

TÜBİTAK ULUSAL GÖZLEMEVİ'ne (TUG) Kurulacak Olan Fabry-Perot Tayfölçeri

Muhittin ŞAHAN¹, İlhami YEĞİNGİL¹, Meltem AKYILMAZ¹, Nazım AKSAKER¹,
Nuri EMRAHOĞLU²

¹Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü,

²Çukurova Üniversitesi, İlköğretim Bölümü

Özet

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) kurulacak olan Fabry-Perot tayfölçeri 75 mm çapında iki adet etalonla oluşmaktadır. Etalonlar için kullanılan ayıraçlar (spacers) $l_1=148 \mu\text{m}$ ve $l_2=198 \mu\text{m}$ 'dir. Tayfölçer 150 cm'lik (T150) teleskopla birlikte coude odasında kullanılacaktır. T150'nin takip mekanizmasındaki bir sorun nedeniyle coude çıkışı henüz kullanılır durumda değildir. Bu nedenle tayfölçer şu anda, TUG'da, teleskop katına kurulmuş ve denemeler zenit gözlenerek yapılmaktadır. Tayfölçer, T150 teleskopunun coude çıkışı tamamlandığında, teleskopla birlikte kullanılmaya başlayacaktır. İlk kez 18 Ağustos 2002 tarihinde yüksek çözünürlüklü etalon kullanılarak ilk veri alındı ve analizlere başlandı. Yakın zamanda tayfölçerin ilk denemeleri de tamamlanarak veri alınmasına devam edilecektir.

Giriş

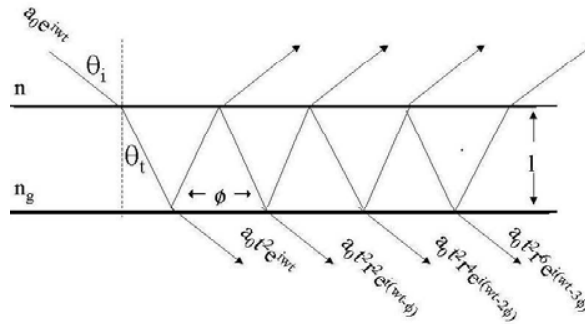
Galaksimizin yıldızlararası ortamı yaklaşık %90 hidrojen, %10 He ve çok az miktarda C, Si, Fe gibi ağır elementlerden oluşmaktadır. Yıldızlararası ortamdaki hidrojen ise atomik (HI) ve iyonlaşmış (HII) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. 10^2 K sıcaklığındaki atomik hidrojen 21 cm radyo dalgaboyunda incelenmektedir. Sıcak (10^4), düşük yoğunluklu ($\sim 0.15 \text{ cm}^{-3}$) ve hemen hemen tamamı iyonlaşmış hidrojen, galaksimizin henüz incelenmemiş en büyük bileşenini oluşturur. Bundan dolayı, bu bileşenin detaylı çalışılması gerekmektedir. Çizgilerin en parlağı olan yayınmış yıldızlararası H α çizgisi, galaktik ekvator yakınlarında yaklaşık 3-12 R ile kutuplara doğru yaklaşık 0.5 R parlaklığı arasında değişen oranlarla tüm galaksiyi kapsamaktadır ($1 \text{ rayleigh } R=10^6/4\pi \text{ foton } \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} = 2.4 \times 10^{-7} \text{ erg } \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1} \Leftrightarrow \text{EM} \approx 2 \text{ cm}^{-6} \text{ pc}$). İyonlaşmanın kaynağı henüz tam olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte, değişik modeller ortaya atılmıştır. Bunlardan birisi, 1977 yılında McKee ve Ostriker'in yıldızlararası ortam hakkında yayınladıkları makaledir. Bu makaleye göre, sıcak ortam ile HI bulutları arasındaki geçiş bölgelerine yerleşmiş ve çevrelerindeki O tipi yıldızlar ve süpernova kalıntılarından ortaya çıkan UV ışınım ile iyonlaştırılmaktadırlar. Fakat, iyonlaşmış hidrojenin çoğunun, galaktik diskin geleneksel yapısını belirleyen yıldız tabakaları ve HI bulutlarının oldukça üstünde olması gerçeğiyle bu teori tam olarak uyuşmamaktadır. Bundan dolayı, bu gazın varlığı yıldızlararası ortam ve daha düşük Galaktik halonun bileşimi ve bunların içindeki ısınma ve iyonlaşmanın temel işlevlerini anlamamız hakkında önemli bir ilişkiye sahiptir (Reynolds, 1990).

Düşük gürültülü, yüksek kuantum verimli CCD'lerin (Charged Coupled Devices) gelişmesi sonucu, geniş kaynaklardan gelen zayıf yayınım çizgilerin çalışılması için Fabry-Perot tayfölçerlerin etkinliği önemli ölçüde artmıştır. Özellikle, optiksel Balmer- α (H α , $\lambda=656,3 \text{ nm}$) çizgisi ile galaksimizin yıldızlararası ortamındaki yayılı, iyonlaşmış hidrojenin çalışılması mümkün olmuştur. Bu konudaki çalışmalar şu anda Wisconsin Üniversitesinde Reynolds ve arkadaşları tarafından WHAM (Wisconsin Hydrogen Alpha Mapper) projesi ile galaksimizin H α haritası çıkartılmaktadır (R.J.Reynolds, 1998b).

Fabry-Terot tayfölçeri

Fabry-Terot tayfölçeri ilk kez 18. yüzyılın sonlarında Charles Fabry ve Alfred Perot tarafından geliştirildi. Ancak, Grating ve Prizmalar gibi diğer girişimölçerler ile karşılaştırıldığında, önemli avantajlara sahip olduğu olan Fabry-Perot tayfölçeri 1950'li yıllarda dielektrik maddelerin keşfine kadar kullanılmadı. Fabry-Terot tayfölçerlerinin en önemli avantajları, belirli bir tayfsal ayırma gücünde, aynı alana sahip dağılım elementli bir grating tayfölçerinden 100 kat daha fazla verime sahip olmasıdır. Gratingler ile karşılaştırıldığında, Fabry-Terot tayfölçeri ışığı çok daha geniş alanda ve daha geniş açıda algılamaktadırlar. Fabry-Terot tayfölçeri, bu özelliklerinden dolayı, zayıf, geniş kaynakların tayfsal analizleri için oldukça uygundur. Fabry-Terot tayfölçerleri temel olarak, çok düz ($\lambda/100$), birer yüzeyleri oldukça yansıtıcı, birbirine paralel, iki optik cam plakadan oluşmaktadır.

Şekil 1'de görüldüğü gibi, Bu yüzeyler, ışığı kısmen geçirir ve kısmen de yansıtırlar. Girişimölçerlerin bu yarı geçirgen ayna yüzeyleri, invar, quartz ya da fused silica gibi maddelerden yapılmış l kalınlıklı bir ayıraçla yüzeyler birbirlerine bakacak şekilde konur. Bu şekilde iki yüzey arasında l kadar bir mesafe oluşturulur. Girişim bu iki yüzey arasında oluşur.



Şekil 1: Fabry-Perot etalonları arasında yansıyan ışınlar ile etalonlardan geçen ışınlar.

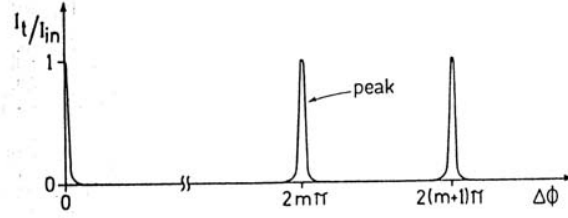
Normal ile θ_i yapacak şekilde gelen ışın etalonun iç kısmında kısmen yansıtılır, kısmen de ikinci yüzeye geçirilir. Her geçen ışın ile bir önceki ışına arasında optik yol farkından kaynaklanan bir faz gecikmesi meydana gelir. İki ışın arasındaki faz gecikmesi şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{\phi}{2} = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_g l \cos \theta_i = m \pi, \quad m=0,1,2,3,\dots \quad (1)$$

Burada m girişim saçığı sayısıdır. Eşitlik 1'den görüleceği gibi iki ardışık ışın arasındaki faz farkı; etalonlar arasındaki ayıraçın büyüklüğüne, gaz basıncına ve gelen ışın demetinin etalon yüzeylerinin normali ile yaptığı açı ile değişir. Etalonların yüzeylerinde hiçbir soğurulma olmazsa, etalonlardan geçen ışınların şiddetleri Airy fonksiyonları ile verilir (E.E. Miller, 1984).

$$A(\phi) = \frac{I_t}{I_i} = \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \frac{\phi}{2}} \quad (2)$$

Bu eşitlikte görüldüğü gibi, Fabry-Perot etalonlarından geçen ışınların şiddetleri tamamen etalonların R (%90) yansıtıcılığına ve ϕ faz farkına bağlıdır. Eşitlik 1'e göre, etalonlar arasındaki ayıraç ve gaz basıncı sabit tutulup, gelen ışığın açısı değiştirilerek tayf gözlemlenebilir. Etalonlardan geçen ışınların şiddetinin ϕ faz farkına karşı grafiği çizildiğinde şekil 2'deki gibi olur.



Şekil 2: Etalonlardan geçen ışınların şiddetinin ϕ faz farkına karşı grafiği

n ve θ açışı sabit tutulursa, ardarda iki saçak arasındaki serbest tayf genişliği

$$Q = \frac{1}{2l} \quad (3)$$

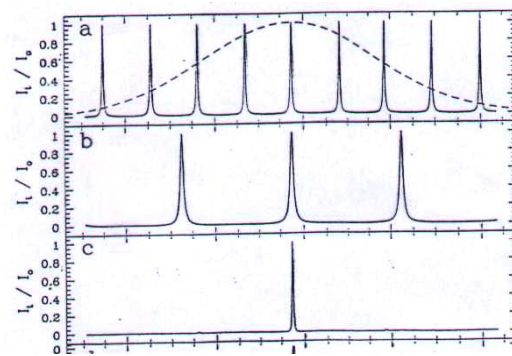
şeklinde olur. Saçağın yarı genişliği ise

$$(\Delta\Phi)_{FWHM} = \frac{2(1-R)}{\sqrt{R}} \quad (4)$$

şeklinde verilir (E.E. Miller ,1984). Fabry-Perot etalonlarının ayırma gücü gelen ışığın dalga boyuna bağlıdır.

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (5)$$

Şekil 3'te iki etalon birlikte kullanıldığında ve aynı dalga boyunu geçirmeleri için ayarlandıklarında, sistemin geçirgenliğinin dalgaboyuna göre değişimini vermektedir. İki etalon birlikte kullanıldığında, parazit ışık azalır, böylece, serbest tayf genişliği artar ve tayföçlerin kontrastı artar. Bu faktörler tayföçlerin kontrastını ve çözünürlüğünü artırır (E.E. Miller ,1984).

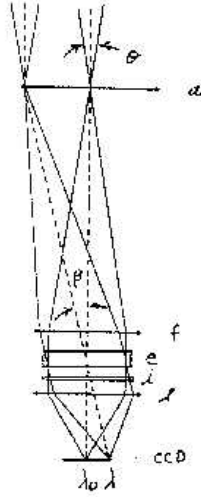


Şekil 3: iki etalon birlikte kullanıldığında, her iki etalonlardan geçen ışığın dalgaboyuna göre geçirgenliği ((a) birinci etalonlardan geçen ışık,(b) ikinci etalonlardan geçen ışık, (c) her iki etalonlardan ışığı göstermektedir).

Şekil 4, CCD ile birlikte kullanılan Fabry-Perot tayföçerleri için optik sistemin genel şekli gösterilmektedir. Şekil sistemin teleskopla kullanılacak durumunu vermektedir. Şekilde görülen **a** merceği T150 teleskobunu göstermekte, teleskoptan gelen ışık 75 mm çaplı iki adet Fabry-Perot etalonundan (**e**) geçerek filitreye gelmekte (**f**), filtreden geçerek **l** merceğine gelmekte, odak uzaklığı 30 cm olan bu mercek etalonlardan geçen halka desenlerini CCD kamerası üzerine odaklamaktadır. CCD üzerine düşen dalgaların merkezden dışarı doğru değişimi ilişkisi şöyle verilir.

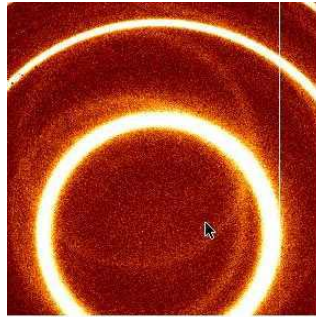
$$\lambda = \lambda_0 \cos \beta \quad (6)$$

Burada λ_0 optik eksen boyunca Fabry-Perot etalonlarından geçen ışığın dalgaboyu, λ ise β açısında geçen ışığın dalgaboyudur. 6 eşitliğinden görüldüğü gibi, CCD'nin üzerine düşen ışığın dalgaboyu merkezden dışarı doğru gidildikçe azalmaktadır.



Şekil 4, CCD ile kullanılan Fabry-Perot tayföçerleri için optik sistemin genel şekli

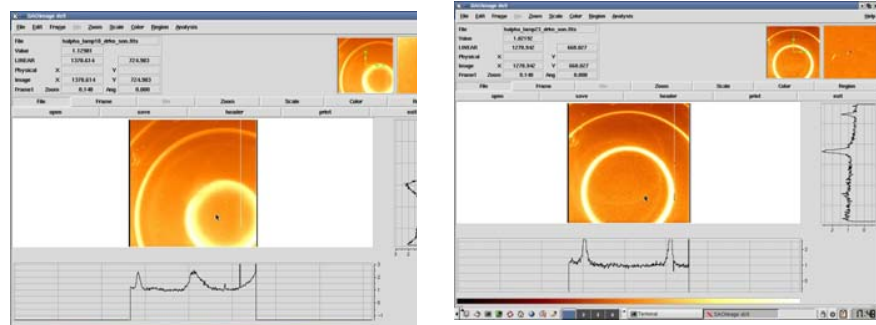
Şekil 5'te yüksek çözünürlüklü ($I_2=198 \mu\text{m}$) Fabry-Perot etalonundan geçen ışınların CCD üzerine düşen ham görüntüsünü verilmektedir. Gerçekte, Etalonlardan aynı merkezli iç içe geçmiş pek çok halka deseni geçmektedir. Fakat, CCD'nin yüzey alanı küçük olduğundan, sadece iki tane halka görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, merkezden dışarı doğru gidildikçe halka genişlikleri daralmasına rağmen, her bir tayfsal elementin alanı sabit kalır, fakat dalgaboyu 6 eşitliğine göre azalır.



Şekil 5: yüksek çözünürlüklü Fabry-Perot etalonlarından geçen ışınların CCD üzerine düşen görüntüsünü

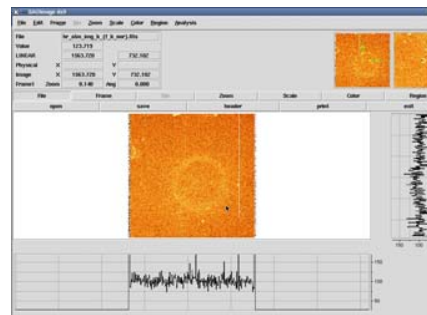
Sonuç

Fabry-Perot tayföçleri son zamanlarda tamamlandı. Son olarak 15-19 Ağustos 2002 tarihinde TUG'a gidip, etalonların, CCD'nin ve basınç sisteminin Fabry-Perot tayföçlerine yerleştirilmesi gibi gerekli işlemler yapıldı. Hidrojen lambası kullanılarak, hidrojen alfa filtresi ile hem yüksek hem de düşük çözünürlüklü etalon verileri alındı. Yüksek ayırma güçlü etalonla ilk gözlem yapıldı.



Şekil 6: Hidrojen lambası kullanılarak, hidrojen alfa filtresi ile düşük (solda) ve yüksek (sağda) çözünürlüklü etalon verileri

18 Ağustos sabahı, yüksek çözünürlüklü etalon ile sabah saat 4:50 civarında doğrudan zenite bakılarak, şekil 7'de gösterilen ilk atmosferik veriyi alabildik. Aslında, Her iki etalon birlikte kullanılarak atmosferik veriyi almayı planlıyorduk. Fakat, Şafak vakti olduğundan, CCD yüzeyi çok parladığı için bu veri alınamadı.



Şekil 7: yüksek çözünürlüklü Fabry-Perot etalonu kullanılarak alınan ilk atmosferik H α

Önümüzdeki günlerde tekrar TUG'a gidip son ayarları yaptıktan sonra, gerçek verileri alacağımızı ve bu verileri kullanarak tayfsal çalışmalarını yapmayı planlıyoruz.

Kaynaklar

C.F. McKee, J.P.Ostriker, The Astrophysical Journal, 218,148-169,1977

E.E. Miller and F.L.Roesler, Applied Optics, 1984

R.J.Reynolds, F.L. Roesler, F.Scherb, and J.Harlerder, Society of Photo Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 1990,V.1235,610

R.J.Reynolds, S.L. Tufte, L.M.Hafner, K. Jaehnig, J.W. Percival, Publ.Astron.soc.Australia,15,14, 1998b.