

Triton'da Küresel Isınma

NEPTÜN'ün en büyük uydusu Triton, 1846'da keşfedilişinden bu yana gökbilimcilerin merak konusu oldu. Yaklaşık bir buçuk yüzyıl boyunca, uzaklığı nedeniyle bu gökcismi hakkında bilgi edinmek pek mümkün olamadı. Ta Ağustos 1989'daki Voyager 2 Uzay Aracı'nın yakın geçişine kadar... Bugün, eldeki sınırlı verilere dayanarak, Triton'un öteki dış gezegenlerde de olduğu gibi son derece olumsuz koşulların geçerli olduğu bir yer olduğunu söyleyebiliyoruz. Triton, aynı zamanda, Güneş Sistemi'nde bilinen en soğuk yüzeye sahip. Yüzey sıcaklığı mutlak sıfırın yani 0 Kelvin'in (-273°C), sadece 40 Kelvin üzerinde olan bu uyduda, pek çok jeolojik etkinliğe rastlanması ilginç. Bunlardan belki de en ilgi çekici olanı, Triton'un buzlu yüzeyinde uzaktan bakıldığında koyu tonlu bölgeler olarak görünen lekelerdir. Bu bölgeler, halen aktif, geyser benzeri jeolojik yapıların çevresinde biriken, karbon içeren tozlardan oluşuyor.

Triton'u, Neptün'ün öteki uydularından ayıran en belirgin özelliği, yörüngesinin çok eğik olması ve uydunun bu yörüngede, öteki uyduların tersine hareket etmesidir. Bu, onun baştan beri Neptün'ün uydusu olmadığını gösteriyor. Başka bir deyişle Triton, büyük olasılıkla Neptün tarafından sonradan yakalanmış. Uydu, kuyruklu yıldızların yer aldığı Kuiper Kuşağı'ndan gelmiş olabilir. Bu ilginç özelliği yanında Triton, Neptün'ün öteki uydularının yanında oldukça büyük kalıyor ve bu sayede bir atmosfere de sahip. Triton'un büyük oranda azot (N_2) oluşan atmosferi, yüzeyde Dünya'ninkinin sadece 50 000'de biri kadar basınç yaratabilecek kalınlıkta. Atmosfer, azotun yanında daha az miktarlarda metan (CH_4) ve karbon monoksit (CO) içeriyor.

Dünya'dakinin aksine, Mars, Satürn'ün uydusu Titan ve Plüton'daki gibi, Triton'da da azot gazının buhar basıncı, yüzeyde donmuş halde bulunan azotla dengededir. Bu, süblimleşmenin (katı halden gaz haline geçişin), gaz halinden katı hale geçişle aynı hız-

da gerçekleşmesi demek. Buhar basıncı, sıcaklıkla artar. Belli bir sıcaklıkta, dengenin gerçekleşmesi için sadece belli bir basınç değeri vardır. Bunun yanında, sıcaklıktaki sadece 1°C'lik bir artış yüzeydeki basıncın yaklaşık iki katına çıkmasına neden olur.

Triton'un buhar basıncıyla dengelenmiş bir atmosfere sahip olması, Dünya'da karşılaşmadığımız iki nedene bağlıdır. Birincisi, Triton'un atmosferi, ekvator dan kutuplara ve aydınlık yüzeyden karanlık yüzeye, ısıyı çok etkili bir biçimde taşır. Güneş'in ısıttığı yüzeyden süblimleşen bir molekül, bu yüzeyi bir miktar soğutur. Karanlık yüzeyde yoğunlaşan molekül, buranın aydınlık yüzeydeki soğumayla aynı oranda ısınmasına yol açar. Bunun sonucu olarak da Güneş alsın ya da almasın, yüzeyin tümü hemen hemen aynı sıcaklıkta kalır. Bu olayın Dünya'da gerçekleşebilmesi için, atmosferin saf su buharından oluşuyor olması gerekirdi. Eğer Dünya'nın yüzeyi şu andaki yüzeyin yansıtıcılığına sahip, kirli buz tabakasıyla örtülü olsaydı, yüzey sıcak-

lığı ortalama 254 K yani -20°C; yüzeydeki atmosfer basıncı da şu andakinin binde biri dolaylarında olurdu.

Buhar basıncı dengesine sahip bir atmosferin ikinci nedeni, Triton'un atmosferinin yüzeyde yarattığı basınçtaki büyük değişikliklerin, yüzey sıcaklığında küçük değişimlere karşılık gelmesidir. Triton'un yörüngesi, önemli iklimsel değişikliklere neden olur. Yaklaşık birkaç yüz yıllık dönemlerde Güneş, kuzey ve güney yarıkürede 50° enlemlere kadar yükselir. Uydunun özellikle kutup bölgelerinin dönemsel olarak farklı miktarlarda güneş ışığı alması, basınçta önemli değişikliklere yol açar.

İlginç Bir Yöntem

Triton'un ne kadar uzak olduğunu biliyoruz. Yakın gelecekte, Voyager 2 benzeri, uduya yakın uçuş yapacak bir uzay aracının gönderilmesi de şimdilik düşünülmüyor. Bunun için, yerden yapılan gözlemlerden yararlanılıyor. Ancak, gerek uydudan kaynaklanan ısı ışımının zayıflığı, gerekse uydunun uzaklığı ölçümlerde önemli hatalara yol açıyor. Kızılötesi tayf ölçümünden yararlanılarak, azot tabakası üzerinde ölçümler yapılabiliyor; ancak, bunun da hassasiyeti düşük.

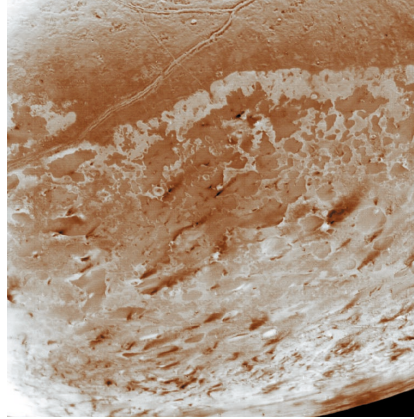
Bir başka yaklaşım, sıcaklık-basınç ilişkisinden yararlanmaktır. Eğer, yüzeydeki basınç yeterince hassas biçimde ölçülebilirse, bu bize denge durumundaki yüzey sıcaklığını çok hassas olarak verecektir. (Çünkü, sıcaklıktaki küçük değişimler, basınçta büyük değişimlere yol açar.) Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden James T. Elliot ve ekibi, bu ölçümleri yapabilmek için ilginç bir yöntem kullanıyorlar: Triton'un örttüğü yıldızların ışığından yararlanıyorlar.

Bir yıldızdan gelen ışık, Triton'un atmosferine paralel olarak girer. Atmosferin yoğunluğu, yüksekliğe bağlı olarak değiştiğinden, atmosfere giren paralel ışınlar farklı açılar yaparak kırılırlar. Bu olayı gözlemek için uygun yerde bulunan gözlemci, Triton'un arkasına doğru giren yıldızın ışığının giderek sönükleştiğini görür. Yıldızdan gelen ışığın kuvvetinin zamana karşı ölçümü, Triton'un atmosferinin yoğunluk, basınç ve sıcaklığı hakkında bilgi verir.

Atmosferdeki kırılmanın bir sonucu olarak, uydunun gölgesinin merkezinde yıldızdan gelen ışınlar odaklanır. Örtülen yıldız, bu noktada biraz parlaklaşır. Merkez parlaması olarak adlandırılan bu olay, ilk kez 1976 yılında NASA'nın Kuiper Uçan Gözlemevi (Kuiper Airborne Observatory, KAO) tarafından, Epsilon İkiizler yıldızının Mars tarafından örtülmesi sırasında gözlemlendi.

Örtülmenin neden olduğu gölgenin gözlemcinin üzerinden geçtiğini varsayalım. Gölgen izinin eksenini doğrultusunda bulunmayan gözlemci, gelen ışığın şiddetinin zamana karşı grafiğini çizerse, tabanı düz bir çanak kesiti biçiminde ışık eğrisi elde edecektir. Buna karşılık, gölge izinin eksenine yakın konumda bulunan gözlemci, merkezdeki parlamayı görecek, bu parlama, onun çizeceği ışık eğrisinin, ortasında bir yükselme olarak kendini belli edecektir. Gözlemcinin ölçtüğü parlamanın şiddeti, onun merkeze ne kadar yakın olduğunu gösterecektir. Sonuçta elde edilen ışık eğrisi, örtün gökcisminin atmosfer özellikleri hakkında bilgi verir.

Bu tekniğin Triton'a uygulanması için, öncelikle, bu uydunun örteceği yıldızları bulmak gerekiyordu. Bu,



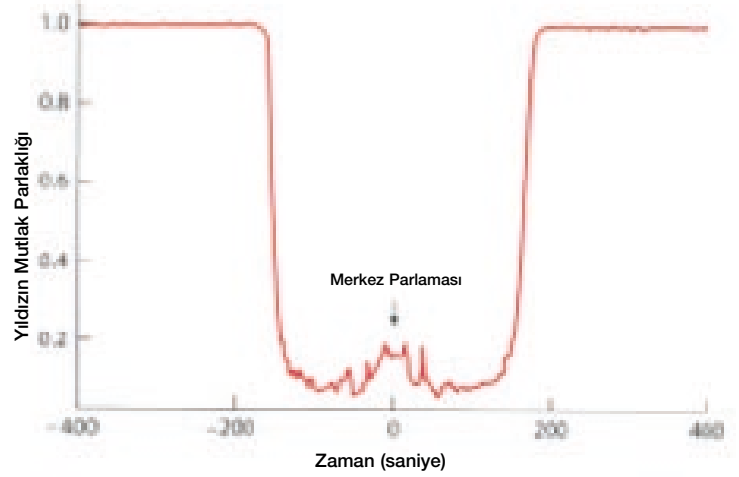
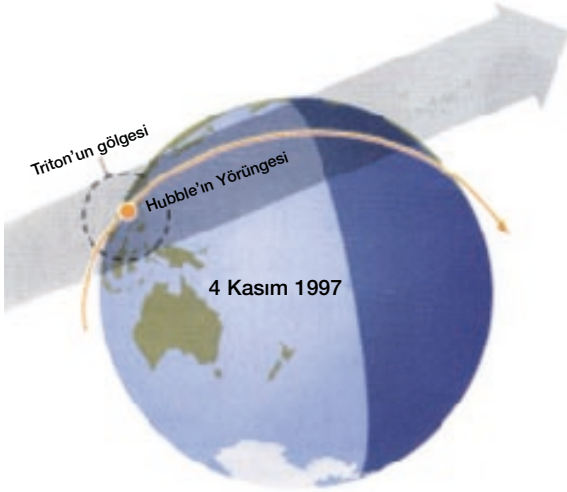
Triton'un buzlu yüzeyinde koyu tonlu bölgeler olarak görünen lekeler halen aktif geyserlerin çevresinde biriken karbon içerikli bileşiklerden oluşmuştur.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki Wallas Astrofizik Gözlemevi'nde bulunan 60 cm çaplı teleskop için iyi bir proje oldu. Dünya'dan bakıldığında, görünür çapı sadece 0,14 ark saniye olan Triton'un örteceği yıldızları bulmak doğal olarak pek de kolay değildi. Çok hassas hesaplamaları gerektiriyordu. Başka teleskopların da katılımlarıyla, gelecekteki tutulmaların çok hassas tahminleri yapıldı. Çapı Dünya'nınkinin yaklaşık dörtte biri olan Titan'ın gölgesini gözleyebilmek için, gözlemde kullanılacak teleskopların gölgenin yolu üzerinde bulunması gerekiyordu. Bu nedenle, örtülme gözlemleri için gerekli donanımı bulunan 35 cm çaplı dört teleskop yapıldı. Bu teleskoplar, taşınabilir oldukları için, Dünya'nın istenilen bölgesinde gözlem yapmada kullanılabilirlerdi.

İlk gözlem denemesi Temmuz 1993'te gerçekleştirildi. Uçan gözlemevi KAO, Şili'de Puento Arenas'a yerleştirildi. Örtülme sırasında anlaşıldı ki KAO, merkez parlamasını görebilecek kadar iyi yerleştirilememişti. Yine de iyi bir ışık eğrisi elde edilebildi. Ancak, Güney Afrika ve Arjantin'e yerleştirilen öteki teleskoplarla, bulutlu hava nedeniyle gözlem yapılamadı. Ağustos 1995'teki deneme daha başarılı oldu. Üstelik, şans eseri, örtülen yıldız da bir çift yıldızdı ve Triton ikisini birden örtüyordu. Bu örtülme sırasında, Amerika'da bulunan çeşitli bölgelerden ve KAO'dan veriler alındı. California'daki Lick Gözlemevi, her iki yıldızın tutulmasını da gözleyebildi.

Bu sefer elde edilen sonuç Temmuz 1997'de gerçekleşecek bir sonraki gözleme duyulan heyecanı artırdı. Barnswille ve Texas'taki taşınabilir teleskoplar ve Avustralya'daki dört teleskop tutulmanın verilerini kaydetti. Mexico'da bulunan portatif teleskoplardan biri bulutlardan dolayı gözlem yapamadı. Bunun yanında, hiçbir büyük teleskoptan yararlanılamadı; çünkü hepsi gölgenin yolunun dışında kalıyordu. Bu nedenle, elde edilen kayıtlar pek de işe yaramadı.

Örtülmelerin en iyisi, 4 Kasım 1997'de gerçekleşti. Bu tarihte, Triton, 10,6 kadir parlaklığında bir yıldız örttü. Bu sefer donanım da çok iyiydi; Hubble Uzay Teleskopu da gözlemde kullanılacaktı. Bir gözlemci daha ne isteyebilir ki?



Solda: Triton, 4 Kasım 1997'de Yay Takımyıldızı'nda bir yıldızı örttüğünde, büyük şans eseri, Hubble Uzay Teleskopu oldukça iyi konumdaydı. Üstelik, Triton'un gölgesi saniyede 15 km ilerlerken, Hubble da aynı yönde saniyede 8 km hızla ilerliyordu. Bu sayede Hubble, yerdeki bir gözlemcinin yapabileceğinden daha uzun süre gözlem yapabildi. Sağda: Hubble Uzay Teleskopu'yla yapılan ölçümlerle elde edilen ışık eğrisi görülüyor. Hubble, gölgenin eksenine biraz uzak kalmasına karşın, merkez parlaması grafikte görülebiliyor. Elde edilen ışık eğrileri, Triton'un yüzeyindeki atmosfer basıncında meydana gelen küçük değişimler hakkında bilgi veriyor.

Şans eseri, Hubble'ın yörüngesi, yaklaşık olarak tutulmanın merkezinden geçiyordu. Hubble sayesinde, çok hassas veriler alınabilecekti. Ayrıca, Hubble'ın bulutlardan etkilenme olasılığı da yoktu. Nitekim, bulutlardan dolayı, hiçbir yer gözlemevi gözlem yapamadı. Eldeki veriler sadece Hubble'ın verileriydi. Üstelik, bu verilerin yeryüzüne ulaşması için birkaç gün geçmesi gerekiyordu. Doğal olarak, bu durum, gözlem verilerini o gece elde edemeyen ekip için çok sinir bozucu oldu.

Hubble'dan gelen veriler oldukça iyiydi. Hubble, gölgenin tam merkezinden geçmemişti; ancak, yakınından geçtiği için, merkez parlaması ışık eğrisinde şiddeti düşük de olsa belirgindi.

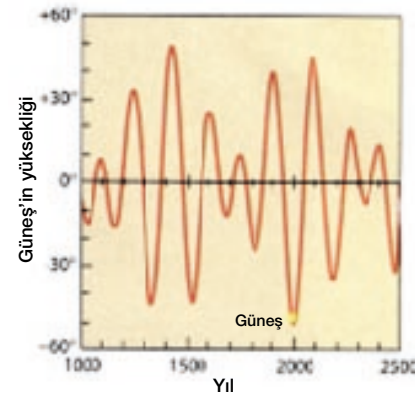
Triton'da Hava Durumu

İşin eğlenceli bölümü sona erdikten sonra, sıra elde edilen ışık eğrilerini kullanarak atmosfer basıncı üzerine hesaplar yapmaya gelmişti. Sonuçta, Triton'un atmosfer basıncında 1995 yılından bu yana bir yükselme olduğu ortaya çıktı. Uydunun yüzeyindeki atmosfer basıncı, yüzey sıcaklığının Voyager'ın 1989'daki ölçümleriyle karşılaştırıldığında, 1-2 Kelvin artmıştı. Triton, bizim Dünya'da da karşı karşıya olduğumuz küresel ısınmayı çok daha yoğun biçimde yaşıyordu.

Peki, bu ısınmanın nedeni ne olabilir? Triton'da ne canlılar var ne de

fabrikalar. Bu nedenle, ısınmanın nedeni bu tür etkenler sonucu ortaya çıkan sera gazları olamaz. Triton, bir şekilde, verdiğinden daha fazla ısı soğurmuş olmalı. Bu, çeşitli etkenlere bağlı olabilir. Lowell Gözlemevi'nden John Stansberry'ye göre, ısınmanın nedeni, 1989'da 45,4° güney enlemine dik gelen güneş ışınlarının, 1997'de 49,6° enleme yükselmesidir. Bu yükselme, Güney kutbunun az da olsa ısınmasına yol açarak bu bölgedeki süblimleşmeyi artırmış olabilir.

Bir başka varsayım, yine Lowell Gözlemeviden, John Spence ve NASA'dan Candice Hansen'e ait. Spence ve Hansen, Voyager'ın yakın geçişinden bu yana Triton'un karşı karşıya olduğu değişimi, Triton'un yüzeyindeki geysirlerden bir ya da birkaçının etkinleşmesine bağlıyorlar. Geysirler,



Triton, mevsimsel olarak, dramatik iklim değişiklikleriyle karşı karşıyadır. Güneş ışınları, dönemsel olarak $\pm 50^\circ$ enlemler arasına dik gelir. Güneş, 2005 yılında, güney yarıkürede en yüksek konumuna ulaşacak.

karbon içeren maddeler de püskürtüklerinden, yüzeyin bir miktar koyulaşarak, daha fazla güneş ışığı soğurmasına neden olabilir. Stansberry, Triton yüzeyinin yansıtıcılığında meydana gelecek değişimin, yüzeydeki atmosfer basıncında önemli değişimlere yol açabileceğine inanıyor.

Bu iki varsayım arasında, birincisi daha ağır basıyor. Yine de bu kadar uzaktan baktığımız böyle bir gökcisimi hakkında fazla birşey bilmiyoruz. Triton'da yaklaşık 20 yıldır süregelen küresel ısınma, birkaç yüzyılda bir tekrarlanan mevsimsel bir değişim olabileceği gibi, iklimsel bir değişimin sonucu da olabilir. Triton'daki atmosfer olaylarının Dünya'daki kadar karmaşık olmadığı ortada. Ancak, bulutlar, Güneş'in etkileri, yüzeydeki donmuş şekiller ve mevsime bağlı değişiklikler, bu gökcisimindeki atmosfer olaylarına neden olan başlıca etmenlerdir. Triton'daki bilmeceyi çözebilmek için, daha pek çok gözlem yapılması gerekiyor. Ancak, Neptün'ün Samanyolu düzleminde uzaklaşıyor olması, onun yıldızları örtme sıklığını azaltıyor. Doğal olarak, Neptün'ün bu ilgi çekici uydusu hakkında daha ayrıntılı bilgi edinebilmek için en iyi yöntem, buraya bir uzay aracı göndermektir. Yakın zamanda böyle bir proje düşünülmeyeceğine göre, James L. Elliot ve ekibi, örtülme gözlemlerini sürdürecektir gibi görünüyor.

Alp Akoğlu

Kaynak: Elliot, J.L., "The Warming Wisps of Triton", *Sky & Telescope*, Subat 1999