

BÖLÜM 7

PATLAYAN DEĞİŞEN YILDIZLAR

DOÇ.DR. BİROL GÜROL

ANKARA ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ

2015

BÖLÜM 7: PATLAYAN DEĞİŞEN YILDIZLAR

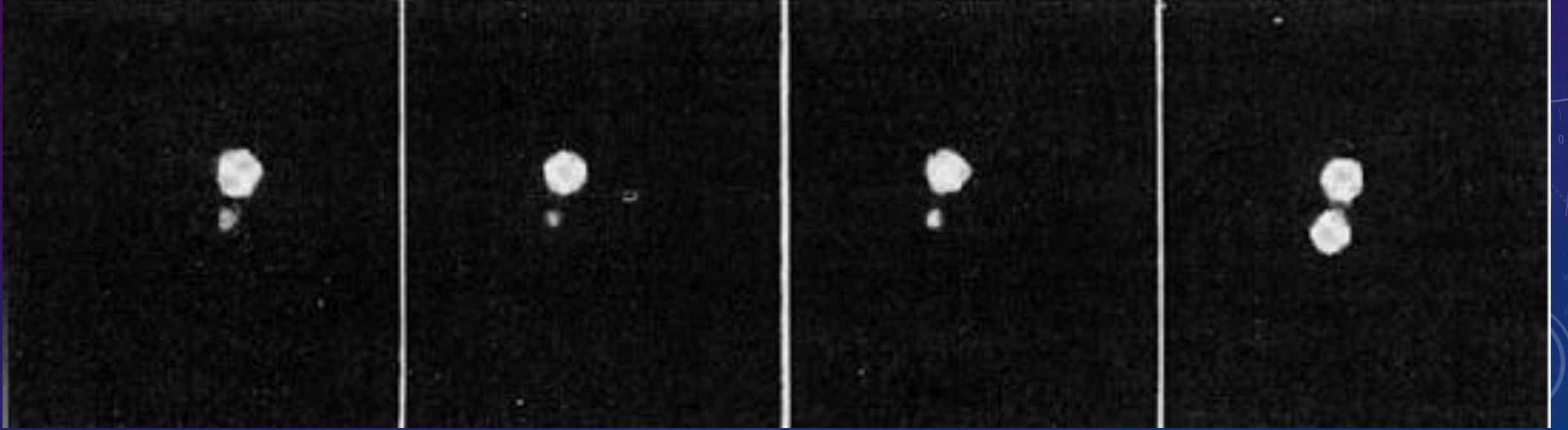
- Patlama sonucu görelî olarak kısa zaman içerisinde parlaklığını artıran, ardından parlaklığı yavaş bir şekilde azalan değışen yıldızlardır.
- Bu grupta parlaklıkları saniye ölçeğinde değışim gösteren flare yıldızları, aylar ve hatta yıllar boyunca parlaklıklarını artan çeşitli türde nova ve simbiyotik yıldızlar bulunur. Zaman zaman R Coronae Borealis yıldızları da bu grup içerisine dâhil edilir ki bu değışenler aslında patlama gösteren cisimler değildir.
- GCVS4'de bu tür değışenler arasında bazı anakol öncesi yıldızlar ile S Doradus, Gamma Cassiopeiae ve patlayan Wolf-Rayet yıldızları da bulunur. Patlayan değışenlerde genel olarak yıldıza veya yıldızın bir bölgesine ani enerji girişı gerçekleşir ve bizler yıldızın buna verdiği tepkiyi gözleriz – sonuç olağanüstü bir patlamadır.

7.1 FLARE YILDIZLARI

- Flare yıldızları, UV Ceti'ler olarak da adlandırılırlar. K ve M tayf türünden cüce yıldızlardır. Çoğunlukla geç tayf türünden cisimlerdir.
- Saniye ile dakika arasında zaman ölçeklerinde rastgele ve önceden kestirilemeyen biçimde parlaklıklarını birkaç kadir kadar artıran, ardından normal parlaklıklarına yavaş bir şekilde geri dönen cisimlerdir (Şekil 7.1 ve 7.2).
- GCVS4'de UV olarak, anakol öncesi bir yıldız ile ilişkili ise UVN olarak, RS Canum Venaticorum (RS CVn) türü çift yıldız sistemi ile ilişkili ise RS şeklinde kodlanırlar.
- Flare olayı güneşteki benzer şekilde gerçekleşir. Bu durum yıldızlarda aktivitenin bulunduğu bir göstergesidir. Görsel ve moröte bölge tayflarında salma çizgileri ve sıcak korona (10 000 000 K'e kadar) ile başka nedenler sonucu X-ışın salmaları görülür.
- Flare yıldızları genellikle **dMe** şeklinde gösterilirler ve buradaki "e" sembolü tayfta salma çizgisinin bulunduğunu gösterir. Bazı flare yıldızları aynı zamanda BY Draconis türü değişendir; bu tür yıldızlarda aktivitenin bulunduğu başka bir göstergesidir.

- Galaksimizde flare yıldızlarının sayısı oldukça fazladır. Bu durum güneşten daha soğuk olan cüce yıldızların sayısının fazla olmasıyla ilgilidir. Bize en yakın flare yıldızı Güneş'in kendisidir. Güneş'te flare olayı güneş lekelerinin bulunduğu bölgelerde görülür.
- Güneş'i daha uzak bir konumdan görüyor olsaydık, flare sonucu toplam parlaklığının çok fazla değişmediği görülecektir. Bu nedenle aslında Güneşte flare aktivitesinin bulunmadığı söylenebilir.
- Bize en yakın bir diğer flare yıldızı α Centauri C (*Proxima Centauri*) dir. Prototipi olan UV Ceti bize yakınlık olarak onuncu sırada bulunur.

KRÜGER 60

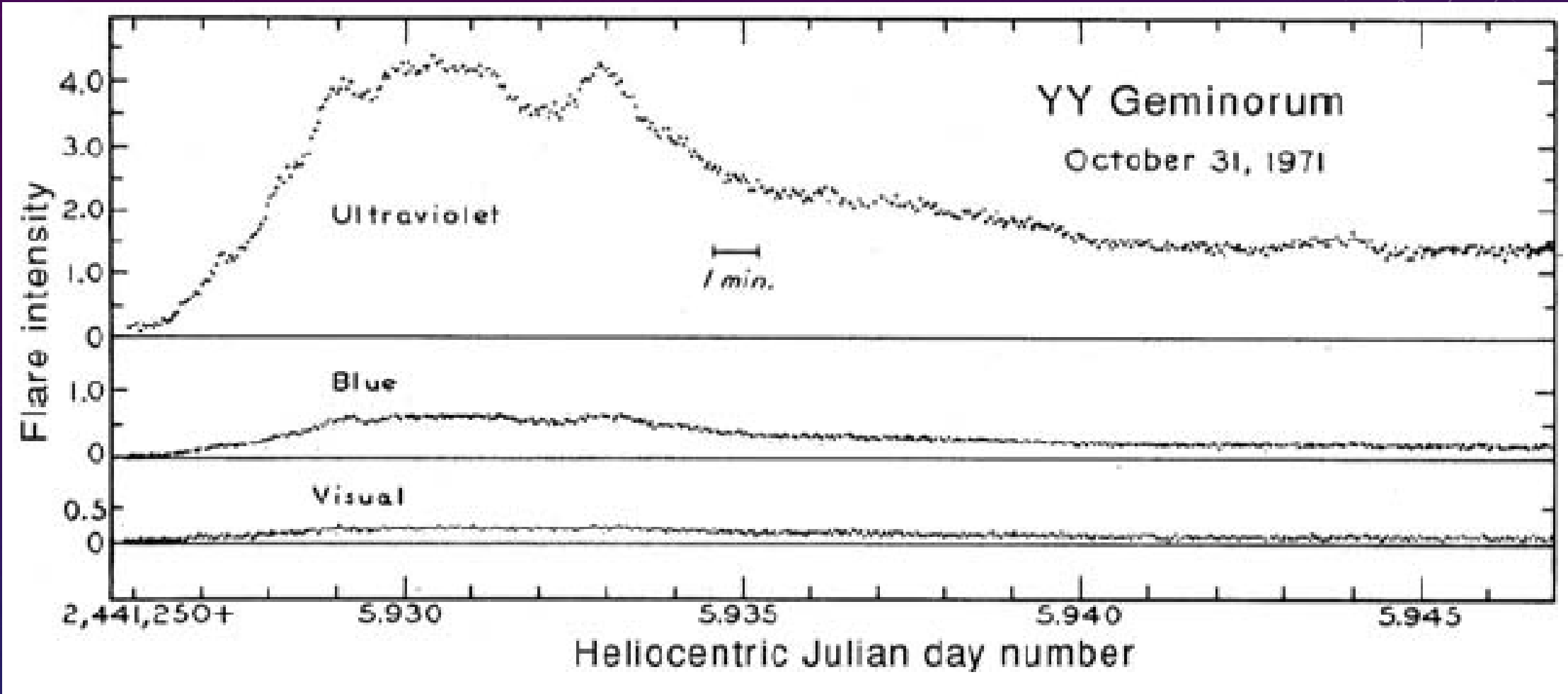


- **Şekil 7.1** Görsel bir çift yıldız sistemi olan Krüger 60'da sönük bileşende görülen flare olayı. Görüntüler birkaç dakika içerisinde alınmıştır (Sproul Gözlemevi).

7.1.1 DEĞİŞİMLERİ

- Flare türü patlamalar belirli türden yıldızlarda (salma çizgisine sahip K ve M cücelerinde) görüldüğü için prensipte bu tür değişenlerin keşfedilmesi kolaydır. Ayrıntılı olarak incelenebilmeleri için yüksek hızlı fotometrik gözlemlere ihtiyaç duyulur. CCD'ler sayesinde yıldız kümelerinde bulunan çok sayıda flare yıldızının fotoelektrik gözlemini yapmak mümkün olabilmektedir.
- **Flare olayı tayfın kısa dalgaboylarında daha fazla etkindir.** Böyle olmasının temel nedeni materyalin sıcak olması ve kısmen de yıldızın kendisinin kısa dalgaboylarında sönük olmasıdır.
- Herhangi bir yıldızda büyük boyutlu flare olaylarının sayısı, küçük boyutlu flare olaylarının sayısına göre daha azdır. Flare türü patlamalar rastgele zamanlarda gerçekleşen olaylardır.

- Şekil 7.2’de tipik bir flare olayı nedeniyle gerçekleşen parlaklık değişimi bulunmaktadır. Maksimum parlaklığa ulaşma süresi dakikanın kesri ölçüsündedir; minimum parlaklığa inme süresi ise birkaç dakika kadardır, fakat bazı örneklerde bu süre saatlere ulaşabilmektedir.
- Flare olayında toplam salınan enerji 3×10^{28} ile 3×10^{34} erg arasında değişir. E_0 enerjisinden daha büyük enerjili bir flare olayının gerçekleşme olasılığı logaritmik olarak değişir – $\text{Log } E_0$. Yüksek enerjili flare olaylarının gerçekleşme olasılığı daha düşüktür.
- Optik bölgede gözlenen flare olayına eşlik eden radyo bölge parlaması da gözlenir. Flare olayının radyo bölge ile birlikte optik bölgede eşzamanlı olarak gözleniyor olması, radyo sinyallerinin ışık hızında hareket ettiğini bize gösterir.

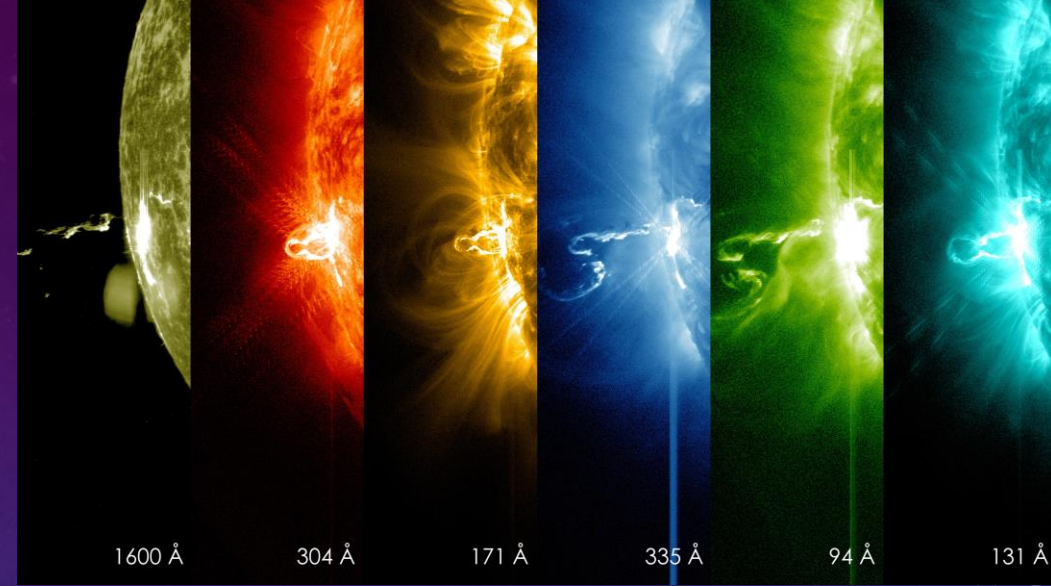


- Şekil 7.2 Castor'un bileşeni olan YY Geminorum'da görülen bir flare olayı. Işık eğrisi yaklaşık 30 dakikalık bir zaman aralığını kapsamaktadır. Patlamanın gerçekleştiği bölgenin çok sıcak olması nedeniyle değişimin şiddeti moröte bölgede daha yüksektir. (Moffett, 1974).

7.1.2 FİZİKİ ÖZELLİKLER

- Flare yıldızları dKe ve dMe tayf türünden yıldızlardır. Anakolda bulunan G ve hatta F tayf türünden yıldızlarda da flare türü patlamalar görülebilir, Güneş'te olduğu gibi.
- Fakat bu tür yıldızlarda flare olayları sonucu meydana gelen değişim, yıldızın kendi parlaklığına göre çok küçük kaldığından, yıldızların uzaklıkları da dikkate alındığında gözlenemeyecek boyutlardadır.
- Gerçekte bazı sıcak B tayf türünden yıldızlarda da zaman zaman flare olayının gerçekleştiğine dair belirtiler bulunmaktadır, fakat böylesine olayların gözlemsel hatalar içerdiği düşünülmektedir.
- **dKe ve dMe yıldızlarının mutlak parlaklıkları +7 kadirde daha küçüktür. Kütle ve yarıçap olarak ise 0.4 güneş ölçülerinden daha küçük cisimlerdir.**

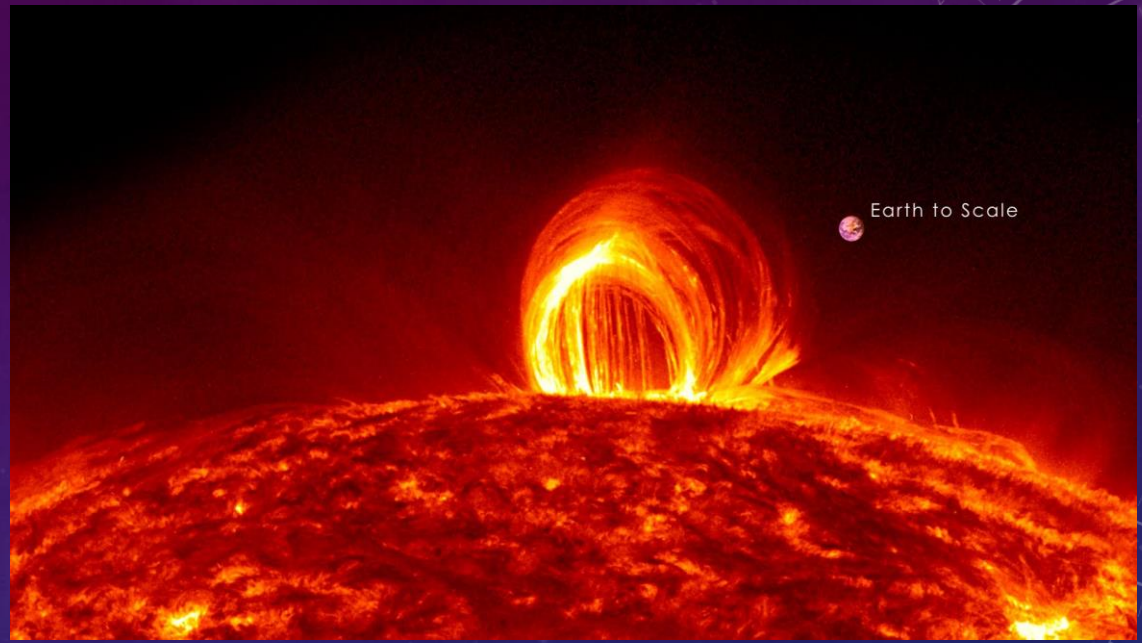
7.1.3 FLARE MEKANİZMASI



- Optik bölgede gözlenen flare olayı için ortaya konan en iyi açıklama, yıldız yüzeyinden aniden salınan enerji olduğudur. Salınan enerji miktarı, birkaç dakikalık zaman ölçeğinde milyar tane atom bombasına karşılık gelir.
- Böylesine patlamalar dışarı yönde hareket eden şok dalgası oluşturacağından bu bölgede bulunan gazın ısınmasına ve iyonlaşmaya neden olur. Şok dalgası geçtikten sonra iyonlar elektronlarla tekrar birleşeceğinden alınan tayflarda parlak salma çizgileri görülür. Isıtma sonucu gaz çok sıcak hale geldiğinden, flare olayları kısa dalgaboylarında daha etkin bir şekilde gözlenir – mor, moröte ve X-ışın bölgede.
- 2004 yılında GALEX UV uydusu kırmızı cüce bir yıldız olan Gliese’de altı dakikalık bir süre içerisinde UV bölgede (3685 Å) 9 kadire ulaşan parlamalar gözlemiştir. Salma çizgilerinin oldukça geniş olması, şok etkisine maruz kalan gazın çok büyük hızlarda hareket ettiğini göstermektedir (yüzlerce km/sn ölçüsünde).



- *Reuven Ramath High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)* uydusu ile x- ve gamma-ışın bölgesinde güneşte binlerce flare olayı kaydedilmiştir. Güneş'te meydana gelen bu tür patlamaların anlaşılması ve patlama zamanlarının gözlemleri bizler açısından çok önemlidir. Böylesi patlamalar ile salınan yüksek enerjili parçacıklar Dünya'ya birkaç gün sonra ulaşır. Yüklü parçacıklar uyduları olduğu kadar radyo iletişimini ve elektrikli araçlara zarar verebilecek düzeydedir.
- Güneş'te meydana gelen flare olayları hakkında daha fazla bilgi için <http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheroy/> adresine bakabilirsiniz.
- Flare yıldızlarında görülen radyo bölge değişimleri, Güneş'te görülen Tip III radyo parlamalarına çok benzemektedir. Fark, flare yıldızlarında Güneş'tekinden 10^3 ile 10^5 kat daha fazla enerjili patlamaların gerçekleşiyor olmasıdır. **Işınlardan çok güçlü bir şekilde kutuplanmış (%90'ı dairesel, %20'si doğrusal) olmaları, bu olayların güçlü manyetik alan ve sinkrotron ışınımı ile bağlantılı olduğunu gösterir.**
 - Sinkrotron ışınımı yüklü parçacıkların manyetik alan çizgileri etrafında spiral çizmeleri sonucu ortaya çıkar.

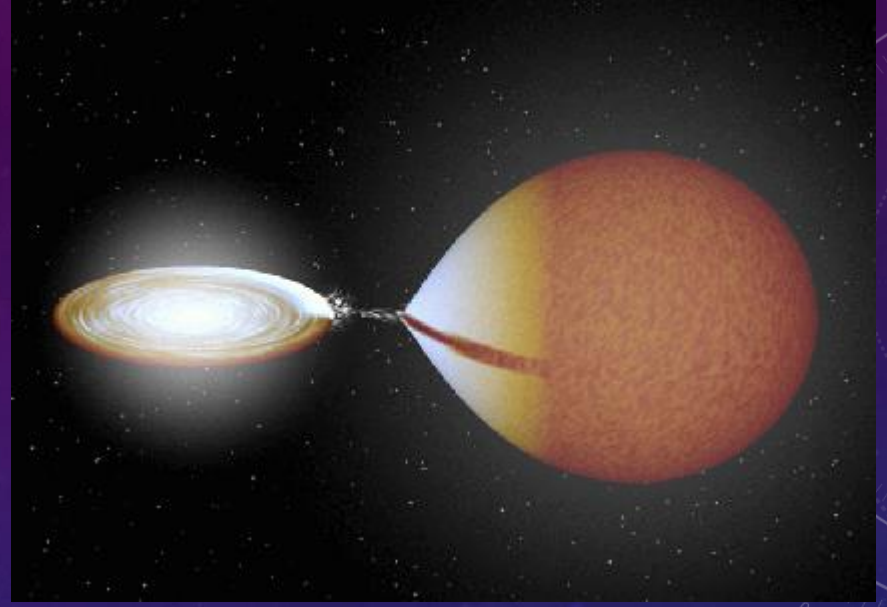


- Ani enerji salınımı neden gerçekleşir?

- Muhtemelen Güneş'te gerçekleşen flare olayları ile aynı süreçler bu tür yıldızlarda da işlemektedir. Patlamalar manyetik alan çizgilerinin birbirlerine dolaşarak parçalanması ve ardından yeniden birleşmesi olayında manyetik enerji salınımı sonucu açığa çıkmaktadır.
- Dinamo etkisiyle ortaya çıkan manyetik alan çizgileri yıldızın dönmesi ile bükülmeye uğrar. Bu tür değişen yıldızlarda bu süreçlerin Güneş'te olanlardan çok daha önemli rol oynadıkları düşünülmektedir. Son derece karmaşık yapıya sahip olan manyetik alan çizgilerinin parçalanması halen tam olarak anlaşılabilmiş değildir; bünyesinde *manyetohidrodinamik* konusu bulunmaktadır ve ismi gibi uzun ve karmaşık yapıların bu tür yıldızlarda işlediğini bizlere gösterir.

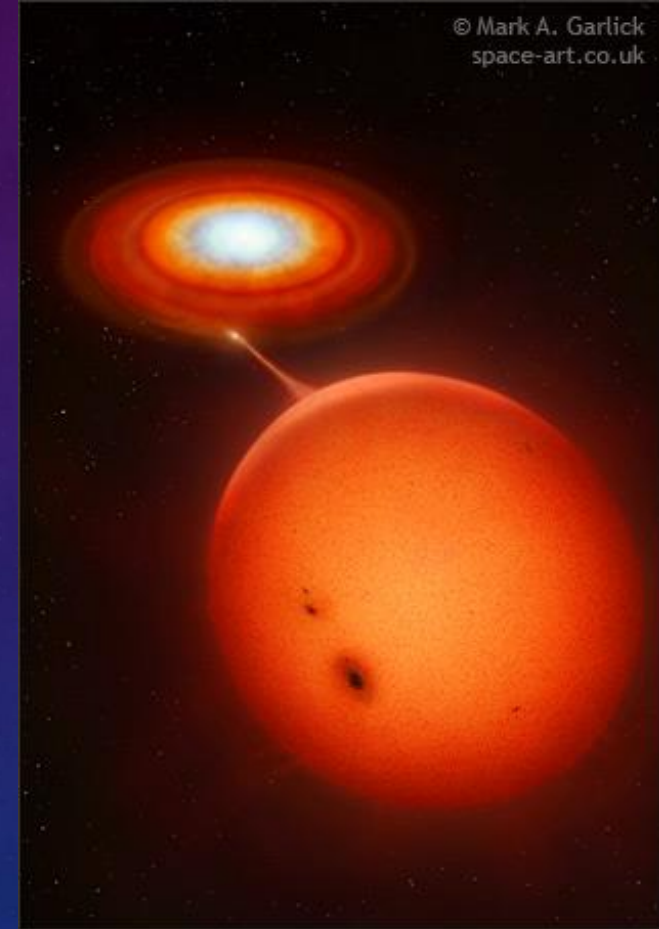
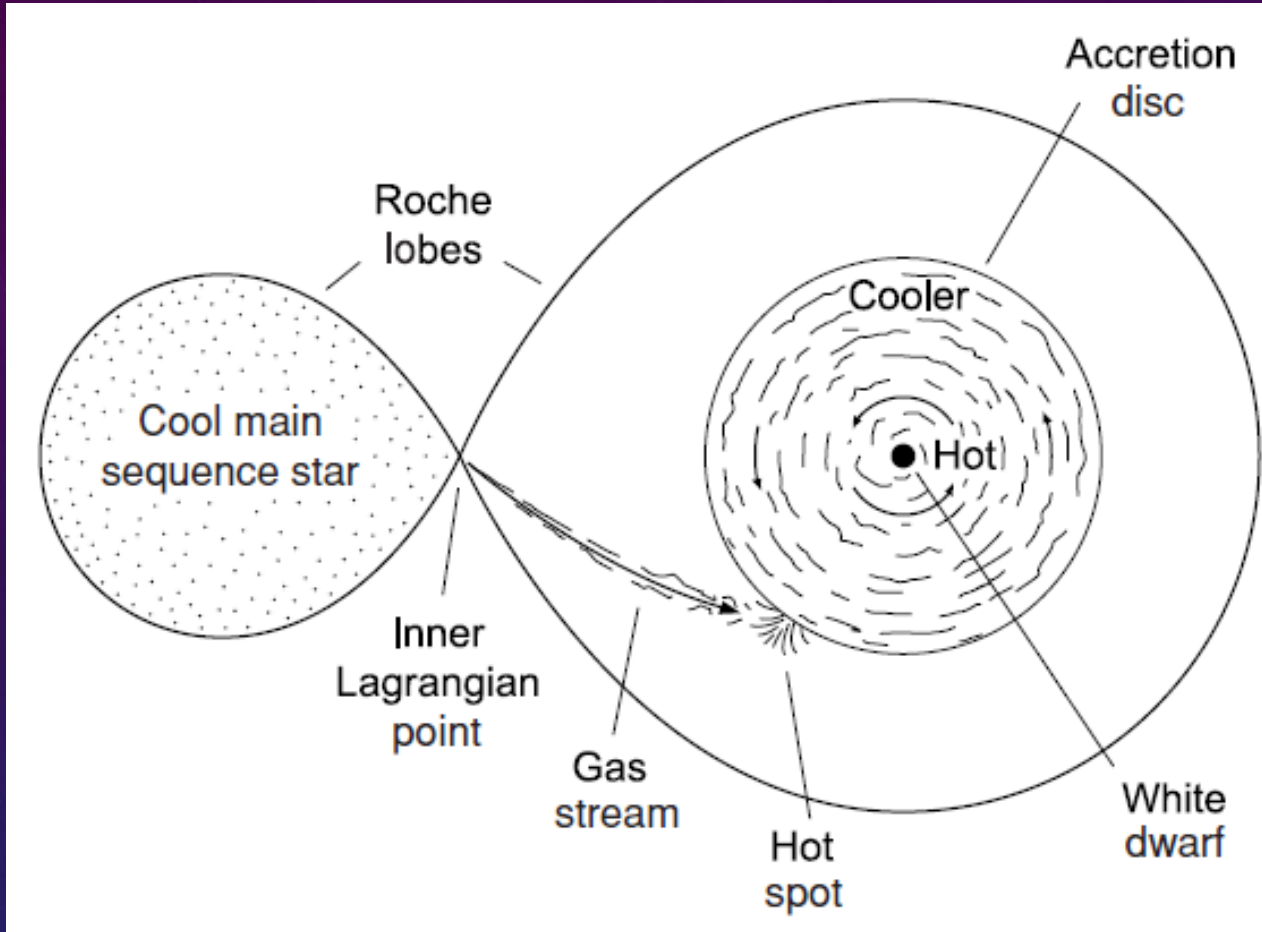
- BY Draconis türü değişenlerde olduğu gibi flare yıldızları için de fiziksel açıdan önemli olan parametre onların görelili olarak daha hızlı dönen cisimler olmalarıdır. Hızlı dönme, *görelili* olarak genç yıldızlarda, bir nedenden dolayı yaşı ilerlemiş olmasına rağmen dönme enerjisini kaybedemeyen yıldızlarda veya yakın çift yıldız sistemi üyesi olan cisimlerde görülür.
- Genç yıldızlarda hızlı dönme onların yeni oluşmalarının bir sonucudur; henüz dönme hızının yavaşlaması için yeterince zamanın geçmediği yıldızlardır. Son örnek için ise hızlı dönme, bileşen yıldızın çekimsel gel-git etkisi sonucu dönme-dolanma kilitlenmesi veya senkronizasyonu nedeniyle dönme hızının artmasını sağlıyor olan sistemler olmaları ile ilgilidir. RS Canum Venaticorum yıldızlarındaki durum budur.
- **K ve M tayf türünden cüce yıldızlarının diğer önemli özelliklerinden biri ise Güneş'te olandan çok daha derin katmanlara ulaşan konvektif katmanlara sahip olmalarıdır. Soğuk kırmızı cüce yıldızlarda iç katmanlar tamamen konvektif yapıya sahiptir.**

7.2 KATAKLİZMİK DEĞİŞENLER (CV)

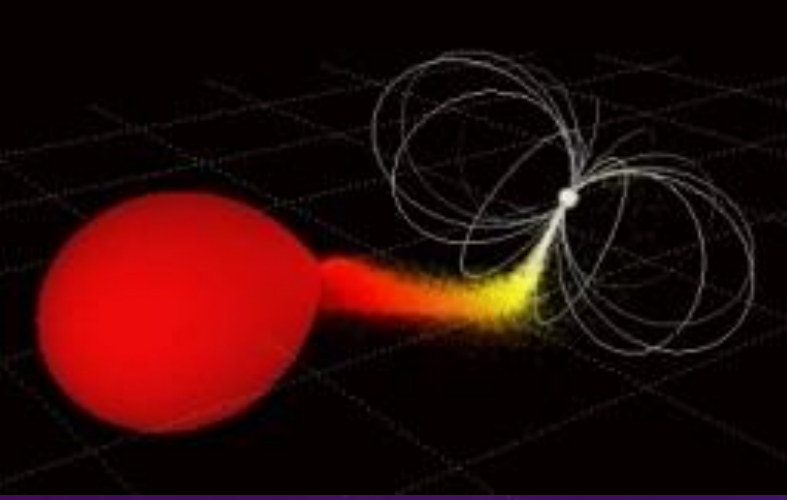


- *Kataklizmik değişen (CV)*, ortak bir modelle tarif edilebilen ve çok farklı türden patlama gösteren yakın çift yıldız sistemleridir. Bileşenlerinden biri genellikle soğuk (G ile M tayf türünden) anakol yıldızıdır ve Roche şişimini doldurarak iç Lagrange noktasından çevresinde dolanan beyaz cüce bileşenini saran bir disk üzerine madde aktaran sistemlerdir.
- Şekil 7.3'de verilen standart modele göre **baş bileşen beyaz cüce yıldızıdır**. Yakın çift yıldız sistemlerinde kütle aktaran ile kütle alan cisim arasında çeşitli olaylar gerçekleşir. Bunlar;
 - Akan maddenin disk ile çarpışması durumunda hızlı ve küçük genlikli parlaklık değişimlerinin ortaya çıkması,
 - Diskteki ısıl kararsızlık nedeniyle flare türü patlamaların meydana gelmesi,
 - Yıldız yüzeyine hidrojen zengin materyalin çarpması sonucu termonükleer patlamaların yüzeyde gerçekleşmesi ve hatta sıkışık cismin Chandrasekhar sınırının üzerinde madde kazanması durumunda yıldızın tamamen patlaması

sayılabilir.



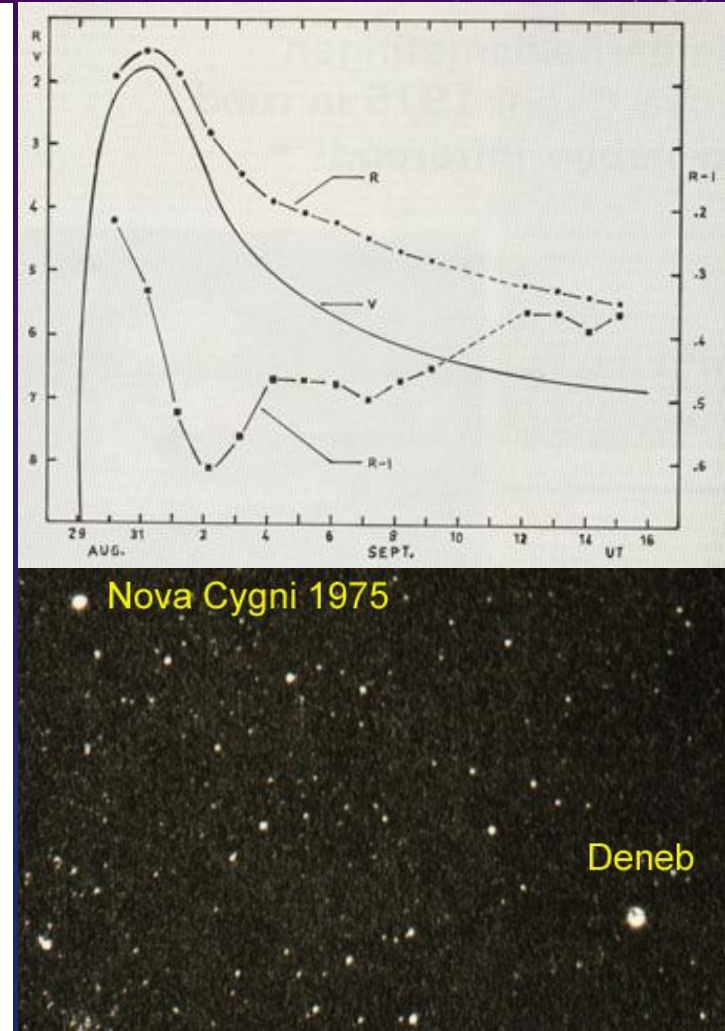
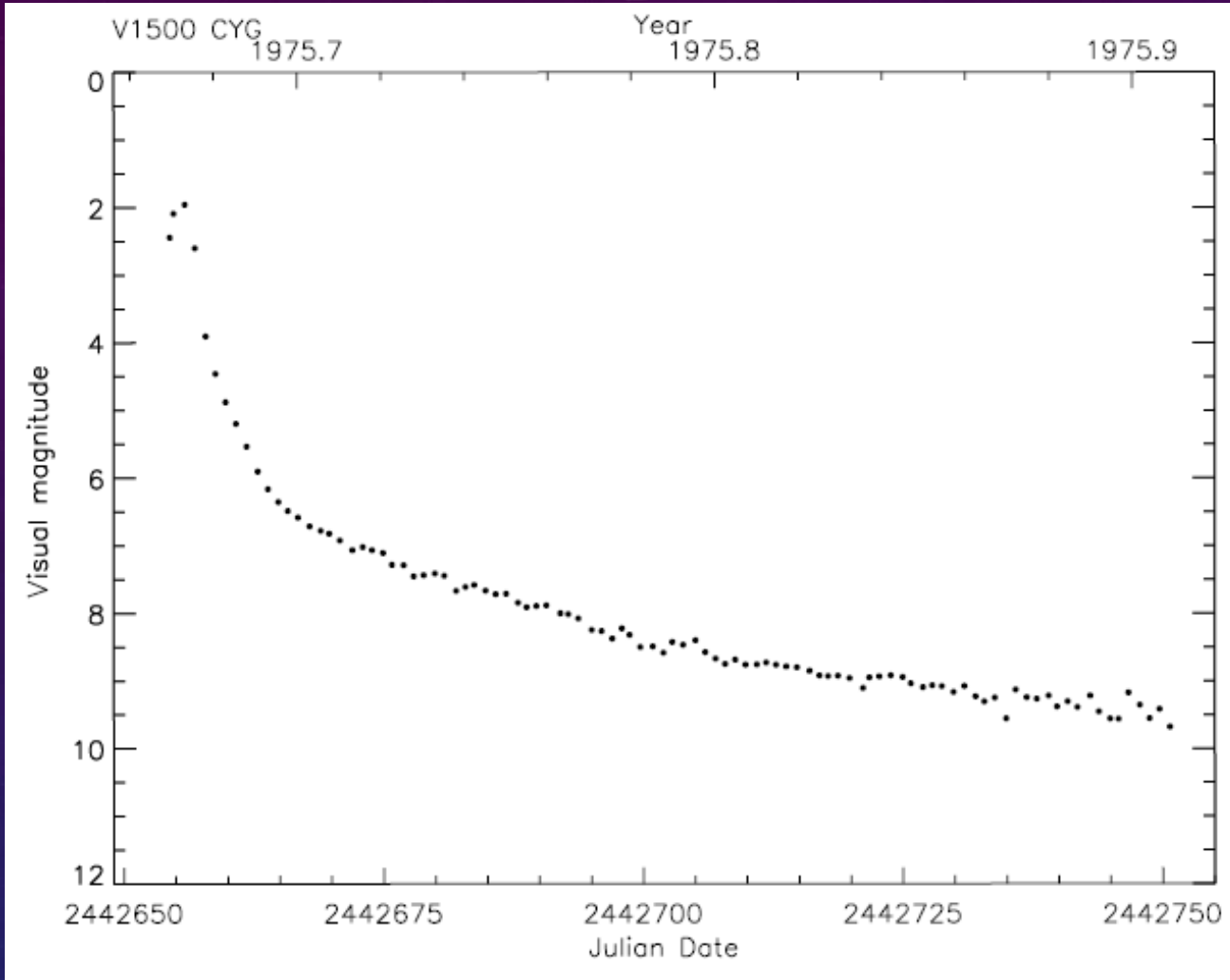
- **Şekil 7.3** Kataklizmik değişen sistemlere ilişkin model: baş bileşen bir beyaz cüce yıldızdır; yoldaş bileşen ise soğuk anakol yıldızdır (veya tekrarlayan novalarda olduğu gibi kırmızı dev yıldızdır); iç Lagrange noktasından karşı bileşenine kütle aktarımında bulunur. Akan maddenin çarptığı bölgede sıcak leke oluşur. Yığılma diski, merkezi yıldız yakınlığında daha sıcaktır. (Jeff Dixon Graphics).



- Güçlü manyetik alana sahip sıkışık cisim bir nötron yıldızı veya karadelik ise bu durumda çok daha ilginç ve uç noktalarda olayların gerçekleşmesi mümkündür. Manyetik alanın zayıf olması, yığılma diski üzerine aktarılan maddenin daha fazla etkin olmasına neden olur. **Manyetik alanın güçlü olması durumunda aktarılan madde manyetik alan çizgileri tarafından yönlendirilir**; orta büyüklükte manyetik alana sahip olunması durumunda da yine karmaşık ve ilginç olayların ortaya çıkması mümkündür.
- CV'ler, buldukları farklı ortamlarda kütle aktarımı ve yığılma disklerinin oluşumları konusunda bizlere bilgi verebilen cisimlerdir. Bununla birlikte genellikle çift yıldız sistemlerinde ortaya çıkabilen beyaz cüce, nötron yıldızı ve kara delik gibi son derece sıkışık cisimleri de daha iyi anlayabilmemizi sağlarlar.
- CV'ler çok geniş zaman aralıklarında ve farklı düzeylerde parlaklık değişimleri gösterirler. Bu kadar farklı özelliklere sahip olmalarının temel nedeni CV'lerde farklı geometrik ve fiziksel süreçlerin, sistemin farklı kısımlarında gerçekleşiyor olmasıdır.
- Kataklizmik değişen yıldızlara ilişkin bir kataloğa aşağıda verilen linkten ulaşılabilir:
<http://icarus.stsci.edu/~downes/cvcat/>

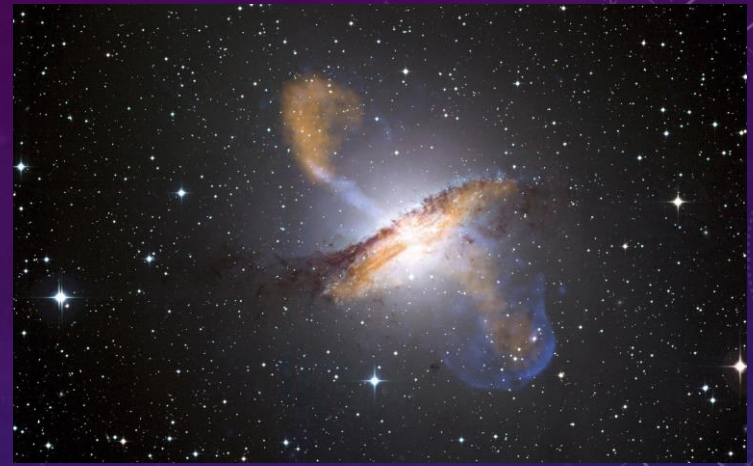
7.2.1 NOVALAR

- Novalar parlaklıklarını birkaç gün içerisinde 15 kadir kadar artırabilen cisimlerdir ve çıplak gözle fark edilebilenler genel olarak kendi galaksimizdeki bize yakın olan cisimlerdir (Şekil 7.4 ve 7.5).
- Nova Aquila 1918 (V603 Aquila) en parlak haline ulaştığında Sirius'ü bile gölgede bırakacak parlaklığa ulaşmıştır. Daha önceden fark edilmeyen bir ortamda “*Yeni yıldız*” olarak ortaya çıktıklarından **nova** olarak isimlendirilmişlerdir. Nova'nın kelime olarak anlamı “yeni” dir.
- Novalar isimlendirilirken buldukları takımyıldız ve keşif yılı dikkate alınır. Daha sonra ise bu cisimlere gerçek değişen yıldız isimleri verilir; Nova Cygni 1975 in değişen yıldız ismi V1500 Cygni şeklindedir.
- Günümüzde bir nova patlamasının ardından bu ortamda bulunan yıldızların önceki özellikleri artık bilinmektedir. Gökyüzü tarama gözlemlerinden, örneğin *Palomar Observatory Sky Survey (POSS)*'de bu türden nova-öncesi cisimlerin gerçek anlamda yeni olmadıklarını, fakat çok sönük cisimler olduklarını anlamaktayız. Evrimsel açıdan yaşamlarının sonlarına ulaşmış olan cisimlerdir.

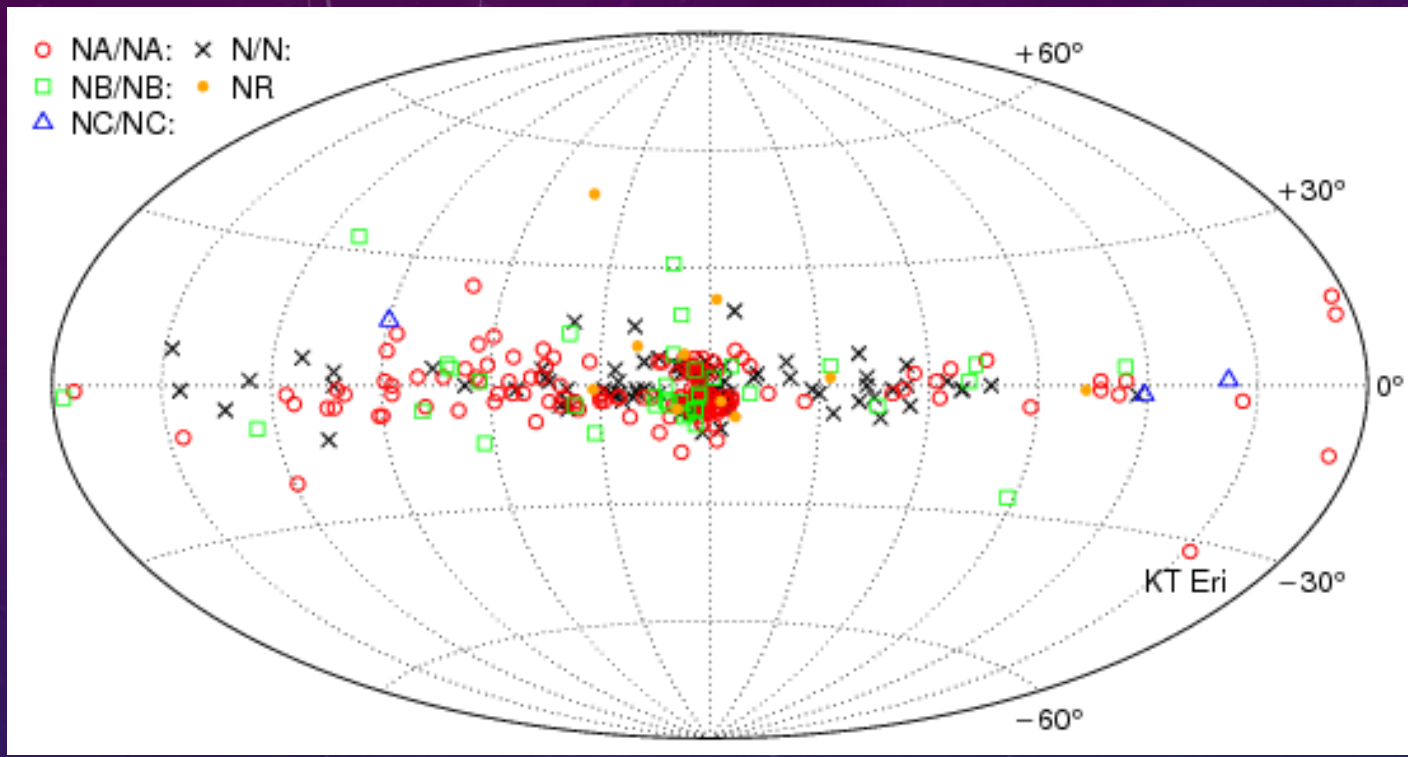


- **Şekil 7.4** Nova Cygni 1975 (V1500 Cygni)'nin ışık eğrisi. AAVSO veri tabanında bulunan gözlemlerden oluşturulmuştur. V1500 Cyg'ni bir düzine kadar farklı gözlemci tarafından ayrı ayrı keşfedilmiştir. Işık eğrisinin genliği, maksimumda kalma süresi ve çok düzgün bir şekilde parlaklık azalması göstermektedir. (AAVSO).

- *Nova* türü değişenler, önceden kestirilemeyen bir zamanda parlaklıklarını aniden 6 ile 19 kadir kadar artıran ve birkaç gün içerisinde mutlak parlaklıkları $M_v \sim -9$ kadir'e ulaşan, daha sonra yavaş bir şekilde parlaklıkları azalan değişenlerdir.
- GCVS4'de *hızlı (NA)*, *yavaş (NB)* ve *çok yavaş (NC)* alt türleri bulunur. Parlaklık değişimleri, atılan kabuktaki materyalin miktarına ve özelliklerine bağlıdır. Aynı zamanda tayflarında da değişim gözlenir. Moröte, kırmızıöte ve radyo bölgede salma gözlenir. *Nova olayı, beyaz cüce bileşeni üzerine yığılan hidrojen zengin materyalin termonükleer patlamaya uğraması ile ortaya çıkar.*
- Ayrıca *tekrarlayan novalar* da bulunur (GCVS4'de **NR** ile gösterilir) ki bu tür novalarda birden fazla patlama gözlenir; *cüce novalar* ve türevleri bu sınıf içerisinde yer alır. Cüce novalar, birkaç haftada bir parlaklıklarını birkaç kadir kadar artıran cisimlerdir.
- *Nova-benzeri cisimler* (GCVS4'de **NL** ile gösterilirler) ise patlamadan önce ve sonrasında normal novalar gibi veya DNe gibi görülürler.



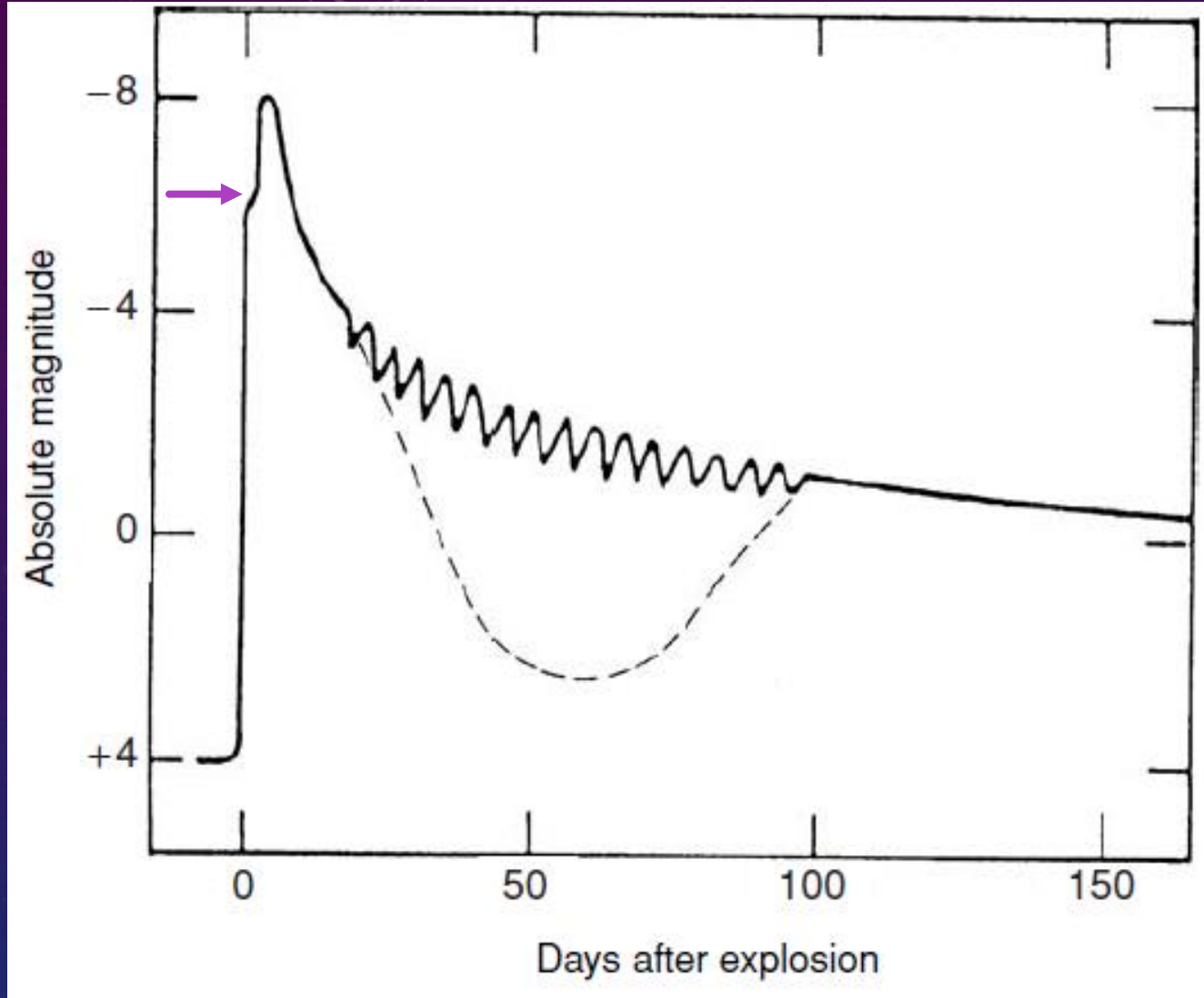
- Galaksimizde her yıl yaklaşık 30 kadar nova patlaması gerçekleşmektedir. Fakat bunların büyük çoğunluğu yıldızlararası toz ve gaz nedeniyle görülemez. Özellikle parlak olan novalar, amatör astronomlar tarafından gerçekleştirilen sistematik ve yorucu gözlemler sayesinde keşfedilmiştir.
- Gözlenen novaların sayısı gökyüzü taramaları sayesinde daha da artmıştır. 2000 yıldan fazla süredir gözlenebilen cisimlerdir. **1930'lu yıllara kadar nova ve süpernovalara aynı gözle bakılmaktaydı, fakat günümüzde artık bu iki cisim arasında önemli farklılıkların bulunduğu bilinmektedir.**
- Magellan Bulutları, M31 ve M33 gibi yakın galaksilerde durum biraz farklıdır. Geniş alan görüntüleri sayesinde her yıl bu galaksilerde çok sayıda nova keşfedilmektedir. Galaksilere kenardan bakılmadığı sürece soğurucu ortam veya toz bulutunun engellemesi önemli bir probleme neden olmaz. Fakat gerçekleştirilen **keşifler ancak patlama sonrasında yani maksimum parlaklığa ulaşan cisimlerdir.**
- Bu tür cisimlerin tayfsal olarak incelenmesi ve hatta minimum parlaklığa sahip iken görülebilmeleri neredeyse imkânsızdır. Kendi galaksimizde ortaya çıkacak parlak bir novanın ulaşacağı parlaklığa başka galaksilerdeki novalardan hiçbiri ulaşamaz.



- Galaksimizdeki novaların büyük çoğunluğu orta veya yaşlı Pop I yıldızlarıdır. Fakat bu çıkarım tam olarak doğru olmayabilir. Galaksimiz dışında, M81'de görülen bir novanın Pop II türü olduğu açık bir şekilde belirlenmiştir. Küresel yıldız kümelerinde de birkaç tane nova keşfedilmiştir. Bu durum ise novaların Pop II türü cisimler olduğunu göstermektedir.
- Gökyüzündeki konumları dikkate alındığında ise çoğunlukla diskte ve galaksimizin çekirdek bölgesinde bulunurlar. Yaşlarının milyar yıl ölçüsünde olduğu ve yakın çift yıldız sistemlerinin evrimlerinin sonlarındaki cisimler oldukları bilinmektedir.

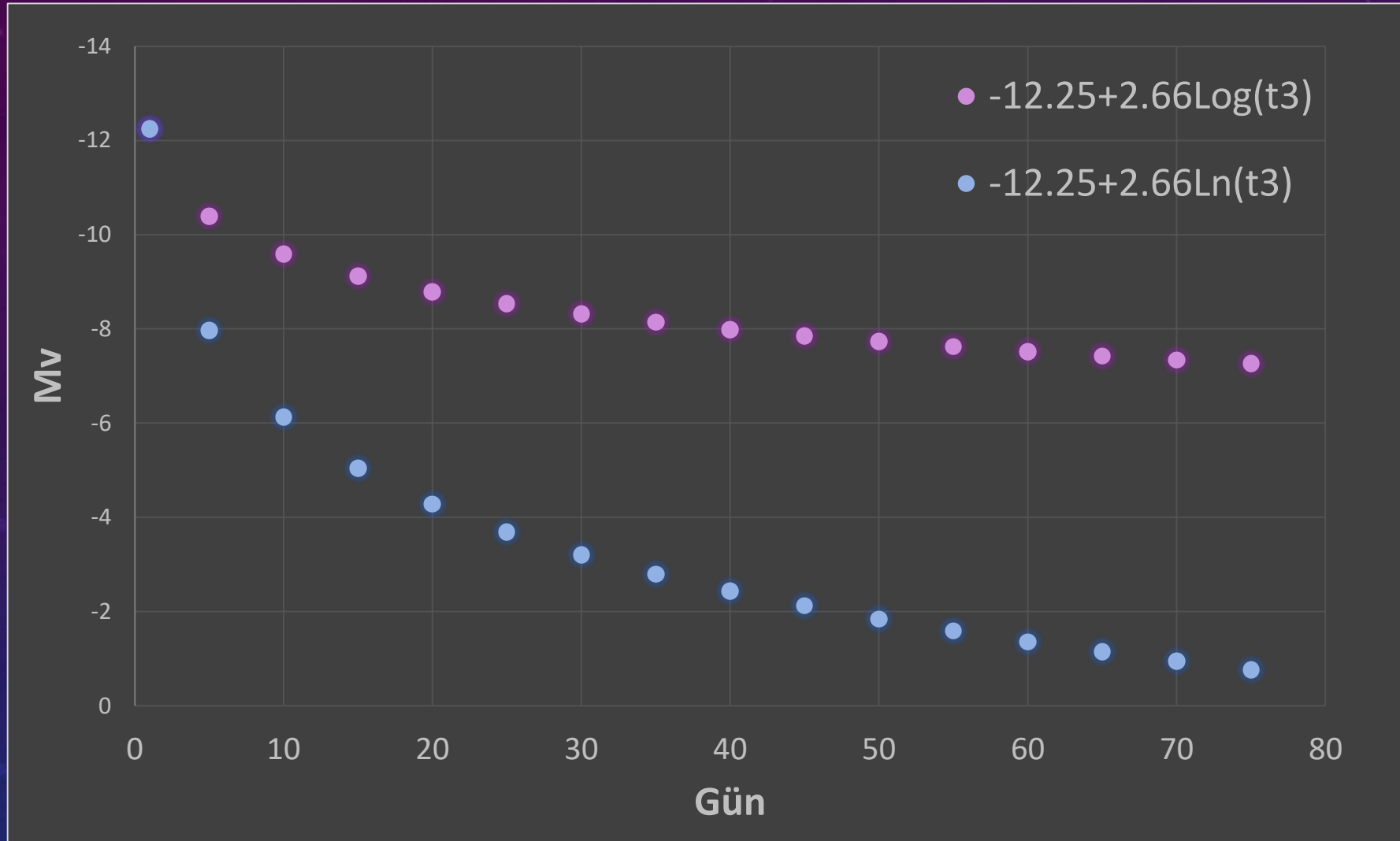
IŞIK EĞRİLERİ

- Tipik bir novanın Şematik iŐik eğrisi Şekil 7.5'de verilmiştir. Maksimum parlaklığa ulaştıktan sonra parlaklık azalması iÇin farklı evreler bulunur. **Nova-öncesi durum konusunda çok fazla bilgimiz yoktur. En iyi koŐullarda tarama gözlemleri dikkate alınarak patlama gerçekleŐmeden önceki parlaklıkları bulunabilir.**
- Böylesine bir patlamanın gerçekleŐeceĐini bize aylar, yıllar ve hatta on yıllar önce bildirecek bir sinyalin bulunup bulunmadığı bilinmemektedir. Bununla birlikte patlamadan sonra ne kadar sürede nova-sonrası evreye ulaşacağı da çok net değildir. **Teoriler, cismin yeniden bir patlama göstermesi iÇin 10000-100000 yıl arasında bir zamanın geemesi gerektiğini söylemektedir.**
- Nova Cygni 1975'in patlamadan önce birkaç ay iÇerisinde bu duruma geldiği anlaşılmıştır. Sadece tekrarlayan novalar iÇin patlama gerçekleŐmeden öncesine ait gerçek tayfsal bilgiye sahip durumdayız. Maksimum parlaklığa yükseliŐ ve maksimuma ulaŐmadan önce hafif bir duraklamanın bulunması kısmen anlaŐılabilmıŐtir. Novalar genellikle maksimum parlaklığa sahip olduktan sonra keŐfedilebilen cisimlerdir.



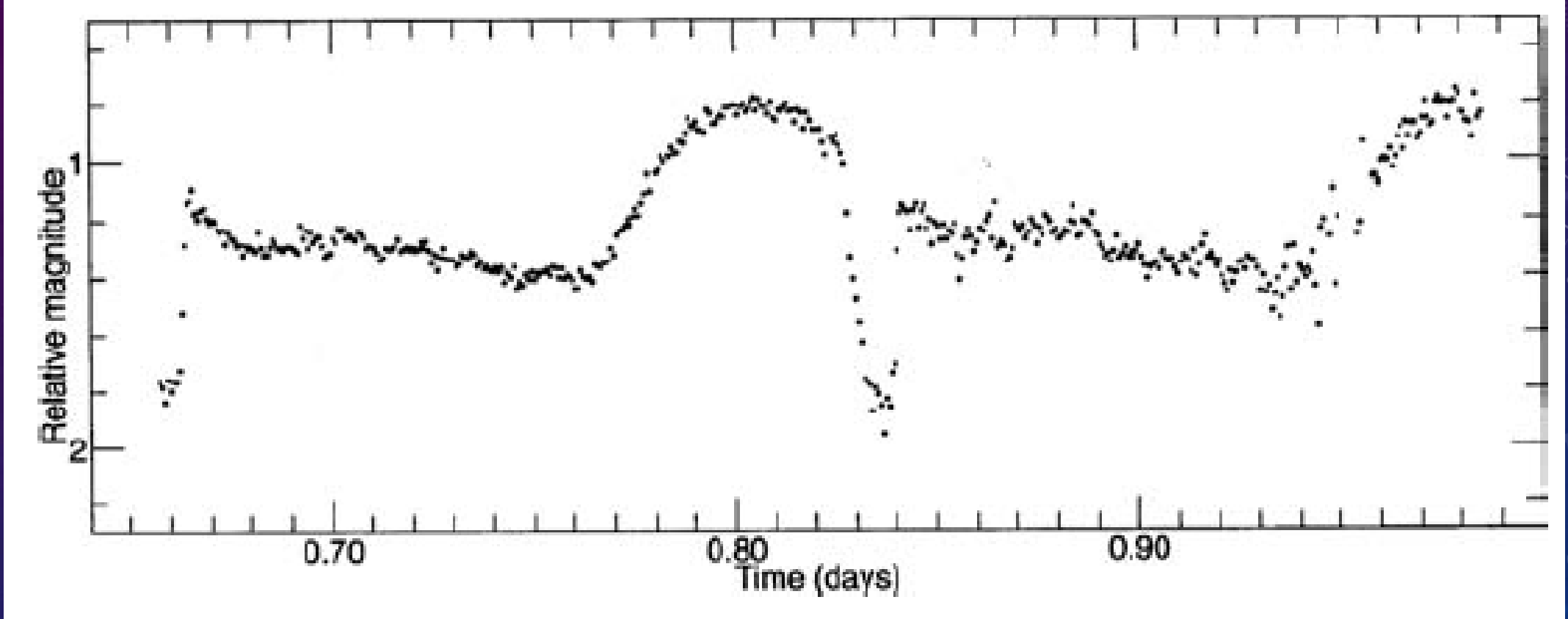
- **Şekil 7.5** Bir novanın şematik ışık eğrisi ve ışık eğrisine ilişkin çeşitli özellikleri: hızlı parlaklık artması, hızla başlayan fakat git gide yavaşlayan parlaklık azalması ve parlaklık azalmasının devamı veya yaklaşık 50 gün dönemli salınımlar. (Kaler, 1997).

- **Maksimum parlaklığa ulaştıktan sonra parlaklık hızla azalır fakat zamanla bu değişim yavaşlar ve ardından çok yavaş hale gelir** (zaman zaman bu tür değişimler A, B veya C olarak sembolize edilir).
- Nova Cygni 1975, en hızlı novalar arasında yer alırken, Nova Delphini 1967 (HR Delphini) en yavaş novalardan biridir. **Parlaklık azalmasını temsil etmek için kullanılan standart parametre t_3 zamanı ile gösterilir ve maksimum parlaklıktan 3 kadir sönükleşmesi için geçen süre olarak tanımlanır.** Bu süre novanın hızına bağlı olarak günler, haftalar veya aylarca olabilir. Gün biriminde ifade edilen t_3 zamanı maksimumdaki mutlak parlaklık ile ilişkilidir: **daha parlak olan novaların parlaklıkları daha hızlı azalır.**
- Parlaklığın hızlı ve düzgün değiştiği durumlar için mutlak parlaklık; $M_V = -12.25 + 2.66 \log(t_3)$ ile diğer türler için ise $M_V \sim -6.4$ kadir değeri belirlenmiştir.
- Bu bağıntı ile gözlenen novaların uzaklıklarının belirlenmesi mümkündür. Başlangıçtaki parlaklık azalması dikkate alınarak cismin maksimumda iken M_V parlaklığı hesaplanabilmektedir. Bu değer ile birlikte maksimumdaki görünür parlaklığının yıldızlararası ortamın soğurma etkisinden arındırılması durumunda cismin uzaklığı hesaplanabilmektedir.
- Bağıntı ayrıca bize novaların maksimum parlaklığa ulaştıktan 15 gün sonra M_V parlaklığının -5.5 kadir'e ulaştığını göstermektedir. Bu değer novanın parlaklık değişim hızına bağlı değildir.



- Maksimum parlaklıktan sonraki *geçiş bölgesinde* ışık eğrilerindeki parlaklık değişimi novadan novaya farklılık gösterebilmektedir.
- Parlaklık azalması düzgün bir şekilde gerçekleşebileceği gibi salınımlı bir şekilde de gerçekleşebilir. Salınımlı yapı düzgün parlaklık azalması üzerine binmiş yapıdadır. Bu değişim yıldızın ısıl kararsızlıkları sonucu veya genişlemekte olan kabukta toz oluşumu ve tozun yok olmasına bağlıdır.
- Bazı novalarda parlaklık azalırken ani düşme görülür ve ardından tekrar parlaklığı eski düzeyine gelerek azalmaya devam eder. Böylesine bir değişimin temel nedeni, yıldızı saran ve genişlemekte olan gaz yapının soğuyarak toz oluşturması ve ardından bu tozun yok olmasıdır. Sonuç olarak novalar, nova-sonrası evre olarak adlandırılan bir evreye ulaşırlar.

- Novalar ve onunla ilgili diğer cisimler de minimum parlaklığa ulaştıklarında benzer parlaklık salınımları gösterirler. Bu değişim hızlı ve genellikle küçük genlikli parlaklık değişimi şeklindedir. Normal fotometrik gözlemlerde zor görülebilmesine rağmen *yüksek-hızlı fotometrik* gözlemlerle bu tür değişimleri ortaya çıkarabilmek mümkündür. Karakteristik olarak:
 - Dakika ölçeğinde yoğun salınımlar,
 - Tutulmalarda ortaya çıkması beklenen, kabaca dönemli minimum yapı,
 - Kamburumsu yapı veya görelî olarak parlaklığın yavaş bir şekilde arttığı ve azaldığı durumlar görülebilir.
- Şekil 7.6'da Z Chamaeleontis'in minimum parlaklığına ilişkin ışık eğrisi verilmiştir. Değişimin dönemi $0^{\text{s}}.074$ kadardır. Bu değişimin önemi bir sonraki kesimde CV'lerin yakın çift yıldız sistemi oldukları model ile bağlantı kurularak tartışılacaktır.



- **Şekil 7.6** CV türü bir değişen olan U Geminorum'un ışık eğrisinde sıcak leke bölgesinin örtülmesi sonucu ortaya çıkan parlaklık azalması ve sonrasında tekrar sıcak lekenin görülmesi ile parlaklık artması görülmektedir. Bu bulgular, ışık ve dikine hız eğrileri birlikte ele alınarak ulaşılmıştır (Hellier, 2001).

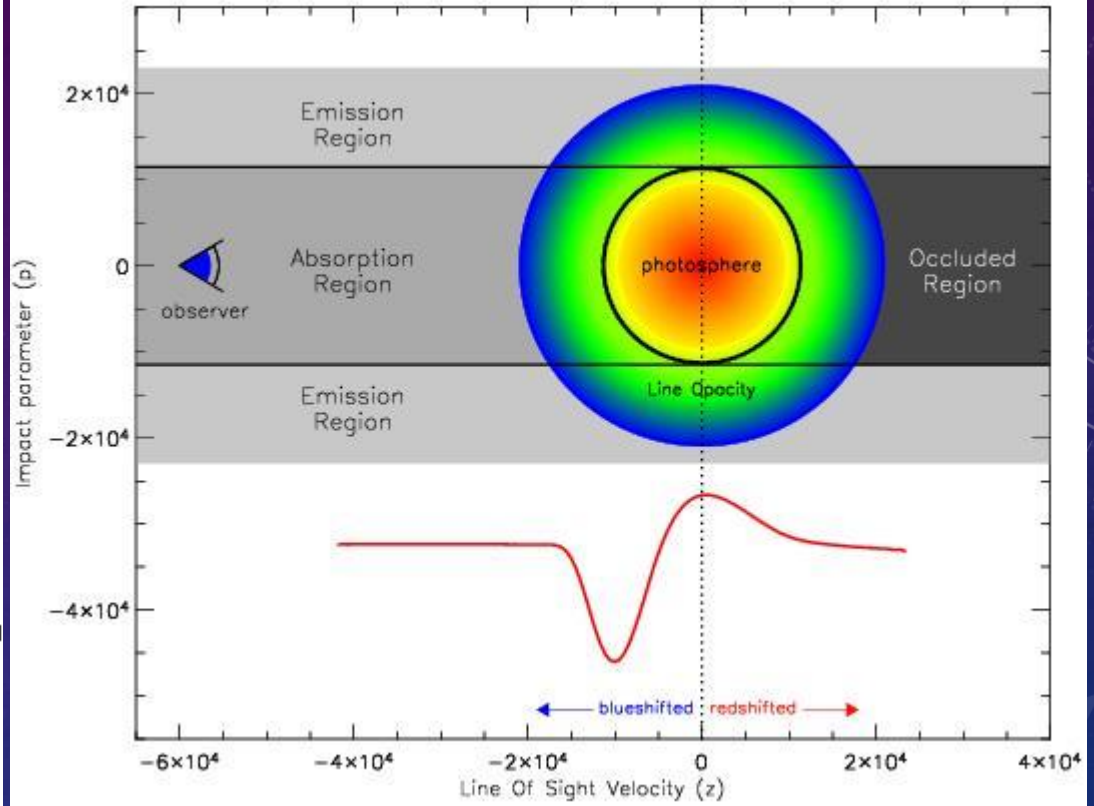
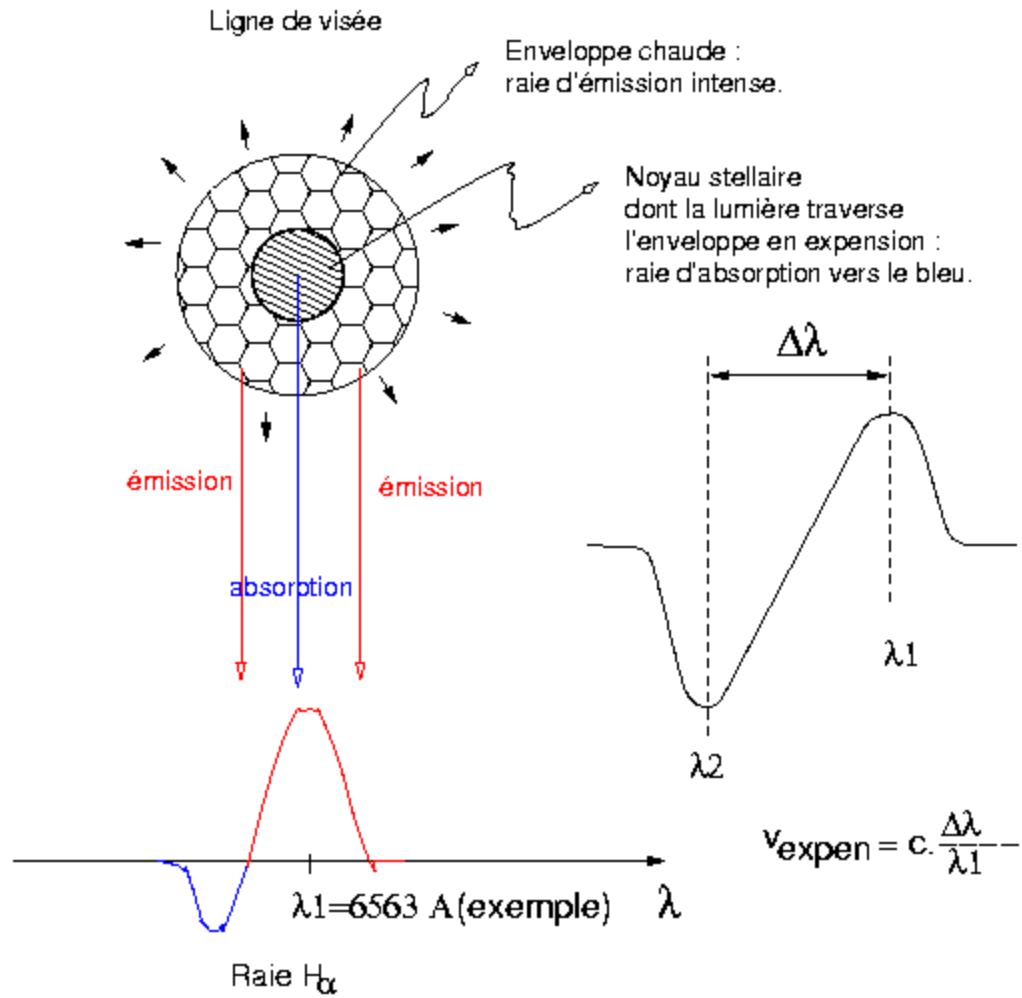
MORÖTE VE KIRMIZIÖTE BÖLGE DEĞİŞİMLERİ

- Sadece görsel bölgede gerçekleştirilen gözlemler cisimleri anlayabilmemiz konusunda bizleri yanıltabilir. UV ve IR bölge ışınımgüçleri görsel bölge ışınımgücüne eklendiğinde, **görsel bölgede novanın en parlak olduğu zamandan birkaç hafta sonrasına kadar cismin parlaklığının neredeyse değişmeden sabit kaldığı görülmektedir.**
- Sonrasında parlaklıkta yavaş bir azalma meydana gelir. Nova patlaması sırasında yaklaşık olarak $3 \times 10^4 L_{\odot}$ ölçüsünde enerji açığa çıkar. Bu değer *Eddington ışınımgücü*'ne eşittir – herhangi bir kütleye sahip yıldızın dış yöndeki ışınım basıncının, iç yöndeki çekimsel kuvveti aşması durumunda sahip olabileceği maksimum ışınımgücü değeridir.
- Zamanla bu enerjinin artan şekilde küçük bir kesri görsel bölgede görülmeye başlar. Patlama gerçekleşikten hemen sonra yıldızın sıcaklığı yaklaşık olarak 10000 K'e ulaşır. Bu durumda enerjinin büyük kısmı görsel bölgeye düşer. Daha sonra ise genişleyen fotosfer nedeniyle yıldızın daha iç katmanları görülmeye başlar. Bu durumda yıldızın daha sıcak iç katmanları görüleceğinden enerjinin büyük kısmı UV bölgede ortaya çıkar. Bu durumda uzayda bulunan UV teleskopları ile gözlemler yapılmalıdır. IR bölgede salınan ışınım, yıldızdan değil onu saran gazın genişlemesi ve ardından oluşmaya başlayan toz nedeniyle ortaya çıkar. Toz yıldızdan salınan görsel ve UV ışınımı soğurur ve tekrar IR bölgede salar.
- Radyo bölge salması da özellikle gazdaki serbest-serbest geçişler nedeniyle atılan madde sonucu artar. Bu tür cisimler için IR ve radyo bölge salmalarının incelenmesi ile atılan materyalin sıcaklığı ile yoğunluğu hakkında bilgilere ulaşılır.

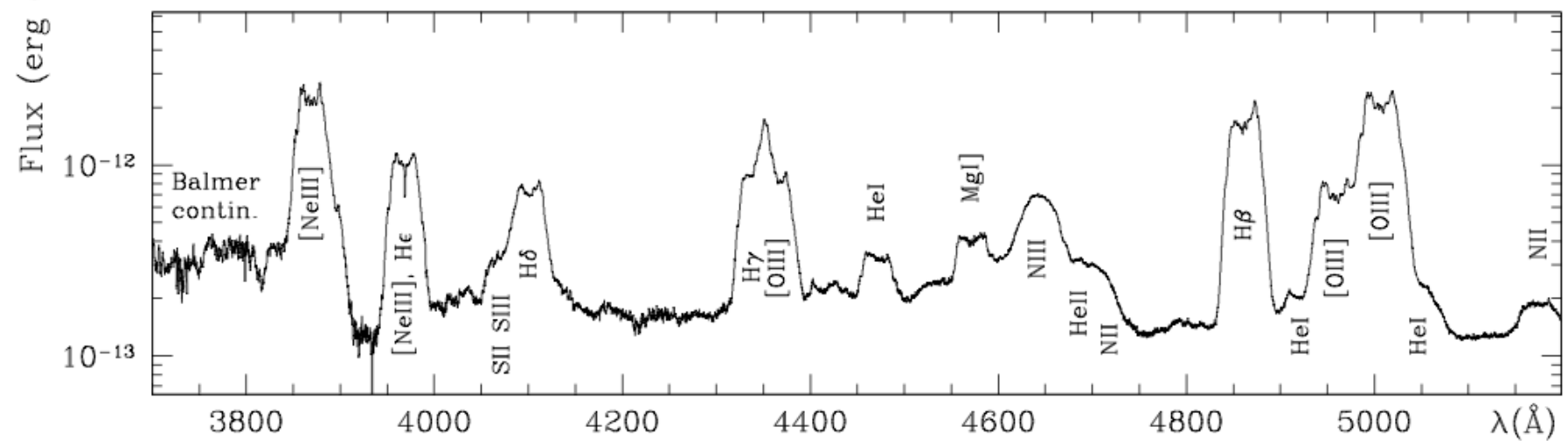
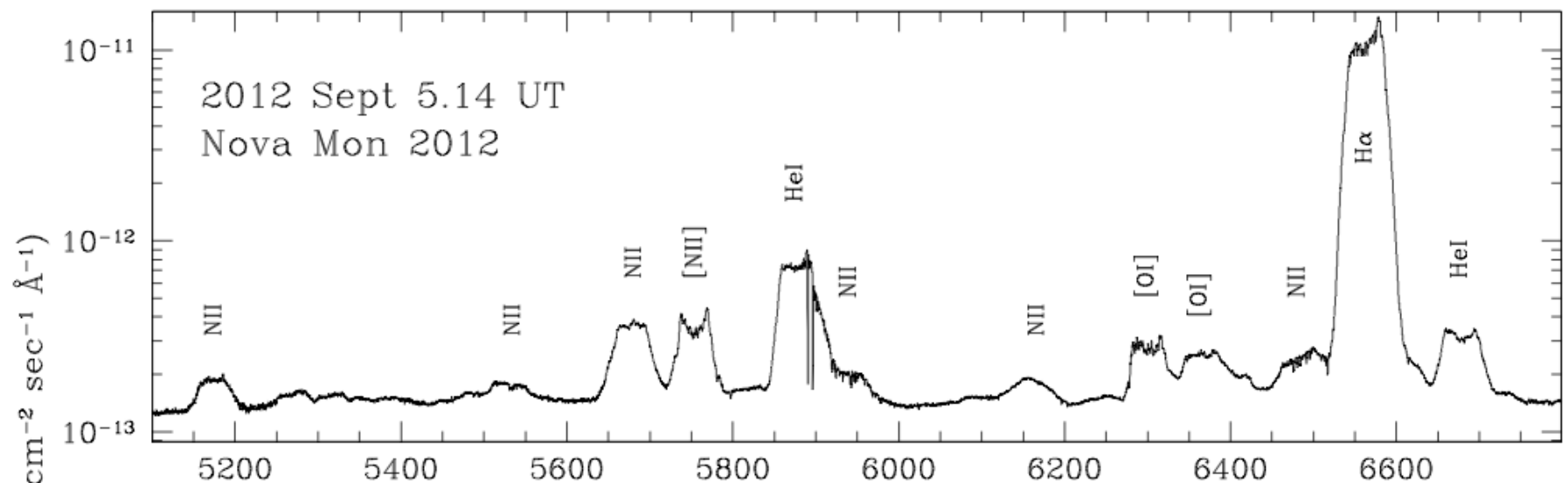
TAYFSAL DEĞİŞİM

- İlk defa 1866 yılında alınan görsel bölge tayfları sayesinde novaların kendine özgü ve belirgin tayfsal değişimleri olduğu anlaşılmıştır. **Değişimin temel nedeni yaklaşık olarak $0.0001 M_{\odot}$ kadar maddenin birkaç yüz km/sn veya daha yüksek hızlarla, kabuk şeklinde uzaya atılmasıdır.** Novalar için aşağıda verilen tayfsal değişimler bulunmaktadır:
 - **Nova-öncesi evre:** Nova-sonrası tayfta G-M türü yıldızlarda görülen soğurma çizgileri yanında H, He I ve He II ile Ca II elementlerine ait geniş salma çizgileri ve yığılma diski kaynaklı güçlü mavi süreklilik bulunur.
 - **Maksimum parlaklık öncesi:** Soğurma çizgileri B-A türü süperdev yıldızlarına benzemekte ve bu çizgiler birkaç yüz km/sn hızlarla maviye kaymış durumdadır. Maksimum parlaklık sonrasındaki azalmanın hızlı olduğu novalar için daha yüksek genişleme hızları bulunur– 4000 km/sn.
 - **Maksimum parlaklıkta:** Soğurma çizgileri A-F tayf türünden süperdevlerin tayfına benzemekte ve bu çizgiler birkaç yüz km/sn hızlarla maviye kaymış durumdadır.
 - **Temel parlaklık azalması:** Maksimum parlaklıktan sonraki 0.6 ile 4 kadırlık sönükleşme bölgesi. Maviye kaymış soğurma çizgisine sahip geniş salma çizgileri görülür. H, [OI], [NII] ve diğer metallere ilişkin “P Cygni profili” yapısı görülür. [] sembolü *yasak çizgiler* için kullanılır ve ortamın yoğunluğunun çok düşük olduğu bölgelerde oluşur.

Profil P Cygni



- **Yaygın evre:** Maksimum parlaklıktan sonra 1.2 ile 3.0 kadir sonrası. Soğurma ve salma çizgileri bir önceki tayfsal özelliklere benzemektedir, fakat maviye kayma hızları 2000 km/sn ölçülerindedir.
 - **Orion tayfı:** Maksimum parlaklıktan 2.1 ile 3.3 kadir sonrası. He I, N I, O II soğurma çizgileri (Orion bölgesindeki B yıldızı benzeri özelliklere sahiptir) ve bulanık bir salmaya sahiptir. Soğurma çizgileri yıldızın kendisinden, bulanık salma çizgileri ise atılan madde kaynaklıdır.
 - **$\lambda 4640$:** maksimum parlaklıktan 3.0 ile 4.5 kadir sonrası. He I ve N III salma çizgileri görülür.
 - **Bulutsu tayfı:** Maksimum parlaklıktan 4 ile 11 kadir sonrası. Gaz bulutsularda görülen, sıcak merkezi yıldızın saldığı ışınım ile uyartılan [O III], [Ne III] vb. salma çizgileri görülür.
 - **Nova-sonrası:** Nova öncesi tayfa benzer tayf görülür.
- Yukarıda bahsi geçen evrelerin birkaçı aynı anda da görülebilir ve bu durumda her bir evre çoklu bileşene sahip yapıya sahip olur. Gerçekte bu tür cisimlerin tayfları oldukça karmaşık yapıya sahiptir. Yukarıda bahsi geçen basamaklar arasındaki ayırım oldukça afaki seçilmiştir, fakat bir evreden diğer evreye geçiş oldukça yumuşak bir şekilde gerçekleşir.



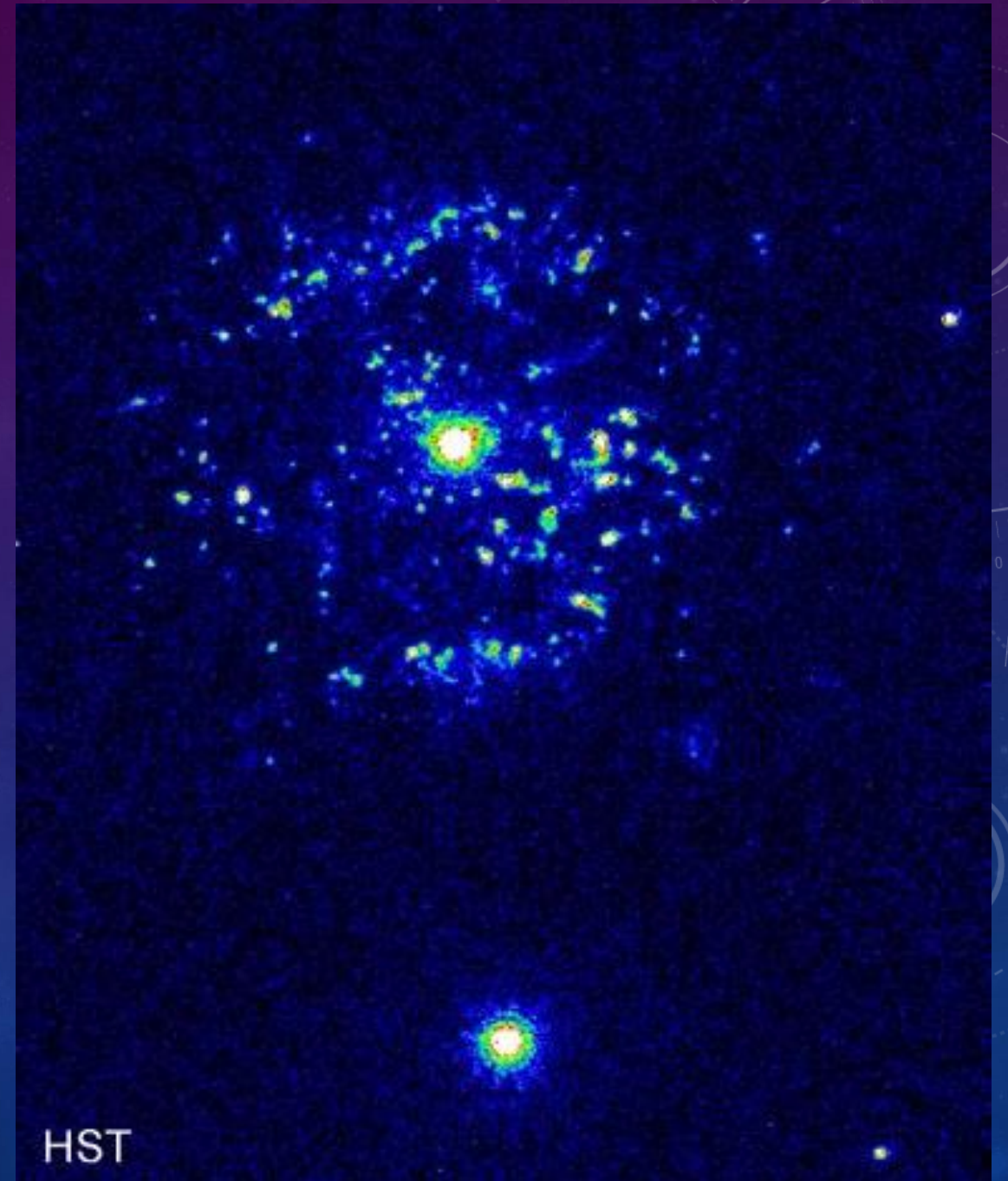
ATILAN MADDE

- Maviye kaymış olan çizgiler dikkate alındığında novalarda yüksek hızlarla madde uzaya atılıyor demektir. Atılan materyal önce optik bölgede salma çizgileri şeklinde ve ardından IR ve radyo bölgede salma çizgileri şeklinde ortaya çıkar. Birkaç yıl sonrasında alınan görüntülerde merkezi yıldızı saran silik şeklinde maddenin bulunduğu görülebilir.
- Atılan maddenin dağılımı ve yıldız çevresinde oluşturduğu birikintiler incelendiğinde, yıldız rüzgarları ve patlamalar sonucunda bu maddenin nadiren küresel simetrik dağılıma sahip olduğu görülür (Şekil 7.7).
- Genişleyen kabuk yapıdaki görüntülerin açısal olarak gözlemleri ile birlikte tayflarından hesaplanan dikine hız ölçümleri karşılaştırıldığında novanın uzaklığını hesaplamak mümkündür. Bu yöntem *genişleyen fotosfer yöntemi* adı verilir..

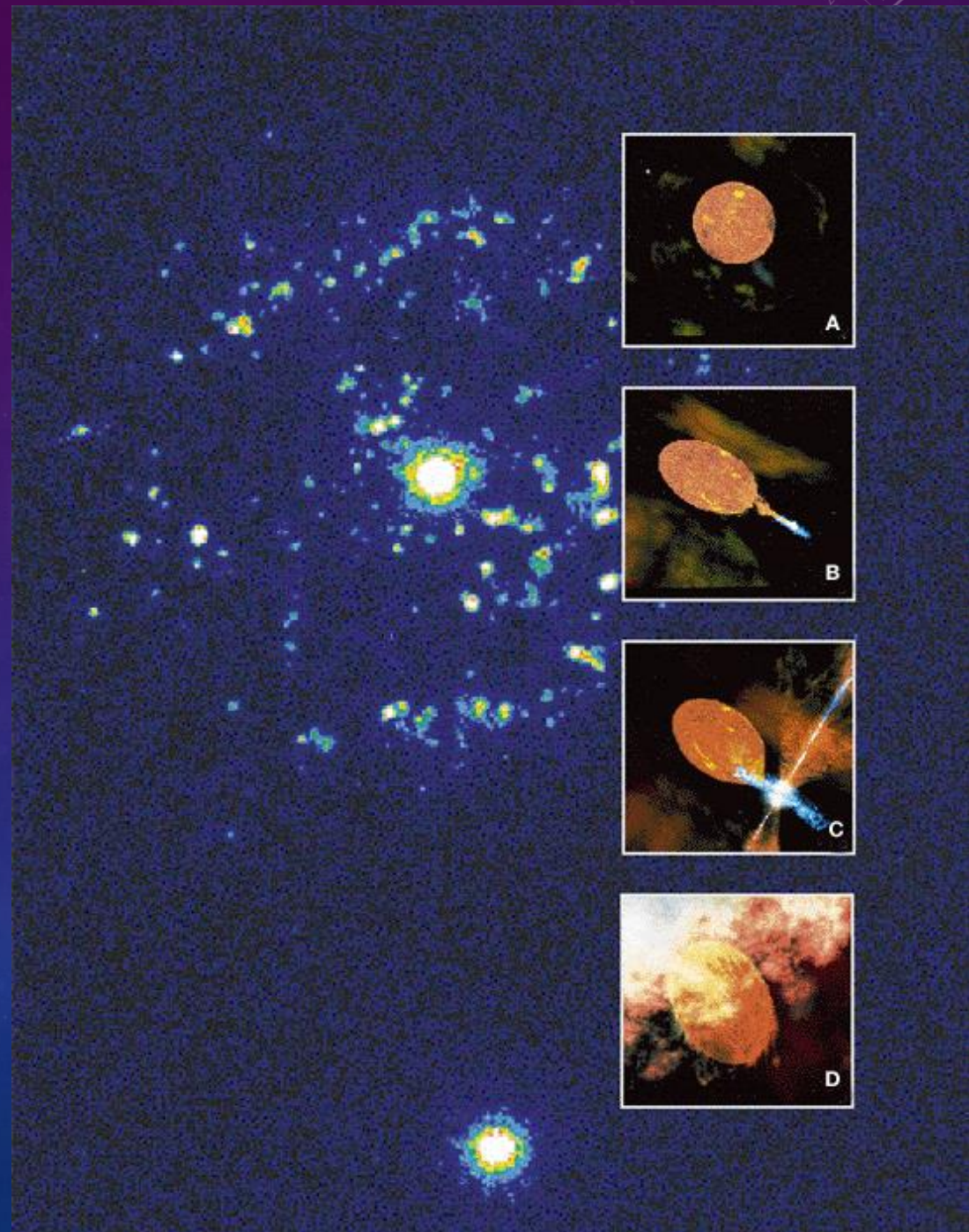
- Atılan materyalin incelenmesi ile nova türü patlamaların nedenleri hakkında önemli bilgilere ulaşılır. Aktarılan materyalin, kütle kazanan yıldızın dış katmanlarında termonükleer reaksiyonlara neden olduğu belirlenmiştir. Termonükleer reaksiyon sonucu bu madde işlendiğinden, bileşim olarak ortaya çıkan ürünü algılamak mümkündür. Fakat gerçekleşecek olan reaksiyonun varlığı ve yapısının yıldızın başlangıç bileşimine bağlı olacağı düşünülmektedir.
- Fotografik gözlemlerin yapıldığı dönemlerde sönük cisimlerin tayflarının alınması oldukça zordu. Bu nedenle eski gözlemler ile atılan maddenin neden olduğu salma çizgilerine ilişkin özelliklerin belirlenmesi neredeyse mümkün değildi. Büyük teleskoplarla birlikte kullanılan elektronik detektörler sayesinde artık bu problem çözüme kavuşmuştur.

- Novaların tayflarında görülen salma çizgileri, merkezi yıldızdan salınan moröte ışınımın gazı uyartması sonucu gerçekleşir. Sıcaklık yaklaşık olarak 50000 K kadardır fakat yıldızdan uzaklaştıkça bu etki hızla azalır. Ayrıca bu sıcaklıktan çok daha yüksek sıcaklıkların bulunduğu bölgelerin olduğuna dair izler bulunmaktadır – 10^6 K – muhtemelen gazın türbülans şeklindeki hareketi nedeniyle ortaya çıkan şok dalgaları buna neden olmaktadır.
- Gazın kimyasal bileşimi konusunda belirsizlikler bulunmasına rağmen optik bölge gözlemlerinden ulaşılan sonuçlar:
 - (i) Helyum elementinin normal ile yüksek değerler arasında olduğu;
 - (ii) Karbon elementinin de muhtemelen fazla olduğu;
 - (iii) Nitrojen elementinin normalden 30 kat kadar fazla olduğu;
 - (iv) Oksijenin normalden 10-100 kat fazla olduğu;
 - (v) Oksijenden daha ağır metallerin ise muhtemelen normal değerlere sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Çeşitli novaların UV bölgede uydu gözlemlerinden, yıldız yüzeyinde termonükleer patlamaların gerçekleştiğini destekler sonuçlara ulaşılmıştır.

- Gözlemler ile teorik beklentiler arasında çeşitli belirsizlikler bulunmasına rağmen, bu durum her geçen gün daha da iyileşmekte ve artık günümüzde daha anlamlı karşılaştırmalar yapabilmekteyiz.
- Günümüze kadar en yüksek ayırma gücünde elde edebildiğimiz nova patlaması gözlemlerinde atılan maddeyi gösteren görüntülerden biri tekrarlayan bir nova olan T Pyxidis'e aittir (Şekil 7.7).
- **Şekil 7.7** Tekrarlayan nova T Pyxidis ve etrafında atılan materyalin parçalı şekilde yığılmalar şeklinde dağıldığı görülmektedir (HST/NASA).



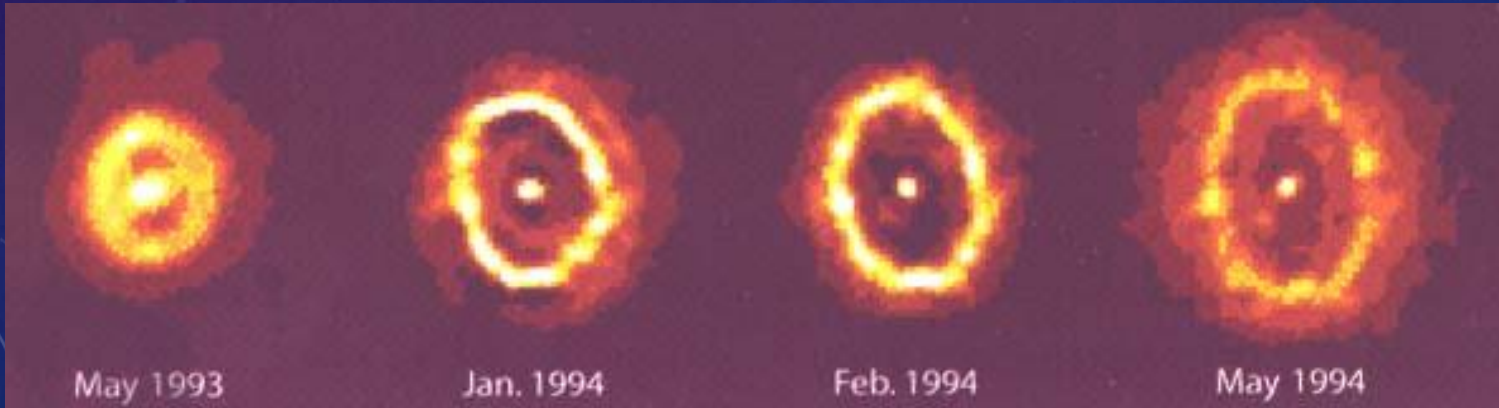
- Şekil. T Pyxidis için elde edilmiş en iyi görüntülerden biridir. Çift yıldız sisteminden atılan sıcak gaz açık bir şekilde görülmektedir. Yaklaşık her 20 yılda bir tekrarlı bir şekilde patlama göstermektedir. Yaklaşık 2000 pc uzaklıkta bulunmaktadır. Parlamaların bulunduğu bölgeler, daha önce atılmış olan madde ile sonradan atılan maddenin etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır.
- A: Patlamadan önce beyaz cüce bileşeni ile soğuk kırmızı dev yıldız birbirleri etrafında dolanmaktadır. Eliptik bir yörünge durumunda her iki yıldız zaman zaman birbirlerine yaklaşacaktır.
- B: Kırmızı dev bileşen, beyaz cüce bileşeni üzerine madde aktarmakta ve bu nedenle yığılma diski oluşmaktadır. Disk beyaz cüce etrafında dolandığından düzleşmektedir.
- C: Madde akmaya devam ettikçe disk kararsız hale gelmekte ve diskten madde çift kutuplu akım şeklinde diske dik olarak atılmaktadır.
- D: Madde yığılması arttığında beyaz cüce bileşeninin yüzeyinde veya yüzeyine yakın bölgede ani nükleer füzyon gerçekleşmektedir. Bu süreç tekrarlı bir şekilde gerçekleştiğinden bu cisim tekrarlayan bir novadır.



- Atılan madde miktarını belirlemek için birkaç yöntem dikkate alınır: bu amaçla nova tayfındaki salma çizgileri ve atılan maddenin IR ile radyo bölge salmaları dikkate alınır.
- Yapılan hesaplamalar sonucunda atılan maddenin 10^{-4} ile $10^{-3} M_{\odot}$ arasında olduğu belirlenmiştir. Atılan madde miktarının hızlı, normal ve yavaş novalarda aynı boyutlarda olduğu, fakat hızlı novalarda çok daha yüksek toplam enerji değerleri ile karşılaştığı görülmektedir.
- Atılan maddenin küresel bir kabuk şeklinde dağıldığı kabul edilerek oluşturulan modellerde kabuğun asimetric yapıda olduğuna dair deliller bulunmaktadır. Dönme, manyetik alan ve/ve çift olma özelliği yanında parçalı madde kümelerinin oluşacağına dair deliller, maddenin akarken gösterdiği kararsızlıktan kaynaklanır.
- IR ve radyo bölge gözlemlerinden kabuk yoğunluğunun r yıldız merkezinden olan uzaklık olmak üzere $1/r^2$ ile azaldığını göstermektedir.

KUTUCUK 7.1 YILDIZ ÖRNEĞİ – NOVA CYGNI 1992

- Nova Cygni 1992 (V1974 Cygni) önemi nedeniyle iyi bir şekilde incelenmiş bir cisimdir.
- 19 Şubat 1992 tarihinde amatör astronom Peter Collins tarafından keşfedilmiştir. Birkaç saat içinde Uluslararası Moröte Uydusu (IUE) ile gözlenmeye başlanmış ve aynı zamanda yerden ve başka uzay teleskopları ile de çok geniş bir dalgaboyu aralığında gözlemi yapılmıştır.
- Novanın gözlemleri sayesinde teorik astrofizik açısından termonükleer enerji üretimi ile termonükleer olayların hidrodinamiği gibi alanlarda, genişlemekte olan sıcak plazmada meydana gelen karmaşık atomik süreçlerin test edilebilmesi mümkün olmuştur.

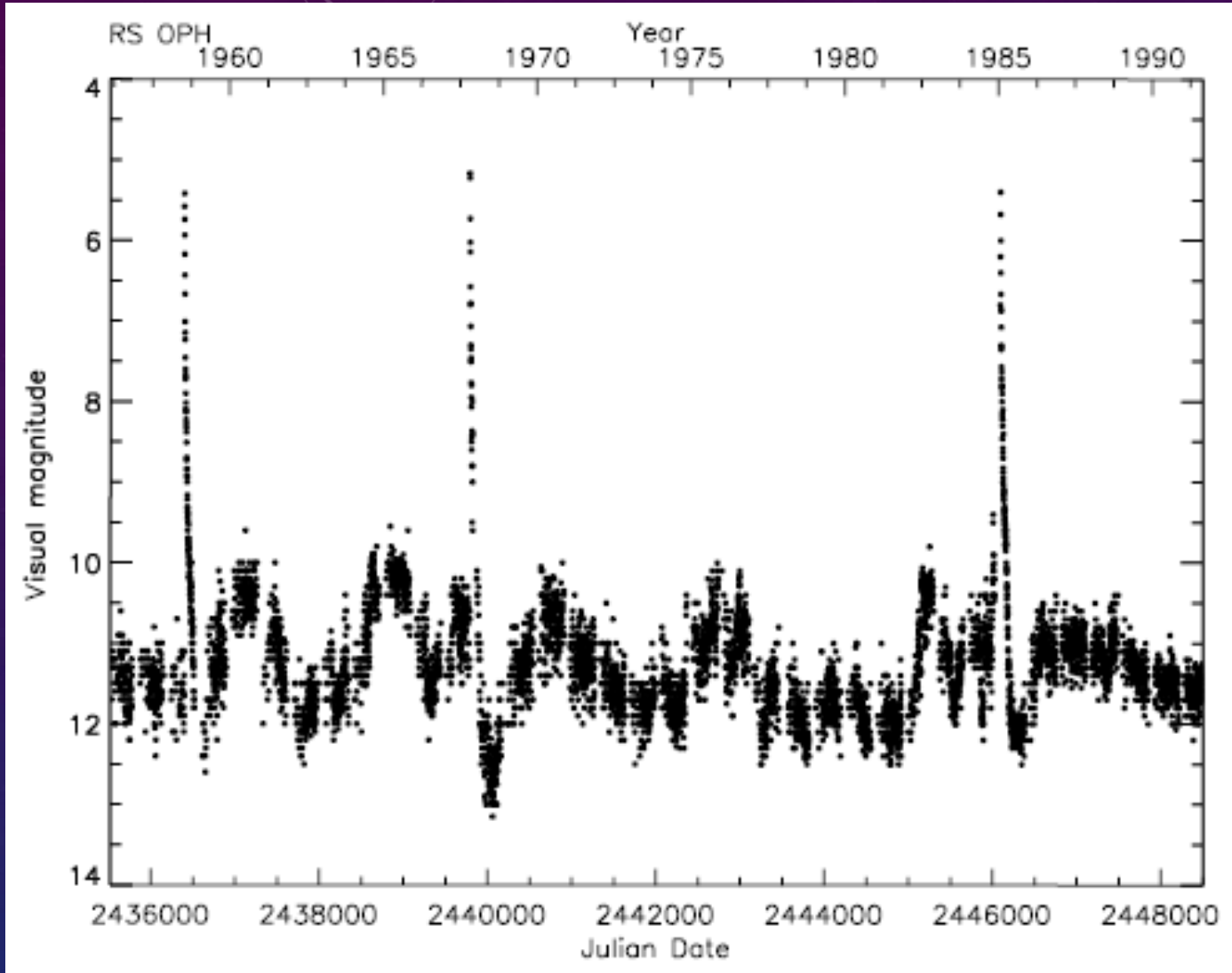


- Nova'nın parlaklığı artarken görsel bölgeden X-ışın bölgeye kadar bütün dalgaboylarında gözlemlerin yapılabilmesi önemlidir. Genişlemekte olan materyal seyrelmeye başladığında, UV ve X-ışın teleskopları çok sıcak olan beyaz cücenin yüzeyini gözleyebilmiş ve ardından sonraki birkaç hafta içerisindeki yavaş bir şekilde gerçekleşen soğuması takip edilmiştir. Ardından cismin yüzeyinde gerçekleşen nükleer yanma son bulmuştur.
- Aynı zamanda atılmış olan madde de soğumaya devam etmiştir. Hem UV hem de radyo bölgede artık maddeden oluşan yığıntılar görülmeye başlanmış ve buradan nova tarafından atılan kabuğun düzgün küresel simetrik yapıya sahip olmadığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak geriye kalan artık maddenin görsel ve UV bölge tayflarından hem zarfa ilişkin hem de beyaz cücenin çekirdek bölgesinde ne tür elementlerin bulunduğu belirlenmiştir – özellikle oksijen, neon ve magnezyumun varlığı görülmüştür.
- Buna neden olan sistem artık görülebilmektedir ve yörünge dönemi 0.0183 gün olarak belirlenmiştir; bununla birlikte ayrıca daha uzun dönemli süper-kambur (superhump) döneminin olduğu ortaya çıkmıştır.

7.2.2 TEKRARLAYAN NOVALAR

- Tekrarlayan novalar, birden fazla patlama gösteren novalara verilen isimdir.
- 2001 yılı itibariyle galaksimizde bilinenleri sayısı sekizdir (Warner, 2001):
 - T Coronae Borealis (1866, 1946),
 - V394 Coronae Australis (1949, 1987),
 - RS Ophiuchi (1898, 1933, 1958, 1967, 1985; 2006),
 - T Pyxidis (1890, 1902, 1920, 1944, 1966),
 - V3890 Sagittarii (1962, 1990),
 - U Scorpii (1863, 1906, 1936, 1979, 1987) ve
 - V745 Scorpii (1937, 1989)
- Tekrar patlama süreleri 10 ile 100 yıl arasında değişmektedir. Maksimum parlaklıktan iki kadir sönükleşmesi için geçen süre, t_2 , T Pyxidis hariç gün mertebesindedir. Bu cismin genliği 4-9 kadir arasındadır (normal novalardan daha düşük) ve mutlak görsel parlaklığı, minimumda iken 0-1 kadir (normal novalardan çok daha parlak) kadardır. Ayrıca, diğer tekrarlayan novalarda olduğu gibi bu sistemde geçmişte başka patlamaların gerçekleşmiş olması, fakat gözlenememiş olma ihtimalinin olduğunu söyleyebiliriz.

- Tekrarlayan novaların önemi bu tür cisimlerin patlamadan önce ve sonrasında gözlenebiliyor olmasıdır.
- T Coronae Australis, RS Ophiuchi, V3890 Sagittarii ve V745 Scorpii tekrarlayan novalarında ikinci bileşenleri kırmızı dev olan çift yıldız sistemleridir ve yörünge dönemleri ay mertebesindedir. T Pyxidis diğer tekrarlayan novalarla karşılaştırıldığında içlerindeki en yavaş nova olduğu için tek örnektir.
- Şekil 7.8'de RS Ophiuchi sisteminin 50 yıllık ışık eğrisi bulunmaktadır. Gözlemlerin yapıldığı süre içerisinde üç adet patlama gerçekleşmiştir. Son patlama 2006 yılının başlarında olmuştur. Patlamadan hemen sonra yıldızın minimum parlaklığa ulaştığı, ardından yavaş bir şekilde eski parlaklığına geri döndüğü görülebilir.



- **Şekil 7.8** Tekrarlayan nova olan RS Ophiuchi'nin 1957 ile 1991 yılları arası görsel bölge ışık eğrisi. Sekiz kadire kadar ulaşabilen üç adet patlama gözlenmiştir. Bununla birlikte minimum yöresinde bir veya iki kadire ulaşan ilginç parlaklık değişimleri bulunur (AAVSO).