, aynalı ve katadioptrik teleskoplar olarak üç ana başlıkta inceleyebiliriz.

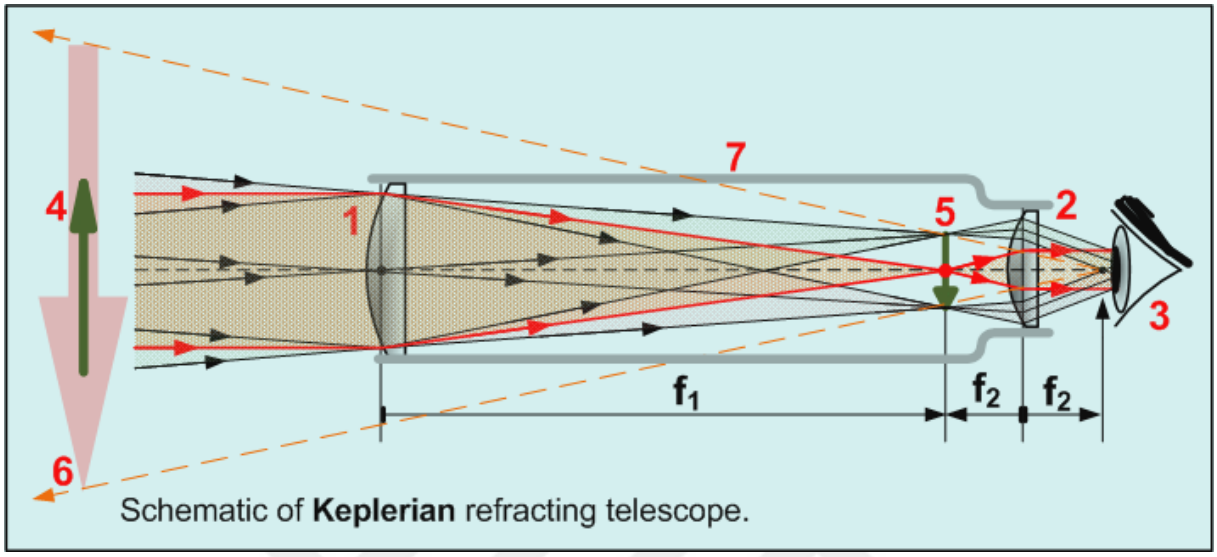
3.2.1. Mercekli Teleskoplar

Mercekli bir teleskop, bir görüntü oluşturmak için bir mercek kullanan bir tür optik teleskoptur (ayrıca bir dioptrik teleskop olarak da adlandırılır). Mercekli teleskop tasarımı başlangıçta casus gözlüklerde, astronomik teleskoplarda ve aynı zamanda uzun odaklı kamera merceklerinde kullanılmıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısında büyük mercekli teleskoplar çok popüler olmasına rağmen, mercekli teleskopların yerini daha büyük çaplarda yapılması mümkün olan aynalı teleskoplar almıştır. Bir mercekli teleskobun büyütmesi, objektif merceğin odak uzunluğunu göz merceğinin odak uzunluğuna bölerek hesaplanır. [5]

Mercekli teleskoplar tipik olarak önde bir merceğe, ardından uzun bir tüpe ve arkada teleskop görüntüsünün odaklandığı bir göz merceği veya alıcıdan oluşur. [5]

Mercekli teleskoplar günümüzde genellikle dürbün ve yakınlaştırma mercekleri, telefoto mercek, uzun odaklı mercek gibi diğer optik cihazlara uygulanan bir teknolojidir.

Tüm mercekli teleskoplar aynı prensibi kullanır. Şekil 3.1’de gösterilen objektif merceği (1) ve bir tür göz merceği (2) kombinasyonu, insan gözünün kendi başına toplayabileceğinden daha fazla ışık toplamak, odaklamak (5) ve gözlemciye daha parlak, daha net ve büyütülmüş bir sanal görüntü (6) sunmak için kullanılır.[5]



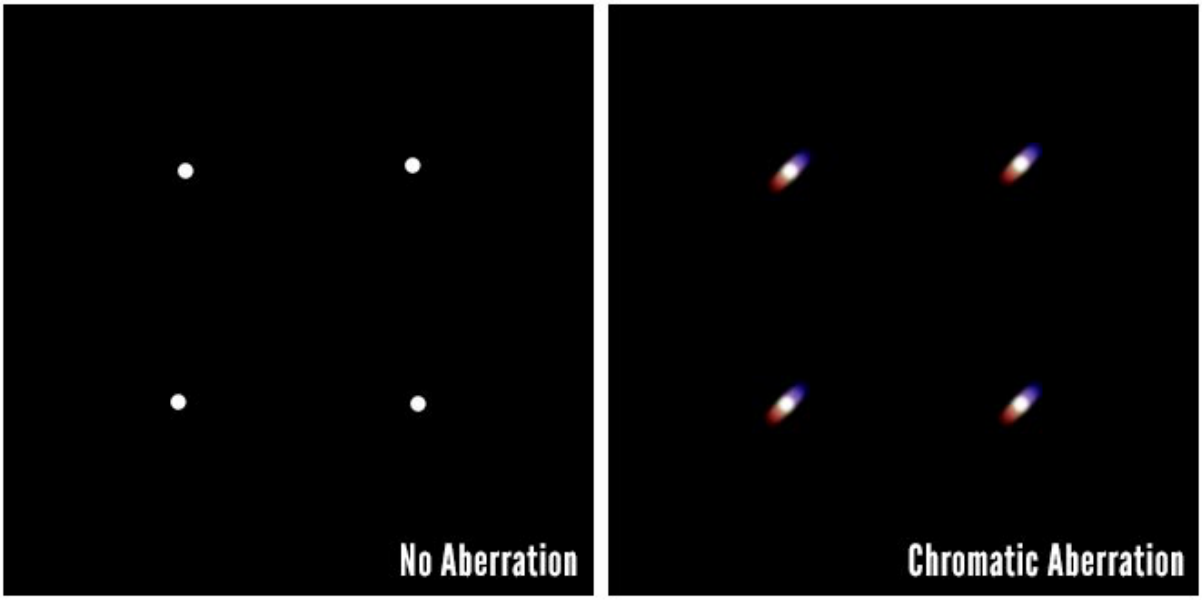
Şekil 9Kepler tipi mercekli teleskobun çalışma şeması [13]

Mercekli teleskopta amaç, ışığı kırmak veya bükmektir. Bu kırılma, paralel ışık ışınlarının bir odak noktasında birleşmesine neden olur. [5]

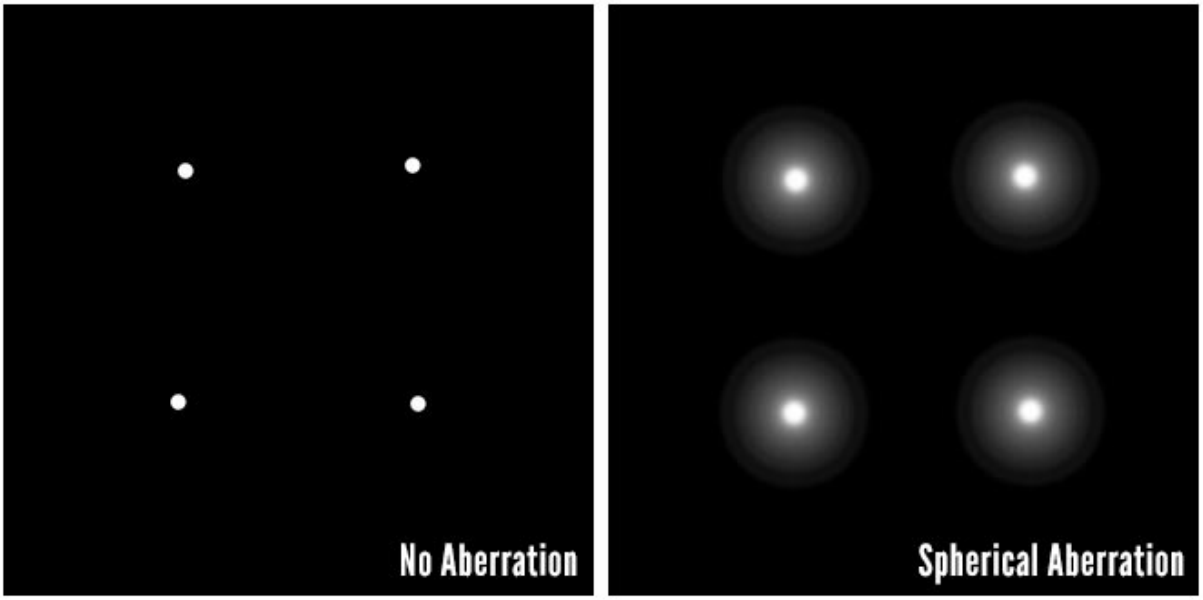
Mercekli teleskoplar, görüntü yönünü ve sapma türlerini düzeltmek için birçok farklı konfigürasyonda olabilir. Görüntü, ışığın bükülmesi veya kırılmasıyla oluştuğu için, bu teleskoplara kırılma teleskopları veya refraktörler de denmektedir.[5]

Bir mercek beyaz ışığı renklerine ayırarak prizma etkisi gösterir. Bundan dolayı mercek her rengi farklı bir konumda odaklar. Farklı türde camlardan yapılmış merceklerin bileşimi sayesinde merceğin renk sapıncı düzeltilebilir. İkinci bir mercek ayrılan renkleri yeniden bir araya getirebilir. [17]

Mercekli teleskoplar, kromatik ve küresel aberasyon denen kusurlara sahiptir.(Şekil 10 ve Şekil 11) Bu kusur, daha kısa odak oranlarını uzun olanlardan daha fazla etkiler. 100 mm (4 inç) f / 6 odak oranına sahip akromatik mercekli bir teleskop, önemli miktarda renk saçılması (genellikle parlak nesnelerin etrafında mor bir hale) gösterir. 100 mm (4 inç) f / 16'lık bir teleskobun renk saçılması çok daha azdır.[5]



Şekil 10 Kromatik Aberasyon [18]



Şekil 11Küresel Aberasyon [18]

Mercek çapı çok büyük olursa, camın yerçekimi ile deforme olması sonucu mercek sarkması sorunu da ortaya çıkar. Bir mercek yalnızca kenarından tutulabildiğinden, büyük bir mercek merkezi yerçekimi nedeniyle sarkar ve ürettiği görüntü bozulur. Mercekli bir teleskoptaki en büyük ve pratik mercek boyutu yaklaşık 1 metredir (39 inç).[5]

Cam içinde hapsolmuş cam kusurları, çatlaklar veya küçük hava kabarcıkları ile ilgili başka sorunlar da vardır. Ek olarak, cam belirli dalga boylarına karşı opaktır. Bu sorunların çoğu, çok daha büyük çaplarda yapılabilen ve astronomik araştırmalar için mercekli teleskopların hemen hemen yerini almış olan aynalı teleskoplarda önlenir veya azaltılır.[5]

Voyager 1 ve 2 üzerindeki Imaging Science Subsystem Wide Angle Camera (ISS-WAC), uzayda mercekli teleskop kullanımına bir örnek olarak verilebilir. 1970'lerin sonlarında uzaya fırlatılan Voyager Uzay araçları'nda 6 cm'lik birer mercek kullanılmıştır.[5]

Astronomide, Güneş Sistemi'ne ait birçok ilk keşif mercekli teleskoplarla yapılmıştır. Mercekli teleskopların optikleri fotoğrafçılıkta da kullanılır.[5]

Mercekli teleskopların bilinen uygulamalarından biri, Galileo'nun mercekli teleskopunu astronomi için kullandığı zamandır; 1609'da Jüpiter'in dört uydusunu keşfetmiştir. Ayrıca, ilk mercekli teleskoplar birkaç on yıl sonra Satürn'ün uydusu Titan'ı ve Satürn'ün üç uydusunu daha keşfetmek için de kullanılmıştır.[5]

19. yüzyılda astrofotografi ve spektroskopi çalışmalarına öncülük etmek için mercekli teleskoplar kullanılmıştır. Bazı keşifler arasında Mars'ın uyduları, Jüpiter'in beşinci uydusu ve Sirius dahil olmak üzere birçok çift yıldız keşfi bulunmaktadır.[5]

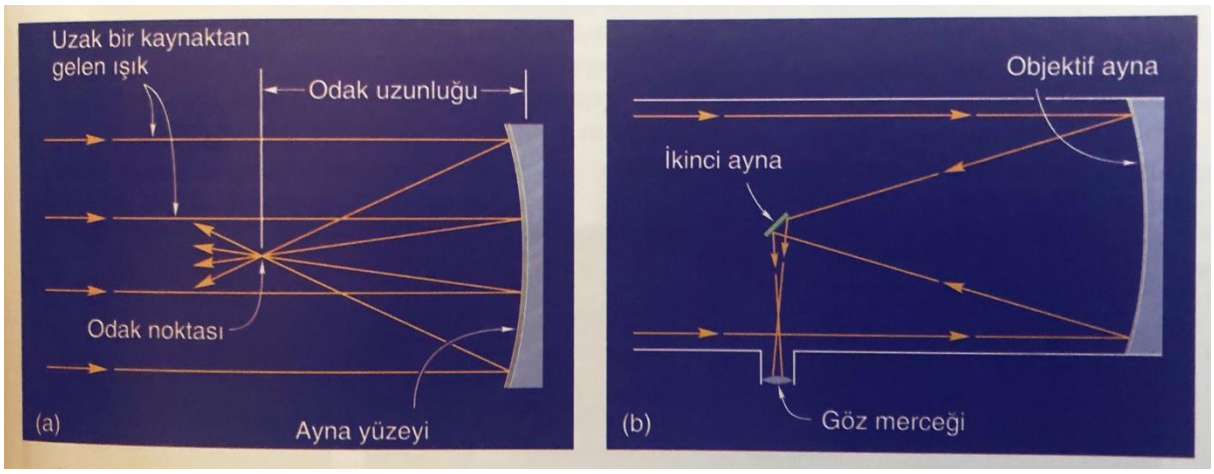
3.2.2. Aynalı Teleskoplar

Aynalı teleskoplar, ışığı yansıtan ve bir görüntü oluşturan bir veya birden fazla ayna kombinasyonu kullanan bir teleskop çeşididir. Yansıtmalı teleskop 17. yüzyılda Isaac Newton tarafından, mercekli teleskopa alternatif olarak icat edilmiştir. Aynalı teleskoplar başka tür optik sapmalar oluştursa da, çok geniş çaplara izin veren bir tasarımları vardır. Astronomi araştırmalarında kullanılan ana teleskopların neredeyse tamamı aynalı teleskoplardır. Aynalı teleskoplar, birçok tasarım varyasyonuna sahiptir ve görüntü kalitesini iyileştirmek veya görüntüyü mekanik olarak avantajlı bir konuma yerleştirmek için ekstra optik elemanlar kullanabilirler. Aynalı teleskoplarda mercekler de kullanılabilindiğinden, bazı tasarımlar "katadioptrik teleskoplar" olarak anılmaktadır.[6]

Newton zamanından 1800'lere kadar, aynanın kendisi metalden (bakır-kalay alaşımı) yapılmıştır. Newton'un ilk tasarımları ve hatta 19. yüzyılın en büyük teleskopları da bu türdendir. 19. yüzyılda, çok ince bir gümüş tabakayla kaplanmış bir cam bloğu kullanan yeni bir yöntem, yüzyılın başlarında daha popüler olmaya başlamıştır. Esas olarak, metal aynalar ışığın sadece 2/3'ünü yansıtır ve metal zamanla kararır. Birden fazla cilalama ve kararmadan sonra ayna ihtiyaç duyulan hassas şeklini kaybedebilir.[6]

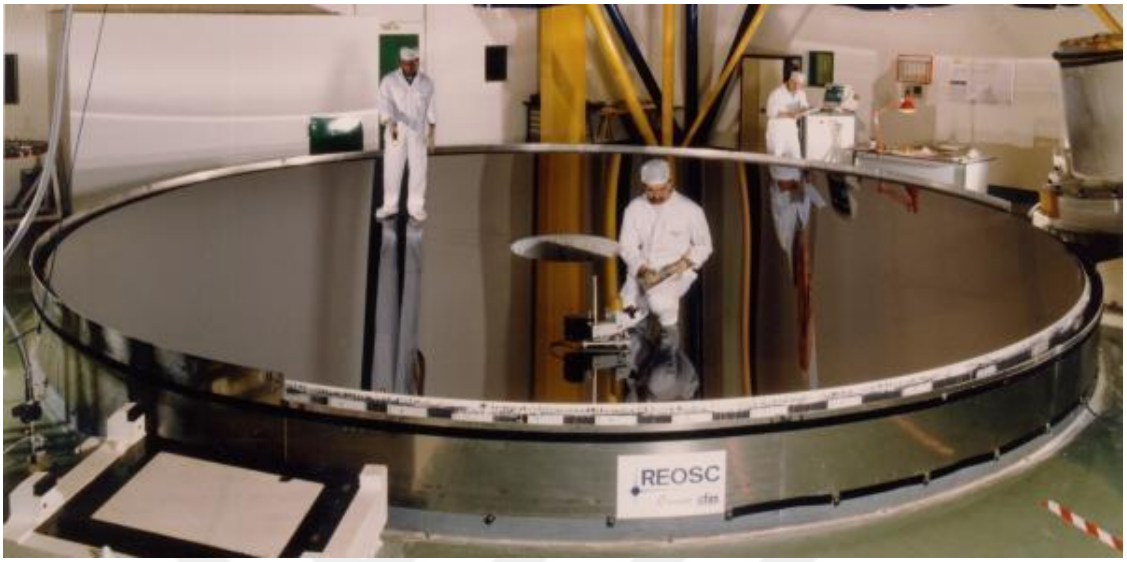
Aynalı teleskoplar astronomi için olağanüstü popüler hale gelmiştir. Günümüzde Hubble Uzay Teleskobu ve birçok popüler teleskop bu tasarımı kullanmaktadır. Ek olarak, aynalı teleskop prensibi diğer ışık dalga boylarına da uygulanmış ve X-ışın teleskopları da görüntü oluşturan optik düzenekler için yansıma prensibini kullanır hale gelmiştir.[6]

İçbükey bir birincil ayna, odak düzleminde bir görüntü oluşturan aynalı teleskopun temel optik öğesidir. Aynadan odak düzlemine olan mesafeye odak uzaklığı denir. Görüntüyü kaydetmek için odağa film veya bir dijital sensör yerleştirilebilir. Optik karakteristikleri değiştirmek, ışığı farklı bir yerdeki filme, dijital sensörlere aktarmak veya gözle gözlemde bir göz merceğine yönlendirmek için odağın önüne ikincil bir ayna eklenebilir (Şekil 12). [7]



Şekil 12Aynalı teleskopların çalışma prensibi [14]

Çoğu modern teleskoptaki birincil ayna, ön yüzeyi küresel veya aşındırılarak parabolik bir şekil verilen katı bir cam silindirden oluşmuştur. Aynanın üzerine vakumla ince bir alüminyum tabakası kaplanarak yüksek derecede yansıtıcı bir birincil yüzey aynası oluşturulur (Şekil 13).[7]



Şekil 13ESO'ya ait VLT'nin 8 metre çaplı birincil aynası. [15]

Bazı teleskoplar, farklı yapılmış birincil aynaları kullanır. Erimiş cam yüzeyi paraboloit (içbükey) hale getirmek için döndürülür ve soğudukça katılaşırken dönmeye devam eder. Elde edilen ayna gereken tam şekle ulaşmak için minimum aşındırma ve cilalama süreçlerinden geçerek istenen paraboloit şekle yaklaşılır.[7]

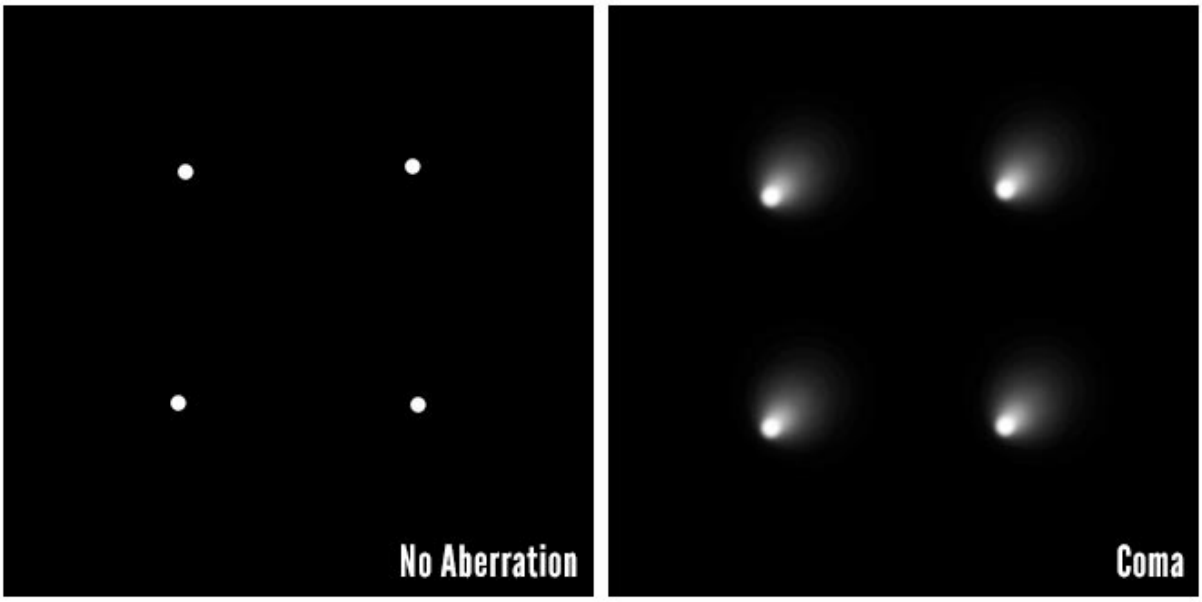
Aynalı teleskoplar, tüm diğer optik sistemler gibi, "mükemmel" görüntüler üretmezler. Nesneleri sonsuza kadar mesafelerde görüntüleme, onları farklı ışık dalga boylarında görüntüleme ve birincil aynanın ürettiği görüntüyü görüntülemek için yapılanlar, aynalı bir teleskopun optik tasarımında her zaman bir miktar müdahale olduğu anlamına gelmektedir.[8]

Birincil ayna, ışığı kendi yansıtma yüzeyinin önündeki ortak bir noktaya odakladığından, neredeyse tüm aynalı teleskop tasarımlarında bu odak noktasının yakınında, ışığın birincil aynaya ulaşmasını kısmen engelleyen ikincil bir ayna, film tutucu veya alıcı bulunur. Bu sadece sistemin topladığı ışık miktarında bir miktar azalmaya neden olmakla kalmaz, aynı zamanda engelin kırınım etkileri görüntüde kontrast kaybına da neden olur.[8]

Aynaların kullanılması renk sapmalarını önler, ancak başka tür sapmalar üretirler. Basit bir küresel ayna, uzaktaki bir nesneden ışığı ortak bir odağa getiremez, çünkü aynanın kenarına yakın bir noktadan vuran ışık ışınlarının yansıması, aynanın merkezine daha yakından yansıyanlarla, küresel sapma adı verilen bir kusurla birleşmez. Bu sorunu önlemek için çoğu aynalı teleskop, tüm ışığı ortak bir odağa odaklayabilen bir şekil olan parabolik

(içbükey) şekilli aynalar kullanır. Parabolik aynalar, ürettikleri görüntünün merkezine yakın nesnelerle iyi çalışır (aynanın optik eksenine paralel hareket eden ışık), ancak aynı görüş alanının kenarına doğru eksen dışı sapma sorunları vardır.[8]

Koma, görüntünün merkezindeki nokta kaynaklarının (yıldızların) bir noktaya odaklandığı, ancak tipik olarak görüntünün kenarlarına doğru kötüleşen "kuyruklu yıldız benzeri" lekeler olarak göründüğü bir sapmadır (Şekil 14). [8]



Şekil 14Koma Hatası [18]

Astigmatizm, eksen dışı nokta kaynak görüntülerinin eliptik görünmesine neden olan bir odak değişimi hatasıdır. Astigmatizm genellikle dar bir görüş alanında sorun değildir, ancak geniş alan görüntüsünde hızla kötüleşir.[8]

Bozulma, görüntü kalitesini (keskinliği) etkilemez ancak nesne şekillerini etkiler. Bazen görüntü işleme ile düzeltilir. Bu sapmaların bazılarını düzelten değiştirilmiş ayna yüzeyleri (Ritchey – Chrétien teleskobu gibi) veya bir çeşit düzeltme merceği (katadioptrik teleskoplar gibi) kullanan aynalı teleskop tasarımları vardır.[8]

Neredeyse tüm büyük astronomik teleskoplar aynalı teleskoplardır. Bunun birkaç nedeni vardır:

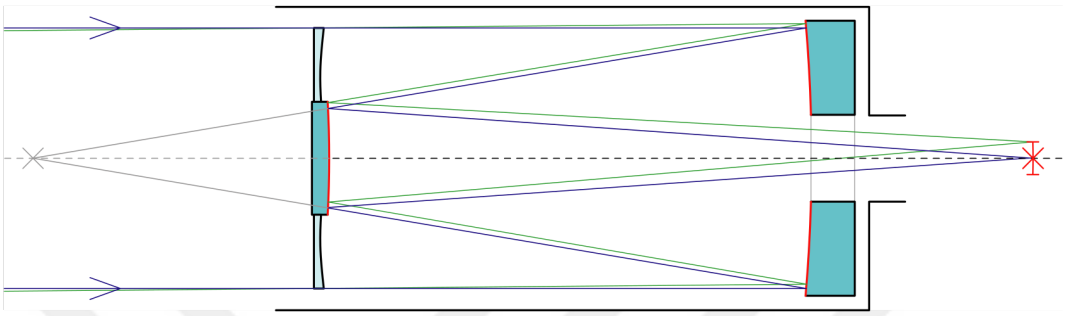
1- Bir mercekli teleskop veya bir katadioptrik teleskopta ışık, cam elemanlardan geçerken belirli dalga boyları emildiği için aynalı teleskoplar daha geniş bir dalgaboyu aralığında çalışır.
2- Bir mercekte, merceğin tüm yüzeyi kusursuz ve homojen olmalıdır, oysa aynada sadece bir yüzeyin mükemmel şekilde parlatılması gerekir.
3- Farklı dalga boylarındaki ışık, vakum dışındaki bir ortamda farklı sapma açıları ile ilerler. Bu, renk sapmasına neden olur. Bunu kabul edilebilir seviyelere düşürmek genellikle iki veya üç farklı çapta merceklerin bir kombinasyonu kullanılır. Bu tür sistemlerin maliyeti bu nedenle merceklerin çapına göre önemli ölçüde artar. Bir aynadan elde edilen bir görüntü, başlangıçta renk sapmalarından etkilenmez ve aynanın maliyeti, boyutuna göre çok daha mütevazı bir şekilde değişir.
4- Geniş çaplı merceklerin üretimi ve işlenmesiyle ilgili yapısal sorunlar vardır. Bir mercek sadece kenarından tutulabildiğinden, büyük bir merceğin merkezi yerçekimi nedeniyle sarkacak ve ürettiği görüntüyü bozacaktır. Mercekli bir teleskoptaki en büyük pratik mercek boyutu yaklaşık 1 metredir. Bunun aksine, bir ayna, yansıtan yüzünün arkasından desteklenerek yerçekimsel sarkmanın üstesinden gelebilecek teleskop tasarımlarına olanak tanır. En büyük aynalı teleskop tasarımlarının çapı şu anda 10 metreyi geçmekte ve 39 metrelik çoklu aynalı teleskop projeleri de bulunmaktadır.[7]

3.2.3. Katadioptrik Teleskoplar

Bir katadioptrik teleskop, kırılma ve yansımanın bir optik sistemde, genellikle mercekler (diyoptri) ve içbükey aynalar (katoptrikler) yoluyla birleştirildiği sistemlerdir. Katadioptrik kombinasyonlar projektörler, farlar, eski deniz fenerlerindeki odaklama sistemleri, optik teleskoplar, mikroskoplar ve telefoto mercekler gibi odaklama sistemlerinde kullanılır. Mercek ve aynaları kullanan diğer optik sistemler, gözetleme katadioptrik sensörleri gibi "katadioptrik" olarak da adlandırılır.[7]

Katadioptrik teleskoplar, bir görüntü oluşturmak için özel olarak şekillendirilmiş aynaları ve mercekleri birleştiren optik teleskoplardır. Bu genellikle, teleskobun tüm mercek veya tüm ayna benzerlerinden genel olarak daha büyük bir hata düzeltme derecesine sahip olabilmesi ve dolayısıyla daha geniş, sapmasız görüş alanına sahip olması için yapılır. Tasarımları basit, tamamen küresel yüzeylere sahip olabilir; teleskobun kütlesini azaltan ve

üretilmesini kolaylaştıran katlanmış bir optik yoldan yararlanabilir. Pek çok tip, birleşik görüntü oluşturan optik sistemde "düzelticiler", bir mercek veya kavisli ayna kullanılır.[7]



Şekil 15Bir katadioptrik teleskop türü olan Schmidt - Cassegrain türü teleskobun çalışma şeması [16]

3.3. Bir Teleskobun Gücü

Bir teleskobun gücünü düşününce çoğu insanın aklına “büyütme” gelir. Oysa ki büyütme, bir teleskobun üç önemli gücünün (diğer ikisi ışık toplama gücü ve ayırma gücüdür) en az önemli olanıdır. Ne de olsa büyütülmüş bulanık bir görüntü, hiçbir şekilde herhangi bir ayrıntı göstermeyecektir. Bu sebeple aslında, büyük teleskopların kullanılmasının sebepleri, teleskopların güçleriyle doğrudan ilişkilidir. [17]

3.3.1. Açısal Büyüklük ve Büyütme Gücü

Bir nesnenin açısal büyüklüğü, gözlemcide başlayan ve nesnenin karşı kenarlarına giden iki çizgi arasındaki açıdır. Açısal büyüklük, açısal aralığa çok benzer şekilde tanımlanır. Açısal büyüklük, bir nesnenin görünen büyüklüğünün ölçüsü iken, açısal aralık iki nesne arasındaki görünen açısal mesafenin ölçüsüdür. Açısal büyüklük, örneğin Ay’ın veya Güneş’in görüntüsünün, gözümüzün ağ tabakası üzerinde ne kadar büyük olduğunu belirler. [17]

Bir teleskop için, (iki gözlü dürbünler ve diğer optik cihazlar için de olduğu gibi) büyütme gücü veya büyütme, bir nesnenin bu aletle bakıldığı zamanki açısal büyüklüğünün, çıplak gözle görülen açısal büyüklüğe oranı olarak tanımlanır. Belli bir teleskobun açısal büyütme gücü, objektifin ve göz merceğinin odak uzaklıklarına bağlıdır. Büyütme gücü,

$$M = \frac{fobj}{fgöz}$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. [17]

3.3.2. Işık Toplama Gücü

Büyütmeyi korurken, görüntüyü daha parlak yapmanın iki yolu vardır. Eğer bir fotoğraf çekiyorsak daha uzun poz süresi kullanılabilir. Bunu yaptığımızda, ışığın etkisinin film üzerinde daha uzun bir süre birikmesini sağlarız ve film daha fazla pozlanmış olur. Diğer yol ise cisimden daha fazla ışık toplamaktır. Bu ise yalnızca daha büyük bir objektif kullanılarak yapılabilir. Daha büyük bir objektif kullanmak ise bizi telekobun bir diğer gücü olan ışık toplama gücüne götürür. [19]

Bir teleskobun ışık toplama gücü, doğrudan bir cisimden topladığı ışık miktarıyla ilgilidir. Teleskopla gözlenen çoğu cisim oldukça sönüktür ve bir görüntü elde edebilmek için bu cisimlerden mümkün olduğunca çok ışık yakalamamız gereklidir. Teleskop görüntü elde etmek için de, doğrudan çıplak gözle bakmak için kullanılsa da bu durum böyledir. [19]

Daha fazla ışık toplamanın başlıca yolu, daha büyük objektifi olan bir teleskop kullanmaktır. Objektife çarpan ışığın miktarı, objektifin alanına bağlıdır. Objektif çapı büyük bir teleskop istenmesinin ve gün geçtikçe daha büyük objektife sahip teleskopların inşa edilmesinin başlıca sebebi budur. [19]

3.3.3. Ayırma Gücü

Bir aynadan yansımadığı veya bir arayüzde kırılmadığı sürece ışığın günlük hayatımızda varsaydığımız bir özelliği, düz hatlar boyunca yol almasıdır. Eğer böyle bir varsayım yapmazsak gördüğümüz bir nesnenin önümüzde mi, arkamızda mı bulunduğundan emin olamayız. Yine de bu kuralın iki istisnası vardır. Işık her zaman düz hatlar boyunca yol almaz. Işık, bir nesnenin kenarından geçerken yayılır. Bu olaya “kırınım” denir. [20]

Işık, bir açıklıktan geçtiği zaman meydana gelen kırınımın miktarı, ışığın dalgaboyuna ve açıklığın büyüklüğüne bağlıdır. Dalgaboyu ne kadar uzunsa kırınım da o kadar fazla, açıklık ne kadar büyükse kırınım da o kadar az olur. [20]

Bir teleskopta ışığın geçtiği açıklığı objektifin kendisi oluşturur. Etki küçüktür, ama vardır. Kırılma yasalarına göre düzenli ve kesin şekilde bükülmesi gereken ışık, küçük bir miktarda yayılır. Bu durum görüntünün tam belirgin olmamasına yol açar. Bir yıldızın tekil bir

nokta olarak elde edilmesi gereken görüntüsü, küçük bir leke halinde bulanıklaşır. Eğer büyütmeyi arttırırsak, bulanık lekeyi sadece daha büyük ve daha sönük yaparız. [20]

Bu tanımlardan yola çıkarak ayırma gücünü şu şekilde tanımlayabiliriz: Bir aletle belirlenebilen, en küçük açısal ayrılıktır. Aletin, cismin ayrıntılarını görme yetisinin bir ölçüsüdür. [20]

Bir teleskopun ayırma gücü, kırınım tarafından sınırlanır. Büyük bir objektifle daha az kırınım olacağından, en iyi ayırma gücü büyük çaplı objektife sahip bir teleskop tarafından elde edilebilir. [21]

Kırınımın tek sınırlama olduğu varsayılırsa, bir teleskopun ayırma gücü;

$$\theta = 2{,}5\ x\ 10\text{^}5 x\ \frac{\lambda}{D}$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Denklemde θ yay saniyesi biriminde ayırma gücünü, λ kullanılan ışığın metre biriminden dalgaboyunu ve D, teleskop objektifinin metre biriminden çapını ifade eder. [21]

3.4. Uzay Teleskopları

3.4.1 Kızılötesi Teleskoplar

SOFIA (Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy) projesinde 2,7 metrelik bir teleskobu, atmosferdeki su buharının %99'unun üzerinde, 12.000 metre kadar yüksekte uçarak taşıyan değiştirilmiş bir Boeing 747 - SP uçağı vardır. Bu teleskobun duyarlı olduğu dalgaboyu aralığı ise 0,3 - 1600 mm'dir. SOFIA Teleskopu, bir NASA ve Alman Uzay Ajansı ortak girişimi olup, çalışmaya 2010 kışının ilk haftalarında başlamıştır. '014'te tam işlvesel hale gelmiş ve yaklaşık 20 yıllık bir ömrü olması beklenmektedir. [22]

Spitzer Uzay Telekopu, Ağustos 2003'te yörüngeye yerleştirilmiştir. Spitzer, evreni 3 - 180 mm aralığında gözleyen, 0,85 metrelik bir kızılötesi teleskoptur. Teleskobun kendisini Güneş'ten ve Dünya'nın kızılötesi ışınımından koruycak bir kalkanı vardır ve uzaydan gelen kızılötesi sinyallerini kendi ısısıyla girişim yapmaksızın gözleyebilmesi için, 360 litrelik bir sıvı helyum tankı sayesinde mutlak sıfırın 5,2°C üzerindeki bir sıcaklığa kadar soğutulur. Kızılötesi ışık, uzaydaki yoğun gaz ve toz bulutlarının bulunduğu bölgelere nüfüz edebilir ve

bu sayede yıldız oluşum bölgelerinden, gezegen oluşum alanlarına kadar olan bölgelerin gözlemi yapılabilir. [22]

NASA'nın "Wide-field Infrared Survey Explorer" görevinin (WISE) amacı, 2010 boyunca tüm gökyüzünü kızılötesi ışıkta bir buçuk kez taramaktı. Bu görev evrendeki nesneler hakkında çok büyük miktarda bilgi üretti. Gökyüzünün WISE ile çekilmiş yaklaşık 3 milyon resminin her biri yakın kızılötesi (3,4 ve 4,6 mm) ve orta kızılötesinde (12 ve 22 mm) bilgi içerir. [22]

Şİmdiye kadar uzaya gönderilmiş en büyük teleskop olan ESA'nın Herschel Gözlemevi'nin, 3,5 metre çapa sahip bir birincil aynası bulunmaktadır. Gözlem yaptığı dalgaboyu aralığı uzak kızılötesinden milimetre altına kadar uzanır. ESA'nın kozmik mikrodalga ardalanı inceleyen Planck gözlemevi ile birlikte Mayıs 2009'da yörüngeye yerleştirilmiştir. Herschel, yıldızların ve gökadaların kökenlerini ve evrimlerini incelemektedir. [22]

3.4.2 Morötesi Teleskoplar

NASA'nın 2003'te yörüngeye yerleştirilen "Gökada Evrim Kaşifi" (Galaxy Evolution Explorer, GALEX) gökadaları morötesi dalgaboyunda (130 - 300 nm) gözleyen, 0,5 metrelik ayna çapına sahip bir uzay teleskopudur. GALEX, ilk gökadaların nasıl evrimleştiğine dair ipuçları aramakta ve evrenimizin ilk dönemleri boyunca yıldız oluşumunun sebeplerini araştırmaktadır. [22]

3.4.3 X-ışın Teleskopları

NASA'nın Chandra X-ışın Teleskobu 1999'da çalışmaya başlamıştır ve dört tane iç içe aynalı bir kabuğu vardır. Şimdiye kadar yapılmış en gelişmiş gözlemevi ve uzay teleskoplarından biridir ve ender görülen eliptik bir yörüngesi vardır ki, bu yörünge onu Ay mesafesinin üçte birinden daha uzağa kadar götürür. Chandra, Dünya'ya en fazla 10.000 km kadar yaklaşır. Bu teleskop, evrenin patlamış yıldız kalıntılarındaki sıcak gaz gibi yüksek enerjili bölgelerinden gelen X ışınlarını gözlemlemek için tasarlanmıştır. [22][23]

ESA'nın yörüngeye 1999'da yerleştirdiği "X-Işın Çok Aynalı Uydusu" (X-Ray Multi-Mirror Mission-Newton, XMM-Newton) Chandra teleskopunun ayırma gücüne sahip değildir. Fakat evrenin tarihinde daha geriye bakabilir, çünkü Chandra'ya göre çok daha fazla ışık toplayabilir. 58 tane iç içe aynalı bir kabuğu vardır ve morötesi özelliği de olan 0.3 metrelik

optik takip teleskopu XMM-Newton'a farklı dalgaboylarında gözlem yapma kapasitesi kazandırır. [23]

Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya ortaklığı ile yapılan Suzaku X Işın Teleskopu ise yörüngeye 2005 yılında yerleştirilmiştir. Bu teleskopla birlikte süpernova kalıntıları, aktif gökada çekirdekleri, gökada kümeleri ve karadelikler hakkındaki anlayışımızda şimdiden köklü değişiklikler yapmaktadır. [23]

Uzaya gönderdiğimiz ilk yüksek enerjili X-Işın teleskopu ise NuSTAR'dır (Nuclear Spectroskopic Telescope Array). Yörüngeye Şubat 2012'de yerleştirilmiştir. Bir NASA görevi olan NuSTAR teleskopunun öncelikli hedefleri karadelik taraması yapmak, genç süpernova patlamalarını haritalamak, güçlü kozmik hızlandırıcıları incelemek ve gökadamızdaki yüksek enerji kaynaklarını tanımlamaktır. Düşük maliyeti sebebiyle NuSTAR teleskopu, yörüngeye tümüyle açılmadan yerleştirilmiştir. Bunun yerine açılarak uzayabilen kafes yapılı bir iskeleye sahiptir. Bu iskele, X ışın teleskoplarında odaklama için ihtiyaç duyulan büyük odak uzunluklarını elde etmekte kullanılır. [23]

3.4.4 Gama Işın Teleskopları

Yörüngeye yerleştirildiği 1991'den yörüngeye çıkarıldığı 2000 yılına kadar Compton Gama Işın Teleskopu, Güneş parlamalarından süpernova patlamalarına, madde aktarımı yapan yıldız kütleli karadeliklere kadar çok çeşitli nesneler hakkında yüksek nitelikli veriler elde edilmesini sağlamıştır. Compton Gözlemevi, önceki görevlerin ortaya çıkardığı dikkat çekici soruların bazılarını yanıtlamak ve belki de en önemlisi beklenmeyeni gözlemek için gama ışın uzayını haritalamak üzerine tasarlanmıştı. En önemli bulgulardan biri, gama ışın patlaması gösteren kaynakların gökyüzünde kozmolojik bir popülasyonla tutarlı bir şekilde dağılmış olmasıydı. [23]

Ekim 2002'de yörüngeye yerleştirilen Uluslararası Gama Işın Astrofizik Laboratuvarı (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory, INTEGRAL) ESA, NASA ve Rusya Federasyonu'nun ortak bir çalışmasıdır. Bünyesinde dört bilimsel enstrüman taşımaktadır: gama ışın kaynaklarının keskin görüntülerini veren bir görüntüleyici, gama ışık enerjilerini ölçen bir tayfölçer, kaynakları teşhis etmek için ise bir X-ışın takipçisi ve bir optik kamera. Dört enstrümanın hepsi, gökyüzündeki aynı bölgeyi, aynı anda gözlemler. Böylece gama ışın kaynaklarının açıkça teşhis edilmesi sağlanır. INTEGRAL, süpernova patlamaları ve karadelikler ile nötron yıldızları gibi kompakt nesnelerin son derecede enerjili doğaları hakkındaki anlayışımıza muazzam katkılar yapmıştır. [23][24]

Yörüngeye 2008'de yerleştirilen Fermi Gama Işın Teleskopu NASA, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı ve Japonya ile Avrupa'daki kurumlar arasındaki uluslararası ortaklığın bir sonucudur. Teleskop gama ışın patlamalarını, karanlık maddenin içeriğini ve karadeliklerdeki yüksek süratli dışa atımlardan (jetlerden) sorumlu hızlandırma mekanizmasını incelemektedir. [24]

3.4.5 Hubble Uzay Teleskobu

Hubble Uzay Teleskobu (Hubble Space Telescope, HST) temelinde optik bir teleskoptur, fakat 115 nm ile 2500 nm dalgaboyu aralığında, yani tayfın yakın kızılötesinden yakın morötesi bölgelerine kadar gözlem yapabilir. Hubble'ın modüler bir tasarımı vardır ve bu sebeple astronotlar sonraki mekik görevlerinde arızalı veya yeni parçaları yeni veya gelişmiş aletlerle değiştirebilmektedirler. Bu çok iyi olan bir durumdur, çünkü yörüngeye 1990'da yörüngeye yerleştirilmesinden hemen sonra astronomlar, Hubble'ın objektif aynasının şeklinin biraz bozuk olduğunu anladılar. 1993'ün sonlarında, düzeltici optik parçaların takıldığı bir onarım görevi sonucunda teleskop kusursuz bir biçimde çalışmaya başladı ve bugün hala aktif olarak çalışmaya devam etmektedir. [24]

Hubble Uzay Teleskopu'nun 2,4 metrelik bir birincil aynası vardır ve şekli kabaca silindiriktir. Teleskopun uzunluğu uçtan uca 13,1 metre ve çapı da en geniş noktasında 4,3 metredir. Işınım teleskopa, ana tüpün ucundaki kapağın altındaki açıklıktan girer. Hubble Uzay Teleskopu'nun Dünya çevresindeki bir turunu tamamlaması yaklaşık 95 dakika sürer. Bu sürenin yalnızca bir kısmı gözlem için harcanırken, kalanı da gerekli komutları almak ve verileri Dünya'ya göndermek göndermek, yeni bir hedef bulması veya Güneş ve Ay'dan kaçınması için teleskopun dönmesi için veya benzer etkinlikleri içeren idari ve bakım işlevleri için harcanır. Teleskopu verimli şekilde işler halde tutabilmek için gün içerisinde defalarca komut gönderilir. [24]

NASA ve ESA'nın ortak bir çalışması olan Hubble Uzay Teleskopu tam anlamıyla eşsizdir ve tüm astronomlar için paha biçilmez bir kaynaktır. Hubble Uzay Teleskopu'nun katkılarından birkaçı şunlardır; Süperkütleli karadeliklerin varlığı için kanıtlar bulduğu gibi, büyük patlama teorisini destekleyen kanıtlar ortaya çıkarmakta, gezegenler, yıldızlar ve gökadaların oluşumuna dair ayrıntıların anlaşılmasını sağlamakta ve hala astronomların evrenin yaşını hesaplamaları için yardımcı olmaktadır. [24]

Hubble Uzay Teleskopu'nun takipçisi olacak ve yerine geçecek James Webb Uzay Teleskopu, (James Webb Space Telescope, JWST) NASA, ESA ve Kanada Uzay Ajansı arasında sürdürülen bir ortak çalışmadır. 5-10 yıllık bir görev için 2018'de yörüngeye yerleştirilmesi tasarlanan James Webb Uzay Teleskopu'nun fırlatışı ileri bir tarihe ertelenmiştir. Hassas olduğu dalgaboyu aralığı görünen yeşil ışık bölgesinden, görülmeyen orta kızılötesi bölgeye kadar, yani 0,6-28 mm dalgaboyu aralığını kapsar ve 6,5 metrelik bir birincil aynaya sahiptir. James Webb Uzay Teleskopu, hala büyük kızılötesi teleskoplarla gözlenebilenlerden 400 kat daha sönük nesneleri görecektir. Amacı evrendeki ilk yıldızları ve gökadaları gözlemek ve karanlık madde problemini daha iyi anlamamızı sağlamaktır. [24]

4. ADAPTİF OPTİK

Daha fazla ışık toplamak için objektif ayna mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Fakat büyük bir ayna yapmakla gelen sorun, bu büyük aynanın teleskop hareket ettikçe bükülmeye ve çökmeye eğilimli olmasıdır. Sonuç olarak değişen ayna yüzeyi görüntü niteliğini bozar. Bu problemden kaçınmak için yeni büyük aynalı teleskoplarda çok ince aynalar, bu aynaların arkasına yerleştirilen ve aynanın en uygun biçimde kalmasını sağlayan bir dizi devindirici (motorla hareket ettirilen küçük pistonlar) ile birlikte kullanılır. Bu yeni teknolojiye "aktif optik" denir. [25]

Aktif optik, ayna hareket ettiği veya rüzgardan etkilendiği zaman, aynanın üzerinde bulunan duyargalar bilgisayara aynanın şekli hakkında bilgi gönderir. Bilgisayarda aynayı mükemmel şekilde tutmak için devindiricileri yönlendirir. İlk tamamen aktif optikli teleskop Avrupa Güney Gözlemevi'nin (European Southern Observatory, ESO) 3,6 metrelik Yeni Teknoloji Teleskopu'ydu (New Technology Telescope, NTT). Teleskop 1989'da Şili'nin La Silla Gözlemevi Yerleşkesi'nde çalışmaya başladı ve ESO'nun Çok Büyük Teleskop'u (Very Large Telescope, VLT) için bir deneme teleskopu olarak hizmet etti. [25]

Çok Büyük Teleskop'un 8,2 metrelik aynaları esnektir ve ürettikleri görüntü bir bilgisayar tarafından sürekli denetlenir. Farklı koşullar altında görüntüyü keskin tutabilmek için bilgisayar, aynanın şeklini ayarlamak amacıyla her aynanın arkasındaki itici ya da çekici

kuvvet oluşturan yaklaşık 200 tane devindiriciyi düzenler. Dört teleskop bileşik tarzda çalıştırıldığında, ışık toplama güçlerinin toplamı 16,4 metrelik tek bir aynanın ışık toplama gücü ile eşdeğerdir. [25]

Aktif optik aynı zamanda Hawaii'deki Manua Kea'nın 4200 metrelik zirvesinde bulunan ve 1993'ten bu yana çalışan Keck Teleskopu için de kullanılmaktadır. Keck Teleskopu'nun 36 adet altıgen aynadan oluşan 10 metrelik bir ayna açıklığı vardır. Her biri boydan boya 1,8 metre olup, 400 kilogram ağırlığındadır. Diğerlerinden bağımsız olarak takılmıştır ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilir. [25][26]

Aktif optik, bir saniye ve daha uzun zaman ölçeklerinde çalışır ve atmosferik bozulma etkilerini telafi etmek için çok daha kısa ölçeklerde çalışan adaptif (uyarlamalı) optikten farklıdır. Bir adaptif optik dizgesinde, birkaç milisaniyelik bir zaman ölçeğindeki atmosferik bozulmaları ölçen bir duyarga, kaynaktan gelen ışığın yolu üzerine yerleştirilmiş ve şekli değiştirilebilen bir ayna ve aynayı denetleyip şeklini değiştirerek bozulmaları yok eden bir bilgisayar bulunur. Fakat bilgisayar, gözlenen nesnenin hem bozulmuş hem de bozulmamış görüntüsünü bilmek zorundadır. [26]

Bunu başarmanın bir yolu ise, gözlenen nesneye yakın konumdaki parlak bir yıldızı örnek olarak kullanmaktır. Hem örnek yıldızdan, hem de gözlenen yıldızdan gelen ışık, astronomik görüşten benzer şekilde etkilenir; buna rağmen, bozulmamış bir yıldız görüntüsünün ayrıntı göstermeyen bir nokta olması gerektiği de bilinmektedir. Bilgisayar, örnek yıldızın bozulmuş ve bozulmamış görüntülerinden atmosferik bozulma etkilerini hesaplar ve bu bilgiyi, gözlenen nesnenin görüntüsünü düzeltmek için kullanır. Bu yöntemin sorunu ise, sadece parlak örnek yıldızların yakınında bulunan nesnelerin gözlemlenmesinde kullanılabilmesidir. Başka bir yöntemde ise, yapay bir yıldız üretmek için lazer kullanılır. Örneğin, yeryüzünün yaklaşık 90 km üzerindeki sodyum atomlarından oluşan doğal tabaka 589 nanometrelik dalgaboyuna sahip lazer ışığı tarafından uyarılabilir. Böylece de gökyüzünün hemen her yerinde bir örnek yapay yıldız görevi yapar. Aktif ve adaptif optik, Dünya'daki büyük teleskopların çoğunda kullanılmaktadır. [26]

4.1. Atmosferik Türbülans

Dünya atmosferindeki türbülans, ötegezegenlerin yerden koronografik ve interferometrik yöntemlerle tespit edilmesinin önünde büyük bir engeldir. Atmosferik türbülans, yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve astrometrik ölçümlerin hassasiyeti ile elde edilebilen kontrastı sınırlar. Atmosferik türbülans, ayrıca uyarlanabilir optik sistemlerin ve interferometrelerin saha seçimi, çalışılacak dalga boyu, açıklık boyutu, servo döngülerinin zamansal bant genişliği ve entegrasyon süreleri gibi parametrelerin belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu nedenle, türbülansın atmosferde nasıl oluştuğunu ve ışığın yayılması üzerindeki etkilerinin nasıl ölçülebileceğini anlamak önemlidir. Bu konunun daha ayrıntılı incelemeleri Roddier (1981 ve 1989), Fried (1994) ve Hardy (1998) tarafından yapılmıştır. [27][28][29][30][31]

Atmosferik türbülansın, doğrudan görüş (seeing) değerine etkisi vardır. Bunlar:

1) Atmosferik türbülans olmadığında sabit hava desenleri olan ve atmosferik türbülansın yokluğunda kırınımla üretilen noktasal kaynakların görüntülerinin, zamanla çok hızlı değişen noktaların bölünmesine neden olur.

2) Değişen noktaların uzun pozlama görüntüleri, nokta kaynağının görme diski adı verilen bulanık bir görüntüsüne neden olur.

3) Yıldızların parlaklığı, “parıldama” veya parıltı olarak bilinen bir süreçte dalgalanıyor, ya da göz kırpar gibi görünür.

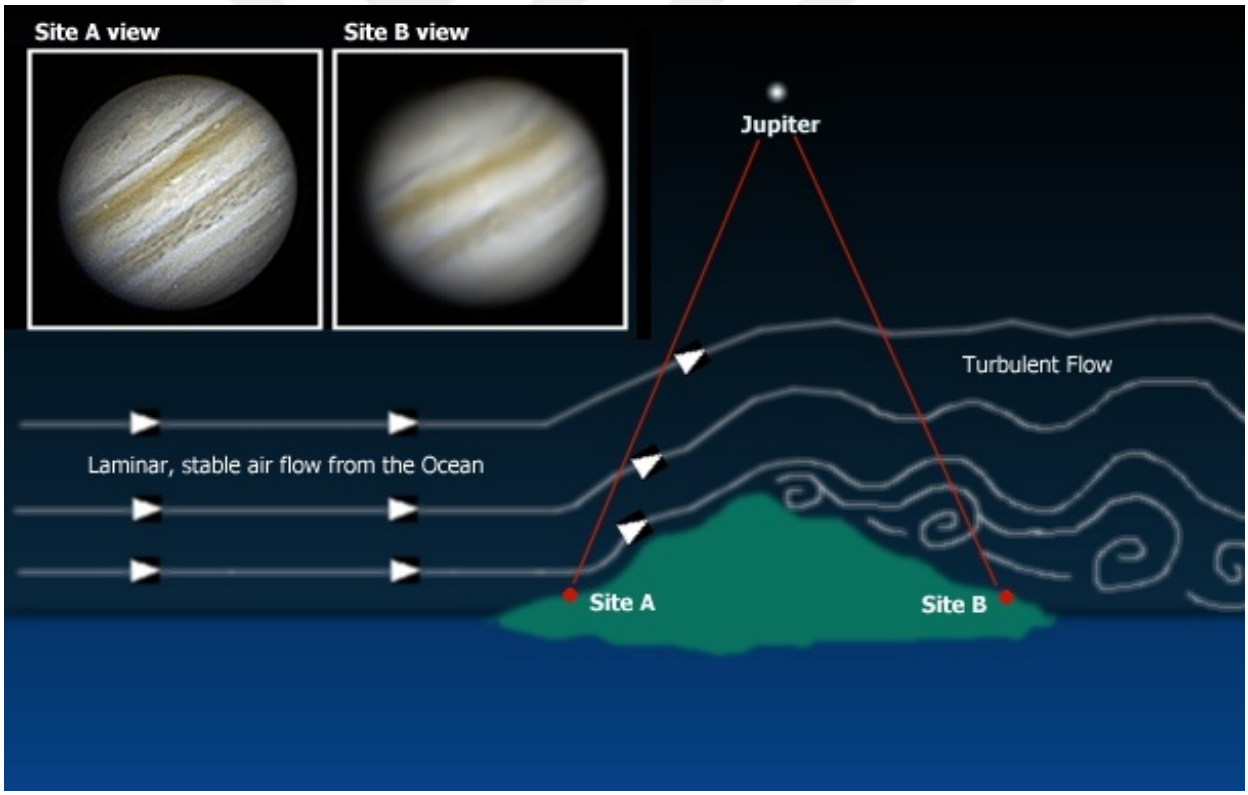
4) Atmosferik türbülans, astronomik bir interferometredeki kırınım saçaklarının hızlı hareket etmesine neden olur.

5) Atmosferik türbülansın atmosfer boyunca dağılımı, referans yıldızın konumundan ne kadar uzağa bakarsanız bakın, adaptif optik sistemlerindeki görüntü kalitesinin bozulmasına neden olur.

Atmosferik türbülansın etkileri, Mars'ta kanallar olduğu inancından dolaylı olarak sorumludur. Mars gibi parlak bir nesneyi görüntülerken, gezegen ile teleskop arasına hareketsiz bir hava parçası gelip, gözlemin yanlış yorumlanmasına sebep olmuştur. CCD’ye

sahip teleskopların kullanılmasından önce, gezegenin görüntüsünü kaydetmenin, gözlemcinin gezegeni gözlemlemesi ve daha sonra elle çizmesi dışında hiçbir yolu yoktu. Bu, gezegenin görüntüsünün gözlemcinin hafızasına ve Mars'ın değişken özelliklere sahip olduğu inancına yol açan önyargılara sebep olmuştur.

Atmosferik türbülansın etkileri, görünür ve yakın kızılötesi dalgaboyları boyunca niteliksel olarak benzerdir. Büyük teleskoplarda görüntü çözünürlüğü genellikle daha uzun dalga boylarında biraz daha yüksektir ve kırpışan nokta modellerindeki değişikliklerin zaman ölçeği önemli ölçüde daha düşüktür.[32]



Şekil 16Atmosferik türbülansın etkisi [33]

4.2. Astronomide Adaptif Optik

Yüzyıllar boyunca, gökbilimciler yer tabanlı teleskoplardan bakarken hedeflerinin bulanık görüntüleriyle yaşadılar. Görüntüler, Dünya yüzeyine ulaşmadan önce çalkantılı

Dünya atmosferinden geçerek astronomik görüş bulanıklaşmaktaydı. Bir kamp ateşine bakıldığında ortaya çıkan etkiye benzer şekilde, farklı sıcaklık, yoğunluk ve dolayısıyla kırılma indisine sahip hava hücreleri, görüş hattı boyunca optik yol uzunluğunun uzaysal ve zamansal değişimlerini ortaya çıkarır. Gökbilimciler, dağ tepelerinde gözlemevleri inşa ederek ve nihayetinde uzay teleskopları göndererek atmosferin bu zararlı etkilerini hafifletmeye çalışmaktalar (Şekil 16). [34]

Atmosferik türbülans, görüş hattı boyunca kırılma indisinde ve optik yol uzunluğunda uzaysal ve zamansal değişimler getirir. Bu varyasyonlar çoğunlukla, tipik olarak yaklaşık 15 km yüksekliğe kadar uzanan ve atmosfer kütlesinin %80'ini içeren troposferden kaynaklanır. Büyük ölçekli sıcaklık değişimleri, değişken yoğunluklu ve dolayısıyla kırılma indisine sahip havanın türbülanslı karışmasına yol açan basınç değişimleri ve rüzgarlar üretir. Bu kırılma indisi varyasyonları, görünür ve orta kızılötesi dalga boyları arasında çok küçük bir dağılım gösterir, bu nedenle optik yol varyasyonları bu spektral aralık üzerinde yaklaşık olarak akromatiktir. [34]

4.3. Adaptif Optik Kullanımı

Son yirmi yılda, doğal kılavuz yıldızları ve lazer kullanan adaptif optik, ender bir teknoloji olmaktan çıktı ve astrofizikte ciddi bir etkiye sahip olmaya başladı. Bu bölümde, geniş bir adaptif optik literatüründen alınan birkaç örneğe odaklanarak, bunun evren boyunca çok çeşitli ölçekler ve çağlar boyunca işleyen fiziksel süreçlerin daha derin bir şekilde anlaşılmasının nasıl sağladığından bahsedilecektir. [34]

4.3.1. Güneş ve Güneş Sistemi

Uyarlanabilir (adaptif) optiğin en büyük başarılarından biri, Güneş'in fotosferiyle ilgili anlayışımızı ileriye taşımak olmuştur. Bu karmaşık katman, türbülanslı konveksiyonun dinamiklere hakim olduğu iç bölgeler ile, üstünde bulunan ve manyetik olarak kontrol edilen kromosfer ve korona arasındaki bölgedir. Rimmele ve Marino'nun (2011) incelemelerinde belirttiği gibi, mevcut 1 metre sınıfı güneş teleskoplarına monte edildikleri adaptif optik sistemleri, gözlemlerin büyük çoğunluğunda kullanılmaktadır. Yeni nesil 4 metre sınıfı Güneş teleskopları geliştirilmesinin sebebi, tamamen adaptif optik tarafından sağlanan gelişmiş performanstan kaynaklanmaktadır. [34]

Güneş Sistemi'nin uzak bölgelerinin gözlemlenmesinde adaptif optik, büyük asteroitlerin şaşırtıcı bir şekilde gözenekli olduklarını ve oluşum mekanizmaları üzerinde etkileri olduğunu bize göstermektedir. Bir asteroidin kütlesini ve dolayısıyla kütle yoğunluğunu ölçmenin en iyi yöntemi, etrafındaki bir uydunun yörüngesini gözlemlemektir. Bugün, yaklaşık 150 tane ikili asteroid bilinmektedir ve adaptif optik bu sistemleri incelemek için bir anahtar görevi görmektedir. [34]

Birkaç yay saniyesinden yay dakikasına kadar açısal çaplara sahip gezegenler, adaptif optikler için açık hedeflerdir. Adaptif optik, gezegenlerin ve uydularının atmosferlerini incelemek için özellikle uygundur, çünkü farklı spektral bantlar, çeşitli moleküllerin dağılımındaki ve bolluğundaki değişiklikleri farklı derinliklere kadar inceleyebilir. [34]

4.3.2. Yıldız Oluşumları ve Ötegezegenler

Yıldızların çeşitliliğini değerlendirmek için uyarlanabilir optiği kullanmak apaçık bir bilim hedefidir, ancak ulaşılması zordur. İyi seçilmiş parlak bir referans yıldız ve adaptif optik sisteminin performansının yanı sıra, potansiyel yıldızların parlaklığına ve ayrılmasına bağlı olan çok dikkatli hassasiyet düzeltmeleri gerektirir. [34]

Yığılma diski, ikili yıldızların ve gezegen sistemlerinin nasıl oluştuğuna ışık tutabilen genç yıldızların etrafındaki disklerdir. Bu konunun ilgisi ve önemi, yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve interferometrinin gelişiyle canlanmıştır. Adaptif optik, bu alandaki kilit eleman olmasa da, optik Hubble Uzay Teleskopu görüntüleriyle aynı çözünürlük seviyesine yakın ve kaliteli orta kızılötesi dalgaboyunda veriler sağladı. Ortaya çıkan çok renkli veriler, toz tanelerinin boyutunu ve yapısını araştırmayı ve dolayısıyla diskin nasıl geliştiğini anlamayı mümkün kılmıştır. [34]

Ötegezegenlerin doğrudan görüntülenmesi, yüksek öncelikli bir bilim hedefidir. Gözlem verisinin çok dikkatli kontrolü ve karakterizasyonu ile birlikte son derece yüksek kontrast, uzun pozlama, ve koronagrafik görüntüleme gerektirir. Bunlar, ilgili enstrümantasyon ve işlem sonrası tekniğin yanı sıra, adaptif optik sistemler için de zorlu gereksinimlere yol açar. [34][35]

4.3.3. Kararlı Yıldız Popülasyonları

Yıldız oluşum geçmişleri (yaş, metallilik) ve renk-parlaklık diyagramları (CMD) üzerinde ayrı ayrı yıldızların konumlarını haritalayarak izlemek için, yakın galaksilerdeki yıldız popülasyonlarını çözümlemek gerekmektedir. Adaptif optik, bu tür çalışmalardaki sınırlayıcı faktör olan bu istisnai derecede yoğun yıldız alanlarındaki kalabalıklaşma sorununa teknik bir çözümdür. Bununla birlikte, CMD'lerin daha kısa (optik) dalga boylarında daha iyi teşhis gücü, daha uzun (yakın kızılötesi) dalga boylarında adaptif optik sistemlerinin artan performansı ile çelişir. Bu, adaptif optiği daha kısa (0,7-0,8 μm) dalga boylarında geliştirme ve yıldız popülasyonlarının yaşlarını tahmin etmek için yeni teknikler geliştirilmesi ihtiyacına yol açmıştır. [34][36][37]

4.3.4. Galaktik Merkez Bölgesi

Galaktik merkez, gökadamız Samanyolu'nun merkezine ve diğer galaksilerin merkezlerinde var olduğu düşünülen süperkütleli bir kara deliğin çevresinde meydana gelen fiziksel süreçlerin son derece ayrıntılı bir görünümünü sağlar. Yıldız popülasyonlarının mekansal olarak çözümlenmesinin özellikle ilgi çekici olduğu, hızla ilerleyen bir alandır. Galaktik merkezin oldukça karanlık olmasına ve optik olarak parlak kılavuz yıldızlara sahip olmamasına rağmen, bu bölgenin gözlemlenmesi için adaptif optiğin merkezi bir rol oynamaktadır. [34]

4.3.5. Galaksi Çekirdekleri ve Aktif Galaksiler

Süper kütleli kara deliklerin büyümesinin, ev sahibi galaksilerine bağlı olduğu anlayışımız, karadelik kütlelerinin ölçümlerine dayanmaktadır. Bunlar, kara delik kütlesi ile etrafındaki küresel kümelerin hız dağılımı, kütlesi ve parlaklığı arasındaki ilişkilerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Adaptif optik, bir zamanlar Hubble Uzay Teleskopu ile yapılan optik spektroskopinin alanına giderek daha fazla hakim olmuştur. Çünkü sağladığı yüksek çözünürlük, kızılötesi dalga boylarına yakın (tozla örtülü olmayan çekirdekleri araştırmak için) geniş bir toplama alanı (soluk galaksilerin incelenmesine izin veriyor) sunmuştur. Davies, tip 1 aktif galaktik çekirdeklerdeki karadelik kütlelerini uzamsal olarak çözümlenmiş yıldız kinematiği kullanarak ölçmenin mümkün olduğunu göstermiştir. [34][38][39][40][41]

Yakınımızdaki aktif galaktik çekirdekler, bünyelerindeki gazı merkezi kara deliklere doğru iten mekanizmaları incelemek için mükemmel bir fırsat sağlar. Yakınlıkları, adaptif

optik ile birkaç parseke kadar ölçeklerin çözülebileceği anlamına gelir. Bununla birlikte yıldızların, moleküler gazın ve iyonize gazın tam 2D dağılımını ve kinematiğini araştırarak ileriye giden yol, adaptif optik ile integral alan spektroskopisinin birleşimidir. Adaptif optik kullanan optik veya yakın kızılötesinde bu tür teknikler, bir dizi galaksideki dairesel sarmal kollar boyunca nispeten düşük oranlarda içe doğru gaz akışlarını ortaya çıkarmıştır. [34][42][43][44][45][46]

Yakınlardaki Seyfert galaksilerinde küçük ölçeklerde araştırma yapmak mümkün olsa da, daha aydınlık kuazarlar, uzaklıkları ve aktif çekirdeğin ev sahibi olan galaksiye göre çoğu zaman ezici parlaklığı nedeniyle çok daha büyük bir gözlemsel zorluk sağlar. Guyon ve ark. (2006), Gemini North ve Subaru teleskoplarını kullanarak yakındaki 32 QSO kuasarını incelediler. Yüksek kırmızıya kayma durumunda ise gözlemci, $(1+z)^4$ yüzey parlaklığının azalmasıyla uğraşmak zorundadır ve bu nedenle, adaptif optik ile bile ev sahibi galaksiyi tespit etmek zor olabilir. [34][47][48][49]

4.3.6. Yüksek Kırmızıya Kayma Evreni

Adaptif optiğin en dikkat çekici uygulamalarından biri, yıldız oluşturan galaksilerin iç yapısını ve kinematiğini uzamsal olarak çözmektir. Bu galaksiler genellikle 1–2 yay saniyesinden daha geniş değildir ve dinamik ile fiziksel özelliklerinin ana teşhisini oluşturan optik emisyon çizgileri kızılötesi dalgaboyuna yakın derecede kırmızıya kayık durumdadır. Bu tür galaksilerin belirlendiği çoğu derin alanın parlak yıldızlardan kaçınmak için özel olarak seçilmesi dışında, ideal adaptif optik hedefleri oluşturacaklardır. Aynı zamanda, düşük yüzey parlaklığı, çözünürlüğün enstrümantal ve gözlemsel kısıtlamalarla genellikle 0,1–0,2 yay saniyesi ile sınırlı olduğu anlamına gelir. Bu sistemde adaptif optikten yararlanmak zordur. [34]

5. SONUÇLAR

Aktif ve adaptif optik, Dünya'daki büyük teleskopların çoğunda kullanılmaktadır. Optik teleskoplar, evrenden ışığı bir ayna veya mercek ile toplar. Günümüzde çoğu profesyonel

gözlemevinde ve büyük teleskoplarda “ayna” tercih edilmektedir. Aynalı teleskoplar, mercekli teleskoplara göre daha avantajlı, daha az bakım gerektiren ve daha pratik teleskop sistemleridir. Daha büyük aynalar, astronomların daha çok ışık toplamalarına imkan verir. Geçmişte, birkaç metre çapındaki aynalara sahip teleskoplar, gökyüzü boyunca hareket halinde iken aynanın ve teleskopun yapısının korunması amacıyla oldukça kalın yapılmaktaydı. Bu kalın yapılarının bir sonucu olarak aynaların çapı da büyümeye başladıkça, oldukça ağırlaşmaya da başladı ve optik hassasiyetin keskinleştirilmesi için yeni bir yolun bulunması adeta zorunlu hale geldi. Aktif optik ile gözlemler sırasında aynanın şeklini aktif olarak ayarlayabilen uyarıcılarla, şekli ayarlanabilir aynayı eşleştirerek, görüntü kalitesi optimumda tutulmaktadır.

Aktif optik bir teleskopun ana aynasını sürekli mükemmel bir şekilde tutsa da, Dünya atmosferindeki türbülans, astronomik gözlemler için en iyi yerlerden bile elde edilen görüntülerin bozulmasına yol açmaktadır. Yıldızların kırpışmasına yol açan bu türbülans astronomların işini zorlaştırmaktadır, çünkü gözlenilen cisimlerin detaylarını bulanık hale getirmektedir. Doğrudan uzaydan gözlem yapmak, bu atmosferik bulanıklaştırma etkisinden kurtulmak için etkili bir çözüm olsa da, yer konuşlu tesislerle karşılaştırıldıkları zaman özellikle yüksek maliyetleri ve bakım zorlukları gibi sebeplerden dolayı, uzay teleskoplarını işletmeyi ve Yer’den uzaya teleskop göndermeyi sınırlandırmaktadır.

Astronomlar 20. yüzyılın üçüncü çeyreğinden itibaren “adaptif optik” adı verilen bir yöntem kullanmaya başlamışlardır. Gelişmiş, bilgisayarlarca kontrol edilen, atmosferdeki türbülansın neden olduğu bozulmalara karşı gerçek zamanlı şekil değiştirebilen aynalara sahip olunmasını sağlayan bu sistem ile alınan görüntüler, sanki uzaydan çekilmiş gibi keskin hale getirilebilmektedir. Adaptif optik, düzeltilmiş ve atmosferin tüm olumsuz etkilerini ortadan yok etmeyi başarabilmiş optik bir sistem meydana getirerek, hiçbir türlü Yer’den görülemeyecek olan çok sönük astronomik nesnelerin en ince ayrıntılarına kadar Yer’den gözlenebilmesini sağlamaktadır. Adaptif optik tekniğinde gözlemi yapılacak nesneye oldukça yakın, yeterince parlak bir referans yıldızın mutlaka olması gerekmektedir. Bu referans yıldız, gözlem yapılan yerdeki yerel atmosferik değişimlerin neden olduğu bulanıklık seviyesini ölçerek, şekil değiştirebilen aynalar tarafından bulanıklığın giderilmesine yardımcı olmaktadır. Bu tür parlak ve referans olmaya uygun yıldızlar gökyüzünün her yerinde bulunmadığı için

de, astronomlar üst atmosfere güçlü lazer ışığı yollayarak, Sodyum atomlarının iyonize olmasını ve bu sayede “yapay” bir yıldız oluşmasını sağlamaktadırlar. Lazer güdümlü yapay yıldızlar sayesinde, parlak ve doğal bir referans yıldız olmadan dahi, neredeyse tüm gökyüzü adaptif optik ile gözlenebilmektedir.

Doğu Anadolu Gözlemevi’nde hem adaptif hem aktif optik sistemleri içeren özel bir yerli tasarım kullanılacaktır. Böyle bir tasarım Dünya’da ilk kez bu çapta bir teleskopta denenmiş olacaktır. Dünya’daki çoğu büyük gözlemevinin tercih ettiği bir sistemin Türkiye’de de geliştiriliyor olması gelecekte bu bilginin kullanımı için önem taşımaktadır. Bunun için adaptif ve aktif optik sistemlerinin önemini, işleyişini, elemanlarını ve kullanımını bilen insan gücü yetiştirilmelidir.

KAYNAKÇA

[1] Khosan, 07.12.2020, https://khosann.com/wp-content/uploads/2017/03/1.jpeg

[2] John W. Hardy, Adaptive Optics for Astronomical Telescopes, 1.2 Astronomy with the Unaided Eye

[3] Henry C. King, Harold Spencer Jones, The History of the Telescope

[4] D.J. Lovell, Optical Anecdotes, sf. 40-41

[5] Ray N. Wilson, Reflecting Telescope Optics: Basic Design Theory and Its Historical Development, sf. 14

[6] Roger Bacon, De Multiplicatione Specierum

[7] Stephen G. Lipson, Ariel Lipson, Henry Lipson, Optical Physics 4th Edition

[8] Rodger W. Gordon, Central Obstructions and Their Effect on Image Contrast

[9] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf. 57

[10] ESO, 07.12.2020, https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/seaspace/docs/navigation/navastro/images/nava18a.gif

[11], İBTAV, Eserler, 07.12.2020,http://www.ibtav.org/eserler

[12] Whipple Museum, 07.12.2020, https://www.whipplemuseum.cam.ac.uk/explore-whipple-collections/astronomy/medieval-astrolabe/parts-astrolabe

[13] Boundless, 08.12.2020, http://oer2go.org/mods/en-boundless/www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/vision-and-optical-instruments-25/other-optical-instruments-173/the-telescope-626-6074/images/schematic-of-keplerian-refracting-telescope/index.html

[14] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf. 131

[15] Safran-Reosc, Astronomy Large Active Mirrors, 08.12.2020, https://www.safran-reosc.com/astronomy/large-active-mirrors-0

[16] Wikimedia, Schmidt-Cassegrain Telescope, 08.12.2020, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/Schmidt-Cassegrain-Telescope.svg

[17] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 126

[18] Lonelyspeck, 17.12.2020, https://www.lonelyspeck.com/a-practical-guide-to-lens-aberrations-and-the-lonely-speck-aberration-test/

[19] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 128

[20] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 129

[21] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 130
[22] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 143
[23] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 144
[24] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 145
[25] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 133
[26] Theo Koupelis, Evreni Anlama Serüveni, sf 134
[27] Andreas Quirrenbach, The Effects of Atmospheric Turbulence on Astronomical Observations
[28] Roddier, F. 1981, The effects of atmospheric turbulence in optical astronomy. Prog Opt XIX:281-376
[29] Fried DL. 1994, Atmospheric turbulence optical effects: understanding the adaptive-optics implications. In Adaptive optics for astronomy, ed. DM Alloin, JM Mariotti, sf. 25-57. NATO ASI Vol. 423, Dordrecht: Kluwer
[30] Hardy JW. 1998, Adaptive optics for astronomical telescopes. New York: Oxford University Press, sf 438
[31] Roddier F. 1989. Optical propagation and image formation through the turbu- lent atmosphere. In Diffraction-limited imaging with very large telescopes, ed. DM Alloin, JM Mariotti, pp. 33-52. NATO ASI Vol. 274, Dordrecht: Kluwer
[32] Chromey, Frederick R. (2010), *To measure the sky : an introduction to observational astronomy* (1. publ. ed.), sf 140
[33] Damianpeach, 29.12.2020, http://www.damianpeach.com/seeing1.htm
[34] Davies R., Kasper M. 2012,Adaptive Optics for Astronomy
[35] Oppenheimer B., Hinkley S. 2009. ARA&A, 47, 253
[36] Bono G. et al. 2010. ApJL, 708, L74
[37] Deep A. et al. 2011. A&A, in press
[38] Ferrarese L., Ford H. 2005. SSRv, 116, 523
[39] Gebhardt K. et al. 2000. ApJ, 539, L13
[40] Ḧaring N., Rix H.-W. 2004. ApJ, 604, L89
[41] Davies R. et al. 2006. ApJ, 646, 754
[42] Davies R. et al. 2009. ApJ, 702, 114
[43] Fathi K. et al. 2006. ApJ, 641, L25
[44] Riffel R.A. et al. 2008. MNRAS, 385, 1129
[45] Schnorr Mu ̈ller A. et al. 2011. MNRAS, 413, 149

[46] Storchi-Bergmann T. et al. 2007. ApJ, 670, 959
[47] Guyon O., Sanders D., Stockton A. 2006. ApJS, 166, 89
[48] Croom S. et al. 2004. ApJ, 606, 126
[49] Falomo R., Kotilainen J., Scarpa R., Treves A. 2005. A&A, 434, 469