

BÖLÜM 7

PATLAYAN DEĞİŞEN YILDIZLAR

DOÇ.DR. BİROL GÜROL

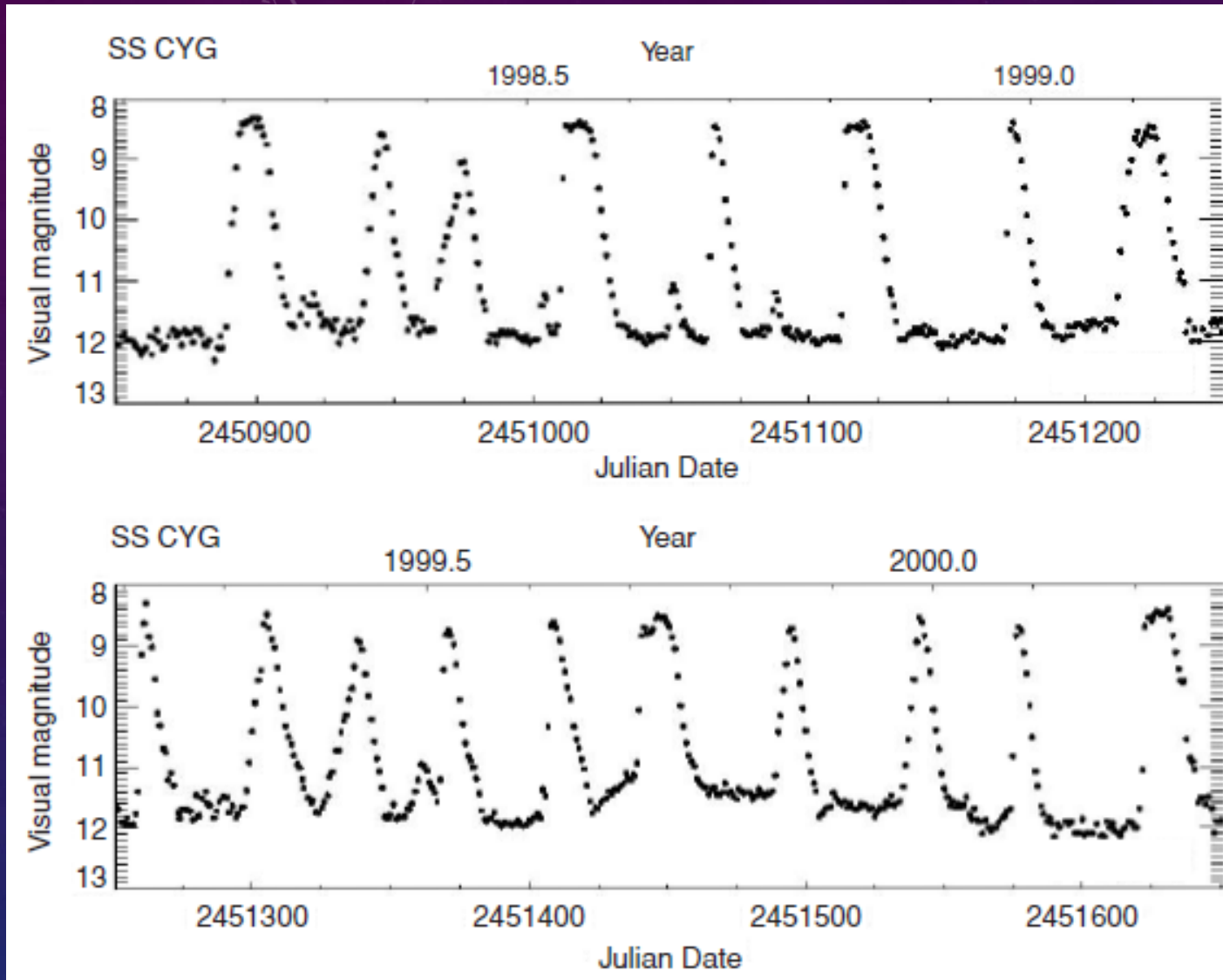
ANKARA ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ BÖLÜMÜ

2015

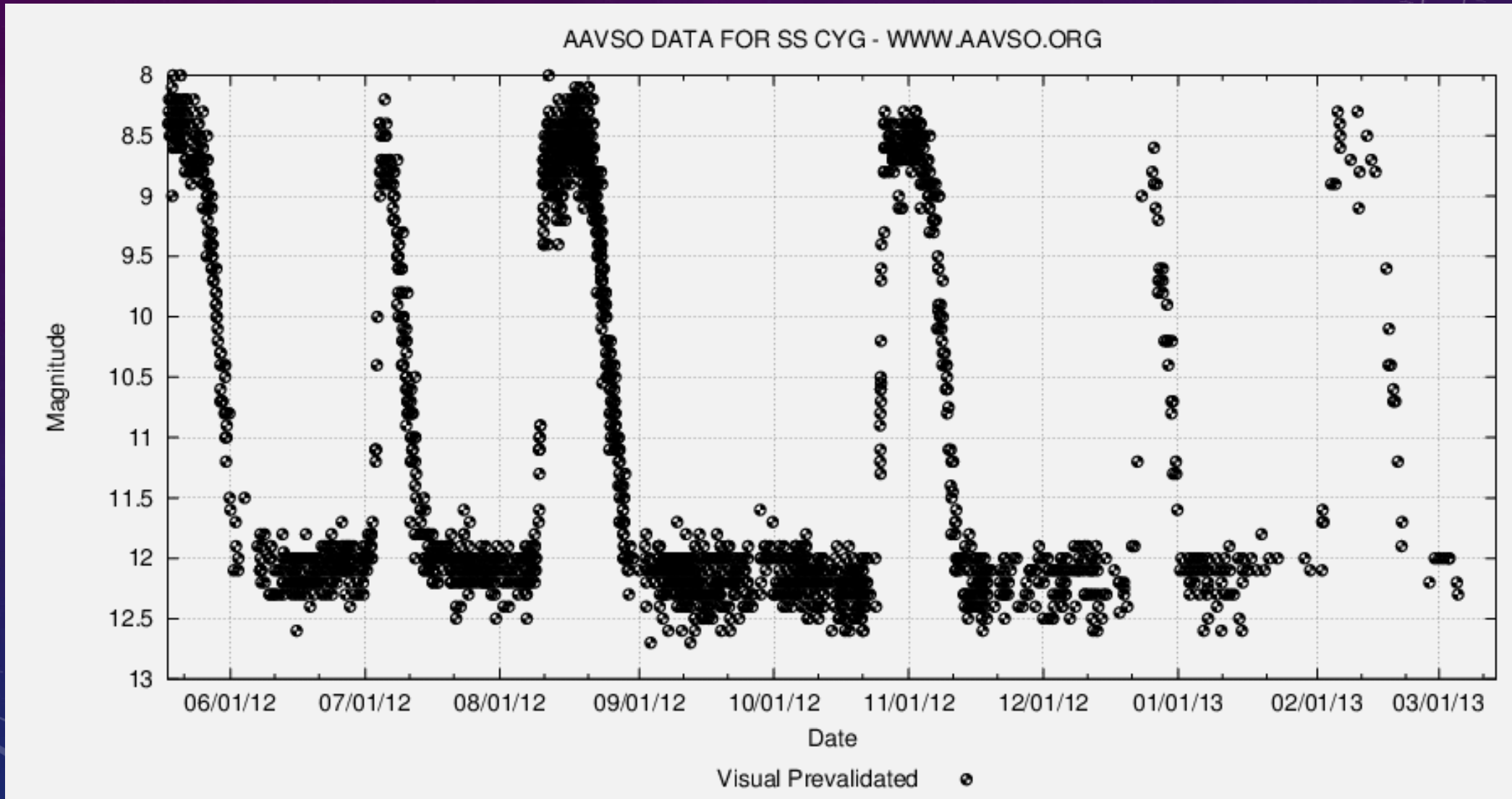
7.2.3 CÜCE NOVALAR (DNE)

- Cüce novalar (DNe), sıcak cüce değişenler olarak tanımlanırlar ve aniden parlaklıklarını altı kadir kadar artıran sistemlerdir. Bu cisimler düzensiz olmak üzere birkaç hafta aralıklarla tekrarlı bir şekilde patlama gösterirler.
- Tekrarlayan novalar ile DNe'ler arasında çok belirgin bir ayırım bulunmaz fakat bu kurala uymayan en azından bir cisim bulunmaktadır. Al Com sisteminde parlaklık değişimi dokuz kadire kadar ulaşmakta ve patlamaların tekrarlama süresi yaklaşık üç yıldır.
- DN türü keşfedilen ilk yıldız, 1855 yılında U Geminorum olmuştur. Bir başka iyi bilinen CV örneği ise 1896 yılında keşfedilen SS Cygni'dir (Şekil 7.9). Muhtemelen günümüze kadar en fazla gözlenen CV'lerden biri olmuştur. Sadece AAVSO gözlemcileri tarafından çeyrek milyon kadar gözlemi yapılmıştır.
- Birkaç yüz tane DNe bilinmesine rağmen ancak birkaç düzinesi ayrıntılı olarak incelenebilmiştir. Tablo 7.1'de özellikleri iyi bilinen örnekleri gösterilmiştir.



- **Şekil 7.9** U Geminorum türü cüce novalarının prototipi olan SS Cygni'nin ışık eğrisi. AAVSO görsel bölge gözlemlerinden oluşturulmuştur. Genlik, maksimumda kalma süresi, maksimumlar arasındaki zaman ve patlamaya ilişkin parlaklık değişiminin biçimi önemlidir (AAVSO).

SS CYG -- DWARF NOVA (CÜCE NOVA)



TABLO 7.1. PARLAK VE/VEYA İLGİNÇ KATAKLİZMİK DEĞİŞENLER VEYA ONUNLA BAĞLANTILI DEĞİŞEN YILDIZLAR.

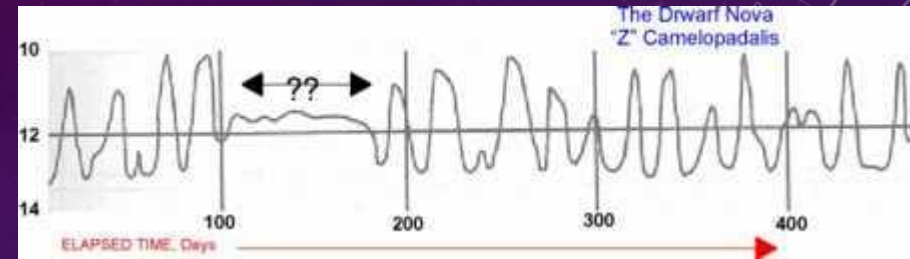
Name	Type	V Range	$P_{orbital}$ (d)	Comments
RX And	UGZ	10.3–14.0	0.209893	frequent outbursts
GK Per	NA + XP	0.2–14.0	1.9968	nova 1901
VW Hyi	UGSU	8.4–14.4	0.074271	close, bright, well-studied
U Gem	UGSS + E	8.2–14.9	0.176906	prototype ‘normal’ DN
SU UMa	UGSU	10.8–14.96	0.07635	prototype DN with superoutbursts/humps
Z Cam	UGZ	10.0–14.5	0.289841	prototype DN with ‘still-stands’
T Pyx	NR	6.3–14.0	0.076223	outbursts 1890, 1902, 1920, 1944, 1966
ER UMa	UG:	12.4–15.2	0.06366	co-prototype: DN with short outburst cycles
SW Sex	E/WD+NL	14.8–16.7B	0.134938	prototype: edge-on CVs?
RZ Leo	NR	11.15–17.5P	0.0760383	co-prototype: DN with short outburst cycles
AM CVn	NI/AMCVn	14.10–14.18	0.011907	prototype helium-rich CV
UX UMa	EA/WD+NL	12.57–14.15	0.196671	prototype DN in permanent outburst
T CrB	NR	2.0–10.8	227.5687	outbursts 1866, 1946
U Sco	NR	8.7–19.3	1.230552	–
RS Oph	NR	4.3–12.5	455.72	outbursts 1898, 1933, 1958, 1967, 1985
DQ Her	NB+EA	–	0.193621	prototype intermediate polar
AM Her	AM/XRM + E	12.3–15.7	0.128927	prototype polar
WZ Sge	UGSU + E + ZZ	7.0–15.53B	0.056688	large amplitude, short period
V1974 Cyg	N	4.2–17.5V	0.08126	nova 1992
AE Aqr	XP	10.4–12.56B	0.411656	unique ‘propellor star’
V1500 Cyg	N	1.69–21.0V	0.139613	nova 1975
SS Cyg	UGSS	7.7–12.4	0.27513	best-known DN
RU Peg	UGSS + ZZ:	9.0–13.2	0.3746	–
IP Peg	UG + E	12.0–18.6B	0.158206	–
VY Scl	NL	12.5–18.5P	0.1894	prototype NL with low states

- DNe'lerin parlaklık değişimlerine ilişkin özellikleri Şekil 7.9'da gösterildiği gibi ışık eğrilerinin elde edilmesi ile ulaşılır. Gerçekte CV'lerin uzun zaman aralığına dağılmış davranışlarına ilişkin frekans, genlik, patlamalar arasındaki zaman aralığı ve bu parametreler arasındaki korelasyon gibi bilgilerin çoğu amatör astronomlar tarafından elde edilen gözlemlerden elde edilmiştir.
- Karakteristik parlaklık değişimi (SS Cygni için 3.5 kadir) ile patlamalar arasındaki zaman aralığı (SS Cygni için 50 gün kadar) sahiplerdir. Bu iki parametre arasında büyük ihtimalle bir ilişki bulunmaktadır.
- Daha uzun zaman aralıklarında gerçekleşen patlamalara karşılık, daha büyük genlikli değişimler ortaya çıkmaktadır. DNe'ler ile tekrarlayan novalar için genlikleri ile patlama zamanları arasında basit bir bağıntı ile karşılaşılmasıdır: **$A=0.80+1.667\text{Log}(t)$** , burada t gün biriminde zamandır.
- Bu bağıntının novaların göstermiş oldukları genlik değerlerine ekstrapolasyon yapılması durumunda, $T=10^4$ gün elde edilmektedir ki bu sonuç, tekrarlayan novalar için tahmin ettiğimiz zaman aralığına yakındır. Fakat bu bağıntının tamamen tesadüf olma olasılığı da bulunmaktadır, çünkü her iki cismin patlama nedeni birbirinden tamamen farklıdır.

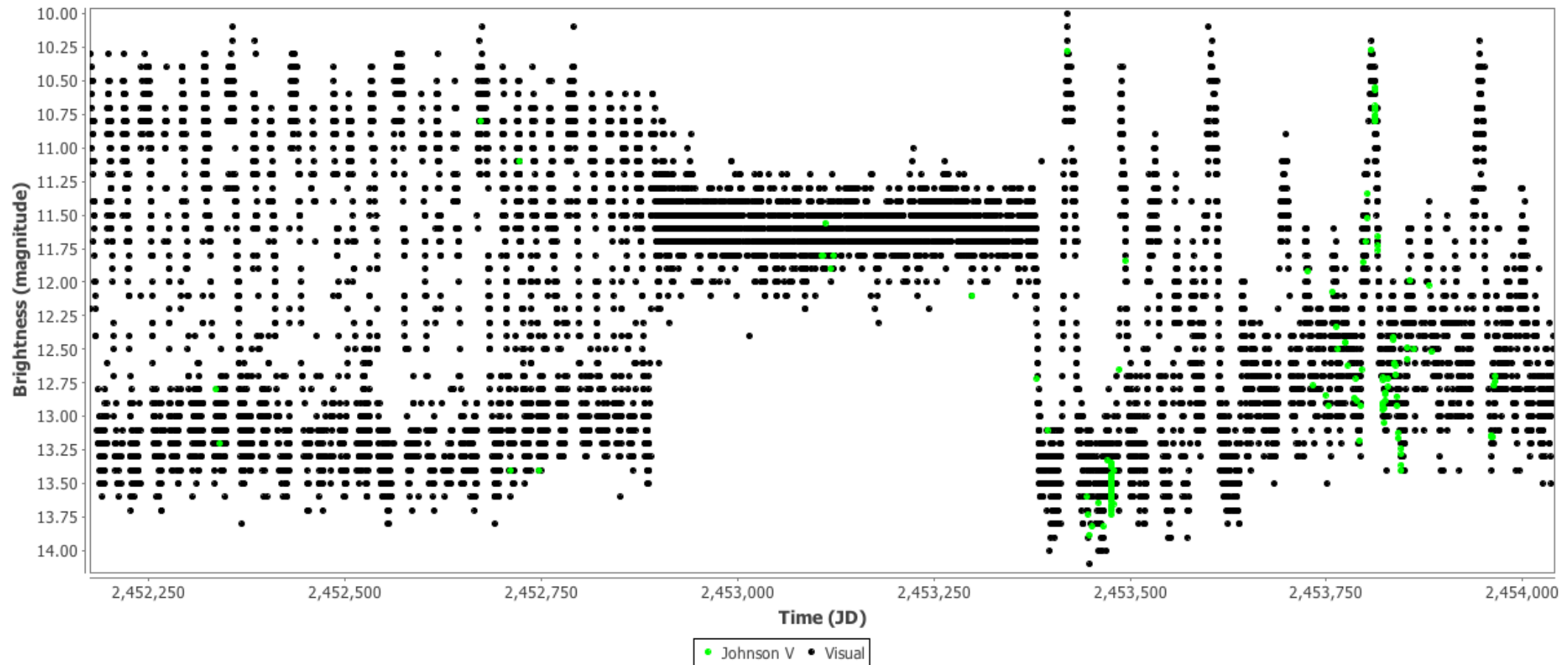
- Patlamalar d6nemli veya 7evrimli bir yapıda değildir. 6rneğin SS Cygni'de patlamalar arasındaki tipik zaman aralığı 30 ile 70 g6n arasındadır. SS Cygni (Şekil 7.9) i7in bildiğimiz kadarıyla birkaç on yıl s6re boyunca g6zden ka7mıŐ herhangi bir patlama yoktur. **Uzun s6reli patlamalar ardından bir sonraki patlama i7in daha uzun zaman aralığı gerektiği y6n6nde bir davranıŐ bulunmaktadır.**
- B6ylesi yıldıızlar genel olarak U Geminorum'ların bir alt sınıfı olan DNe olarak (Şekil 7.9) sınıflandırılır (bununla birlikte SS Cygni zaman zaman prototip olarak da dikkate alınır ve CV'lerin diğer t6r karmaşık değişimler g6steren 6rnekleri olduğu kabul edilir).
- GCVS4'de DNe'ler genel olarak UG g6sterimi ile belirtilmektedir, "normal" DNe ler ise UGSS olarak g6sterilir.

- İkinci bir alt sınıfı ise Z Camelopardalis yıldızları (UGZ) oluşturur. Bu tür yıldızlar, U Geminorum yıldızlarına göre sayıları çok daha azdır (10 kat kadar).
- **Tanımlayıcı karakteristik özellikleri maksimum parlaklıktan minimuma inerken ışık eğrisinde parlaklığın değişmediği veya durduğu bir bölgenin olmasıdır.** Yıldız, bu parlaklık değişiminin durduğu bölgede birkaç hafta süresince kalabilmektedir. Z Camelopardalis'ler daha küçük genlikli ve daha kısa süreli patlama aralıklarına sahipmiş gibi görülürler, fakat bu durumu bir kural olarak almak doğru olmayabilir.
- DNe lerin üçüncü alt türü SU Ursae Majoris'lerdir ve Şekil 7.10'da UGSU olarak gösterilmiştir. Normalde patlama biçimleri U Geminorum yıldızlarına çok benzemektedir, fakat patlama süreleri arasındaki zaman, ortalama olarak daha kısa (SU Ursae Majoris için 16 gün kadardır) ve yörünge döneminin daha küçük olduğu (yaklaşık olarak 100 dakika kadar) sistemlerdir – SU Ursae Majoris hariç.

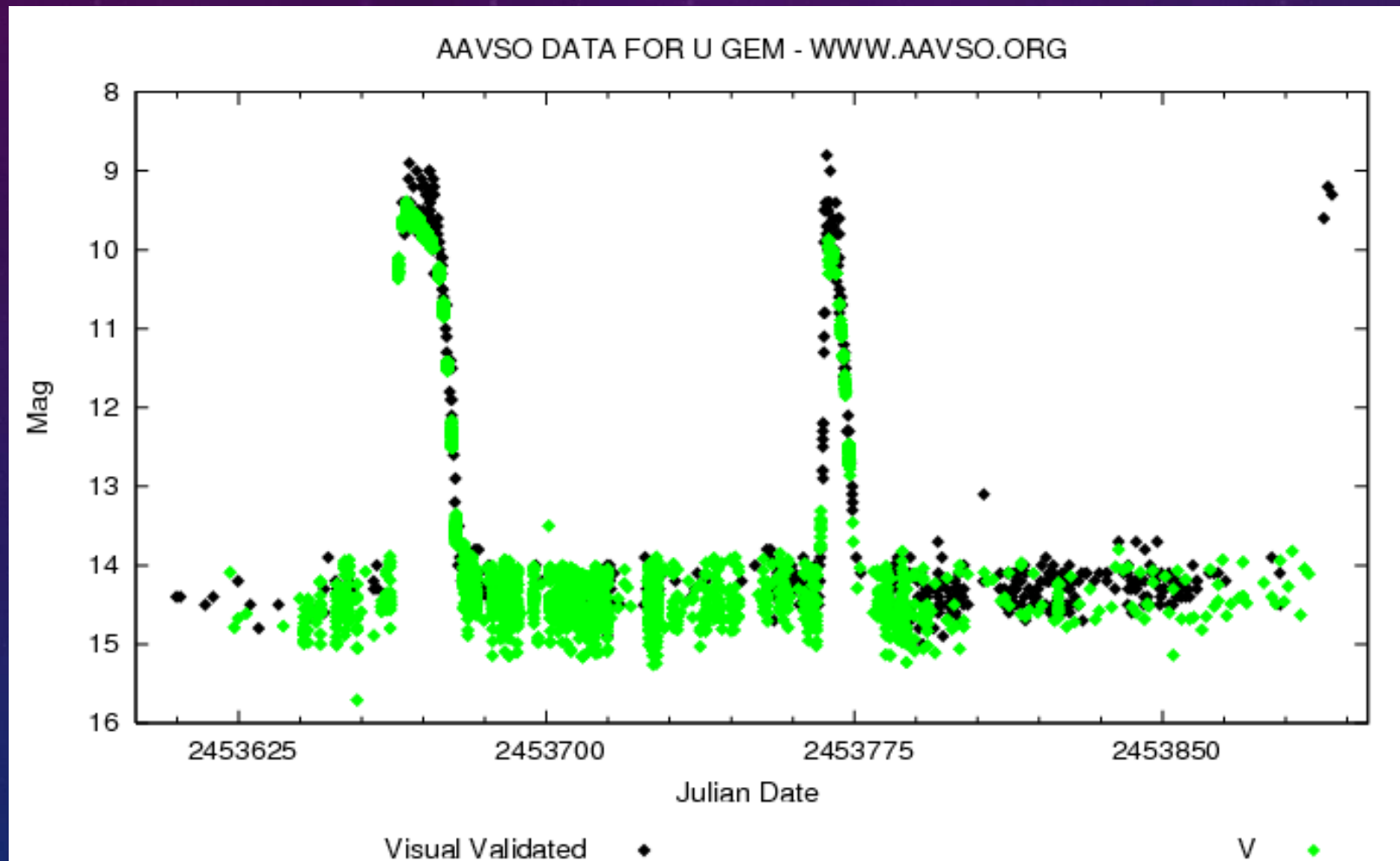
Z CAM

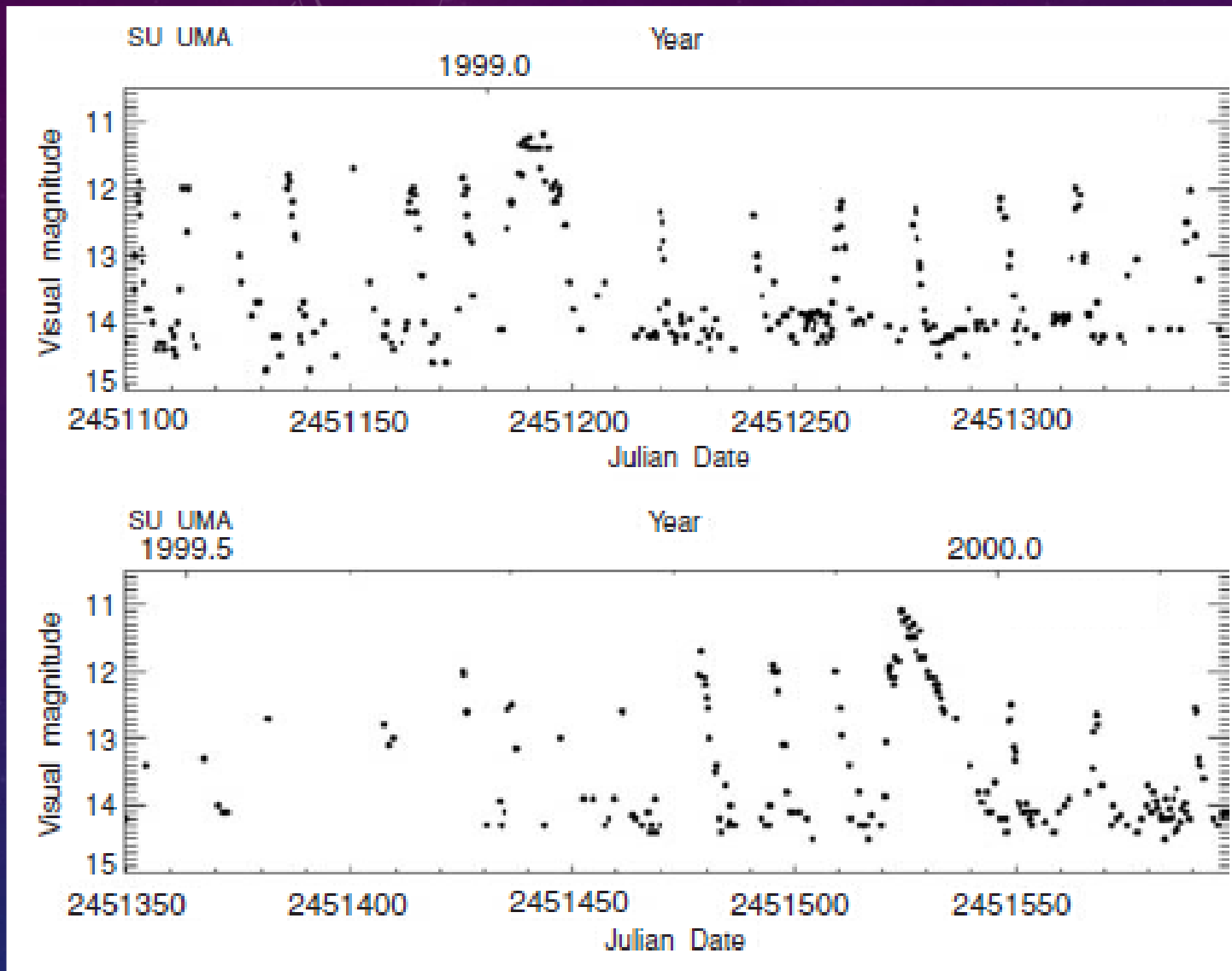


Light Curve for Z Cam



U GEM





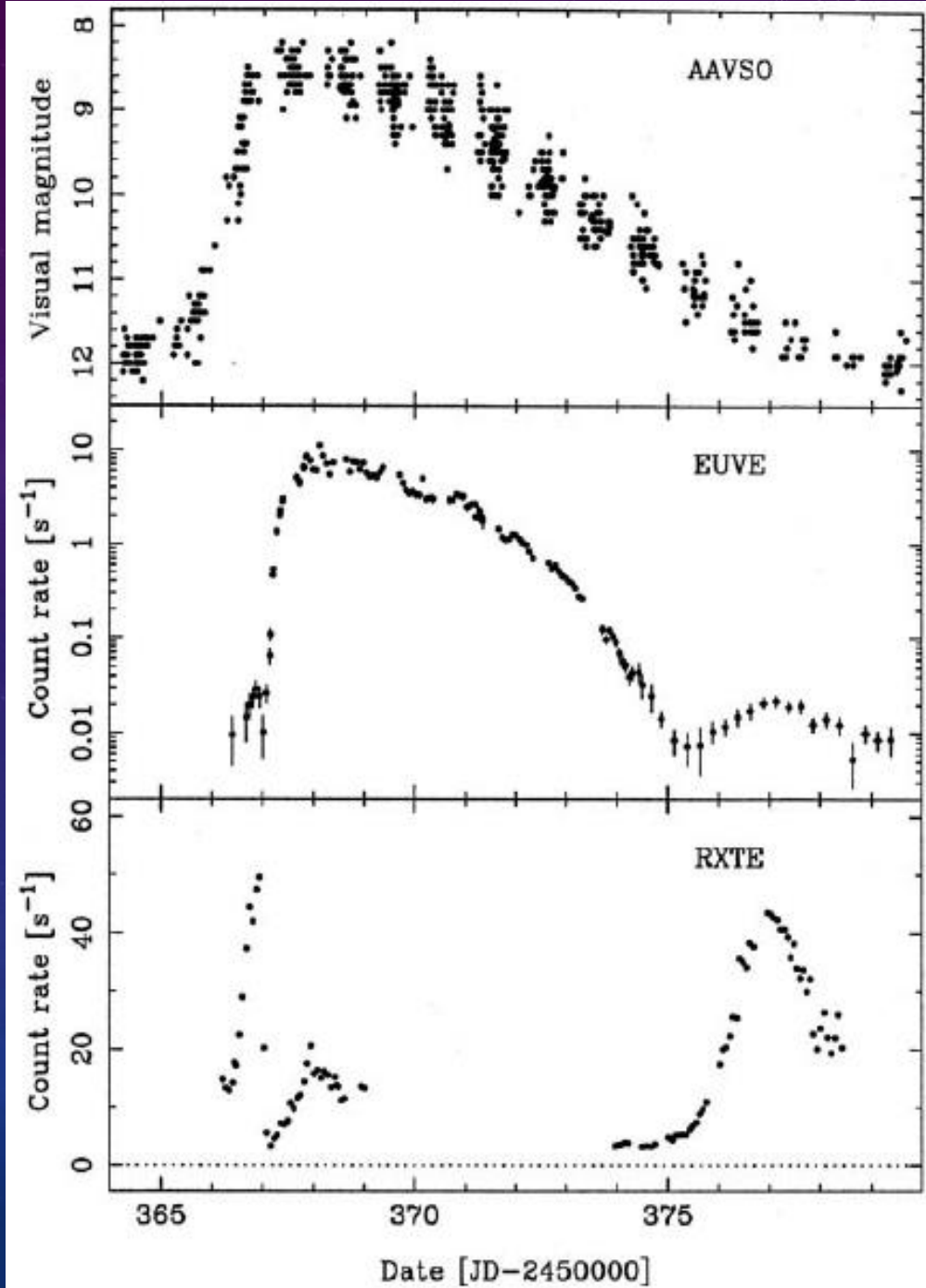
- **Şekil 7.10** SU Ursae Majoris yıldızının AAVSO görsel bölge gözlemlerinden oluşturulmuş ışık eğrisi. SU UMa, cüce novaların prototipidir ve nadiren süper patlamalar gösterir. Şekilde JD2451200 ve 2451530'a karşılık gelen zamanlarda bu tür patlamalardan iki tanesi görülebilmektedir. Genlik, patlama süresi ve patlamalar arasındaki zaman aralığı ile normal ve süper patlamalardaki ışık eğrilerinin biçimine dikkat ediniz. (AAVSO).

- SU Ursae Majoris yıldızlarının tanımlayıcı karakteristiği *süpermaksimum*'a sahip olmalarıdır. Daha parlak, daha uzun süreli, ender rastlanan ve normal patlamalar arasında dağılmış çok daha düzenli dağılıma sahip olan patlamalardır. SU Ursae Majoris'in kendisinde görülen süper-maksimum normal maksimumlara göre yaklaşık olarak bir kadir kadar daha parlaktır ve bir hafta yerine yaklaşık 20 gün kadar sürmesinin yanında her altı ayda bir bu olay tekrarlanır.
- Süpermaksimum üzerine binmiş olan *süperkambur* yapının dönemi, yörünge döneminin yaklaşık %10'u kadar daha büyüktür. Bu değer yörünge dönemini aşma miktarı yörünge dönemi ile orantılıdır ve bu durum süperkambur yapının yörünge ile ilgili veya dinamik olaylarla ilişkili olduğunu gösterir. Süperkambur yapılarının yıldızı çevreleyen yığılma diskinde bulunan parlak lekenin salınımsal hareketleri ile ilişkili olduğu yönünde bir izlenim bulunmaktadır, fakat genel anlamda süpermaksimum ve süperkambur yapıları için literatürde kabul görmüş tam bir açıklama henüz yoktur.
- Süperkambur yapısının döneminde değişim olabilir ve bu durum (O-C) yöntemi kullanılarak incelenebilir. Eğer bu olay yığılma diskinde bulunan parlak bir leke ile ilişkili ise o zaman yığılma diskinin genişlemesi veya büzülmesine bağlı olarak dönemde bir değişimin olmasını bekleyebiliriz.

- SU Ursae Majoris değişenleri zaman zaman iki alt gruba ayrılır. Bunlar arasında WZ Sagittae yıldızları olarak SU UMa türü yıldızlarının uç noktada olan türleri olarak gösterilir. İkinci alt türü ise RZ Leo Minoris veya ER Ursae Majoris yıldızları olarak gösterilirler ve son derece kısa zaman ölçekli çevrimsel süperpatlamalar gösteren ve ömürlerinin neredeyse yarısını patlayarak geçiren türler olarak bilinirler.
- Bu iki alt tür arasındaki farklılığın ortalama kütle kaybetme miktarları olduğu düşünölmektedir. WZ Sagittae yıldızları zaman zaman TOADS (Tremendous Outburst Amplitude Dwarf Novae) olarak adlandırılırlar. WZ Sagittae'larda dev patlamalar arasındaki süre yaklaşık olarak 20-30 yıl kadardır ve bu süre tipik tekrarlayan novalardakine benzemektedir. Bu yıldız bize en yakın CV'lerden biridir, uzaklığı 43.5 parsek kadardır.
- **Normal DNe türü yıldızlarda, SS Cygni gibi (Şekil 7.9) iki farklı patlama yapısı görülür: daha yüksek enerjili olanlar ile daha az enerjili olanlar.** İlk tür patlamalarda herhangi bir süperkambur yapı bulunmaz. Bazı parlak normal DNe'lerde (U Geminorum, RU Pegasi, SS Cygni, KT Persei) ayrıca patlama sırasında yarı-dönemli salınımlar bulunur fakat bu tür değişimler oldukça hızlı (~30 saniye) ve geçici olaylardır.

- Genel anlamda DNe'lerin önemi, yığılma diskinin doğası ile patlamalara ilişkin davranışın ne şekilde değiştiğine ilişkin bizlere doğrudan bilgi sağlamalarıdır.
- Hızlı değişimler ve patlamalar sonucu ortaya çıkan etkiler yanında, soğuk anakol bileşenin manyetik alan çevrimi sonucu da daha uzun süreli değişimler görülür. Bu çevrimsel olaylar, gerçekleşen kütle aktarım miktarını, dolayısıyla sistemin minimumdaki parlaklığını, patlamalar arasında geçen süreyi ve hatta yörünge dönemine etkide bulunur. Yörünge dönemindeki değişim, şayet sistemde tutulmalar gözlemlenebiliyorsa duyarlı minimum zamanı gözlemleri ile ortaya konulabilir.
- Şekil 7.11'de bu türden bir gözlem verisi bulunmaktadır. Gözlemcilerin SS Cygni'de patlama olduğunu gözlemlerinin ardından AAVSO yönetimini bilgilendirmiş ve ardından astronomların EUVE ve RXTE uydularını kullanarak bu cisim UV ve X-ışın bölgede gözleyebilmeleri mümkün olmuştur. Sonuçlar (Şekil 7.11) patlamalar ile ilgili süreçlerinin ne şekilde gerçekleştiğini ve neden önce patlamanın ortaya çıktığının anlaşılmasını mümkün hale getirmiştir.

- **Şekil 7.11** SS Cygni'de meydana gelen patlamanın eşzamanlı AAVSO, Extreme Ultraviolet Explorer ve Rossi X-Ray Timing Explorer gözlemleri. AAVSO gözlemleri, EUVE ve RXTE gözlemlerinin patlamanın başlangıcında gözlem yapılabilmesini sağlamıştır. (J.A. Mattei, özel görüşme).



TAYFSAL DEĐİŐİŐİM

- DNe'lerin tayfsal değişimi, maksimum parlaklıkta iken salma çizgilerinin daha az olması hariç tamamen novaların tayfsal değişimine benzer Őekildedir. Minimum parlaklığa sahip olduklarında ise novalarla aynı tayfsal özelliklere sahiplerdir.
- DNe'lerden bazıları için gerçekleştirilen tayfsal araştırmalardan en önemlisi moröte bölgede yapılmıştır. **Patlama sırasında DNe'lerde P Cygni izgi profili görülmüŐtür ki bu durum yüksek hızlı rzgr yapılarının yığılma diskine göre dik açılarda estiğini ve DN'lerin kütle kaybettiğini göstermektedir.** Tayfsal olarak yoğun yığılma diski, A-tayf türünden dev veya süperdev yıldız tayflarına benzemektedir.

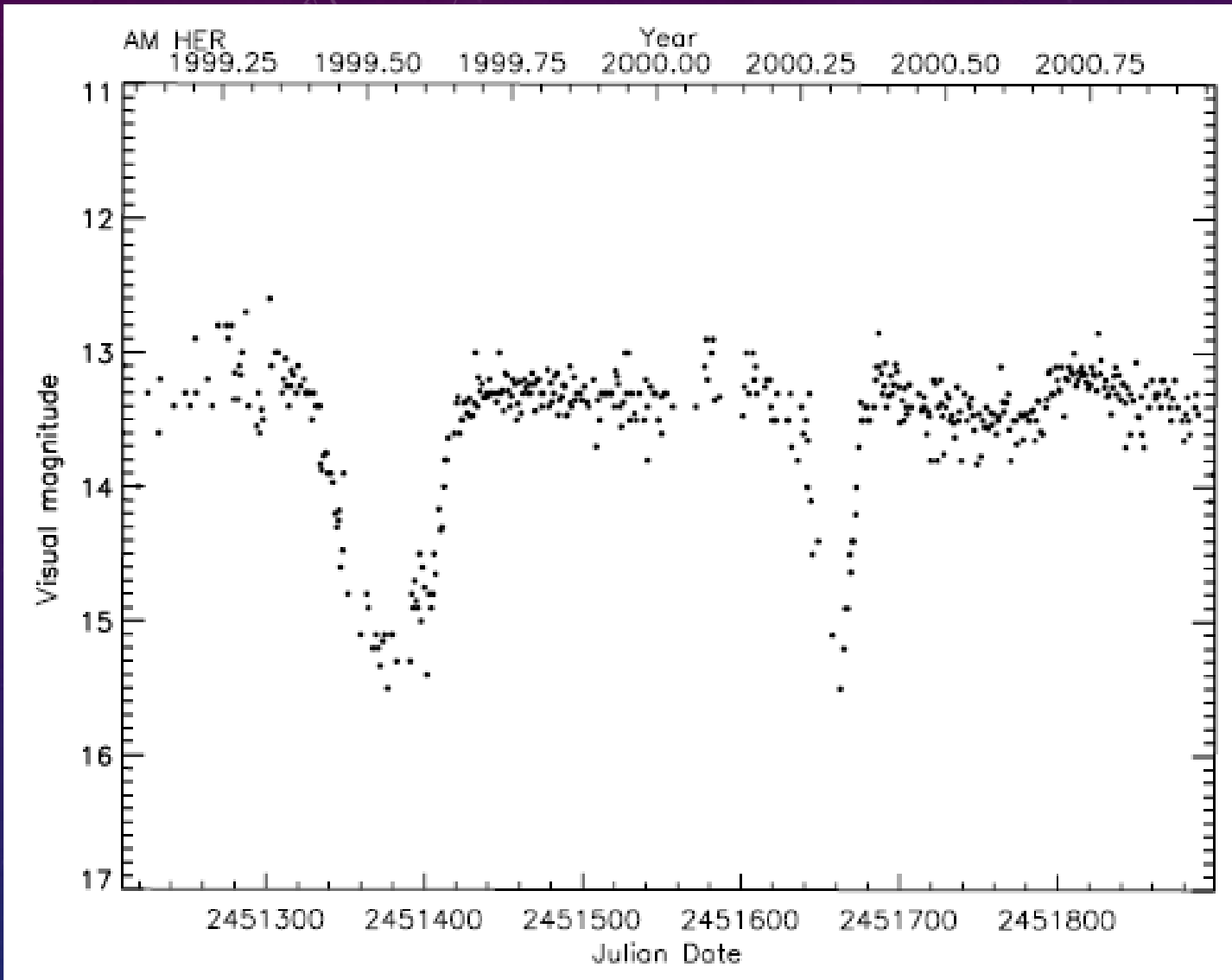
7.2.4 NOVA BENZERİ CİSİMLER (NL)

- Tayfsal özellikleri açısından nova-öncesi cisme benzeyen çok sayıda cisim bulunmaktadır. Fakat bunların herhangi bir patlama gösterip göstermediklerini bilemiyoruz.
- Bununla birlikte nova veya DNe'lerin minimum parlaklığa sahip olduklarında gösterdiklerine benzer türden parlaklık değişimi gösterirler. Ne yazık ki nova-benzeri cisimlere ilişkin sınıflandırma çok iyi tanımlanabilmiş değildir. Bunun temel nedeni, patlama gibi bir olay ile tanımlanabilecek özelliklerin bulunmuyor olmasıdır.
- Zaman zaman simbiyotik yıldız olarak sınıflandırılırlar. Buna zıt olarak nova-benzeri bazı cisimlerden ancak bir kısmı simbiyotik yıldız olarak ele alınabilir.

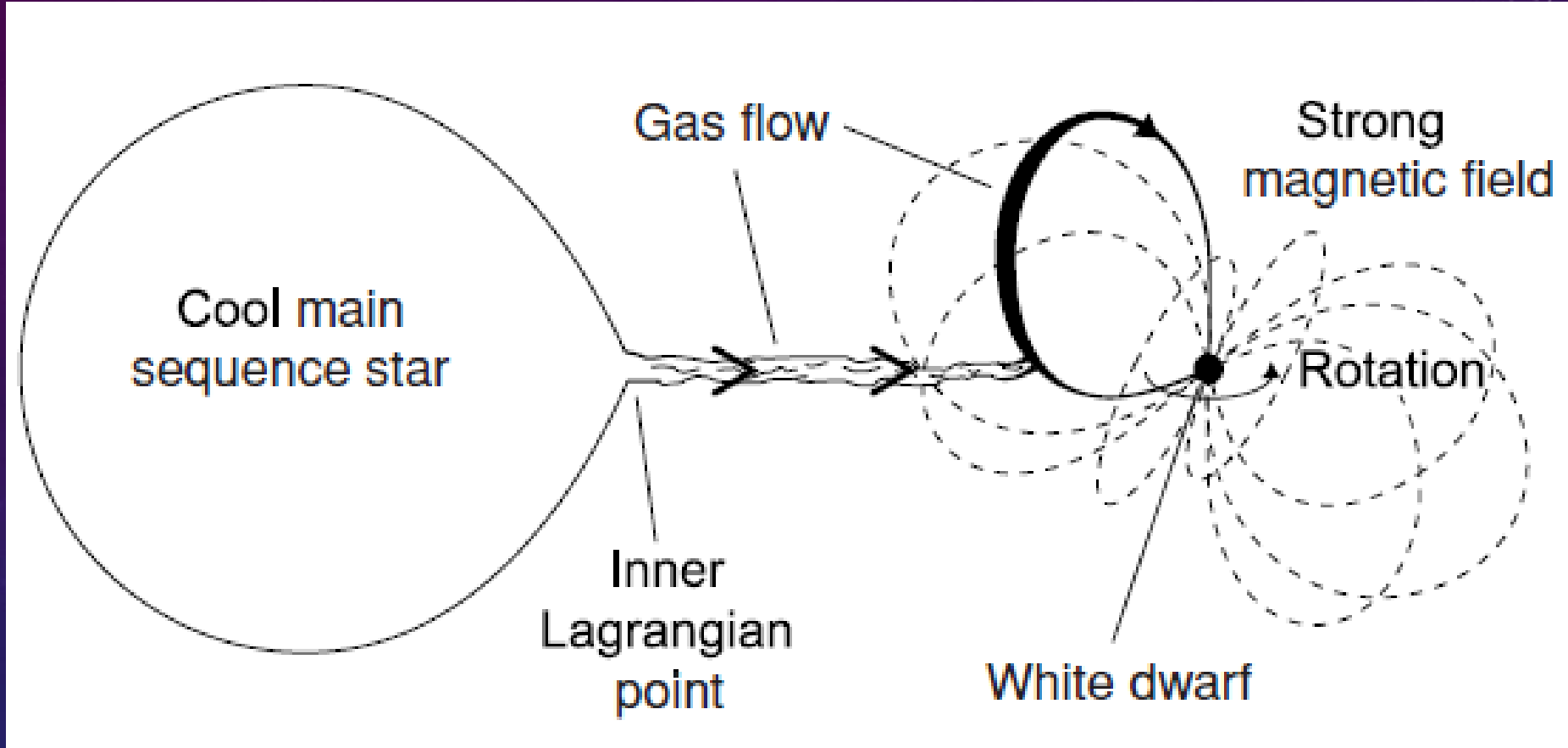
- Nova-benzeri cisimler kendi aralarında çeşitli alt sınıflara ayrılır:
 - ***UX Ursae Majoris yıldızları***. Patlama göstermeyen yıldızlardır. Fotometrik ve taysfal olarak DNe'lerin patlama hallerindeki özelliklere sahiplerdir veya Z Camelopardalis yıldızlarında olduğu gibi duraklama durumunda olan yıldızlardır; salma muhtemelen kararlı ve sürekli olarak bileşen yıldızdan yığılma diskinde aktarılan madde sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, diskin çok parlak görülmesine neden olur. GCVS4'de genellikle NL veya ISA olarak kodlanırlar. Şu andaki haliyle UX Ursae Majoris yıldızlarının sınıflandırılması, diğer nova-benzeri değişenler dikkate alındığında çok belirgin değildir, fakat genel anlamda nova-benzeri cisimleri göstermek amacıyla kullanılmaktadırlar.
 - ***VY Sculptoris yıldızları***. Nadiren de olsa hafta ile ay süresince derin minimum yapıları görülen cisimlerdir. Bu olayın geçici olarak kütle aktarımının durmasından kaynaklanan bir olay olduğu bilinmektedir. Bu tür cisimler kütle aktarımını zaman zaman durduran UX Ursae Majoris yıldızları olabilirler. VY Sculptoris yıldızlarının başlangıçta R Coronae Borealis yıldızı olarak sınıflandırılmış olması ilginçtir.

- **AM Herculis yıldızları veya kutupsallar.** Nova-benzeri cisimler arasında en karmaşık, tuhaf ve enerjili cisimlerdir. Bunlar manyetik alan şiddetinin milyonlarca Gauss olduğu (AR Ursae Majoris örneğinden 200 MGauss'dan fazla) cisimlerdir ve madde akışı tamamen manyetik alanın kontrolündedir. Bileşen yıldızdan akan madde, beyaz cüce bileşeni etrafında bir disk oluşturmak yerine bir **yığılma kolonu** oluşturarak beyaz cüce bileşenin manyetik kutuplarına doğru akar. X-ışın salması, manyetik kutbun görülebilme ve görülmemesine bağlı olarak değişir ki bu ise yörünge dönemine ve yörünge yönelişine bağlıdır. Yığılma kolonundan salınan ışınım yüksek derecede kutuplanmış durumdadır ve bu türden cisimlerin karakteristik özelliklerinden biridir. Ayrıca sert X-ışın kaynaklarıdır ve maddenin yığılma kolonunun alt kısmı ile etkileşen madde buna neden olur. Aslında bu tür değişenler 1976 yılında göstermiş oldukları güçlü X-ışın salmaları sonucu keşfedilmişlerdir. AM Herculis yıldızlarının uzun zamana dağılmış ışık eğrilerinde VY Sculptoris yıldızlarında görülen “yüksek düzey” ve “düşük düzey” durumları bulunur.
- **AE Aquari yıldızları veya pervane (propellor) yıldızları.** Son derece hızlı dönen ve bu nedenle manyetik alanın sistemde akan maddenin dağılmasına neden olan sistemlerdir.
- **AM Venaticorum yıldızları.** Bileşenlerinin ikisi de beyaz cüce olan veya biri beyaz cüce diğeri ise bir helyum yıldızı olan sistemlerdir.

- **Orta kutupsallar.** Resmi adı DQ Herculis yıldızlarıdır ve bu türden değişim gösteren ilk örnektir. Bu tür sistemlerde beyaz cüce bileşenin manyetik alanı madde akışını kontrol edecek ölçüde güçlüdür, fakat disk ile yıldız arasında manyetik alanın etkin olduğu bölge hariç, madde akışını tamamen kontrol edemeyen sistemlerdir. Cisimlerden salınan sürekli tayf muhtemelen manyetik alanın daha az etkide bulunduğu bölgelerden gelmektedir. DQ Herculis yıldızları, dönemi yaklaşık olarak 30 saniye olan uyumlu (coherent) optik değişim gösterir. Bu uyumlu değişim zonklamadan kaynaklanabileceği gibi dönmeden de kaynaklanabilir ki daha sonra dönmenin buna neden olduğu anlaşılmıştır. Değişim yeterince uyumlu olduğundan, beyaz cücenin dönme hızındaki artma veya yavaşlama (O-C) yöntemi ile belirlenebilmektedir.
- **Senkronize olmamış kutupsallar.** Bu türden sistemlerde beyaz cüce bileşenin dönme süresi, yörünge döneminden bir miktar farklı olduğu sistemlerdir. V1500 Cygni bu türün en ünlü örneğidir.
- Kutupsallar özel olarak dikkate alınan ilginç cisimlerdir, çünkü gaz akışı normal CV'lerdekinden tamamen farklı yapıda gerçekleşir. Şekil 7.12'de bir kutupsal yıldızın ışık eğrisi bulunmaktadır ve şekilde iki adet minimum görülmektedir. Şekil 7.13'de ise kutupsallar için kabul edilmiş model gösterilmiştir.



- **Şekil 7.12** Kutupsal türde olan AM Herculis yıldızının AAVSO tarafından gerçekleştirilmiş gözlemleri. Değişimin genliği, süresi ve değişim aralıkları ile parlaklık azalmasının biçimine dikkat ediniz (AAVSO).



- **Şekil 7.13** Kutupsallar için oluşturulmuş şematik model. Madde, soğuk bileşenden sıcak bileşene aktarılmaktadır. Akan madde beyaz cüce bileşeninin güçlü manyetik alanı ile karşılaşmakta ve beyaz cüce bileşeninin manyetik alanı tarafından kutuplara doğru yönlendirilmektedir (Jeff Dixon Graphics).

7.2.5 KATAKLİZMİK DEĞİŞENLERDE HIZLI PARLAKLIK DEĞİŞİMİ

- Görülebileceği gibi bütün CV'ler belirgin ve farklı şekillerde hızlı parlaklık değişimi gösteren sistemlerdir. Aslında tamamında rastgele salınımlar bulunur ve sadece ışık (Şekil 7.6) eğrilerinde değil aynı zamanda X-ışın bölgesinde de aynı olay gözlenir.
- **Değişimin temel nedeni, akan madde ile yığılma diskinde bulunan sıcak leke arasındaki etkileşimdir.** Patlama sırasında bazı DNe'lerde dönemleri 10-30 saniye olan uyumlu salınımlar görülür.
- Cüce novalar, patlama sırasında **yarı-dönemli salınımlar** veya **QPO (quasi-periodic oscillations)** şeklinde salınımlar gösterirler: daha yavaş, daha uzun süreli, fakat yukarıdaki değişime göre daha az uyumlu bir değişimdir bu.

- Son olarak çok iyi bilinen nova-sonrası (ex-nova) cisim olan DQ Herculis sisteminde son derece kararlı (trilyonda bir oranında) 71 saniyelik salınımlar bulunmuştur ki bu ölçüde kararlılık, değişimin dönme sonucu veya radyal olmayan zonklama sonucunda oluşabileceğini bize gösterir.
- 10-30 saniyelik salınımlar için genel olarak kabul edilmiş bir açıklama yoktur, fakat bu ölçüde kısa zaman ölçekli değişimlerin beyaz cüce bileşeni yakınlığında bir yerlerde oluşması gerekmektedir. Daha az uyumlu olan salınımlar, yığılma diskinin iç kısımlarındaki dönmeden kaynaklı olabilir. Ayrıca bazı beyaz cüce bileşenlerinin ZZ Ceti türü zonklamada buldukları bilinmektedir. Fakat bu türden değişimlerin, sistemin toplam parlaklığına beyaz cüce bileşeninin katkısının az olduğu durumlarda görülemez.

7.2.6 KATAKLİZMİK DEĞİŞENLER İÇİN YAKIN ÇİFT YILDIZ MODELİ

- CV'lerin çift yıldız oldukları ilk defa 1954 yılında Merle F. Walker tarafından DQ Herculis sisteminin 4.6 saat döneme sahip olduğunu bulması ile anlaşılmıştır. Daha sonra 1960'lı yıllarda bütün CV'lerin çift yıldız sistemi olabileceklerini ileri sürülmüştür. Genel olarak ortaya konan özellikler:
 - Çoğunlukla dönemleri 1-12 saat arasında olan ve 2.2-2.8 saat arasında “**dönem boşluğu**” na sahip sistemler olmaları,
 - Baş bileşen için yarıçapı $0.01 R_{\odot}$ ve kütlesi $0.5 M_{\odot}$ olan bir beyaz cüce yıldız olması,
 - Yoldaş bileşen için G-M tayf türünde ve genel olarak anakola yakın bir yıldız olması, kütle olarak $0.1-1 M_{\odot}$ kadar ve Roche lobunu doldurmuş olduğundan küresellikten bozulmuş bir yapıya sahip olması ve iç Lagrange noktasından baş bileşene 10^{-9} ile $10^{-10} M_{\odot}/\text{yıl}$ ölçüsünde kütle aktarması. G-M tayf türünden bileşenin Roche şişimini doldurmuş olması gerektiğinden, yörünge döneminin küçük olması ve bu ise yoldaş bileşen için dönem ile kütle ve yarıçap arasında bir bağıntının bulunması gerektiği,
 - Beyaz cüce bileşeni etrafında bulunan bir yığılma diski, iç Lagrange noktasından akan madde tarafından oluşturulduğu,
 - Yığılma diski üzerinde bulunan **sıcak leke**, aktarılan maddenin disk ile çarpıştığı yerde oluştuğu. Yığılma diski ve sıcak lekenin, sistemin ışınım gücünün büyük kısmını ürettiği ve bunun içerisinde patlamanın gerçekleşmediği zamanlarda görülen H, He ve Ca II salma çizgi salmaları da katkı sağladığı,
 - X-ışın ve moröte salmasının, güçlü manyetik alana düşen yüksek sıcaklıktaki madde nedeniyle ortaya çıktığı. Bu tür salmaların büyük kısmının beyaz cüce bileşenine yakın olan yığılma diskinin iç kenar bölgesinden geldiği şeklindedir.

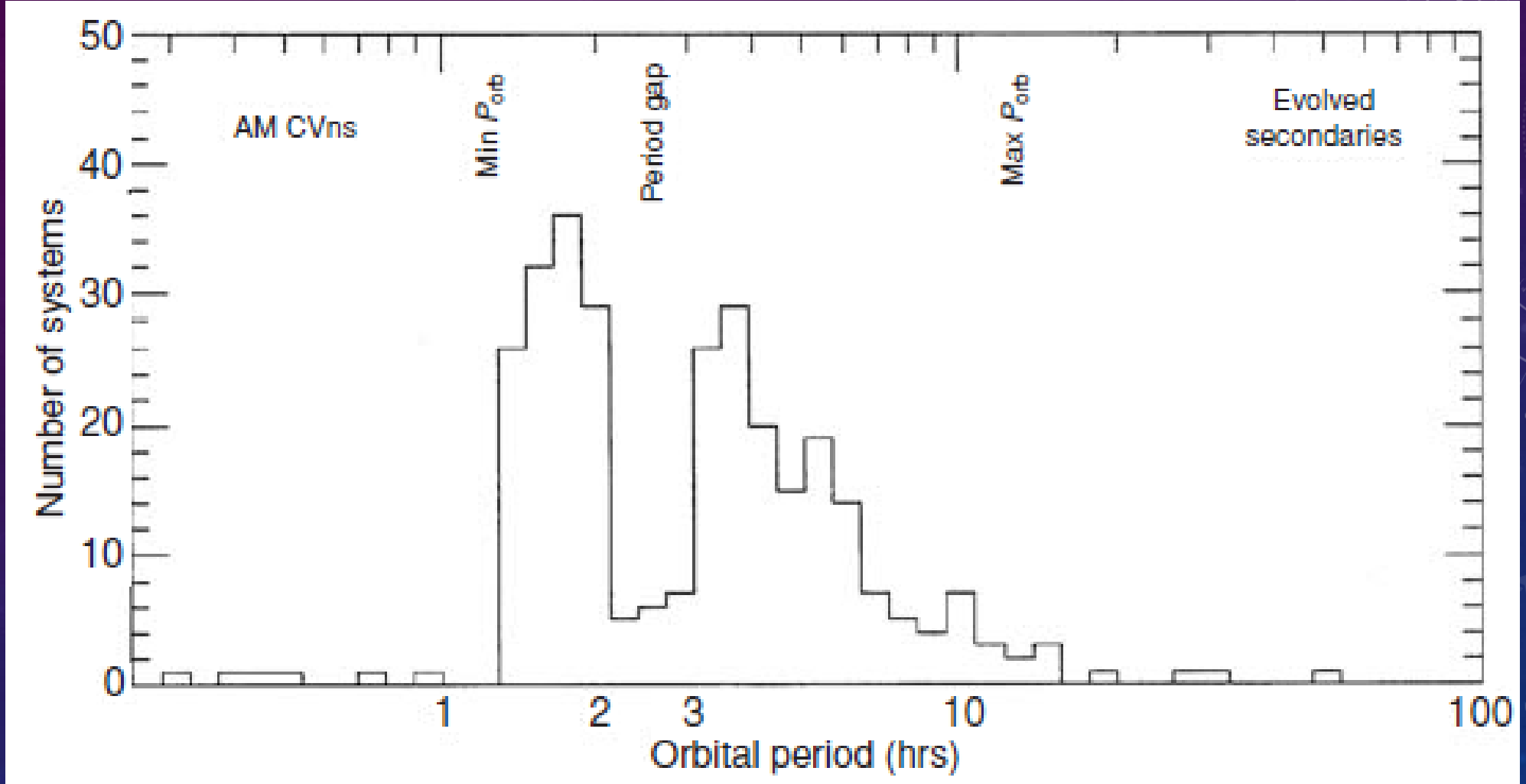
- Böylesine bir resmin ortaya konulabilmesinin nedenlerini incelemek yararlı olabilir.
 - Geç tayf türünden olan bileşen, genellikle nova sonrası evrede alınan tayflarda görülür.
 - Beyaz cüce bileşeninin varlığı ise geç tayf türünden bileşenin veya “sıcak bileşenin” (salma çizgisinin veya mavi süreklilik kaynağının ki daha sonra yığılma diskinin oluşmasına neden olacaktır) dikine hız değişiminden ortaya çıkmaktadır.
 - Sistemde bulunan beyaz cüce bileşeninin sönük olması onun görsel bölge tayfında kolaylıkla görülememesine neden olur. Fakat UV tayfında bu bileşen baskın hale gelir. Varlığı ayrıca bazı CV’lerde (DQ Herculis yıldızları) görülen hızlı salınımlardan ortaya çıkmaktadır. Bu türden salınımlar ancak bir beyaz cüce bileşeninin varlığı durumunda mümkündür.

- Bazı CV'lerde minimum parlaklık evrelerinde dönemli parlaklık değişimleri bulunur. Bu tür değişimler içerisinde periyodik olarak kamburumsu yapı yanında yine periyodik bir minimum mevcuttur. Böylesine bir olay beyaz cüce bileşeninin örtülmesinden değil, yığılma diskinde bulunan sıcak lekenin örtülmesi ile ortaya çıkar.
- Standart örten değişen sistemlerde olduğu gibi bu türden örtme görülen CV'ler için yığılma diskinin geometrisini, soğuk bileşenin sistemi adeta taradığı dikkate alındığında çok önemli bilgilere ulaşmayı mümkün kılar. Gerçekleştirilen araştırmalardan özellikle beyaz cüce bileşeni yakınlığında çok ince bir diskin bulunduğu, merkezi bölge ile sıcak leke civarında gazın en sıcak ve en parlak hale geldiği; kenar kısımların ise en soğuk ve en sönük bölgeler olduğu belirlenmiştir.
- Astronomlar her geçen gün çok daha karmaşık yöntemler kullanarak bu türden örten değişen sistemlerin modelini geliştirmektedir. Yığılma diski, büyük oranda H, He ve Ca II salma çizgileri ile mavi sürekliliğinin kaynağı durumdadır. Diğer bir kaynak ise sıcak lekenin bulunduğu bölgedir. Sıcak leke, iç Lagrange noktasından atılan maddenin yığılma diski ile çarpıştığı bölgede bir şok dalgası oluşturur. Isısal anlamda bu sıcak leke kararsız olduğundan dakika ölçeklerinde değişimler gösterir.

- Sıcak leke görülmeye başladığında, gözlemcinin algılayabildiği en önemli ışınım kaynağı haline gelir ve bu evrede parlaklık en yüksek ve salınımlı değişimler ise en yoğun haldedir; bu bölge ışık eğrisinde kamburumsu yapının ortaya çıkmasının kaynağıdır. Işınım kaynağının örtülmesi halinde sıcak leke hakkında daha ayrıntılı bilgilere ulaşmak mümkündür. Lekenin örtülmesi sırasında salınımlarda sönümlendiğinden, salınımların kaynağının örtme ile ilişkili olduğu söylemek mümkündür.
- **Her türden CV için yakın çift yıldız modelinin geçerli olduğunu söyleyebiliriz.** U Geminorum ve Z Camelopardalis değişenleri gibi Nova türü çift yıldız sistemleri arasında sistematik olarak bir farklılık yoktur. Farklılık SU Ursae Majoris ve AM Herculis yıldızlarında karşılaşılan son derece kısa dönemli değişimlerden kaynaklanır.
- Peki, bu durumda yakın çift yıldız sistemleri olan bu tür değişenlerde farklı türden değişime neden olan olay ne olabilir?
 - Neden hem baş bileşen hem de yoldaş bileşenin fiziksel özelliklerindeki farklılıktır.

- CV'leri anlayabilmek için çift yıldızların evrimi ve eş potansiyel yüzeyleri, yani Roche şişimlerini dikkate alınmalıdır. CV'lerde bulunan beyaz cüce bileşeni zaten evriminin sonuna ulaşmış bir cisimdir. Geç tayf türünden bileşen ise muhtemelen evrimsel olarak Roche şişimini doldurmuş durumda olmalıdır. Ayrıca *manyetik frenleme* ve *çekimsel ışıınım* ile birlikte başka etkiler sonucu sistemde açısal momentum kaybı gerçekleşiyor olmalıdır. **Enerji ve açısal momentum kaybı, çift yıldız sisteminin yörüngesinin küçülmesine ve sonuç olarak sistemin yok olmasına neden olacak bir etkidir.** Bu nedenle John Faulkner, CV'lerin aynı embriyo içerisinde bulunan iki yıldızdan oluşan sistemler olduklarını belirtmiştir.
- Bu noktada iki yıldızın yaşamlarını ne şekilde sonlandıracağı sorusunu sorabiliriz. Bileşen yıldızlar arasındaki uzaklık birkaç yüz Güneş yarıçapı boyutunda iken, büyük kütleli bileşen evrimleşerek kırmızı dev haline gelmeye başladığında, diğer bileşeni üzerine kütle aktarmaya başlar. Roche şişimleri dolacağından yıldızlar ortak bir zarf içerisinde yörüngesel harekette bulunurlar. Böylesine bir ortamda sürtünme, yıldızların birbirlerine yakınlaşmasına neden olur. Bu noktada başlangıçta büyük kütleli olan yıldız bir beyaz cüceye dönüşürken, diğer bileşen ise hala normal bir yıldız veya bir miktar daha büyük kütleli yıldız olarak yaşamına devam eder.

- Sistem bu evreye ulaştığında yörünge dönemi yarım günden daha büyük ise soğuk bileşen ayrık durumda olacağından en azından bu evrede ilginç olayların yaşanması beklenmez. Fakat bileşen yıldızlar arasındaki uzaklık daha küçük olursa Roche şişim taşması sonucu kütle aktarımı gerçekteşir ve sonuç olarak bir yığılma diski oluşmaya başlar. Bu arada soğuk bileşen manyetik frenleme nedeniyle etkilenir. Böylesine bir olayın güneş benzeri yıldızlarda görüldüğü bilinmektedir. Yörünge yavaş bir şekilde küçüleceğinden, sistemin yörünge dönemi de küçülür. Sonuç olarak dönemleri 12 ile 3 saat arasında olan CV'ler ortaya çıkar.
- Bu noktada bir şeylerin gerçekteşeceğini (veya gerçekteşmeyeceğini) söyleyebiliriz, çünkü **CV'ler için iki ile üç saatlik dönemler arasında bir boşluk bulunur (Şekil 7.14)**. Bu evrede soğuk bileşen içyapısını düzenlerken, Roche taşımı olayı dönemin iki saate ulaştığı noktaya kadar devam eder. Yörünge küçülmesi temel olarak *çekimsel ışıınım* tarafından kontrol edilir. Birbirine çok yakın kütlelerin yörüngesel hareketleri uzay-zaman yapısında dalgalanmalara neden olur ve bu dalgalar ışık hızına yakın hızlarda enerjinin taşınmasına yol açar. (**Çekimsel ışıınım ilk olarak, dolaylı yollardan "çift atarca" sistemlerinde keşfedilmiştir**).



- Şekil 7.14 CV'lerde yörünge dönemi dağılımları. En uzun dönemin yaklaşık 10 saat'te kesildiği, iki ile üç saatlik bölgede bir boşluğun bulunduğu ve en kısa dönemin yaklaşık olarak 80 dakika kadar olduğu görülmektedir (Hellier, 2001).

- Yörünge dönemi iki saat düzeyine ulaştığında soğuk bileşenin iç yapısı değişmeye başlar ve beyaz cüce benzeri yozlaşmış (dejenere) bir cisim haline dönüşür. **Beyaz cüceler, kütleleri büyüdükçe daha küçük boyuta sahip olurlar**; Chandrasekhar sınırı olan 1.44 güneş kütlesine ulaştıklarında ise yarıçapları sıfıra yaklaşır. Soğuk bileşenin kütlesi, kütle kaybı nedeniyle azalırken, yarıçapı artar ve bu olay nedeniyle yörünge döneminde bir miktar artma meydana gelir. Bu evrede soğuk bileşenin kütlesi 0.01 güneş kütlesine ulaştığında çekimsel ışınım ve kütle aktarımı azalacağından, sistem son derece sönük hale gelir ve neredeyse görülemez.
- Bunun aksine bir durum AM Canum Venaticorum yıldızlarında görülür ki bu tür sistemler çok daha kısa dönemlidirler. Bu sistemlerde bileşenlerden biri normal bir yıldızdır, fakat aynı zamanda bir helyum yıldızdır ve normal bir yıldızlardan çok daha sıkışık ve daha küçük boyutludur.

7.2.7 NOVA VE CÜCE NOVALAR: KATAKLİZMİK DURUMUN NEDENLERİ

- Buraya kadar kataklizmik değişen yıldızların doğası hakkında yeterince bilgiye sahip olduk. Fakat kataklizmik duruma neden olan olayın ne olduğu cevaplanmalıdır.
- Novalar için bunun nedenleri iyi bir şekilde anlaşılmıştır: değişimin kaynağı beyaz cüce bileşeninin dış katmanlarında süren termonükleer reaksiyonlardır. Hidrojence zengin materyal, geç tayf türünden olan bileşenden iç Lagrange noktasından karşı bileşene aktarılır. Akan madde (muhtemelen $0.0001 M_{\odot}$ ölçüsünde) yığılma diski ile çarpışmakta ve spiraller çizerek beyaz cüce'nin ekvatoryal bölgesine düşmektedir.
- Beyaz cüce bileşeninde hidrojence zengin materyalden oluşan ince bir katman bulunur ve ağır element bakımından zengin olan dejenere (elektronlar atomlara bağlı değillerdir ve olası bütün enerji düzeylerinde bulunurlar) çekirdek bölgesini, izotermal (yani her bölgesi sabit bir sıcaklıkta olarak) bir şekilde sarmıştır. Beyaz cüce bileşeninin yüzeyine hidrojence zengin daha fazla materyal yığıldıkça, bu katmanın altındaki bölgelerde sıcaklık artar ve daha fazla materyalin yığılması ile de basınç ve sıcaklık 2×10^7 K ölçülere kadar ulaşır.

- Bu ölçüde sıcaklık değerlerine ulaşabilmek için $0.0001 M_{\odot}$ kadar materyalin aktarılması gerekmektedir. Böylesine bir olay için 10^5 ile 10^6 yıl zamana ihtiyaç duyulur. Madde yığılmasının gerçekleştiği katmanların iç kısımları bu ölçülerde sıcaklığa ulaştığında termonükleer reaksiyonlar başlar. Reaksiyonun yapısı yıldız yüzeyindeki katmanın sıcaklığı ve C, N ve O elementlerinin bolluğuna bağlıdır.
- Hidrojen, karbon elementi ile reaksiyona girerek bir seri C, N, O izotopun oluşmasına neden olur ve sonuçta Fe elementi üretilir. Reaksiyonun en yüksek olduğu durumda üretilen enerji, toplam ışıngücünün $100000 L_{\odot}$ katı kadardır. Reaksiyonun gerçekleşme hızı, hidrojen elementinin reaksiyon serisi içerisindeki çevrimsel değişimine bağlıdır. Böylesine bir çevrim sonucunda He elementi üretilir ve büyük miktarda enerji açığa çıkar. Kabuktaki materyalin çok küçük bir kısmı nükleer enerji üretiminde harcanır ve ardından bu madde uzaya atılır.

- Nükleer reaksiyon o kadar hızlı gerçekleşir ki yıldızın dış katmanlarının genişlemesi için yeterince zaman bulunmaz – katmanın sıcaklığı 10^5 K'e kadar artar. Ardından patlama ile bu katman genişlemeye başlar ve bu aşamada alt katmanlardan gelen çok daha yüksek enerji katkı sağlar. Genişleme ile yıldızın sıcak yüzeyi açığa çıkacağından, bu bölgeden yoğun miktarda ışınım uzaya salınır. Yıldız yüzeyi ve fotosferinden atılan materyalin hızı birkaç yüz km/sn ölçüsündedir. Yıldızın fotosferi, gazın yeterince yoğun olduğu ve daha iç kısımları göremediğimiz bölgesidir. Genişleme sonucu yarıçap 0.01 değerinden $20 R_{\odot}$ e kadar ulaşır ki bu evrede yıldız bir süperdev yıldızına benzer. Farklılık hızla genişleyen bir yüzeyin bulunmasıdır. Novaların salmış oldukları enerjinin büyük kısmı atılan bu materyalden kaynaklanır ve sadece küçük bir kesri ışınım olarak görülür.
- Nova'larda yıldızın yüzey katmanları merkezden uzaklaşmaya devam ederken $100000 L_{\odot}$ e yakın enerji üretmeye devam eder. Yüzey katmanı daha da uzaklaştıkça atılan madde yavaşlamaya başlar ve görüntü olarak yıldız daha küçük boyutlu ve daha sönük hale gelir. Beyaz cücenin yüzeyinde bulunan hidrojen zengin materyalin büyük kısmı (yaklaşık olarak $0.0001 M_{\odot}$) bu süreçte uzaya atılır. Sonuç olarak termonükleer reaksiyonlar bu aşamada son bulur. Bu süreç yaklaşık olarak on yıl kadar sürer.

- Farklı hızlara sahip nova türlerinin açıklanabilmesi için çeşitli düşünceler mevcuttur. Teorik hesaplamalara göre hızlı bir nova için beyaz cüce bileşeninin yeterince büyük kütleli (yaklaşık bir güneş kütlesinde) olması ve yığılan materyalin C, N ve O'nce zengin olması gerekir. Bu durumda ancak H elementi CNO çevrimi ile hızlı yanma evresine girebilir. Gözlemsel sonuçlar bu çıkarım ile uyumludur. Patlamalara neden olabilecek olaylar için çok çeşitli olayların olabileceği bilinmektedir – beyaz cüce bileşeninin kütlesi ile bileşimi, kütle aktarım miktarı gibi – bu nedenle genel bir değerlendirme yapabilmek oldukça güçtür.
- DNe'lerde görülen patlamalara getirilen açıklama ise yukarıda verilenden biraz farklıdır. Cüce novalarda kütle aktarım miktarlarının ($10^{-10} M_{\odot}/\text{yıl}$) değerinden daha az olduğu, bu nedenle yılda $10^{-11} M_{\odot}$ kadar kütle aktarılması durumunda termonükleer reaksiyonun başlamasının mümkün olamayacağı düşünülmektedir. Ayrıca DN'lerde gerçekleşen patlamalarda herhangi bir kütle atılmadığı veya çok az miktarda maddenin atıldığı bilinmektedir. DNe'lerde görülen patlamalar, yığılma diski kaynaklı ısıl kararsızlıklardan kaynaklanır.

- Geç tayf türünden bileŒen ile beyaz cüce, muhtemelen patlamaların gerekleŒtiĐi cisimler değildir. **Patlamaların yığılma diskinde aktarılan madde ile etkileŒim sonucunda ortaya çıktığını ileri srlmŒtr.** Ktle aktarım miktarına bağlı olarak iki ayrı türde patlamanın gerekleŒebileceĐi hesaplanmıŒtır: tipik olarak U Geminorum yıldızlarında görülen “evrimli” patlamalar ve Z Camelopardalis türü cisimlerde (ve normal haldeki UX Ursae Majoris yıldızlarındaki gibi) görülen kararlı deĐiŒimler gibi.
- U Geminorum yıldızlarında yığılma diskinde bulunan gazın termodinamik özellikleri, yığılma diskinde biriken gazın (ve onun çekimsel potansiyel enerjisi) beyaz cüce bileŒeni üzerine hızlı bir Œekilde okmesi sonucunda deĐiŒikliĐe uğraması mümkündür (Osaki, 1974). Bu durum, atom gibi mikroskobik özelliklere sahip parçacıkların, cüce novalarda görülen patlamaları yaratacak lde nasıl makroskobik etkileri olduğunun önemli bir göstergesidir.

- Z Camelopardalis'lerde gözlenen dönemler 3-10 saat arasındadır ve kütle aktarım miktarları çevrimli patlamaları gerçekleştirebilecek ölçülerdedir. Bu nedenle bu tür değişenlerde zaman zaman her iki türden patlamalar gözlenebilmektedir.
- Tekrarlayan novalardaki patlamaların nedeni çok net değildir. Bu konuda, geç tayf türünden (ki tekrarlayan novalarda genellikle dev bileşen) bileşendeki ısısal kararsızlıkların neden olduğu kesikli kütle aktarımı ile patlamaların gerçekleşebileceği ileri sürülmektedir. Michael Shara ise bu mekanizmaya alternatif olarak büyük kütleli fakat düşük ışınımgücüne sahip beyaz cüce bileşeninde He yanmasının gerçekleştiğine ilişkin bir tez ileri sürmüştür. Tekrarlayan novaların heterojen yapıları dikkate alındığında her iki hipotezin de doğru olma ihtimali bulunur.
- Novalar için en son ve kapsamlı çalışmada (Yaron ve ark. 2005) tekrarlayan novaların ancak 10-20 yılda bir yığılma diski ve termonükleer patlama gösterebilecekleri ortaya çıkmıştır. Bu açıdan bakıldığında tekrarlayan novaların, normal novaların çok yakın kuzenleri olduklarını söyleyebiliriz.

- SU Ursae Majoris olayında ise değişimin nedeni diskin rezonans etkisi ile açıklanmaktadır. Böylesine olaylar yörünge dönemi çok kısa olan (1-3 saat) sistemlerde görülür. Eğer diskte kütle ve açısal momentum oluşursa, diskin dış kısımları yoldaş bileşenin yörünge dönemi ile rezonansa girecek biçimde genişler. Ardından diskin çökmesi sonucunda beklenmedik ölçüde kütle ve enerji beyaz cüce bileşenine aktarılır. Bu süreçte yığılma diski dış merkezliğe sahip bir şekilde uzayda presesyon veya dönme yapar. Gaz akıntısının disk ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan sıcak lekenin neden olduğu enerji düzeyi, ortaya çıkan rezonanslı olaylar nedeniyle değişim gösterir. Disk salınım hareketinde bulunacağından süper-kamburumsu yapıların dönemleri, normal yörüngesel dönemden çok az farklı olur.
- Kataklizmik değişenler, madde yığılmasına ilişkin önemli bir resmin ortaya çıkarılabilmesini sağlayan cisimlerdir. Doppler ve tutulma haritalaması gibi tayfsal ve fotometrik yöntemler kullanılarak bu türden sistemlerde yığılma disklerinin ayrıntılı yapıları ortaya çıkarılabilmektedir.

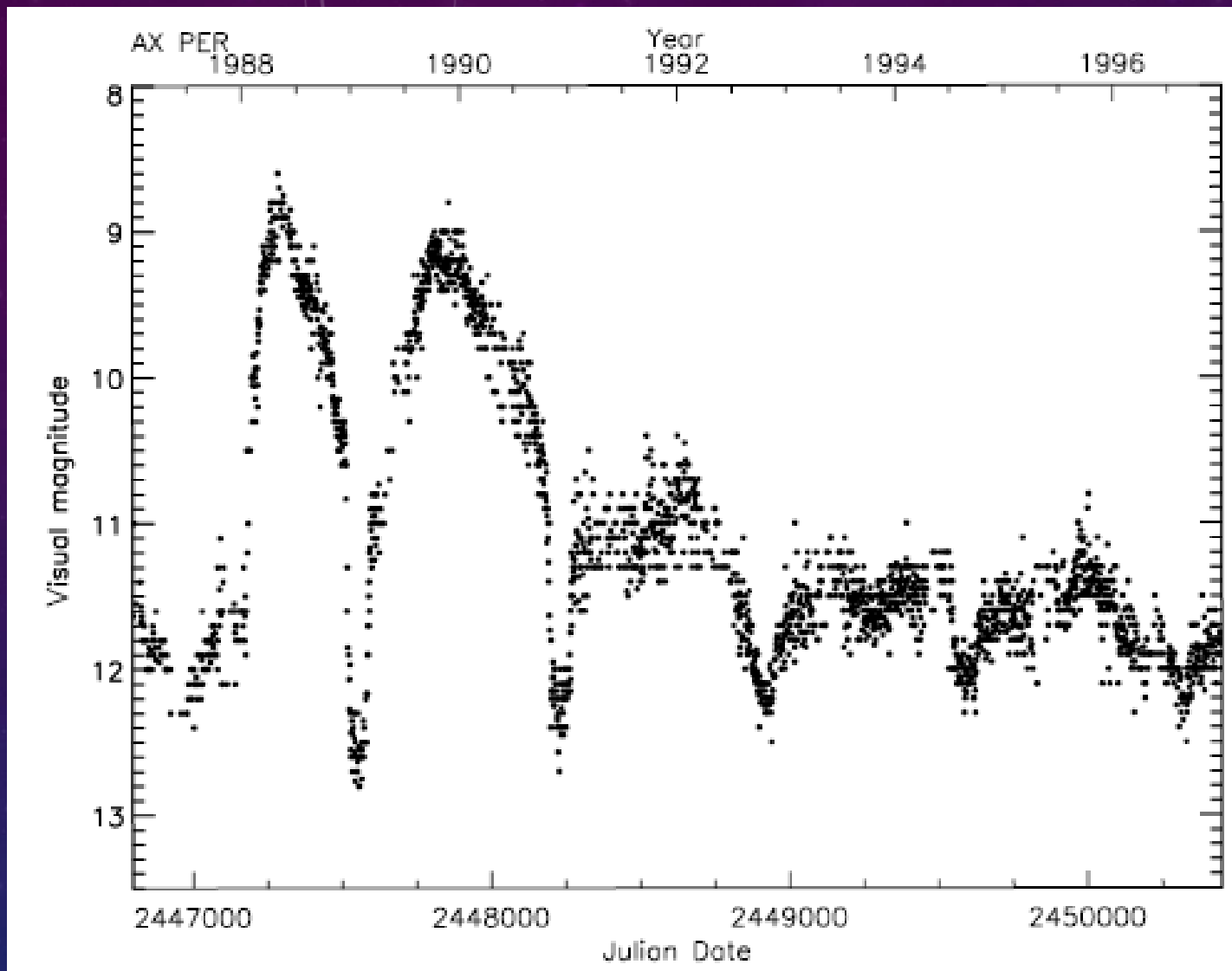
7.2.8 SİMBİYOTİK YILDIZLAR

- Simbiyotik yıldızlar, soğuk (moleküler soğurma çizgilerine sahip) ve sıcak (yüksek eksitasyona sahip salma çizgileri görülen) bir yıldızın tayfına ilişkin özelliklerin aynı anda görülebildiği cisimlerdir. Kısa dalgaboylarında gözleendiğinde sıcak yıldız, uzun dalgaboylarında (yakın-kırmızıöte bölge) ise soğuk yıldız olarak görülen cisimlerdir.
- İlk örnekleri (CI Cygni, RW Hydrae ve AX Persei) 1932 yılında fark edilmiştir. Simbiyotik yıldızların daha sonra soğuk bir dev (genellikle M tayf türünden) ve sıcak bir anakol yıldızı veya genellikle yığılma diskine sahip bir beyaz cüce bileşeni olan çift yıldız sistemleri oldukları anlaşılmıştır.
- Bu sınıf içerisine sıcak ve soğuk bileşene sahip etkileşen çift yıldızların dâhil edilmesi yönünde düşünceler bulunmaktadır.

- Değişen simbiyotik yıldızlar (ki neredeyse tamamı değişendir) *Z Andromedae* yıldızları olarak adlandırılırlar. Bu yıldızın değişen olduğu 1900'lü yıllarda anlaşılmıştır. *Z Andromedae* yıldızlarındaki değişim o kadar farklı ve karmaşık yapıya sahiptir ki bir kitabın birkaç bölümünde ancak anlatılabilir:
 - Bileşen yıldızlardan birinin diğerini örttüğü durumlar mevcuttur (bu nedenle bunlar VV Cephei yıldızları ile ilintili olmalıdır);
 - M tayf türünden olan bileşen zonklayan bir değişen olabilir (bu türden EG *Andromedae*'nin zonklayan kırmızı dev olduğunu ve çift olma özelliği bulunması gerektiğinden bu sınıfa dahil edilmesi gerekir);
 - Eğer soğuk bileşenden sıcak bileşene kütle aktarımı gerçekleşiyorsa, CV'lerde olduğu gibi yığılma diski kaynaklı parlamalar veya patlamalar bulunabilir.
- Aslında tekrarlayan nova olan T *Coronae Borealis*, genellikle *Z Andromedae* türü değişenler listesinde yer alır. Tablo 5.2'de parlak *Z Andromedae* türü değişenler için birkaç örnek verilmiştir. Şekil 7.15'de ise bir simbiyotik yıldızın ışık eğrisi gösterilmiştir – çift olma özelliği ve patlama içeren karmaşık yapısı görülebilir.

TABLO 7.2. PARLAK VE/VEYA İLGİNÇ SİMBİYOTİK YILDIZLAR

Name	V Range	Spectral Type	Period (days)
Z And	10.53 (7.0–12.0)	M2III + B1eq	756.85
EG And	7.23 (7.08–7.80)	M2IIIe	482.57
R Aqr	7.69 (5.8–12.4)	M7IIIpe + pec	44yr?
T CrB	–	–	–
CH Cyg	8.84 (5.6–8.49)	M7III + Be	5750
CI Cyg	11.1 (9.9–13.1)	M5III + Bep	855.25
AR Pav	10.57 (7.4–13.62)	M3III + shell + cont.	605
AG Peg	8.65 (6.0–9.4)	M3III + WN6	816.5
BL Tel	7.20 (7.09–9.41)	M + F5Iab/b	778.6
RR Tel	6.5 (6.5–16.5)	Mira? + pec	



- **Şekil 7.15.** AX Persei'nin AAVSO'nun veri tabanından alınmış görsel gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi. İki temel değişim aynı anda görülmektedir: başlangıçta önemli ölçüde parlama yanında 682.1 gün olan çift yıldız dönemi ve tutulmalar belirgin olarak görülmektedir (AAVSO).

- Simbiyotik nova türü cisimler için bir alt sınıf, patlayan değişenler olmalarıdır. Bu durumda kırmızı bir dev (genellikle zonklayan değişendir) bileşen ile sıcak ve sıkışık olan ve genel olarak beyaz cüce bileşenli sistemlerden oluşurlar.
- Her birkaç on yılda bir patlama gerçekleşir ve ardından birkaç yıl ile on yıl arasında parlaklık azalması görülür. Örnekler arasında V1016 Cygni, HM Sagittae, FG Serpentis, RT Serpentis, RR Telescopii ve son olarak PU Vulpeculae verilebilir.