

YILDIZ IŞIĞI

Gökbilimcilerin yıldız ışığını çözümleme çalışmaları, yeni bir araştırma alanının kapısını açmıştı: astrofizik.

Sanayi devriminin hız kazanması, bebeklik dönemindeki gökbilim fotoğrafçılığının da gelişmesine öncülük etmişti. Gökbilimciler, fotoğraf plakaları ve teleskopları birlikte kullanmanın getireceği bilimsel başarıların gücünün farkına çok çabuk vardılar. 1800'lerin ortalarında Ay, Güneş ve yıldızların fotoğraflarını toplamaya başlamışlardı bile. Bu resimler, gök cisimlerinin daha önce yapılamayan çözümlemelerine izin verse de, öykünün yalnızca bir bölümünü anlatıyorlardı; yıldızların kimyasal ve fiziksel niteliklerinin gizemiye sürüyordu. Fransız filozof August Comte'un, kimyasal sırlarını açıklayamayacak kadar uzak olduklarını söylediği yıldızlar ve yıldız kümeleri, 'laboratuvar' incelemelerine hedef olabilirler miydi?

Güneş'in tayfı (spektrumu) 1600'lerin sonlarından bu yana Isaac Newton da dahil birçok fizikçi tarafından incelenmişti. Newton, ince bir Güneş ışını demetini karanlıkodadaki bir cam prizmadan geçirerek, dağılımını sağlamıştı. Ne var ki Güneş'in kimyasal yapısının, gönderdiği ışıktaki yazılı olduğunun keşfi, ancak iki yüzyıl sonra, Robert Bunsen ve Gustav Kirchhoff tarafından gerçekleştirildi. Eğer gökkuşağının içerdiği özellikler hiyeroglif sayılabilirse, Bunsen ve Kirchhoff'un 1860 tarihli "Tayf Gözlemesi Yoluyla Kimyasal Analiz" makaleleri de kuşkusuz gökbilimcilerin Rosetta Taşı'ydı. Bilindiği gibi, Rosetta taşı Eski Mısır hiyerogliflerinin anlaşılmasında anahtar rolü oynamıştı. Jean Francois Champollion, 1799 yılında, hiyeroglif, Kıpti ve Eski Yunan yazısıyla yazılmış metinlerden, önceden bilinen Yunan dilini kullanarak, eski Mısır alfabesinin gizemini çözmüştü.

Tayf ABC'si

Göksel tayfölçümü alanında ilk önemli atılım, Güneş tayfının sürekliliğinin bazı siyah çizgilerin kesildiğinin 1802'de İngiliz kimyacı William Hyde Wollaston tarafından farkedilmesiyle başladı. Ancak Wollaston'un, bu çizgilerin renkler arasındaki doğal ayrımlar olduğu düşüncesi yanlıştı. On yıl sonra, usta mercek yapımcısı ve optikçi Joseph Fraunhofer, yaptığı mercekleri sınamak için Güneş ışınlarını küçük bir teleskoptan geçirerek 574 koyu çizgi işaretledi. Bunların en belirgin olanını A, daha sonrakileri de B, C, D vb. olarak adlandırdı. Bu adlandırma günümüzde de geçerli. Fraunhofer, D çizgisinin (gerçekte çok yakın iki çizgi) konumunun, mum alevinin tayfındaki parlak sarı çizginin konumuyla aynı olduğunu farketti. Bu rastlantının önemli olup olmadığını bilmediği gibi, Güneş tayfındaki çizginin koyu, mum ışığının parlak olmasını da açıklayamamıştı.

Fraunhofer, daha sonra dikkatini Güneş'in dışına çevirdi. Bir prizmayla donatılmış yaklaşık 10 cm'lik bir mercekli teleskop kullanarak Ay'ın, bazı uyduların, Sirius ve Kastor'un da dahil olduğu bazı parlak yıldızların tayflarına baktı. Yıldız tayf çizgilerinin görelili belirginliklerinin, Güneş ve diğer yıldızlar, ayrıca yıldızların kendi aralarında da sıkça farklılık gösterdiğini gördü. Ama Fraunhofer'in bu noktada, asıl işi olan teleskop yapımına ye-



niden dönmesiyle, bu yeni göksel tayfölçüm alanı, 40 yıllık bir uykuya daldı.

Fraunhofer'den sonra, Avrupa'daki kimyacılar çeşitli alevler ve elektrik arklarından yayılan ışığın tayflarını incelediler. Deneysel veriler birikti ve çok sayıda tayfölçüm kuramı üretildi. Hatta her kimyasal element ya da bileşimin kendine özgü benzersiz bir tayfsal örüntüsü olduğu yolunda işaretler de ortaya çıktı. Maddenin tayfölçümsel incelemesi, hatta yeni elementlerin tanımlanmasının olanaklı olabileceği düşünülüyordu. Bütün bu düşüncelere yol açan, Fraunhofer'in, her türlü açıklamaya direnen D çizgisiydi. Sarı çizgi, hemen her maddenin tayfında davetsiz misafir gibi ortaya çıkıyordu. Elementlerin kendilerine özgü

NIN İZİNDE

Tayföçlerinden Güneş ışığını geçiren Joseph Fraunhofer, Güneş tayfında birçok karanlık çizgi fark ederek bunları harflerle adlandırmıştı. Fraunhofer'in elle boyadığı bu orijinal tayf çizgileri, yukarıda tek tek seçilebiliyor. Daha sonra sodyum elementine ait olduğu anlaşılan D çift çizgisi, tayf oluşumu gizemini çözen anahtar oldu.



olduğu kabul edilmiş olan tayflarının hepsinde, neden ortak bir çizgi vardı? Yanıt, sonunda iki Alman bilimciden geldi.

Tayföçümünün Öncüleri

Robert W. Bunsen, 1843'te bir kimyasal patlamada sağ gözünde görme yetisini kaybetmesine karşın, laboratuvarlarda hep korkusuz davranırdı. Kokusu, "el ve ayaklarda anında karıncalanma, hatta başdönmesi ve baygınlığa yol açabilen" arsenik gibi zehirli maddelerle çalışmak, onun için rutin bir işti. Ancak Bunsen, Almanya'nın önde gelen analitik kimyacı olmayı başardı. Kendine özgü davranışlarıyla ünlüydü. Öğrencilerinden birinin anlattığına göre, "sıcak cam tüplerle, semenderinkine benzer bir güç ve tutumla çalışırdı. cam tüpleri yapmakta kullanılan üfleme borularından sıklıkla 'yanık Bunsen' kokusu alır, parmaklarından dumanlar çıktığını görürdüm."

Bunsen, yaptığı birçok deneyde kendi adını taşıyan ocağında (Bunsen ocağı) yaktığı maddeleri, çıkardıkları ışığın rengiyle belirlemeyi amaçlıyordu. Meslektaşı ve yakın arkadaşı Gustav Kirchhoff, alevlenen maddelerin her birinin tayfını gözlemlemek için bir prizma kullanmasını önerdi. Beraberce, yüksek duyarlılıkta bir tayföç geliştirdiler.

Bunsen ve Kirchhoff bu yeni aygıt-

larıyla, sürekli ortaya çıkan (ve günümüzde sodyumdan kaynaklandığı bilinen) D çizgisinin gizemini çözmeyi başardılar. Öyle görünüyordu ki, daha önceki meslektaşları, laboratuvar da beklenmeyen bir kirleticinin kurbanı olmuşlardı. Sodyum klorür ya da tuz, Dünya yüzeyinde her yerde hazır ve nazırdır; eğer önlem alınmazsa da kimyasal örneklerin içine sızar. 19. yüzyıl tarihçisi Agnes M. Clerke'ün betimlemesiyle "tuz, havada uçar, suyla akar. Her toz zerreciğinde bir parçası bulunur ve onu kesin bir biçimde dışlamak olanaksızdır."

D çizgisi konusunun çözümü yalnızca Bunsen'in üstün laboratuvar tekniğini değil, aynı zamanda tayföçümsel çözümlemenin inanılmaz duyarlılığını ve bilimsel potansiyelini de ortaya koydu. Sanki bu potansiyeli vurgulamak istercesine, Bunsen ve Kirchhoff laboratuvar ustalıklarını kullanarak yalnızca tayf gözleme yoluyla iki yeni element keşfettiler: sezyum ve rubidyum.

Bu iki Heidelberg bilimcisi, daha sonra laboratuvar tayflarındaki parlak çizgi dizilerinin, Güneş ışınının tayfındaki koyu çizgilere tümüyle karşılık geldiğini gösterdiler. Böylece Fraunhofer'in D çizgisi Güneş'te sodyumun varlığına; öteki çizgiler de farklı kimyasal elementlerin, özellikle de Güneş'i oluşturan temel element olan hidrojenin varlığına işaret eder.

Bu temel deneyler, farklı türden tayflar için bir fiziksel temeli de gündeme getirmişti: Seyrek bir gazın tayf çizgileri iki şekilde ortaya çıkabilirdi. Ya laboratuvar da görülen emisyon çizgileri gibi, ya da akkor bir zemin üzerinde izleniyorsa, Güneş tayfı gibi koyu soğurum çizgileriyle.

Kirchhoff ve Bunsen'in çalışmaları nın çok sayıda ve derin sonuçları vardı. Bir ara iki bilimci tayföçlerini pencereden dışarıya çevirip 16 km ötede bir yangının kimyasal yapısını incelediler. Eğer dünyadaki bir yangı-

nın yapısını belirleyebilirlerse, bir gün gökbilimciler aynı şeyi yıldızlar için de yapamazlar mıydı?

Güneş Tayföçümü ve Ötesi

Kısa sürede Bunsen'in vizyonu gerçekleşti. 1864'te Lewis M. Rutherford 28,5 cm çaplı bir mercekli teleskopla New York şehir merkezinden Güneş'in dağılım tayfının fotoğrafını çekti. 1868'de Andreas Ångström'ün Güneş tayf haritasında 1200 soğurum çizgisinin kesin konumları gösterilmişti. Bu çizgilerin birçoğu, bildiğimiz elementlere atfedilebilirdi. Yüzyılın sonunda Güneş'te 50 kadar element belirlenmişti; bunlardan biri de henüz Dünya'da saptanmamış olan helyumdur.

Kendini yetiştirmiş bir amatör gökbilimci olan William Huggins, 1862 yılında Bunsen ve Kirchhoff'un çalışmalarını okuduktan sonra Londra dışındaki Tulse Hill'de hem gözlerini hem de tayföçlerini daha geniş bir evrene çevirdi. Kişisel gözlemine bir Victoria dönemi tayföçümçüsünün malzemeleriyle -prizmalar, piller, elektrikli kıvılcım bobinleri, Bunsen ocakları, kimyasal tozlar- doldurdu; öyle ki, gözlemevi Frankenstein'in laboratuvarına benzemişti. 20 cm çaplı Alvan Clark mercekli teleskopuyla işe başlayan Huggins, yıldızların ve yıldız kümelerinin tayfını gözlemledi. Önce ona arkadaşı kimyacı William A. Miller, daha sonra da gökbilime eğilimi olan (kendi deyimiyle "inanılmaz bir bilimsel evhanımı") karısı Margaret yardımcı oldu. 1863'te Sirius ve Capella'nın tayf çizgilerinin fotoğrafını alma denemesi başarısızlıkla sonuçlandı. Huggins, ancak 1870'lerin ortalarında, daha iyi bir izleme mekanizması ve daha hızlı kuru-plaka fotoğrafçılığı teknikleriyle amacına ulaşabildi.

Huggins'in gözlemleri, yarım yüzyıl önce Fraunhofer'in yaptıklarını doğrulamıştı: yıldızların tayf çizgileri büyük ölçüde Güneş'inkiyle aynı, ancak göreceli belirginlikleri çoğu zaman farklıydı. Yıldız tayflarındaki farklılıkların açıklaması ancak 20. yüzyılda, yıldızlar fiziğinin gelişmesiyle gerçekleştirilebildi.

Herşeye karşın gökbilimciler, artık evrenin element yapısı ve bunu genişleterek fizik yasalarının her yerde aynı (tek-biçim) olduğu konusunda kanıtlara sahiptiler. 1864'te Huggins, gizemli bulutsuların doğası konusunda önemli birşey bulguladı: Bazılarının tayfları yalnızca emisyon çizgileri içeriyordu. Başka deyişle, sıcak gazların imzasını taşıyor gibiydiler. Ancak sarmal 'bulutsular', Güneş'inki gibi sürekli tayf sergiliyor ve zayıf ışıkları da odaklanmamış çok sayıda yıldızdan geliyormuş izlenimi veriyordu. Bu sarmal 'bulutsular', bizim Samanyolu-muz gibi, uzaklık nedeniyle yıldızları belirsiz "ada evrenler" olabilirler miydi? Bu sorunun yanıtı da, daha büyük teleskopların, gelişmiş fotoğraf tekniklerinin ve Edwin Hubble adında bir gökbilimcinin sahneye çıkacağı 20. yüzyılı beklemek zorunda kalacaktı.

Tayfların Sınıflandırılması

Huggins İngiltere'de öncü araştırmalarını başlattığı sırada, Henry Draper, New York şehrinin 30 kilometre kuzeyinde teleskop aynaları taşlamakla meşguldü. Doktor olarak yetişmiş olmasına karşın, Draper'ın kanında gökbilim vardı. Babası John W. Draper, Henry üç yaşındayken Ay'ın fotoğrafını çekmiş, birkaç yıl sonra da Güneş'in tayfını kaydetmişti. Lord Rosse'un İrlanda'daki 1,8 metre çaplı spekulum-metal (bakır-kalay alaşımı) aynalı teleskopundan esinlenerek Henry de, önce 38 cm, sonra da 71 cm çaplı gümüş sırlı ayna teleskoplar yaptı. 1872'de bunlardan büyük olanıyla, biraz kabaca da olsa Vega yıldızının tayfını aldı. Bu, Güneş'inki dışında, alınan ilk yıldız tayfıydı. Daha hızlı bir kuruplaka fotoğraf tekniğini kullanarak da (Huggins'in önerisiyle), büyük bir hızla göksel tayfları toplamaya başladı.

Üç yıl içinde yıldızlar, uydular, bir kuyruklu yıldız ve Orion bulutsusunun tayflarından oluşan 80 olağanüstü tayf elde etmişti. Ancak, 45 yaşındaki beklenmedik ölümü nedeniyle, yıldız tayflarını sınıflandırma projesini gerçekleştireme-

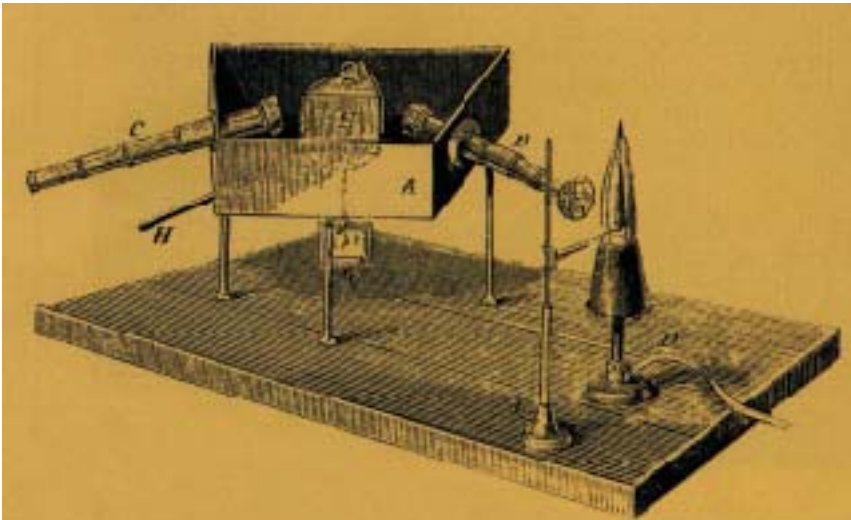


Tayfölcümünün iki öncüsü Robert Bunsen (1811-1899) (sağda), ve Gustav Kirchhoff (1824-1887), dönemlerinin en duyarlı tayfölcülerini geliştirip bu alanda bir devrim yaratmışlardı. Fraunhofer'in D çizgisinin sodyumdan kaynaklandığını doğrulamış, sezyum ve rubidyum elementlerini keşfetmişlerdi. Yayımlı ve soğurum tayflarına yol açan mekanizmayı ilk açıklayan da onlardı.

di. 1860'lı yıllarda bu konudaki çalışmaları başlatan, Cizvit gökbilimci Angelo Secchi oldu. Draper'ın dul eşi Anna Mary Palmer, sınıflandırma çalışmalarını sürdürmeleri için Harvard Üniversitesi gözlemine bağışta bulundu. Bu, zaman ve emek-yoğun projenin başarı anahtarı, teleskopun ana merceği üzerine konulacak ve görüş alanı içindeki bütün yıldızların tayfını elde etmeye olanak tanıyacak bir prizma objektifinin geliştirilmesiydi. 1920'lerde tamamlanan projenin sonucunda, 200.000'den fazla yıldızın tayf sınıflandırmasını içeren Henry Draper Katalogu ortaya çıktı.

Dikkatler Yeni Alanda...

Huggins ve Draper, göksel tayfları incelemeye başlamadan önce bile, gökbilimciler, tayf çizgilerinin yıldızların uzayda görünen yörünge hareketlerini ölçmede kullanılabileceğini farketmişlerdi. 1840'lı yıllarda Avusturyalı matematikçi Christian Doppler ve Fransız fizikçi Armand Fizeau, birbirlerinden bağımsız olarak Doppler etkisi olarak bildiğimiz etkinin temelini attılar. Bir ses dalgasının perdesi, ses kaynağının dinleyene yaklaşması ya da uzaklaşmasıyla değişir. Bir ışık dalgası da, benzer şekilde ışık kaynağının bakan kişiye yaklaş-



Kirchhoff ve Bunsen Tayfölcüleri

Bunsen ve Kirchhoff'un tasarladığı tayfölcü, cihazın modern biçiminin temel özelliklerini de tanımlar: Işığın girdiği saç teli inceliğinde bir yarıç, bunun ardında ışınları paralel duruma getiren bir "kollimatör mercek" ışığı tayf olarak dağıtan bir prizma ya da bir kırılma kafesi, ve tayf özelliklerini gözlemlemek için bir teleskop.

Resimde F prizması, içi karartılmış A kutusunun içinde. E konumundaki örnek, bir Bunsen ocağında ya da benzer bir D alevinde yakılmakta. Işık, ince yarıktan ve B merceğinden geçerek H koluyla hareket edebilen prizmadan geçer. Elde edilen tayf, C teleskopundan gözlemlenir. Tayftaki her çizgi, aslında ışığın tayfölcüye girdiği doğrusal yarığın birer imgesi. Eğer yarıç virgül biçiminde olsaydı, tayf çizgileri de virgül şeklinde olacaktı. Newton'un, Güneş tayfında koyu çizgileri görmemiş olmasının nedeni, ışığı prizmasına ince bir yarıktan değil, bir delikten geçirmiş olmasıydı. Bunun sonucunda elde edilen tayf, koyu renkli bölgeleri kapayan ve birbiri üzerine binmiş renkli dairelerden oluşmuştu.

ması ve uzaklaşmasıyla frekans değişir. Uzayda hızla hareket eden bir yıldızın tayf çizgileriye, normal konumlarından 'kaymış' gibi görünür; yıldız Dünya'dan uzaklaşıyorsa kırmızıya, yaklaşıyorsa maviye doğru. Yeterince duyarlı bir tayfölçerle bu kayma ölçülebilir ve yıldızın görüş çizgisindeki (radyal) hızı hesaplanabilir.

William Huggins daha 1868'de bazı parlak yıldızlarda tayf çizgisi kaymalarını gözle saptamıştı, ama hesapladığı radyal hızlar pek isabetli değildi. 20 yıl kadar sonra Alman gökbilimci Hermann C. Vogel, fotografik tayflar kullanarak yıldız hızlarının kesin ölçümlerini yaptı. 1890'lara gelindiğinde, California'daki Lick Gözlemevinden William Wallace Campbell ve arkadaşları, binlerce yıldızın radyal hızlarını yayımladılar. Vardıkları sonuç, Samanyolu'ndaki yıldızların -Güneş dahil olmak üzere- uzayda saatte yüzbinlerce mil hızla hareket ettikleriydi.

Doppler etkisinin, odaklanmamış ikili yıldız sistemlerinin keşfinde de anahtar rol üstlendiği anlaşıldı. İngiliz buluşçu William Henry Fox Talbot, 1871'de bir ikili yıldız sisteminin yörüngesel hareketinin (sistemi oluşturan iki yıldızın, ayrı ayrı seçilemeyecek ölçüde birbirlerine yakın oldukları durumlarda bile) tayf çizgilerinin periyodik salınımlarıyla kendilerini belli ettiklerini öngörmüştü. 1887'de Harvard gökbilimcisi Edward



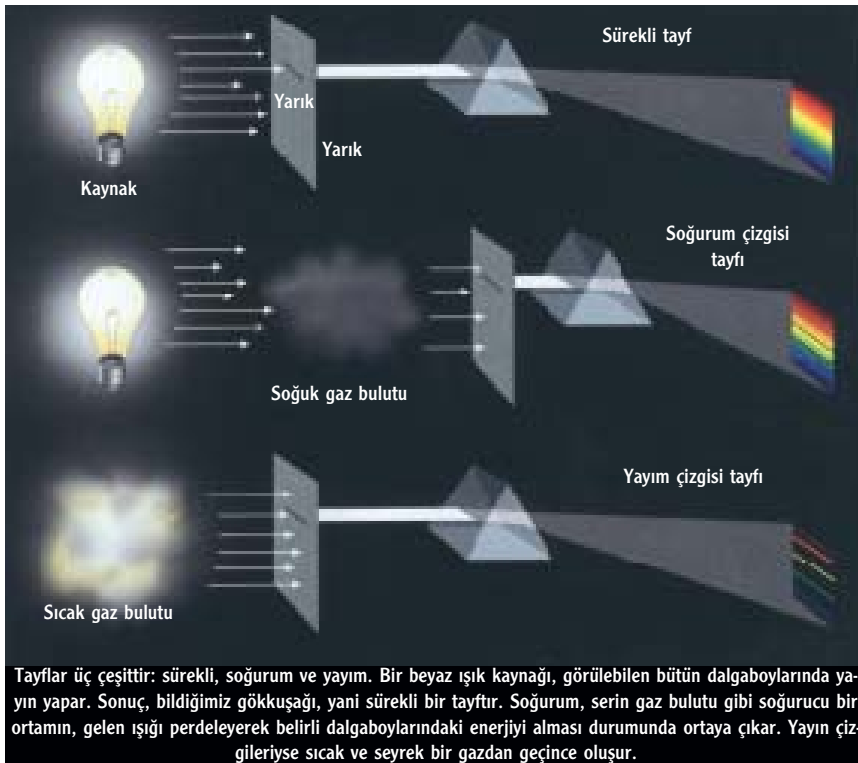
Fraunhofer (1787 - 1826), yukarıdaki resimde 1814'te geliştirdiği ve Güneş tayfına ait 600'e yakın tayf çizgisinin gözlenmesine olanak tanıyan tayfölçerle birlikte betimlenmiş (ayakta, solda).

C. Pickering, Büyükayı'daki Mizar ikili yıldızının en parlak üyesine ait tayf çizgilerinin bazen çift görüldüğünü keşfetti. Pickering'in meslektaşı Antonia C. Maury, yaptığı çalışmalar sonucunda çizgilerin kesin bir düzenlilikle, daha sonra saptadığına göre her 20,5 günde, önce, görülen tayfın mavi ucuna, sonra da kırmızıya doğru kaydığını açıkladı. Bir süre sonra Mizar çiftinin daha soluk olan üyesinin de spektroskopik olarak çift olduğu anlaşıldı. Aynı şey, en iyi bilinen Kutup Yıldızı, Spica, Capella ve

Algol yıldızları için de doğrudu. Yıldızların radyal hızları dışında, ikili yıldızların yörünge hesaplamaları da klasik gökbilimciler ile bu konuya eğilimi olan astrofizikçilerin ortak ilgi alanı haline gelmişti.

19. yüzyıl sona erdiğinde göksel tayfölçümü hem Güneş Sistemi hem de Samanyolu'nun geri kalanıyla ilgili veri toplamada olağanüstü etkili olmuştu. Çok zengin bir tayf veri deposuna her gün yeni şeyler eklenmekteydi. Astrophysical Journal dergisi, bu bilgi seliyle başatmak amacıyla 1895'te yayımlanmaya başlamıştı. Ancak yine de, bu tayfölcümsel gözlemlerin yeni yeşeren astrofizik bilimine yapabileceği etki, alanın temelindeki kuramsal zayıflıklar nedeniyle frenlenmekteydi. Gökbilimciler bir anlamda kendi sınırlarının ötesine geçivermişlerdi. Daha doğrusu, astrofiziğin "astro"su, "fizik"ini geride bırakmıştı.

İlerlemenin önündeki büyük engel, istenen duyarlılıkta ölçü aletlerinin -özellikle de büyük teleskopların- yokluğu. Tomurcuklanan astrofiziğin zorunlu kıldığı gözlemsel gereçler, dev boyutta mercekli teleskoplar yapılmasına yol açtı. Bu olağanüstü büyük 'ışık kovaları', kamera ve tayfölçerlere her zamankinden çok daha fazla foton göndererek, sonunda göksel tayfölçümünün en büyük zaferine yol açacaktı: Genişleyen evrenin keşfi.



Hirshfeld, A.W. "Starlight Detectives" Sky and Telescope, Ağustos 2004

Çeviri: Nermin Arık