

BÖLÜM 7

PATLAYAN DEĞİŞEN YILDIZLAR

DOÇ.DR. BİROL GÜROL

ANKARA ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ

2015

7.3 SÜPERNOVALAR

- Süpernovalar, parlaklıklarını birkaç gün içerisinde 10 ile 20 kadir ölçüsünde artıran, maksimum mutlak parlaklığı -15 ile -20 kadir arasında veya daha yüksek olan ve yavaş bir şekilde parlaklığı azalan yıldızlardır.
- Böylesine bir olay sonucunda yıldızın çevresinde çok büyük hızlarla genişleyen bir kabuk (*bir süpernova artığı*) ve/veya çöken çekirdekten oluşan ve geri dönülemez bir sürece giren, sonuç ürün olarak bir nötron yıldızı veya büyük olasılıkla bir karadelik ortaya çıkar.
- Yüzeysel de olsa novalar ile süpernovalar arasında bir benzerlik bulunur fakat patlama mekanizmaları ve sonuç ürünleri birbirinden tamamen farklıdır. Bir süpernova patlaması, yıldızlar için “son nokta” dır.

- Yıldız astrofiziği açısından bakıldığında süpernovalar belki de en önemli ve en karmaşık olaylardan birini oluşturur. Süpernova, büyük kütleli yıldızların evrimlerinin sonunda görülebilen nadir olaylardır. Yıldız çekirdeğindeki nükleer yakıt tükenmiş olduğundan nükleer yoğunluklara ulaşan ve bir veya iki saniye içerisinde ani bir çöküş gerçekleşir. Bu zaman içerisinde çekimsel enerji, evrenimizde görülebilen bütün diğer yıldızların ışınım güçlerinden daha yüksek düzeyde bir enerjinin salınımına yol açar.
- Beyaz cüce bileşene sahip bazı çift yıldız sistemlerinde, beyaz cüce bileşeni Chandrasekhar sınırına ulaşacak ölçüde madde kazanırsa da süpernova olayı gerçekleşebilir. Böylesine bir süreçte gerçekleşen termonükleer patlama, küçük kütleli bileşenin yok olmasına yol açabilir.
- Süpernovalar, *atarca* kaynaklarıdır. Atarcalar çok hızlı dönen nötron yıldızlarıdır ve elektromanyetik ışınımlarını atım (puls) şeklinde salarlar. Atarcalar aynı zamanda kozmik ışınların ivmelenmesine de neden olurlar. Bu yüksek enerjili parçacıklar galaksimizi doldurdukları gibi aynı zamanda Dünya'nın üst atmosfer katmanlarını da etkileyebilmektedirler.
- Süpernovalar, patlamadan önce yıldızda üretilen veya patlama sırasında üretilen ağır elementlerin yıldızlararası ortama dağılmasını sağlayan temel kaynaktır. Dağılan bu madde daha sonra yeni nesil yıldız ve gezegenlerin ve hatta kendi güneş sistemimizi dikkate aldığımızda, yaşamın da ortaya çıkmasının temel kaynağıdır.

- Binlerce km/sn hızla genişleyen süpernova artıkları yıldızlararası ortamı yayık gibi karıştırarak “galaktik ekoloji” nin bir parçası olarak yeni yıldız ve gezegenlerin oluşmasına neden olurlar.
- Maksimum parlaklıklarına ulaştıklarında süpernovalar birer parlak “normal” yıldız gibi görünürler. Çok uzak gökadalarda bulunsalar dahi görülebilecek kadar bir parlaklığa ulaşırlar. Maksimum mutlak parlaklıkları kalibre edilebildiğinden, evrenin en uzak noktalarının uzaklığının belirlenmesinde kullanılırlar.
- Standart parlaklıkları sayesinde son yılların en etkileyici ve önemli keşiflerinin yapılmasını sağlamışlardır – evrenin ivmelenerek genişlediği ve *karanlık enerji*.
- Süpernova'lara ilişkin elektronik ortamda bir katalog bulunmaktadır: www.sai.msu.su/sn/sncat/

7.3.1 KEŞİFLERİ

- Bir süpernova olayında cismin parlaklığı o kadar artar ki bu tür cisimlerin keşfedilmesi ve/veya tanımlanması zor olmaz. Sadece ışık eğrilerine bakarak süpernovaları, novalardan ayırt etmek zor olmasına rağmen tayfsal özellikleri nedeniyle bu ayırım kolaylıkla yapılabilir.
- Ayrıca novaların mutlak parlaklığı -10 kadir düzeyinde iken, süpernovalar için -15 kadirde daha yüksek değerler söz konusudur. Birkaç peküler cisim, η (eta) Carinae gibi, bu sınıflandırmayı en azından gözlemsel açıdan bir miktar karıştıran cisimlerin de bulunduğu bilinmelidir.
- Süpernovalar genel olarak Galaktik (kendi gökadamıza ait) ve gökada dışı süpernovaları olarak iki kısma ayrılırlar. Büyük olasılıkla gökadamızda her yüzyılda birkaç tane süpernova olayı gerçekleşmektedir. Fakat uzaklıkları, konumları ve yıldızlararası ortamın soğurması gibi etkiler nedeniyle bu tür olayların tamamını Dünyadan görmek mümkün olmaz.

- Kendi gökadamızda çıplak gözle görülebilen parlaklığa ulaşan en son süpernova 1604 yılında gerçekleşmiştir. Johannes Kepler tarafından keşfedilen bu cisim, o dönemde “yeni yıldız” olarak tanımlanmış ve parlaklığı Venüs’ün parlaklığına ulaşmıştır.
- Bundan birkaç yıl önce ise 1572 yılında Tycho Brahe’de benzer bir cismin keşfini yapmıştır. Tycho ve Kepler tarafından keşfedilen bu süpernovalar, Aristo tarafından ortaya konan evrenin değişmezliği inancını derinden etkilemiştir ve bu düşüncenin yıkılmasına neden olmuştur.
- 1572’li yılların öncesinde Doğu Asya’da bulunan astronomlar, birkaç tane “misafir yıldız” kaydetmişlerdir. Bu keşiflerden bazılarının artık çok iyi şekilde bildiğimiz süpernova artıkları olduğunu bilmekteyiz.
- Bunlardan en ünlüsü Crab Bulutsusudur. Bu bulutsunun kaynağı olan süpernova, Doğu Asya’da bulunan astronomlar tarafından 1054 gözlenmiştir. Parlaklığı -4 kadir’e ulaşmıştır. Bundan daha parlak bir süpernova (-9 kadir) ise 1006 yıllarında gözlenmiştir. Görsel olarak çok yüksek parlaklığa sahip olmasına rağmen bu süpernovayla ilgili Batılı kaynaklarda bilgi bulunamamıştır. 1987 yılında Büyük Magellan Bulutunda patlayan SN 1987A yakın zamanda çıplak gözle görülebilen bir cisim olmuştur.

- İlk gökada dışı süpernova olayı 1885 yılında keşfedilen S Andromedae olmuştur. Andromeda (M31)'da bulunan bu süpernova aslında başlangıçta nova olarak sınıflandırılmıştır. O yıllarda Tycho ve Kepler'in yıldızları ile sıradan novalar arasında belirgin bir farkın olduğu henüz bilinmiyordu.
- Gözlenen cismin bir nova olması durumunda, mutlak parlaklığı en fazla -10 kadir olabilirdi ve bu bilgi ışığında cismin uzaklığı hesaplandığında ancak birkaç bin parsek olabilirdi. Bu ise M31'in bir galaksi değil, galaksimize çok yakın cisimler olmasını gerektmekteydi.
- 1930'lu yıllarda novalar ile süpernovalar arasındaki farklar anlaşılmaya başlanmıştır. Fritz Zwicky liderliğindeki bir grup (bu tür cisimler için "süpernova" terimini kullanmışlardır) sistematik bir şekilde süpernova araştırmalarına başlamışlardır: 0.45 m çaplı Schmidt teleskobunu kullanarak fotografik olarak 4000 adet galaksi görüntüsü almışlardır. Keşfedilen herhangi bir süpernova olduğunda onu tayfsal olarak 2.5 m çaplı Mt. Wilson teleskobunu kullanarak incelemişlerdir.
- II. Dünya savaşından sonra bu tarama gözlemlerini Mt. Palamor'da bulunan 1.2 m çaplı Schmidt teleskobu ile sürdürmüşlerdir. 1967'li yıllarda büyük çoğunluğu Zwicky'nin grubu tarafından keşfedilen 200 den fazla süpernova kaydedilmiştir (1967 yılı fonlarına göre her bir süpernova gözleminin ortalama maliyeti \$1000 kadar olmuştur). Bu araştırmalar sonucunda bazı galaksilerin özellikle süpernova açısından oldukça zengin olduğu ortaya çıkmıştır; NGC6946'da dört adet süpernova keşfedilmiştir.

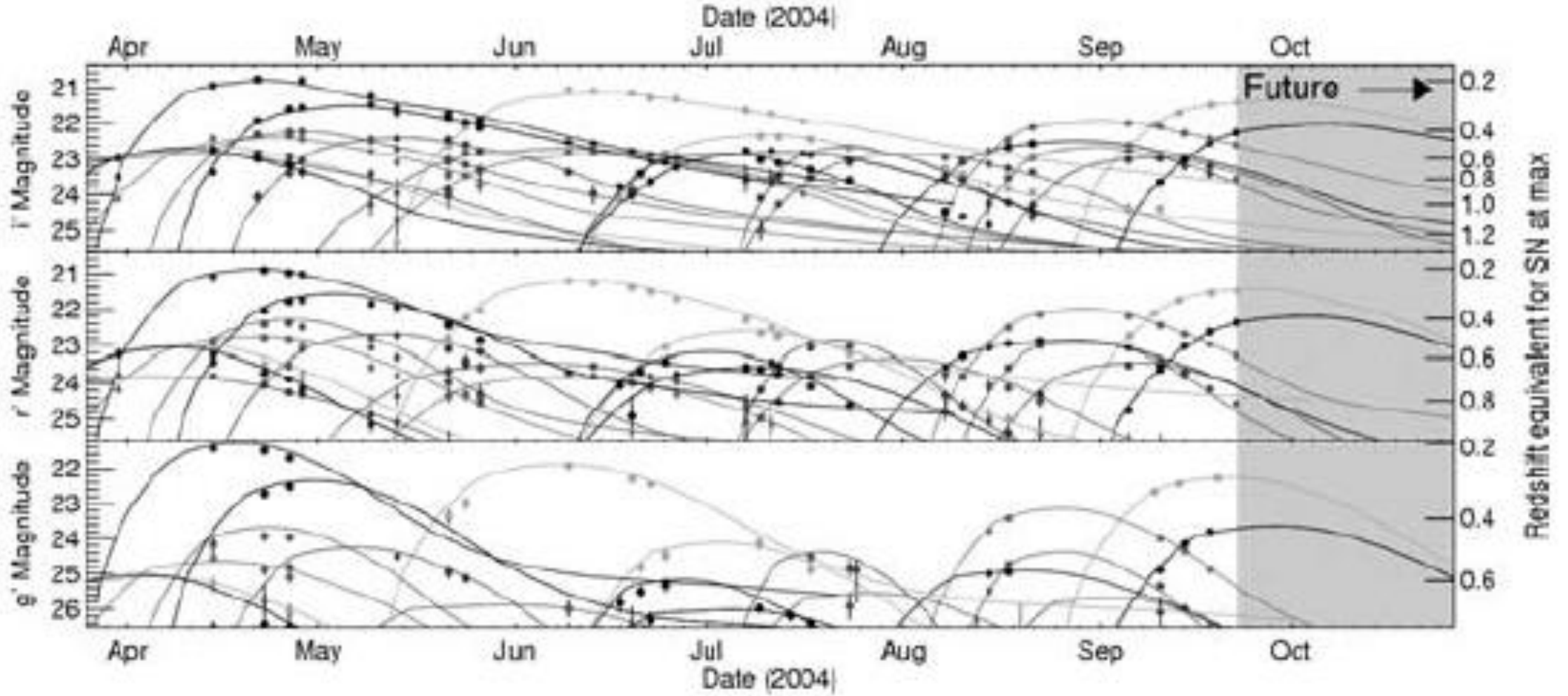
- 1980'li yıllarda süpernovalar konusuna ilgi daha da artmıştır. Bunun temel nedeni, yaygın olarak kullanılabilen CCD'lerin ortaya çıkması ve kısmen de SN 1987A'nın çevresine ilişkin heyecan verici görüntülerin elde edilmiş olmasıdır.
- Bununla birlikte Tip (Ia) süpernovalarının pik ışınım güçlerinin çok düzgün bir şekilde olduğu görülmeye başlanmış ve bu cisimlerin standart parlaklık göstergesi olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. CCD'lerin yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanması ile süpernovaların çok uzaklarda gerçekleşmeleri durumunda bile keşfedilebilmesi ve gözlenebilmesine mümkün hale gelmiştir.
- Bir galaksiye ait CCD görüntüsü ile daha önce alınmış görüntüleri karşılaştırmak da çok kolay hale gelmiştir. Yeni keşfedilen bir süpernova olduğunda daha büyük boyutlu teleskoplar kullanılarak bu cisimlerin tayfsal gözlemleri yapılmakta ve cisimlerin gerçek doğası artık kolaylıkla belirlenebilmektedir. Amatör astronomlar tarafından gerçekleştirilen bu tür gözlemler sayesinde; örneğin Tim Puckett (ABD) ve arkadaşları 2005 yılı itibariyle 109 adet süpernova keşfetmişlerdir.

- Fakat yakın zamanımızda en dikkate değer süpernova keşfi, CCD kamerasına sahip otomatik bir teleskop kullanılarak değil, görsel gözlem yapan Avusturalyalı Robert Evans tarafından gerçekleştirilmiştir. Kendisi küçük boyutlu teleskobu ile yüzlerce galaksiyi incelemiş ve yaklaşık iki düzine kadar süpernova keşfetmiştir.
- Son zamanlarda süpernova keşfi ve gözlemleri üç farklı uzaklık aralığında yapılmaktadır. Bunlardan birincisi HST'nin anahtar projelerinden biri olan evrenin uzaklık ölçeğinin belirlenmesine yönelik gözlemlerdir. Göreli olarak daha yakın galaksilerin uzaklıkları Cepheid ve diğer tür yıldız standart kaynaklar kullanılarak elde edilir. Çok daha büyük uzaklıklarda bulunan galaksilerin uzaklıkları ise ancak süpernova gözlemleri kullanılarak yapılabilmektedir.
- Yakın galaksilerde bulunan süpernovaların keşfi ve o galaksilerin uzaklıklarının farklı yöntemlerle belirlenerek (Cepheid'lerin kullanılması ile) süpernovaların pik mutlak parlaklıklarının kalibrasyonu önemini artırmıştır.
- Çok daha uzakta olan galaksilerin dikine hız gözlemleri ile birlikte değerlendirildiğinde, Hubble sabitini hesaplamak mümkündür. 1990'lı yıllarda HST gözlemleri sayesinde Hubble sabiti %10 luk bir duyarlılıkla **73 km/sn/Mpc** olarak hesaplanmıştır.

- Üçüncü adım, çok daha uzakta bulunan süpernovaların keşfi ve gözlemlerinin yapılmasına yöneliktir. Evrenimizin genişleme hızı, galaksilerin birbirleri ile çekimsel olarak etkileşimi nedeniyle azalması gerektiği düşünülmekteydi. Bu düşünce, uzayın en derin noktalarındaki cisimlerin gözlenmesi ile yani zamanda geriye gidilerek ölçülebilir bir olaydır. Bu amaçla HST ile yer tabanlı en büyük boyutlu teleskoplar kullanılarak en uzakta bulunan süpernovaların gözlemleri yapılmıştır.
- Astronomlar, Tip Ia süpernovalarının pik parlaklıklarındaki küçük farklılıkların, ışık eğrilerinin biçimleri ile korelasyona sahip olduğunu keşfetmişlerdir. Bu sayede birkaç haftalık ışık eğrisi gözlemi ile cisimlerin pik parlaklıkları hesaplanabilir veya tahmin edilebilir olmuştur. Ardından kalibrasyonlardan cismin mutlak parlaklığı elde edilebilmekte ve buradan cismin uzaklığı, parlaklığın ters kare yasasına uygun olarak değiştiği dikkate alınarak hesaplanabilmektedir.
- **Tip Ia** süpernovaları artık temel “standart ışık kaynağı” olarak dikkate alınmaktadır – bu amaçla cismin parlaklığı da dikkate alınarak “*şekil bozulması*” düzeltilmekte ve cismin pik parlaklığı hesaplanabilmektedir.

- İşlem çok kolay değildir. Bu tür süpernovalar çok uzak, sönük, ender rastlanan ve geçici olaylardır. Süpernovaların keşfedilebilmesi amacıyla mevcut en büyük boyutlu teleskoplar ile birlikte geniş alan detektörleri kullanılır. Böylesine gözlemler için çok fazla gözlem zamanına ihtiyaç duyulur. Süpernova keşfinin gerçekleşmesinden sonra da normal gözlemlere devam edilerek ışık eğrisinin (fotometrik olarak) elde edilmesi ve ardından cismin sınıflandırılması (tayfsal olarak) gerekmektedir.
- *High-Redshift Supernova Project* (Schmidt et al. 1998) ve *Supernova Cosmology Project* (Perlmutter et al., 1998) gibi iki araştırma projesi sayesinde elde edilen önemli bir sonuç, **evrenimizin genişlemesinin yavaşlamadığı, aksine ivmelenerek arttığı olmuştur**. Böylesine bir olayın gerçekleşebilmesi için galaksiler arasındaki uzaklıkla orantılı olarak, evrenin genişlemesine neden olan itici bir kuvvetin bulunması gerekmektedir. Teorik fizikçilere göre böylesine bir olay için birkaç olasılık bulunur. Bu olasılıklar, Einstein'in klasik kozmolojik sabitinden, yeni-dünyalar teorisini içeren paralel evrenlerin bulunması olasılığına kadar uzanır.

- Çok uzakta bulunan yeni süpernovaların keşfi ve gözlemleri ile buna cevap bulmak mümkündür – kuşkusuz böylesine gözlemler yeni soruları da beraberinde getirecektir. Evrenimizin ivmelenmesine neden olan karanlık enerjinin anlaşılması, günümüz kozmolojik çalışmaların en sıcak konularından biri haline gelmiştir.
- Böylesine araştırmalar için artık süpernovaların pik mutlak parlaklıklarının kalibre edilerek uzaklık belirlenmesine gerek yoktur. Bunun için belirli tipteki bir süpernovanın (genellikle Tip Ia) *görünür* parlaklığının pik değerinin, küçük ve büyük kırmızıya kayma değerleri ile karşılaştırmak yeterlidir.
- Evrenimizin ivmelenecek genişlemesini daha iyi anlayabilmemiz için günümüzde süpernova taramaları çok daha sönük ve dolayısıyla çok daha uzaktaki süpernovaların keşfedilmesine doğru genişletilmiştir. Bu tür çalışmalardan en önemlilerinden biri Kanada-Fransa-Hawaii Kalıntı Taramasıdır ve yaklaşık olarak 700 adet uzak süpernova keşfi yapılmıştır (Şekil 7.16). Benzer daha küçük ölçekli bir tarama ise ESSENCE olarak adlandırılmıştır, bu şekilde adlandırılmasının temel nedeni olası “karanlık enerji” dir.



- **Şekil 7.16.** CFHT Süpernova Legacy Survey tarafından keşfedilmiş, *gri* fotometrik sistemdeki çok sayıda süpernovanın ışık eğrisi bulunmaktadır. Gözlemlerin yapıldığı alanlar düzenli olarak takip edilmekte ve bu sayede tam ışık eğrileri elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu tür gözlemler ile süpernovaların sınıflandırılması yapılabilmekte ve maksimumdaki görünür parlaklıkları elde edilebilmektedir. Fotometrik olarak süpernova keşfedildikten sonra tayfsal gözlemleri yapılmakta ve sınıflandırılması tamamlanmaktadır. (Mark Sullivan ve Supernova Legacy Survey.)

7.3.2 PARLAKLIK DEĞİŞİMİ

- Süpernovaların ışık eğrileri genel olarak hızlı parlaklık artışı, eğrisel bir maksimum ve az veya çok doğrusal yapıya sahip parlaklık azalması ile karakterize edilir.
- Işık eğrilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi sayesinde süpernovalar Tip I ve Tip II olarak iki ayrı gruba ayrılmıştır. Özellikle Tip I türü süpernovaların ışık eğrilerinin birbirine çok benzer olduğu ortaya çıkmıştır.
- Bu sayede eğer bir süpernovanın tipi belirlenebilirse, parça parça gerçekleştirilmiş gözlemler dikkate alınarak standart bir ışık eğrisi fiyapılabilmektedir. Bu durum özellikle bir süpernovanın maksimum parlaklığa ulaştıktan sonraki evrede keşfedilmiş olması durumunda oldukça kullanışlıdır. Bu sayede gözlemcinin amaçlamış olduğu maksimum parlaklık değerini hesaplamak mümkün hale gelmiştir.

- Birkaç süpernovaya ait ışık eğrisinin her iki türe de uyduğu görülmüştür. Zwicky bu tür cisimleri Tip III, IV ve V olarak sınıflandırmıştır. Fakat bu türlerin temelde fiziksel bir anlamı olup olmadığı pek açık değildir.
- Tip V olarak belirtilen SN 1961V'nin muhtemelen η Carinae türü yüksek ışınım güçlü mavi değişen olduğu ve Tip III ile IV ün ise muhtemelen peküler Tip II süpernovası olduğu düşünülmektedir. Bu türler artık **Tip IIn** olarak gösterilmektedir, “n (narrow)” sembolü hidrojen salma çizgisinin dar olduğunu göstermek amacıyla kullanılır.
- Süpernova olarak patlayabilecek yıldızların olası özelliklerinin çok geniş bir aralığa dağılıyor olması, bu tür cisimlerin de çok farklı özelliklere sahip ışık eğrilerine sahip olabileceğini gösterir.

- Başlangıçta, Tip I süpernovalarının “hızlı” ve “yavaş” olarak iki alt grupta toplanabileceği ve bu ayrımın yıldızların alt popülasyon türlerini temsil edebileceği düşünülmüştür. Tip II süpernovalarının ışık eğrilerinde parlaklığın azaldığı bölgede düzlüğün (plato) bulunması veya bulunmamasına göre de böylesine bir ayrımın yapılabileceği düşünülmüştür. Bununla birlikte özellikle alt türlerin popülasyon farklılığından kaynaklanabileceği düşüncesi için kesin bir yargıda bulunabilmek çok zordur. Gerçek anlamda bir sınıflandırma yapabilmek için tayfsal gözlemlere ihtiyaç duyulur.
- Parlaklıktaki doğrusal azalma, parlaklık kavramının logaritmik ölçekte olduğu dikkate alındığında, ışınım gücünün üstel olarak azaldığı anlamına gelir, $(L \sim L(0)e^{-t/\tau})$, burada τ üstel değişimin zaman aralığı olarak bilinir ve $\tau = 1.443t_{1/2}$ ile gösterilir. $t_{1/2}$ ise *yarılanma süresi*'ni gösterir).
- Tip II süpernovaları için bu zaman 100-200 gün arasındadır. Astronomlar bir dönem maksimum parlaklıktan sonraki uzun bir zaman aralığı için süpernova parlaklığının radyoaktif izotopların bozunması nedeniyle üstel olarak azaldığını düşünmüşlerdir. SN1987A'nın tayfsal gözlemleri bu düşüncenin doğru olduğunu bize göstermiştir.

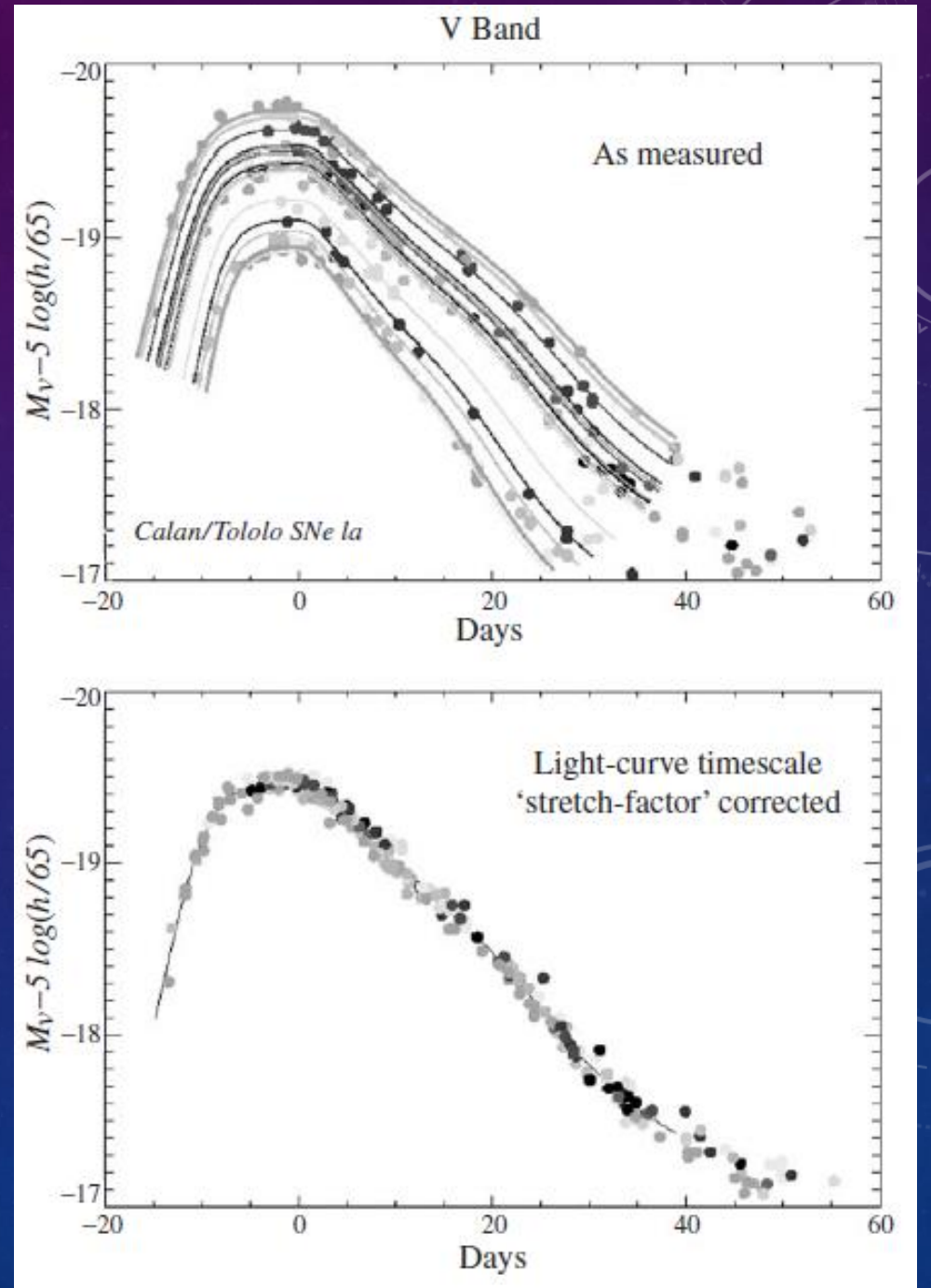
- Süpernovaların renklerindeki değişim de çok karmaşıktır. Maksimum parlaklıkta iken süpernovalar normal B veya A türü süperdev yıldızlarına çok benzerler ve (B-V) renkleri yaklaşık olarak -0.2 ile 0.0 arasında değişir. Doğal olarak bir miktar yıldızlararası kızarmayı içeren değerler ile karşılaşılr.
- Maksimum parlaklıktan sonra süpernova tayfı salma çizgilerinin üst üste binmesi nedeniyle son derece karmaşık bir yapıya dönüşür ve renkleri de önemli düzeyde değişir. Farklı tipdeki süpernovalar için farklı türden salma çizgileri görülür. Bununla birlikte süpernovanın gözlenen rengi ile öz renginin bilinmesi de önemlidir çünkü tozun neden olduğu kızarma, soğurma veya parlaklık azalmasını önemli bir şekilde etkiler.
- Yıldızlararası kızarma miktarları, özellikle süpernovanın uzaklığının belirlenmesinde kullanılması gereken bir parametredir. Ve eğer süpernova gerçekten çok uzakta olan bir cisim ise, bu durumda tayfları kozmolojik kırmızıya kayma nedeniyle de ayrıca kızarmaya uğrayacağından, cismin gerçek rengi değişir.

7.3.3 MAKSİMUMDA MUTLAK PARLAKLIK

- Belki de süpernovaların en önemli parametrelerden biri ışık eğrilerinde maksimumuna karşılık gelen parlaklıklarıdır. Aynı tip süpernovaların maksimumdaki mutlak parlaklıkları kabaca aynıdır. Bu nedenle maksimum parlaklık değerleri bilindiğinde, gözlenen parlaklık değerleri ile birlikte dikkate alınarak o cisimlerin uzaklıklarını hesaplamak mümkündür.
- Mutlak parlaklıklarının kalibrasyonu, görelî olarak daha yakın olan ve uzaklıkları farklı yöntemlerle belirlenmiş galaksilerde olan süpernovalar kullanılır. Diğer bazı süpernovalar için ise gözlenen özellikleri (ışık eğrisi de buna dahildir) ile teorik modellerin karşılaştırılması sonucu böylesine bilgiye ulaşılır.
- Bu yöntemlerden biri *genişleyen fotosfer yöntemi* dir ve birkaç düzine süpernova için uygulanabilmiştir. Tayfsal gözlemler, patlama sonucunda atılan maddenin genişleme hızının lineer birimlerde belirlenebilmesini sağlar. En azından iki farklı zamanda gözlenmiş olan akı ve sıcaklık (renkten) değerlerinden açısal birimlerde atılan maddenin genişleme hızını hesaplamak mümkündür. Elde edilen bu parametrelerin oranı, bize cismin uzaklığının hesaplanabilmesini sağlar.

- Çok daha uzak galaksilerde bulunan süpernovaların uzaklıkları ise Hubble bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Bu bağıntı, galaksi dışı cisimler için D uzaklığının, genişleme hızı olan V terimine, $D=V/H$ şeklinde bağlıdır. Uzaklıklar mega-parsek biriminde, hız ise km/sn biriminde olduğundan H sabiti km/sn/Mpc birimine sahiptir.
- H sabiti yaklaşık olarak 73 ± 4 km/sn/Mpc olarak HST'un anahtar projelerinden biriyle hesaplanmıştır. (Teknik olarak bu terim H_0 biçiminde gösterilmelidir, çünkü bu değer H 'ın şu andaki değerini bize göstermektedir ve H sabiti zamana bağlı olarak değişmektedir.) Tip Ia süpernovaları için B bandı maksimum mutlak parlaklıkları -19.3 ± 0.1 olarak hesaplanmıştır.
- Maksimum mutlak parlaklık değerleri bir miktar saçılmaya sahiptir, fakat yukarıda da bahsedildiği gibi bu durum ışık eğrisinin biçimi ile, özellikle maksimumdan sonraki parlaklık değişimi korelasyon halindedir (Şekil 7.17). Bu nedenle pik bölgedeki mutlak parlaklıkları gerçekte 0.17 kadir ölçüsünde bir hatayla belirlenebilmektedir. Bu düzeydeki hataya ilaveten cisim ile aramızda bulunan tozun neden olduğu kızarma dikkate alındığında hata boyutu 0.11 kadir kadar olabilmektedir.
- Süpernovaların “duyarlı kozmolojik uzaklık” ölçümlerinde kullanılabilmesi için mutlak parlaklıklarının mümkün olduğu ölçüde doğru olarak hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca süpernovaya neden olan cismin özellikleri ve çevresine ilişkin bilgiler de bilinmelidir.

- **Şekil 7.17.** Tip Ia süpernovalarının (üst şekil) ışık eğrisi gözlemleri. Işık eğrileri “bozulma faktörü” dikkate alınarak düzeltildiğinde (alt şekil) neredeyse birbirleri ile özdeş yapıya dönüşmektedir. Süpernovalara ilişkin bu tür gözlemler cisimlerin uzaklıklarını belirlemede kullanılmaktadır. (Saul Perlmutter ve Supernova Cosmology Project.)



7.3.4 SIKLIK VE DAĞILIMLARI

- 1980'li yıllara kadar yaklaşık olarak 500 tane süpernova keşfedilmiş olmasına karşın bunlardan sadece dörtte birinin tipi belirlenebilmiştir. Türü belirlenmiş olan bu süpernovalar, farklı tür ve ışınımgücüne sahip galaksiler için, yıl başına gerçekleşen süpernova istatistiğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu tür istatistiksel incelemeler aynı zamanda çeşitli problemleri de beraberinde getirir.
- Böylesine araştırmalarda her türden galaksinin araştırıldığını ve meydana gelen süpernova olaylarından hiçbirinin gözden kaçmadığı kabul edilir ki böylesine bir düşünce, özellikle galaksiye kenar kısımdan bakılıyor olması durumunda hatalıdır. Bununla birlikte eğer süpernovanın arka planında bir galaksinin parlak merkezi bölgesi bulunuyorsa bu durumda onun gözden kaçması veya fark edilmemesi de mümkündür.

- Bergh ve Tammann (1991) tarafından ulaşılan sonuçlar;
 - Yüz yıl başına $10^{10} L_{\odot}$ ışınımgücüne sahip bir adet süpernovanın ortaya çıktığı olmuştur.
 - Bununla birlikte Tip Ia süpernovasının her türden galakside görülebildiğini fakat genel olarak spiral ve düzensiz galaksilerde daha çok oldukları ortaya çıkmıştır.
 - Tip II süpernovalarının ise sadece spiral ve düzensiz galaksilerde mevcut olduğu belirlenmiştir.
- Bu son grup galaksilerin özellikle gaz bakımından çok zengin oldukları bilinmektedir. Bu sonuç, genel olarak Tip Ia süpernovalarının yaşlı popülasyon yıldızlarının bulunduğu ortamlarda ortaya çıktığını, Tip II süpernovalarının ise daha büyük kütleli genç yıldızların bulunduğu ortamlarda ortaya çıktığı düşüncesi ile uyumludur.
- Yeni yapılmış çalışmalarda Tip Ia süpernovalarının iki farklı popülasyona sahip olabileceği belirlenmiştir; ilki galaksinin toplam kütlesi ile ilişkilidir, ikincisi ise yıldız oluşum oranları ile ilgilidir.
- 2005 yılı itibariyle toplam 3348 adet süpernova keşfedilmiş ve kataloglara geçmiştir.

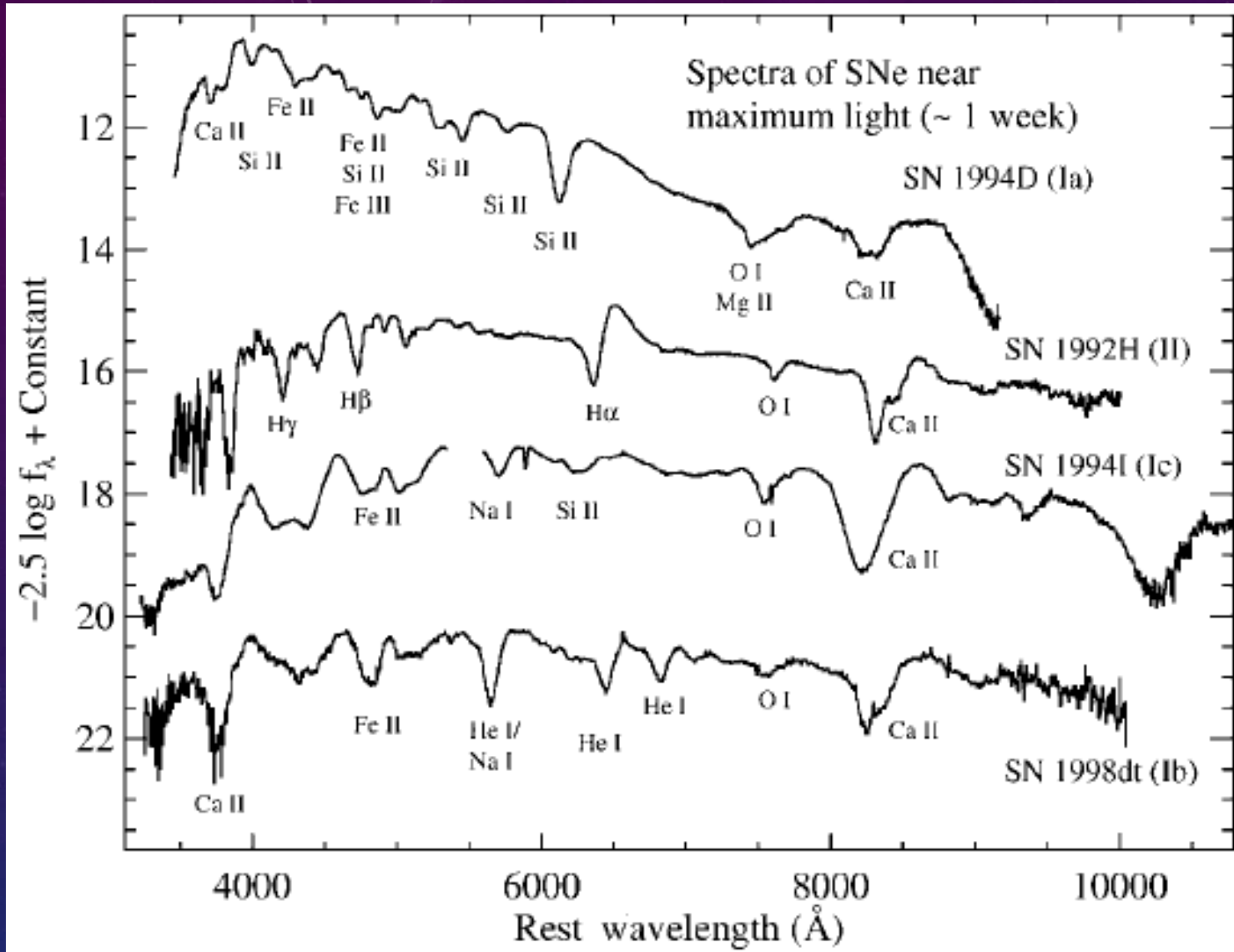
- Kendi galaksimiz için süpernova oluşum sıklığını belirlemek için kullanılan yöntemler:
 - (i) kendi galaksimize benzer başka galaksilerin gözlemini yaparak;
 - (ii) kayıtların tutulduğu zamandan günümüze kadar kendi galaksimizde gözlenmiş süpernovaların araştırılması (bunun için uzakta bulunan ve/veya toz nedeniyle görülmesi engellenmiş olanlar veya güneyde olması ve gündüz gerçekleşmesi gibi nedenlerden dolayı görülememesine ilişkin bir düzeltme yaparak) ile;
 - (iii) galaksimizde bulunan süpernova artıklarının sayısı ve yaşlarının hesaplanması yöntemini kullanarak;
 - (iv) galaksimizde mevcut atarcaların sayısı ve yaşlarının dikkate alınması ile yapılabilir.
- Bu yöntemler dikkate alındığında yüzyıl başına sırasıyla 2-14, 2.2 ± 1.3 , 1.3-5 ve 10 gibi sonuçlara ulaşılmıştır. Hangi yöntem dikkate alınırsa alınsın galaksimiz için görsel gözlemlerden elde edilen değerlerden çok daha fazla süpernovanın gerçekleştiğini söyleyebiliriz.
- Son zamanlarda kullanılmaya başlanan X-ışın teleskoplarının galaksimizde bulunan sıcak süpernova artıklarının keşfedilmesinde önemli ölçüde katkısı olmuştur.

7.3.5 TAYFSAL ÖZELLİKLERİ

- Bir süpernova tayfı, birkaç bin km/sn hızla genişlemekte olan yıldızların fotosferik tayflarına benzer özelliklere sahiptir.
- Süpernova tayfları konusundaki bilgimiz çok büyük teleskoplarda kullanılan duyarlı dedektörler ve güçlü tayf çekerlerin gelişmesi sayesinde önemli düzeyde artmıştır. Süpernovaların tayflarından iki temel bilgiye ulaşılır: tayfsal süreklilikten ışınımında bulunan katmanların sıcaklığının belirlenmesi ve çizgi tayflarının incelenmesi ile de sıcaklık, kimyasal bileşim, hız ve eksitasyon düzeyinin ortaya çıkarılmasıdır.
- Bu tür cisimler için sıcaklık değerleri kaba da olsa fotometrik renklerden de elde edilebilir – en azından Tip II süpernovaları için maksimum parlaklığa sahip olduklarında sıcaklıkların 12000-20000 K civarında olduğu ve daha sonra ise 6000-7000 K değerlerine doğru küçüldüğü belirlenmiştir.

- Tayfsal gözlemlerden, temel olarak hidrojen zengin (Tip II) ve hidrojen fakir (Tip I) iki tür süpernovanın bulunduğu görülür.
 - Tip I süpernova tayfları için alt sınıf olarak Si II $\lambda 6355$ soğurma çizgisinin (Tip Ia) baskın olmasına, ya da He çizgilerinin baskın olmasına, fakat Si II soğurma çizgisinin baskın olmamasına (Tip Ib), veya her iki koşulunda sağlanmadığı (Tip Ic) durumuna göre yapılır. (Tip II süpernovaları ayrıca göstermiş oldukları ışık eğrilerinin yapılarına göre de sınıflandırılır.)
 - Tayfsal gözlemlerden, patlayan yıldızın kimyasal bileşimine ilişkin bilgilere de ulaşılır: Tip Ib ve Ic de tayfta patlamadan önce hidrojen zengin zarfların bulunduğu; Tip Ic lerin patlamadan hemen sonra helyumca zengin bölgelerini büyük oranda kaybettiği görülmüştür.

- Tip II süpernovalarına ilişkin çizgi tayfları oldukça iyi düzeyde anlaşılabilmiştir. H, He I, C III ve Fe II salma çizgileri ile birlikte Ca II, Na I, Mg I ve daha önce bahsi geçen elementlere ilişkin soğurma çizgileri tayflarında bulunur. Bu çizgiler *P Cygni profili* yapısında değişim gösterirler: geniş salma çizgisi üzerine binmiş kısa dalgaboyuna Doppler kayması gösteren soğurma çizgisi şeklindedir. Genişleme hızlarının 10000 km/sn değerlerine kadar ulaştığı hesaplanmıştır.
- Tip I süpernovalarında gözlenen çizgi tayfları oldukça karmaşıktır. Si, Ca ve Fe (Tip Ia da) gibi ve Ca, Na, He ve Fe (Tip Ib de) gibi elementler “erken” tayfta görülürken, Fe, Ni ve Co gibi elementler “geç” tayfta görülmektedir – fakat hidrojene ilişkin tayf görülmemektedir! Fotosferin üzerinde bulunan materyalin toplam kütlesi 0.30-0.6 güneş kütlesi kadardır.
- Şekil 7.18’de Tip I ve II süpernovalarının tayfları bulunmaktadır.



- **Şekil 7.18.** Tip Ia, Ib, Ic ve II süpernovalarına ilişkin maksimum parlaklığa yakın evrelerde alınmış tayfları. Tayfta soğurma çizgilerine neden olan elementlerin hangileri olduğu gösterilmiştir. Tip I süpernovalarında hidrojenin bulunmadığına dikkat ediniz. (A. Filippenko ve T. Matheson)

- Fotometrik ve tayfsal gözlemlere dayanarak bir süpernova olayının “resmini” oluşturmak mümkündür. Patlama nedeniyle materyal yıldızdan 10000 km/sn ölçüsünde hızlarla uzaklaşmaktadır. Fotosfer katmanı, gazın yeterince geçirgen hale geldiği ve fotonların rahatlıkla kaçabileceği şekilde yarıçapı güneş yarıçapının 50000 katına kadar ulaşır ki bu bilgi maksimum parlaklığa sahip olduğu andaki ışınımgücü ve sıcaklık değerlerinden belirlenmiştir.
- Ortaya konan bu görüntü oldukça basitleştirilmiştir. Süpernova olayının küresel simetrik bir yapıya sahip olması beklenmemektedir: orijinal yıldızın dönüyor olması, manyetik alana sahip olması ve hatta bir çift yıldızın bileşeni olması gibi nedenlerden dolayı bu tür bir çıkarımda bulunmak mümkündür. Bununla birlikte patlamanın kendisi de simetrik yapıda gerçekleşmeyebilir.
- 1987A süpernovası Şubat 1987 tarihinde keşfedilmiştir ve son 400 yıl içerisinde Dünya’dan çıplak gözle görülebilen en parlak süpernova olmuştur! Bu olay uzayda mevcut UV ve X-ışın teleskopları ve yer yüzeyinden gözlem yapabileceğimiz elektronik dedektörlere sahip büyük boyutlu teleskoplarının gelişmesinden sonra gerçekleşen en önemli olaylardan biri olmuştur. Bu nedenle diğer süpernovalara göre oldukça ayrıntılı bir inceleme yapılabilmektedir.

7.3.6 PATLAMA MEKANİZMASI

- Süpernova patlamasına neden olan olayın nedir?
 - Tip II süpernovalarının, çekirdeğinde nükleer enerji üretimini tamamlamış büyük kütleli yıldızların çökmesidir.
 - Tip Ia süpernovalarında ise genel olarak bileşeninden madde kazanan cismin Chandrasekhar sınırını aşması sonucu çöken beyaz cüce türü sistemlerde ortaya çıktığını düşünmekteyiz.
- Madde yığılması sonucu Chandrasekhar sınırına ulaşıldığında, sıcaklık, karbon elementinin termonükleer füzyon oluşturması için yeterince yüksek bir noktaya ulaşır. Ortaya çıkan patlama yıldızın parçalanmasına neden olur. Fakat bu bilgiye ulaşabilmek oldukça uzun zaman almıştır.

- Patlama sonucunda, çoğunluğu genişleyen materyalin kinetik enerjisi ve süpernova çekirdeğindeki çökme sonucu salınan nötrinoların neden olduğu yaklaşık 10^{51} erg düzeyinde bir enerji uzaya salınır. Salınan bu enerjinin sadece küçük bir kısmı görünür bölgeye düşer.

- Salınan toplam enerji miktarını;

- Güneş benzeri bir yıldızın toplam nükleer enerjisi (10^{52} erg) ile
- Bir güneş kütleindeki anakol yıldızının çekimsel bağlanma enerjisi (10^{49} erg) ile
- Bir beyaz cücenin (10^{51} erg) ve
- Bir nötron yıldızının (10^{54} erg)

sahip olduğu enerjileri ile karşılaştırabiliriz.

- Buradan anlaşılacağı üzere, nötron yıldızı gibi bir cismin çekimsel olarak çökmesi sonucu bir süpernova patlamasında ortaya çıkan enerjiden daha fazlası üretilebilmektedir. Ayrıca böylesine bir olayın birkaç saniye gibi bir zaman ölçeğinde gerçekleşmesi gerekir. Bir süpernova patlamasını, süpernova öncesi bir yıldızın merkezine yerleştirilmiş 10^{54} erg enerjiye sahip bir çekimsel “bomba” olarak bakabiliriz.

- Yıldızlar normal olarak merkezi bölgelerinde gerçekleşen termonükleer reaksiyonları dengeleyebildikleri için kendi üzerlerine çökmezler. Yıldızın büzülmesi, sıcaklık ve yoğunluğun artmasına; termonükleer reaksiyonların daha hızlı gerçekleşmesine neden olurken, daha yüksek ısısal basıncın da ortaya çıkmasına ve yıldızın tekrar genişlemesine yol açar. Yıldızlar bu dengeyi sağlayacak termonükleer reaksiyonlara sahip olmadıkları durumda büzülmeye, kendi içine çökmeye başlar. Böylesi sonuçlar, büyük kütleli yıldızların yaşamlarının sonlarına doğru, termonükleer yakıtlarını bitirdiklerinde ortaya çıkabilmektedir.
- Yıldızların büyük çoğunluğu (Güneş'e benzer şekilde) kademeli bir şekilde büzülme gösterirler. Yaşamları boyunca bu kademeli değişim inert materyalden oluşan ve *dejenere* madde adını verdiğimiz yoğun bir çekirdeğin oluşmasına neden olur. Bu çekirdek kendisini, ısısal basınç nedeniyle değil, birbirlerine çok yakın olan elektronlar arasındaki içsel kuantum itmesi sonucunda ayakta tutar.
- Eğer yoğun olan bu çekirdeğin kütlesi 1.44 güneş kütesinden (Chandrasekhar sınırı olarak adlandırılır) büyük hale gelirse, bu durumda elektronların birbirlerini itme kuvveti, çekimsel büzülmeyle dengede tutamayacak hale gelir. Elektronlar bu aşamada çekirdekler ile tekrar birleşme yönünde zorlanırlar ki bu sürece *ters beta bozunması* adı verilir. Enerji ve basınç ortadan kalkar. Çökme oldukça yıkıcı bir hale gelir ve bu olay yıldızın nükleer yoğunluğunu (10^{14} gr/cm³) olana kadar devam etmesini sağlar. Cisim artık bir *nötron yıldızı*dır.

- Böylesine bir süreçte çekirdek kendi içine doğru çökerken yıldızın dış katmanları dışarıya doğru atılabilir. Bu süreci modellemek oldukça zordur. Mevcut modellerde bu tür bir olayın çekirdek çökerken bir şok dalgasının ortaya çıkması veya nötrino patlaması sonucunda dış katmanların atılması ile veya çekirdeğin dış kısmında bulunan bir katmanda termonükleer yanmanın başlaması ile ortaya çıkacağı düşünülmektedir.
- Muhtemelen bu tür bir süreç Tip II süpernovalarında gerçekleşen bir olaydır. Kütleleri 10-25 güneş ölçüsünde olan yıldızların yaşamları bu şekilde son bulmakta ve evrimleri sonunda nötron yıldızı çekirdeği ile onu saran ve yıldızın orijinal kütlelerinin büyük kısmını içeren genişlemekte olan bir zarfın ortaya çıktığı düşünülmektedir.
- 25 güneş kütlelerinden daha büyük kütleli yıldızlarda ise sonuç ürün, muhtemelen bir karadelik olmaktadır. Fakat buna rağmen bazı yıldızlar için böylesine bir sona ulaşmadan, karadelik yerine nötron yıldızı oluşması mümkündür. Çok büyük kütleli yıldızların gerçek sonları, onların dönme hızları ile ilgili ayrıntılara bağlı olabilir.

- Görüntü olarak normal kırmızı bir süperdev (Betelgeuse! gibi) yıldızının çekirdeğinde aniden 10^{51} erg kadar bir enerjinin salındığını düşünebiliriz. Ortaya çıkacak şok dalgaları, yıldızın yüzey katmanlarının dışarıya doğru 10000 km/sn hızla atılmasına yol açar. Böylesine bir süreç sonucunda bir süpernova artığı ortaya çıkar, merkezde ise bir nötron yıldızı bulunur.
- 1987A süpernovasına ait eski görüntülerden, süpernova öncesi cismin özellikle çok büyük kütleye sahip olduğu zamanlarda henüz son çökme evresine girmeden önce yıldız rüzgârları nedeniyle dış katmanlarındaki materyalini attığı belirlenmiştir.
- Yakın zamana kadar Tip I süpernovalarının asıl kaynağı çok net olarak bilinmiyordu. Çözüm olarak ...Tip I süpernovalarının tekil yıldızlardan ortaya çıkamayacakları düşünülmüştür; beyaz cüce bileşene sahip yakın çift yıldız sistemlerinde gerçekleşen süpernovalardır. Bazı durumlarda ise iki adet beyaz cüce'nin birbirleri ile gerçek anlamda iç içe geçmesi sonucunda Chandrasekhar sınırının üzerinde bir kütleye ulaşan tek cisimler haline gelebilecekleri düşünülmektedir.

- Daha yaygın olan bir düşünce ise normal bileşene sahip bir yıldızdan beyaz cüce bileşene aktarılan kütle sonucu cismin Chandrasekhar sınırı üzerinde bir kütleye sahip olabileceği yönündedir. Eğer bu aşamada bir yanma meydana gelirse, yıldızın iç kısmının yarısı nikel-56 elementine dönüşür. Yanma dalga şeklinde dışarıya doğru yolculuk ederken başka hafif elementlerin oluşmasına yol açar ve sonuç olarak yıldızın patlaması mümkündür.
- Patlamadan sonraki birkaç hafta boyunca alınan tayflardan, astronomlar nükleer yanmanın farklı katmanlarda gerçekleştiğine dair izlere ulaşmışlardır. Nikel-56, görsel anlamda farklı türlerde varlığı anlaşılabilen delilleri bize sunar: önce kobalt-56 ya bozunur ve ardından demir-56 ya dönüşür ki bu süreçte yıldızın ışınımı radyoaktif bozunma ile desteklenir.
- Daha önce de bahsedildiği gibi bazı süpernovalarda ışık eğrisinin bu nedenden dolayı parlaklığının daha da arttığını biliyoruz. SN1987A'nın tayfsal gözlemleri bize böylesine bir olayın gerçekleştiğini doğrudan gösteren bir örnek olmuştur. İlginç olan durum ise süpernova olayında – yıldız astrofizikinin en yüksek enerjili sürecini içermesi ve değişen yıldız astronomisinde görülebilen en olağanüstü durumun bulunmasına karşı – görüntü olarak nükleer düzeyde bir olayın buna yol açıyor olmasıdır!

- Tip II süpernovaları ayrıca yakın çift yıldızların astrofizikteki önemini daha da önemli hale getirmektedir. Bununla birlikte ayrıca süpernovalar ile kataklizmik değişen yıldızlar arasında önemli bir bağıntıyı da bize gösteren sistemlerdir.
- Ortaya konan bu resim oldukça basitleştirilmiştir. Yıldızlar çok farklı koşullara sahip ortamlarda patlayabilecekleri gibi, çok farklı özelliklere sahip bileşenlere ve çok farklı evrimsel geçmişlere sahip olarak da patlayabilirler. Örneğin, Tip Ib ile Ic süpernovaları, sırasıyla daha önce hidrojen zengin kabuğunu ve helyumca zengin kabuğunu kaybetmiş yıldızlardan ortaya çıktıklarına inanılmaktadır.

7.3.7 SÜPERNOVA ARTIKLARI (SNR)

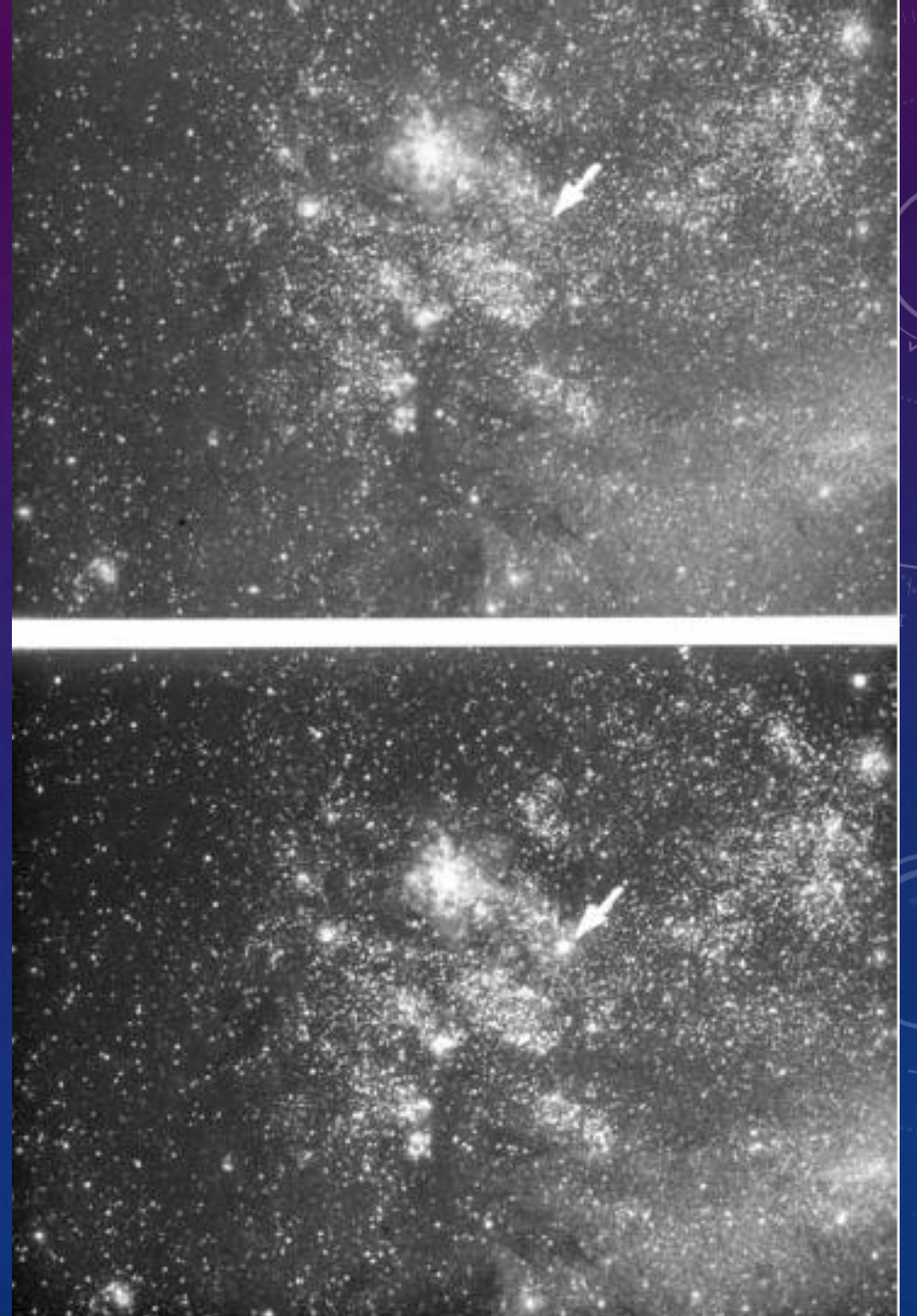
- Süpernova artıkları (SNR'ler) ne yıldız, ne de değişen yıldızdır. Fakat süpernovalar gibi en ekstrem değişen yıldızlar tarafından oluşturulan cisimlerdir. SNR'ler süpernovalar tarafından atılan materyalden oluşan genişleyen kabuk yapılarıdır.
- En ünlülerinden biri Crab Bulutsusudur ve 1054 yılında patlayan bir süpernovanın artığıdır. Küçük bir teleskopla bile görülebilir. Messier kataloğunda ilk sırada (#1) yer almaktadır. Diğer SNR'ler optik olarak çok belirgin değildir. Buna karşın çoğu SNR, aynı zamanda güçlü radyo ışınımında bulunur. Crab Bulutsusu, radyo kaynağı olarak Taurus A şeklinde adlandırılır. Bunun anlamı, cismin bulunduğu takımyıldızdaki en parlak radyo kaynağı olduğudur.
- Cassiopeia A ise güneşten sonra gökyüzünün en parlak radyo kaynağıdır. Genişleme hızı dikkate alındığında bu cismin 1667 yılları civarında patlayan bir süpernova artığı olduğu hesaplanmıştır. Fakat tarihi kayıtlarda bu süpernova bulunamamıştır. Muhtemelen yıldızlararası toz bu süpernovanın görülmesini engellemiş olduğu düşünülmektedir. Cassiopeia A'nın radyo parlaklığı yavaş bir şekilde azalmaktadır. Değişen radyo kaynağıdır.

- SNR'lar sahip oldukları enerjilerini, süpernova patlaması sonucu ortaya çıkan şok dalgaları sonucu atılan maddenin, yıldız rüzgârları ile daha önce atılmış ve yıldızı saran gaz ve toz ile karmaşık etkileşimi sonucu üretirler. SNR'lar çok sıcak olabilirler. 1999 yılında fırlatılan Chandra gibi X-ışın teleskopları sayesinde kolaylıkla keşifleri yapılabilmekte ve gözlenebilmektedirler. Bu tür teleskoplar ile bazı SNR'ların merkezi bölgelerinde sıcak nötron yıldızı bulunduğu gözlenmiştir. Nötron yıldızlarının yüzey sıcaklıkları ile birlikte, yaşları dikkate alındığında, bu yıldızlarının iç kısımlarına ilişkin son derece ekstrem koşullardaki maddenin doğası hakkında bilgiye ulaşmak mümkündür.
- 1993 yılında, astronomlar ender olarak rastlanabilecek bir olaya şahit olmuşlardır. SNR'ların ne şekilde oluştuğunu ve geliştiğini doğrudan gözleyebilmişlerdir. M81'de meydana gelen SN1993J süpernovası amatör bir astronom olan İspanyol Francisco Garcia Diaz tarafından 28 Mart 1993 tarihinde farkedilmiştir. Radyo astronomlar patlayan bu cismin neden olduğu SNR'yı Avrupa ve Kuzey Amerika'da bulunan bir dizi teleskobu kullanarak takip etmişlerdir. Yapılan gözlemlerden süpernova patlaması sonucunda atılan maddenin yıldızlararası madde ile etkileşmesine rağmen atılan maddeye ilişkin hızda önemli düzeyde bir yavaşlamanın gerçekleşmediği anlaşılmıştır. Ayrıca atılan materyal simetrik bir yapıda genişlerken, tayfta görülen salma çizgilerinin, artığın bir tarafında daha güçlü olduğu belirlenmiştir. Bu gözlemlerden ortaya çıkan en önemli sonuçlardan biri ise radyo bölge gözlemleri ile açısal genişleme miktarının ölçülmesi ve optik tayflardan yararlanarak lineer genişleme (yaklaşık olarak 6000 km/sn) miktarı ile birlikte M81'in uzaklığını çok duyarlı bir şekilde hesaplanmış olmasıdır – yaklaşık 11 milyon ışık yılı.

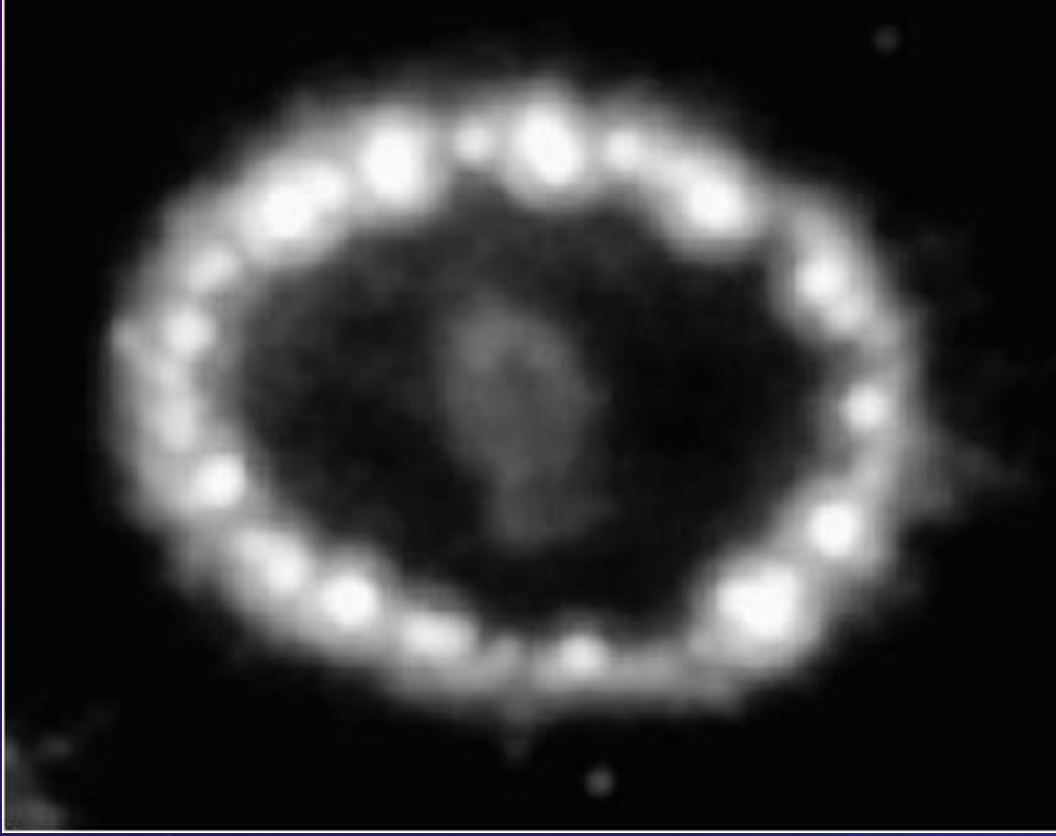
KUTUCUK 7.2 YILDIZ ÖRNEĞİ – SÜPERNOVA 1987A

- 23-24 Şubat 1987 gecesinde Toronto Üniversitesi'nden Ian Shelton, Şili'de bulunan Las Campanas bölgesindeki Southern Gözleminde astrograf olarak adlandırılan 25 cm çaplı fotografik teleskobu ile Büyük Magellan Bulutunun görüntüsünü aldı. Uyumadan önce akıllıca bir iş yaparak görüntüleri inceledi. LMC'nin görüntüsünde “yeni” parlak bir yıldızın bulunduğunu fark ederek bunun gerçekten gökyüzünde görülüp görülmediğine bakmak için dışarıya çıktı (Şekil 7.19). Bu bir süpernova idi! Keşif, hem bilimsel açıdan hem de başka açılardan Dünya çapında oldukça büyük bir heyecan yarattı:
 - Tarihsel açıdan son 400 yılın en parlak süpernovası olması,
 - Bütün dalgaboylarında hem uzay hem de yer tabanlı teleskoplarla gözlenebilen ilk süpernova olması,
 - Bir gökcisminin amatör astronomlar ile diğer insanlar için olduğu kadar, bilim insanları için de önemli olması,
 - Daha önce gözlemi gerçekleştirilmiş ve kataloglara geçmiş bir yıldızın süpernova olarak patlaması – genç, büyük kütleli B3 süperdev, Sanduleak -69° 202,
 - Süpernova kaynaklı nötrinonun gözlenebildiği ilk örnek olması; gözlemler üç ayrı nötrino gözlemevi tarafından yapılmış ve süpernova patlamasına ilişkin mekanizmanın doğruluğu onaylanmıştır (ve nötrinoların ışık hızında yolculuk yaptıklarını gösteresi),
 - SN1987A'nın tayfından patlama ile yeni elementlerin üretildiğinin ortaya çıkması ile birlikte, radyoaktif elementlerin süpernovanın ışık eğrisini güçlendirdiğinin ortaya çıkarılması sayılabilir.

- **Şekil 7.19.** SN1987A'nın keşif görüntüsü. Görüntüler süpernovanın bulunduğu bölgeye aittir. Üst görüntüde patlamadan önceki yıldız işaretlenmiştir, süpernova patlaması olmadan gözlenmiş ve kataloglara geçmiş ilk yıldız örneğidir. Süpernova, Toronto Üniversitesi Southern Gözlemevi'nden Ian Shelton tarafından keşfedilmiştir. (University of Toronto photographs by I. Shelton.)



- “Yakın” (150000 ışık yılı uzaklıkta!) olan bu süpernovanın incelenmesi sayesinde genel anlamda süpernovalar üzerindeki araştırmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Bununla birlikte astronominin gözlemsel bir bilim olduğunu ve astronomların – profesyonel ve amatör – sürekli olarak gökyüzünü gözlemleri gerektiğini bize göstermiştir.
- Süpernovaları araştırmaya devam eden astronomlar, başka şeyler yanında çekirdek kısmında bir nötron yıldızının görölmesini beklemektedirler. HST görüntülerinde süpernova çevresinin karmaşık yapıya sahip olduğunu, bunun içerisinde yıldızın önceki evriminde kaybedilen kütleinin de bulunduğu görölmektedir (şekil 7.20).



- **Şekil 7.20.** SN1987A'nın HST ile alınmış görüntüsünde yıldız tarafından daha önce atılmış madde ile süpernova patlaması sonrasında atılan maddenin oluşturduğu halkamsı yapı ile etkileşimi ve ortaya çıkan "sıcak lekeler" görülmektedir. (HST/NASA)

7.4 GAMA-IŞIN PATLAYICILARI (GRB)

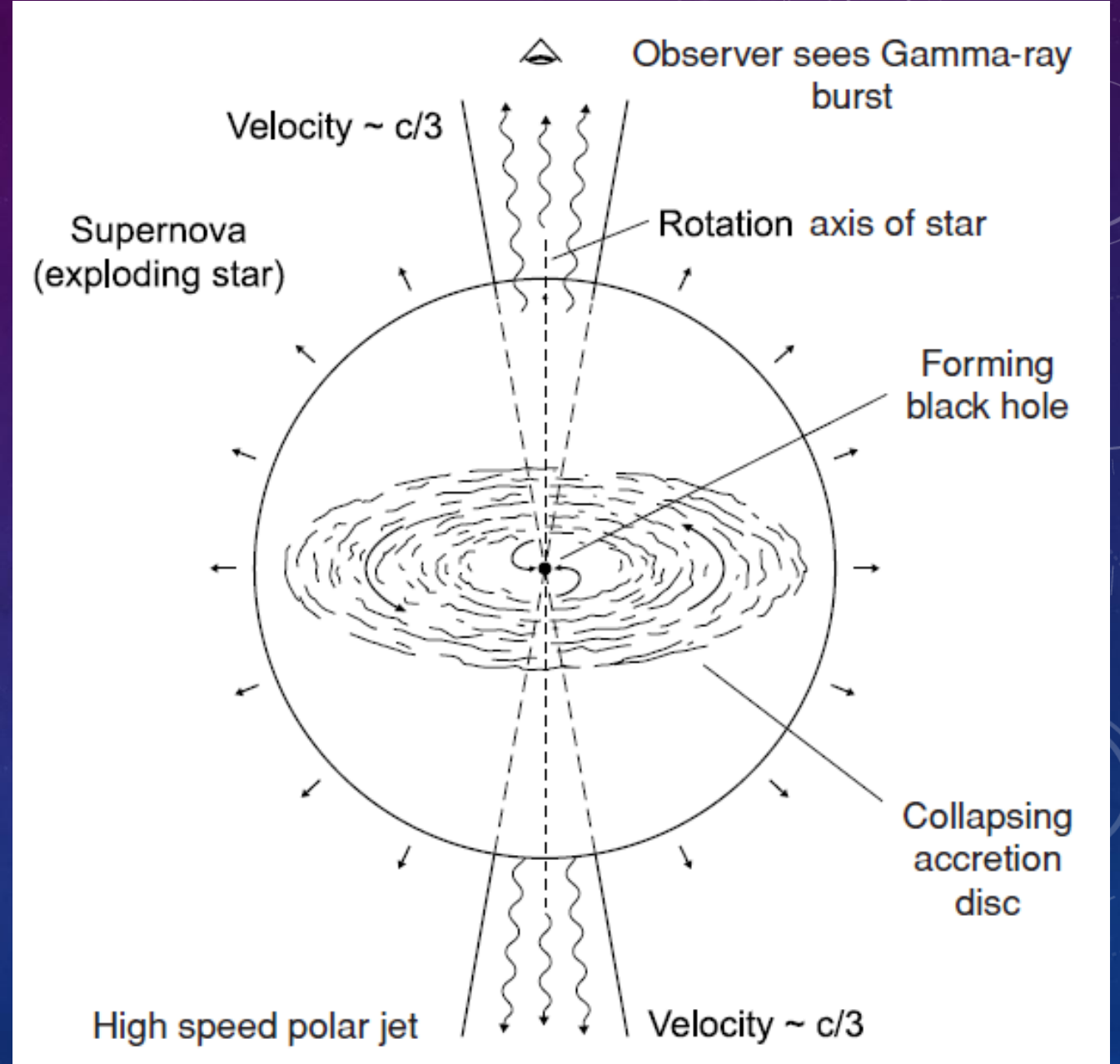
- 1963 yılının Ekim ayında, yer yüzeyinde gerçekleştirilen nükleer bomba patlamaları sonucu ortaya çıkan X- ve gama-ışın salınımlarını takip edebilmek amacıyla ABD tarafından bir seri gizli askeri uydu uzaya fırlatılmıştır. Böylesine bir patlamanın izlerini bulup bulamadıklarını bilemiyoruz fakat uydular birkaç saniye ile dakika ölçeğinde gerçekleşen gama-ışın patlamaları kaydetmişlerdir.
- 1972’li yıllarda bu gözlemler bilim insanları tarafından analiz edilmiş ve bunun kozmik orijinli olduğuna, Dünya veya Güneş’ten kaynaklanmadığına karar vermişlerdir. Ne yazık ki gama-ışın teleskoplarının ayırma gücü çok kötü olduğundan gama-ışın patlamalarının (GRB’ler) optik olarak hangi cisimlerden kaynaklandığını belirlemek mümkün olamamıştır.
- Ayrıca bilinen süpernova veya nova gibi cisimlerle de belirgin bir korelasyon ortaya konamamıştır. Zamanla astronomik amaçlı uydular üzerine gama-ışın dedektörleri yerleştirilmiş (örneğin IMP-6 ve OSO-7 gibi) ve bu uydular sayesinde “**kozmik gama-ışın patlamalarının**” gerçekten kozmik ölçeklerde gerçekleştiği ve salınan enerjilerinin tepe noktalarının, tayfın gama-ışın bölgesine düştüğü anlaşılmıştır.

- Sonraki önemli adım, NASA'nın en önemli gözlem araçlarından biri olan *Compton Gamma-Ray Observatory*'nin (CGRO) fırlatılması olmuştur. Kısaca BATSE (Burst and Transient Source Experiment) olarak adlandırılan bu uydu tarafından bir günde yaklaşık 2740 GRB olayı kaydedilmiş ve bu patlamaların yaklaşık konumları ile dağılımları belirlenmiştir.
- Sonuç olarak patlamaların rastgele bir şekilde her yönde olduğu anlaşılmıştır. Eğer GRB'ler galaksimizde bulunan yıldızlar ile bağlantılı olan olaylar ise bu durumda yıldızların dağılımına (bize çok yakın olanlar hariç) uygun biçimde, galaktik diske benzer yapıda dağılıyor olmaları gerekmektedir.
- Patlamalar uzakta bulunan galaksiler ile bağlantılı ise bu durumda patlamaların gerçekleştiği konumlar ile uzak galaksilerin yaklaşık olarak aynı dağılıma sahip olmaları beklenebilirdi. Yapılan incelemeler gerçekten de böylesine bir dağılıma sahip olduklarını bizlere göstermiştir.

- Bir sonraki kırılma noktası 1997 yılında CGRO ile 1996 yılında uzaya fırlatılan Avrupa kökenli *BeppoSAX* uydularının birlikte çalışması ile ortaya çıkmıştır.
- BeppoSAX bir X-ışın uydusudur ve CGRO'dan çok daha yüksek ayırmagücüne sahiptir. 28 Şubat 1997'de gerçekleşen bir GRB olayında, CGRO uydusu GRB970228'i yakalamış ve BeppoSAX uydusu ise onun duyarlı bir şekilde konumunu belirlemiştir. Bir saat gibi bir süre içerisinde yer tabanlı teleskoplar kullanılarak bu olayın görüntüsü alınmış ve o bölgede sönük bir galaksi parçasının bulunduğu belirlenmiştir.
- 8 Mayıs 1997 tarihinde bir başka GRB olayı CGRO tarafından belirlenmiş, BeppoSAX uydusuna iletilmiş ve yer bazlı gözlemciler tarafından bu olayın kırmızıya kayma miktarı 0.8 olan sönük bir galaksi ile bağlantılı olduğu ortaya çıkmıştır.

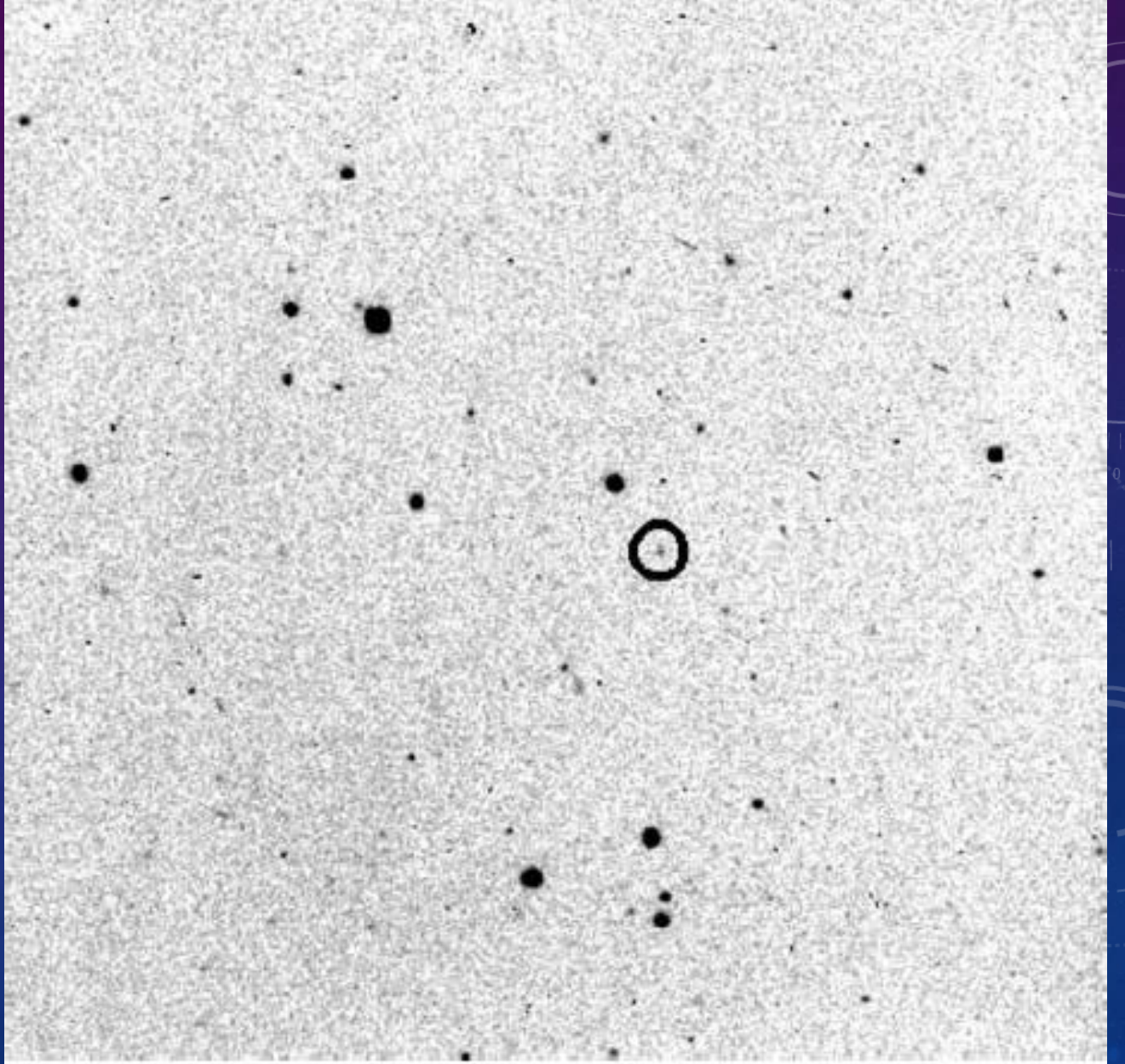
- Astronomlar, “uzun süreli” GRB’lerin süper-enerjik süpernovalardan – **hipernova** – kaynaklandığına inanmaktadırlar. Bu tür cisimler, çok büyük kütleli bir yıldızın çökerek bir karadeliğe dönüşmesi sonucunda ortaya çıkar (Şekil 7.21).
- Toplam enerjileri 10^{51} erg veya daha yüksektir. Yıldızın dönme eksenini doğrultusunda jet yapıları ile madde ve ışınım uzaya atılır ve bunlar ışık hızına yakın hızlarda hareket ederler. Jetlerdeki şok dalgaları, gama-ışın patlamalarını üretir. Şok dalgaları, sıkışmış olan yıldızın çevresindeki madde ile karşılaştığında, hem görsel hem de radyo bölgede ve diğer dalgalarda da gözlenebilen “artık ışınım (afterglow)” neden olur ve görebilmek mümkündür.

- **Şekil 7.21.** GRB modeli. GRB'ler tam olarak anlaşılabilmiş cisimler değildir fakat olası en iyi modelde büyük kütleli dönen bir yıldızın yaşamının sonlarında çökmesini içermektedir. Çökme sırasındaki birkaç saniyede yıldızın çekirdeği çevresinde bir yığılma diski oluşmakta ve bu madde karadelik üzerine çökerken, kutup doğrultusunda yüksek hızlarla atılan madde içeren jetler ortaya çıkmaktadır. GRB'ler jet yapılarının bulunduğu doğrultularda gözlenebilmektedir. (Jeff Dixon Graphics.)



- Anahtar bir gözlem NASA'nın High-Energy Transient Explorer-2 (HETE-2) uydusu tarafından incelenen bir GRB'nin keşfi ile ortaya çıkmıştır. Bu gözlemde, SN2003dh süpernovası ile bir çakışmanın olduğu anlaşılmıştır.
- Böylesine olaylarda gözlemcinin jet yapılarına göre konumu önemlidir. Sadece jet yapılar doğrudan bizimle aynı doğrultuda ise – ki yüzde bir oranından daha düşük olasılık bulunur – bir GRB gözlenebilir. Jetlerin gerçek yönelimleri bizlerin değişik türden GRB'ler görebilmemize neden olur: süre olarak 30 milisaniye ile 1000 sn den daha uzun olabilmesi; yapı olarak da basit yapıdan çok daha karmaşık yapıların olabileceği gibi.
- Ayrıca saniyenin kesri ölçüsünde gerçekleşen “kısa süreli” gama ışın patlamaları da mevcuttur. SWIFT ve HETE-2 uyduları tarafından gözlenebilen iki örnekte, iki adet nötron yıldızının yavaş bir şekilde spiraller çizerek birbiri ile birleşmesine ve ardından bir karadelik oluşturarak olağanüstü miktarda enerji patlaması göstereceği modeli ile iyi derecede bir uyum göstermektedir.

- **Şekil 7.22.** GRB010222'nin artık ışınımına ilişkin negatif görüntüsü, Calgary'de bulunan amatör astronom Gary Billings tarafından 22 Şubat 2001 tarihinde gözlenmiştir. Amatör astronomlar tarafından görüntüsü alınabilen birkaç GRB'den biridir. (G. Billings)



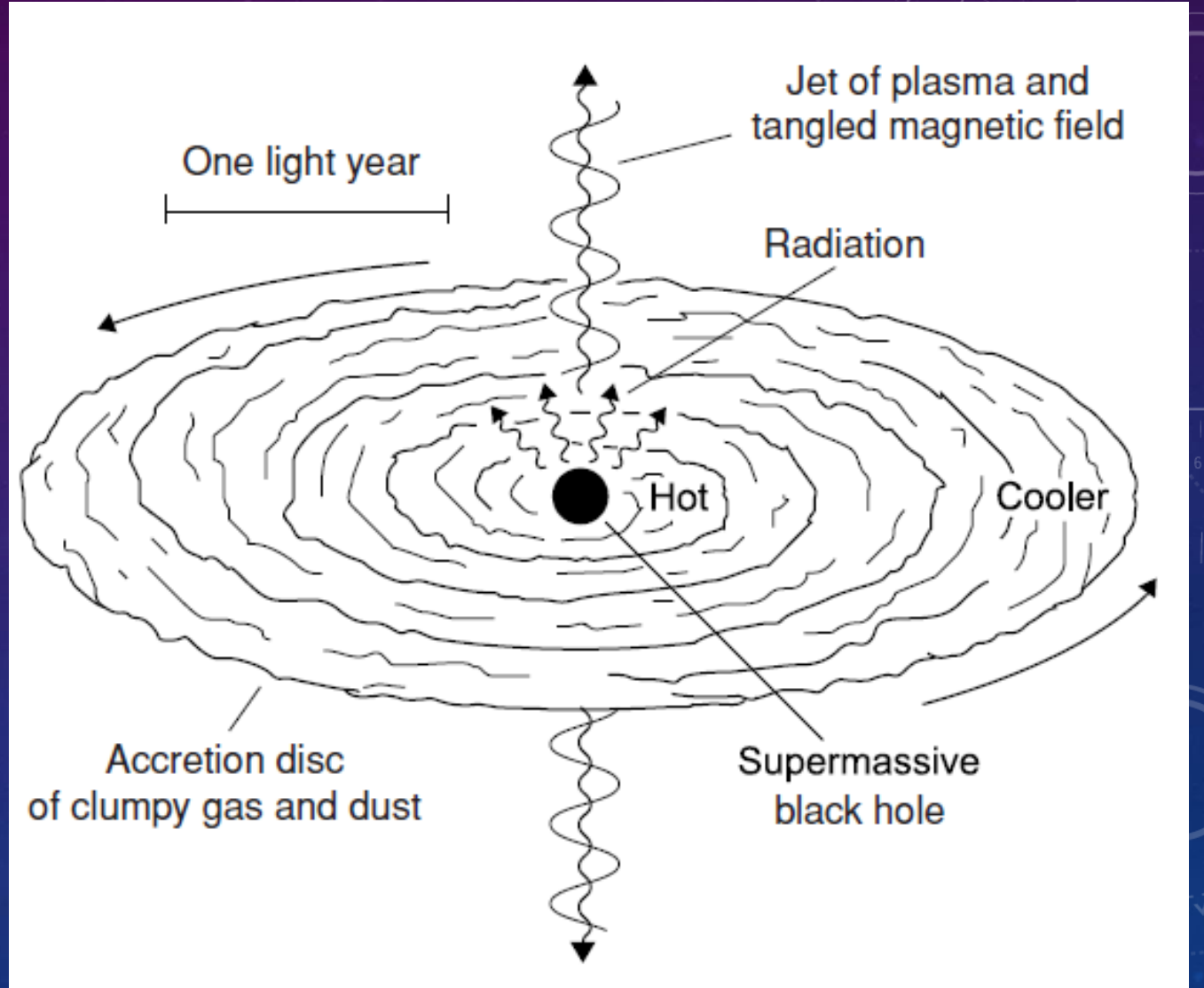
- GRB araştırmalarında önemli bir gelişme, NASA tarafından 2004 yılı sonlarında fırlatılan *SWIFT* uydusu olmuştur. Üç adet teleskobu bünyesinde barındıran bu uydu, NASA, İtalya ve İngiltere ortaklığı ile yapılmıştır. Maliyeti \$250 M kadardır.
- Bir yılda 100 ile 150 arasında GRB yakalanacağı düşünülmektedir. GRB gözlemlerinin optik karşılıklarının gözlenebilmesi için yer tabanlı takip yapabilecek bir network kurulması düşünülmektedir. AAVSO bu network'ün bir parçasıdır ve gözlemcileri tarafından patlama sonrası artık ışınımın gözlenebilmesi mümkündür (Şekil 7.22). *SWIFT* uydusu zaten tayfın x-ışın bölgesinde bu türden artık ışınımı yakalayabilme ve inceleyebilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca bu tür bir gözlemi gama-patlama gözlemlendikten sonra bir veya iki dakika içerisinde gözleyebilme yeteneğe sahiptir.
- Bununla birlikte GRB050904 (Eylül 2005) keşfi ile ki bizden 12.8 milyar ışık yılı uzaklıkta bulunmaktadır, evrenin bir milyar yıldan daha genç olduğu zamana ait önemli bir gözlem yapılmıştır. Çok büyük kütleli yıldızların sonlarında GRB'lerin oluştuğuna ve bunun ilk nesil yıldızlar arasında çok daha yaygın olduğuna inanılmaktadır.

7.5 AKTİF GALAKTİK ÇEKİRDEKLER (AGN)

- AGN'ler noktasal ışık kaynaklarıdır ve bazı galaksilerin *çekirdek* bölgelerine çok yakın konumlarda bulunurlar.
- Bazı örneklerinde (kuazarlar), AGN'ler galakside bulunan yüzlerce milyar normal yıldızın parlaklığını gölgede bırakacak ölçüde yüksek ışıngücüne sahiplerdir. Çoğu durumda daha düşük parlaklıklara sahip olmalarına karşın, milyonlarca veya milyarlarca yıldızın parlaklığına eşdeğer ışıma sahiplerdir.

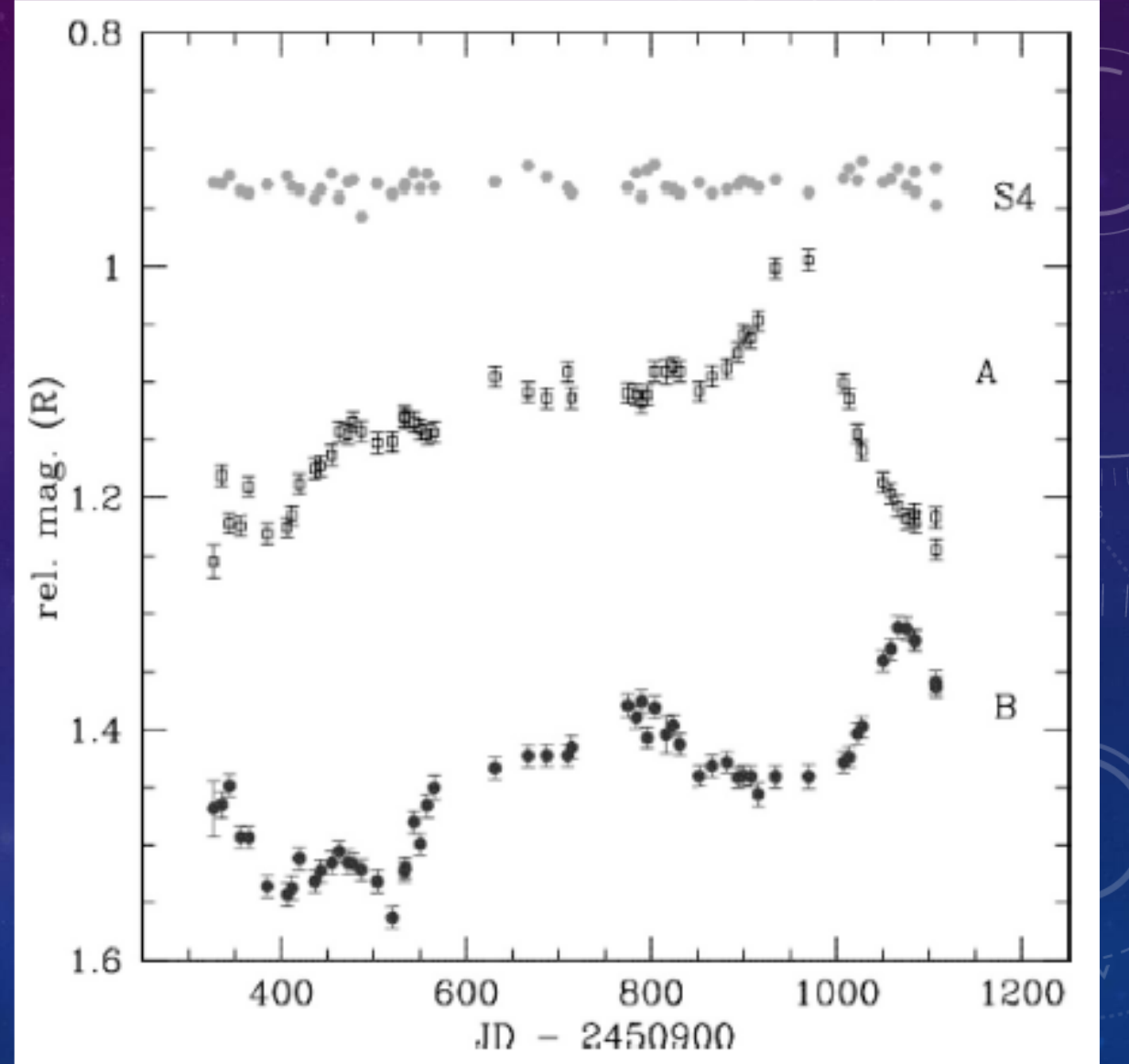
- AGN'lerin temel enerji kaynağı süper-kütleli karadeliklerdir. Güneş'ten milyon kat daha büyük kütleli cisimler. Gaz ve toz karadelik üzerine spiraller çizerek düşerken, çekimsel enerjisini serbest bırakır (Şekil 7.23). AGN'lerin parlaklıkları, eğer kaynakları yıldızimsı karadelik ise gün ile yıl mertebesinde bir zaman aralığında değişim gösterir. Bu nedenle AGN'ler değişen yıldızlardır.
- Bazı AGN'lere zaten değişen yıldız isimleri verilmiştir ki buna en iyi örnek BL Lacertae gösterilebilir. AGN'lerin değişim göstermesi bize ne türlü enerji kaynaklarının bulunduğu dair bilgi verir. Bu tür cisimler, yıldız-benzeri cisimler olduklarından onların gözlenmesi, değişen yıldızların gözlenmelerine çok benzer şekilde yapılır.
- AGN'ler GCVS4 kataloğunda BLLAC (neredeyse sürekli tayfa sahip sıkışık kuazarlar) olarak, QSO (değişen kuazarlar, daha önce değişen yıldız olarak sınıflandırılmış olanlar) ve GAL (optik olarak değişen yarı-yıldızimsı galaksi dışı cisimler) olarak kodlanmışlardır.

- **Şekil 7.23.** Aktif galaktik çekirdek (AGN) modeli. Yığılma diskinde bulunan gaz ve toz yavaş bir şekilde süper kütleli karadelik üzerine yaklaşırken git gide daha fazla ısınmakta ve çekimsel potansiyel enerjisi ilk olarak ısısal enerjiye ve ardından AGN'leri görebilmemizi sağlayan ışınım dönüşmesine neden olur. Gaz ve tozun yığınlar halinde bulunması nedeniyle AGN'lerin parlaklıkları zamanla değişim gösterir. AGN'ler boyut olarak bir ışık yılı ölçülerine sahip olduklarından, değişimin tipik zaman ölçeği yaklaşık olarak bir yıl kadardır. (Jeff Dixon Graphics.)



- Değişen yıldız astronomisinde uygulanan ilginç bir yöntem AGN'lerde görülen çekimsel mercek olayını içermektedir. Eğer büyük kütleli bir galaksi veya galaksiler kümesi bizimle daha uzakta yer alan kuazar arasında bulunuyorsa, bu durumda kuazarın görüntüsü çekimsel mercek olayı nedeniyle iki ayrı görüntü olarak ortaya çıkar. Her bir görüntü aynı kuazara aittir, fakat görüntüyü oluşturan ışınlar bize farklı uzaklığa sahip yolları takip ederek ulaşır. Kuazarın iki farklı görüntüsünden elde edilen değişim bu nedenle aynı yapıda, fakat ışığın kat ettiği yollar arasında fark olması nedeniyle belirli bir zaman gecikmesiyle gözlenir. Işığın almış olduğu yoldaki farklılığın belirlenmesi ile Kuazarın uzaklığının belirlemek mümkündür (Şekil 7.24).
- Böylesine gözlemler ile AGN'lerin yıl ölçeğinde bir zaman aralığında, birkaç onda bir kadir düzeyinde değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Bu olay, ışığın salındığı ortamın boyutları hakkında bilgiye ulaşabilmemize neden olur: eğer ışık değişimi X yıl ölçeğinde gerçekleşiyorsa, bu durumda ışığın salındığı bölge X ışık yılından daha büyük olamaz. Bazı AGN'lerde ise daha kısa zaman ölçeklerinde hafif salınımlı değişimler gösterir. Bu durum muhtemelen karadeliği çevreleyen yığılma diskinde bulunan sıcak bir lekenin varlığından ortaya çıkmaktadır.

- **Şekil 7.24.** Çekimsel mercekleme olayı gösteren SBS1520+530 A ve B kuazarları ile S4 olarak dikkate alınan mukayese yıldızının parlaklık değişimi (ışık eğrisi) gösterilmiştir. A ve B kuazarın çekimsel mercekleme olayı nedeniyle ortaya çıkan iki ayrı görüntüsüdür. Onun değişimi kuazarın değişimini gösterir. Fakat ışık farklı yolları takip ederek bize ulaştığından, ışık eğrileri arasında 130 günlük bir kayma gözlenmiştir. (Magain, 2005)

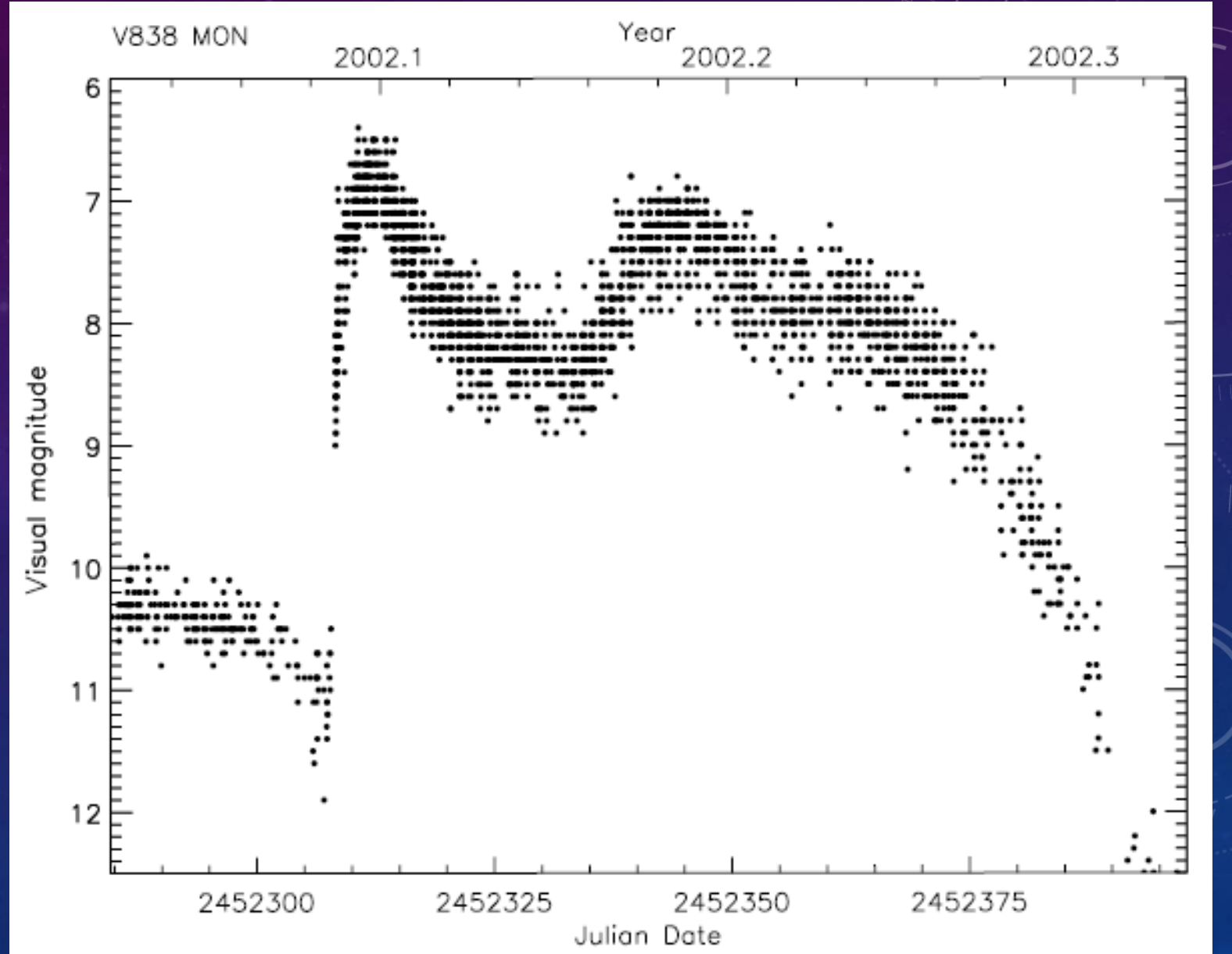


- AGN'ler için yankılanma haritalanması (reverberation mapping) veya eko haritalaması (echo mapping) olarak adlandırılan ilginç bir yöntem kullanılır ve cismin bir resminin ortaya konulabilmesini sağlar. Parlaklıklarındaki değişim, çekirdek çevresinde bulunan parçalı bulut ve gaz yapılarında saçılmaya uğrayacağından bu bulutların parlaklıkları veya tayflarında, AGN'ye göre buldukları konuma bağlı olarak ışığın bu uzaklığı kat etme süresi kadar bir gecikme ile değişim gösterir.
- AGN'lerin değişen yıldız olarak tanımlanması bir miktar problemlili olabilir. Fakat bunlar değişim göstermektedirler; değişimleri standart değişen yıldızların incelenmesinde kullanılan yöntemler kullanılarak yapılmaktadır; ve bu anlamda bir karadelik, bir yıldız benzer şekilde dikkate alınabilmektedir!

KUTUCUK 7.3 YILDIZ ÖRNEĞİ – V838 MONOCEROTİS

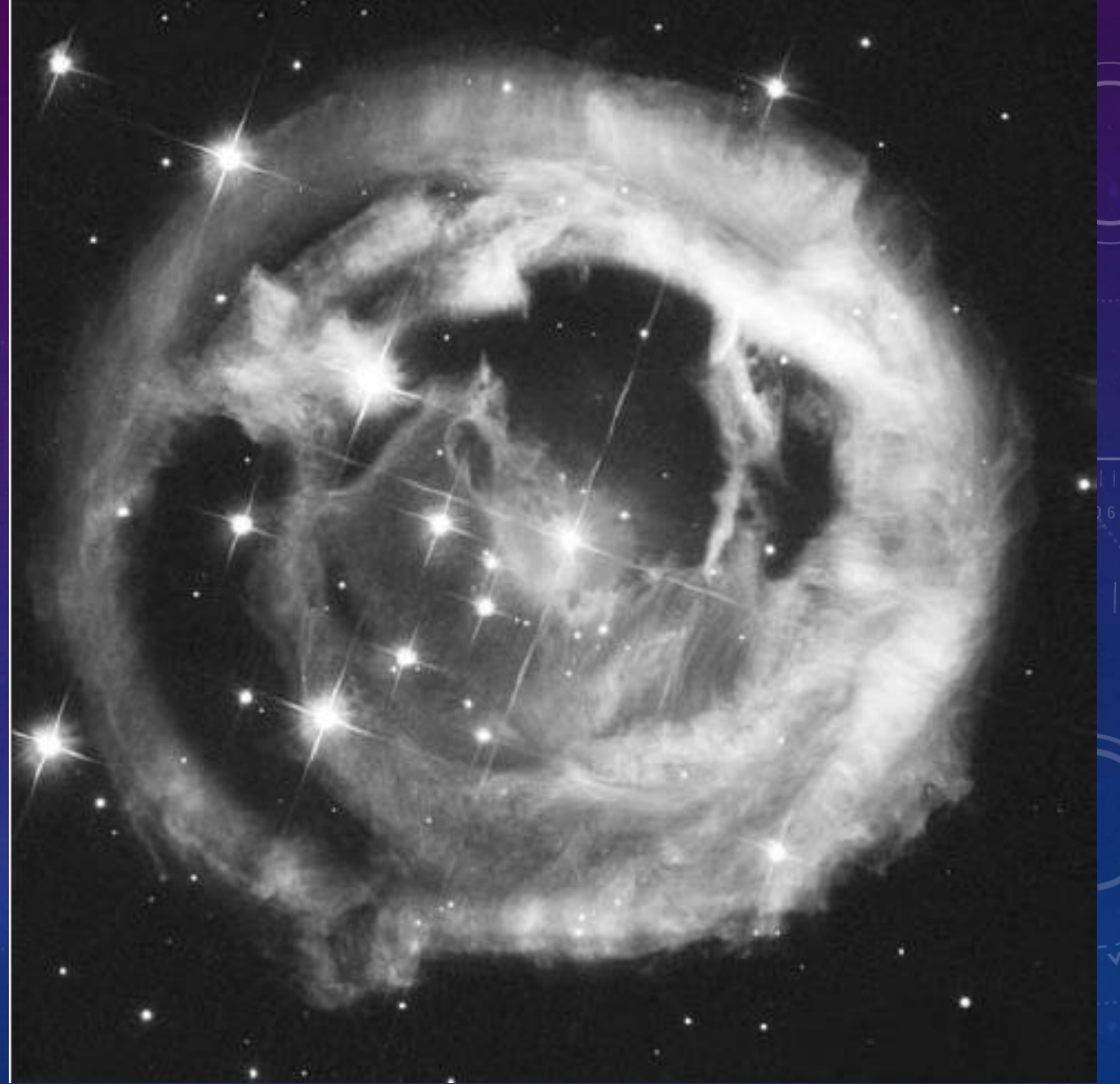
- V838 Monocerotis, değişen yıldızların basit bir şekilde tanımlanamadığı cisimler arasında gösterilebilecek en iyi örneklerden biridir. Basit bir şekilde bir “türlü” olarak dikkate alınabilir.
- Bu cisim 2002 yılında keşfedilmiştir. Belki de mantıklı olmayan özellikler taşıdığını söylemek mümkündür. Cisim Avusturalyalı amatör astronom olan Nicholas Brown tarafından fotografik yöntem kullanılarak gerçekleştirdiği nova arama çalışmalarında ortaya çıkmıştır.
- 6 Ocak'ta parlaklığı 10 kadir iken yavaş bir şekilde parlaklığı artmıştır. Şubat ayında bir veya iki gün içerisinde neredeyse çıplak gözle fark edilebilecek ölçüde bir parlaklığa ulaşmıştır, 6.5 kadir. Bu evrede cisim mavi renkte görülmüştür.
- Mart ayında tekrar parlaklığı azalmış fakat aniden 9 kadirden 7.5 kadire parlaklığını tekrar artırmıştır. Bu zaman aralığında renk olarak kırmızı olarak görülmüştür. O tarihten beri cismin parlaklığı 15 kadir civarındadır. Arşiv verileri incelendiğinde cismin daha önceki parlaklığının 16 kadir olduğu ortaya çıkmıştır. Son yapılan araştırmalar ile cismin uzaklığının 18000 ışık yılı olduğu belirlenmiştir.
- Şekil 7.25'de V838 Monocerotis'in AAVSO veri tabanı gözlemlerine dayalı olarak oluşturulmuş ışık eğrisi bulunmaktadır.

- **Şekil 7.25.** AAVSO görsel bölge gözlemlerine dayalı oluşturulmuş V838 Monocerotis'in ışık eğrisi. Değişen, Avusturalyalı amatör Nicholas Brown tarafından keşfedilmiştir. Şubat ve Mart 2002 tarihlerinde çıplak gözle görülebilecek parlaklığa ulaştıktan sonra sönükleşerek 15.5 kadirde ulaşmıştır. (AAVSO)



- V838 Monocerotis'te görülen bir sonraki önemli değişim Mart ayının sonlarında ortaya çıkmıştır. Cismin alınan bir görüntüsünde ışık ekosunun bulunduğu görülmüştür (Şekil 7.26).
- Şubat ayında salınan ışık küresi dışarıya doğru yol almış ve yıldızı çevreleyen toz materyalden oluşan katmanların sırayla aydınlanmasına neden olmuştur.
- HST ile alınmış olan ışık ekosuna ait muhteşem görüntü, dünyada milyonlarca insan tarafından izlenmiştir. Işık ekosunu ayrıca 1901 yıllarında gözlenen bir nova ile 1987A süpernovasında da gözlenmiştir. Bu örneklerde aydınlanmış olan materyal, yıldızın önceki evrelerinde atılan maddedir. Bu durumun V838 Monocerotis için de doğru olup olmadığı kesin olarak bilinmiyor fakat bu kabuksu yapıların bir milyon yıl veya daha uzun bir zaman önce atılmış olduğundan şüphe duyulmaktadır.

- **Şekil 7.26.** V838 Monocerotis'in Hubble Uzay Teleskobu ile alınmış görüntüsü. Cisim, Mart 2002 tarihinde en yüksek parlaklığa ulaştığında göstermiş olduğu atım şeklindeki değişimler, yıldızın daha önceki evrelerinde uzaya atmış olduğu gaz ve tozdan oluşan bulut içerisine doğru ilerlerken, bulutsuda bulunan iç içe olan katmanların sırasıyla aydınlanmasına yol açmış ve bu durum bulutsunun daha parlak görülmesine neden olmuştur. (HST/NASA)



Observation data

Epoch 2000.0 Equinox 2000.0

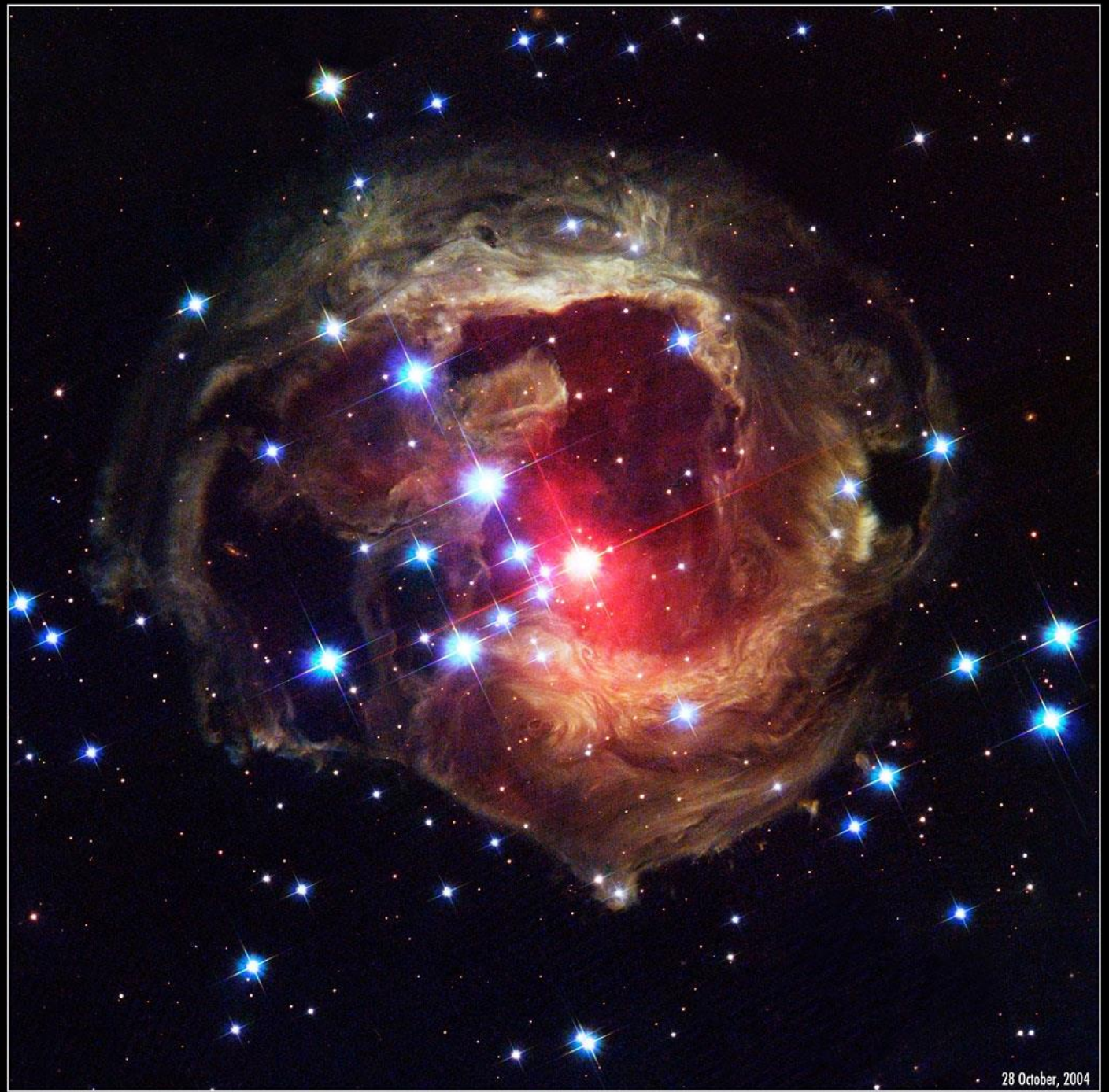
Constellation	Monoceros
Right ascension	07 ^h 04 ^m 04.85 ^s
Declination	-03° 50' 50.1"
Apparent magnitude (V)	15.74

Details

Radius	1,570 ± 400 R _⊙
--------	----------------------------

Other designations

Nova Monocerotis 2002, GSC 04822-00039



- Bu cisim astronomları şaşırtmaya devam etmektedir. SIMBAD veri tabanında nova olarak listelenmiş olmasına karşın, novalarda görülen klasik termonükleer yanma olduğuna dair bir belirti yoktur. Ayrıca başka tür bir cüce novası gibi de görülmemektedir.
- Yıldızı çevreleyen maddenin oluşturduğu kabuk yapıdan anlaşıldığı kadarıyla muhtemelen son bir helyum patlaması geçirmiş olmalıdır. Bu açıklama da aslında çok mükemmel değildir fakat şimdilik başka bir açıklama yapılana kadar kabul edilebilir bir düşüncedir.
- İki adet anakol yıldızının birbirleri ile birleşmesi durumu da yapılan açıklamalar arasında bulunmaktadır. Fakat böylesine bir olayın da çok iyi çalışmadığı, gerçekleştirilen tayfsal gözlemlerde B3 tayf türünden bir anakol yıldızı ile kırmızı bir süperdev bileşenin patlama sırasındaki izlerinin olduğu dikkate alındığında işlememektedir. Muhtemelen bu yıldız çok ender rastlanan ve bir nedenden dolayı genişlemiş kabuk yapısına sahip olan bir cisim olarak kalacaktır.
- V838 Monocerotis'e benzer sadece iki tane yıldız bulunabilmiştir. Astrofizik bahçesinde çok garip ve ender rastlanan durumlardan birini oluşturması nedeniyle ilginç görülmektedir.