

Ciešās zvaigžņu dubultsistēmas

Astronomija un astrofizika, kurss 3F studentiem, 2009

Ilgonis Vilks un Dmitrijs Docenko

November 11, 2009

Lekcijas plāns

- 1 Teorētiskā analīze
 - Roša tuvinājums, Lagranža punkti
 - Akrēcijas disks
 - Bondi akrēcija, ADAF
- 2 Ciešo dubultsistēmu evolūcija
- 3 Novērojamās parādības ciešās dubultsistēmās
 - Novas, 1a tipa pārnovas
 - Rentgena dubultzvaigznes
 - Cita eksotika

Outline

- 1 Teorētiskā analīze
 - Roša tuvinājums, Lagranža punkti
 - Akrēcijas disks
 - Bondi akrēcija, ADAF
- 2 Ciešo dubultsistēmu evolūcija
- 3 Novērojamās parādības ciešās dubultsistēmās
 - Novas, 1a tipa pārnovas
 - Rentgena dubultzvaigznes
 - Cita eksotika

Ievads

- Ciešās dubultsistēmās papildus jau aprakstītiem procesiem var notikt masas apmaiņa starp sistēmas komponentēm
- Tas atver ceļu jauniem efektiem
 - Vielas akrēcija no zvaigznes uz zvaigzni
 - Komponentšu evolūcijas gaitas izmaiņa
- Rezultātā rodas tādi objekti kā
 - Kataklizmas mainīgzvaigznes (novas, polāri, ...)
 - 1a tipa pārnovas
 - Rentgenstarojuma dubultzvaigznes
 - Mikrokvarāri, ...

Roša tuvinājums

- Trīs ķermeņu problēmas speciālgadījums
- Nosaka, kā kustās testa ķermeni tuvu diviem masīviem ķermeņiem (zvaigznēm)
- Zvaigznes tiek modelētas kā punktveida objekti
- Labs tuvinājums, kad zvaigznes ir lodveida, t.i. lēni rotē ap savu asi
- Tad uz testa ķermeni darbojas tikai divu zvaigžņu pievilkšanas spēki:

$$\vec{F}(\vec{r}) = G \frac{M_1 m}{|\vec{r} - \vec{r}_1|^3} (\vec{r} - \vec{r}_1) + G \frac{M_2 m}{|\vec{r} - \vec{r}_2|^3} (\vec{r} - \vec{r}_2)$$

- Atbilstoši, gravitācijas potenciāls ir

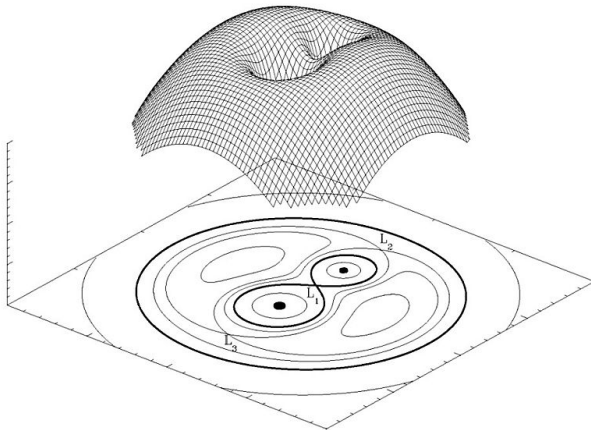
$$U(\vec{r}) = -G \frac{M_1}{|\vec{r} - \vec{r}_1|} - G \frac{M_2}{|\vec{r} - \vec{r}_2|}$$

Inerces spēki

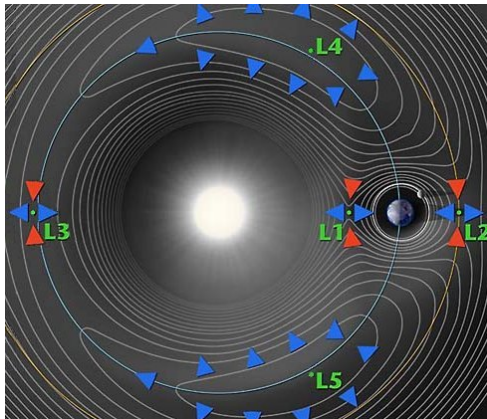
- Masīvo ķermeņu rotācijas dēļ to koordinātes visu laiku mainās, tāpēc testa ķermeņa kustību ir grūti intuitīvi saprast
- Pāriesim rotējošā atskaite sistēmā, kurā zvaigžņu koordinātes ir nemainīgas
 - Apskatīsim tikai riņķveida orbītas, lai vienkāršotu analīzi
- Rotējošā atskaite sistēmā parādās
 - Centrbēdzes spēks: darbojas radiāli prom no centra, $\vec{F}_{cb} = m\vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r})$. Ja $\vec{\Omega} \perp \vec{r}$, tad $F_{cb} = m\Omega^2 r$.
 - Koriolisa spēks: darbojas, kad ķermenis kustās rotējošā atskaite sistēmā, $\vec{F}_K = -2m\vec{\Omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt}$
- Ja testa ķermenis nekustās rotējošā koordinātu sistēmā, $\vec{F}_K = 0$ un var nodefinēt efektīvu gravitācijas potenciālu

$$U_{eff}(\vec{r}) = -G \frac{M_1}{|\vec{r} - \vec{r}_1|} - G \frac{M_2}{|\vec{r} - \vec{r}_2|} - \frac{1}{2}\Omega^2 \vec{r}^2 \cos^2 \alpha$$

Roša potenciāls



Izopotenciālās līknes ķermeņu plaknē

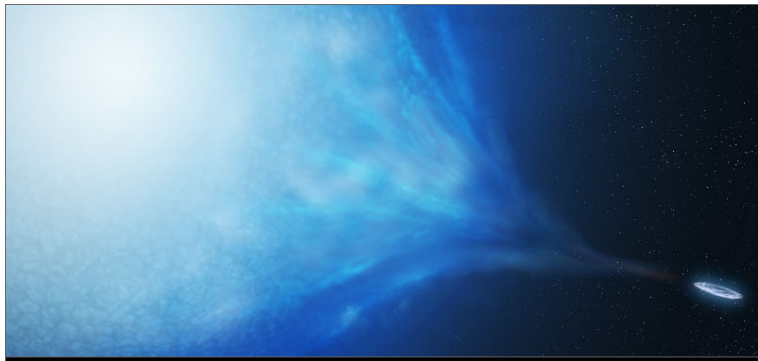


- $L_1 \cdots L_5$ - Lagranža punkti, potenciāla seglveida punkti
- Nevienš no tiem nav stabils, bet ap L_4 un L_5 ir iespējamās noslēgtas orbītas Koriolisa spēka dēļ
- Attālums līdz L_1 :

$$\sqrt[3]{m/3M}, \text{ ja } m \ll M$$
- Tilpums, kur dominē vienas zvaigznes pievilkšanās: Roša tilpums

Ciešas zvaigžņu dubultsistēmas

- Aptuveni pusi no visām zvaigznēm ir dubultzvaigznes
- **Definīcija:** Ciešas ir tādas dubultzvaigznes, kur komponentes izmēri kādā evolūcijas posmā var pārpildīt savu Roša tilpumu
- Tad sākas vielas pārplūde no vienas zvaigznes uz otru – akrēcija



Vielas kustība pēc L_1

- Koriolisa spēki to novirza no taisnās trajektorijas sistēmas rotācijas virzienā
- Viela kustās pa elipsi, pietuvinoties otram zvaigznei līdz $R/7$ (ja $M_1 = M_2$) un tad atkal attālinoties
- Pēc viena apgrieziena tā saduras ar iekrītošu plūsmu
 - Plūsmas orbīta nav slēgta
- Novērtēsim raksturīgus lielumus:
 - Zvaigžņu masa $5 M_{\odot} = 10^{31} \text{ kg}$
 - Attālums starp zvaigznēm $10^{10} \text{ m} = 0.1 \text{ a.v.}$
 - Tad rotācijas periods ir $2 \times 10^5 \text{ s} = 2 \text{ dienas}$
 - Orbitālās kustības ātrums ir ap 200 km/s !

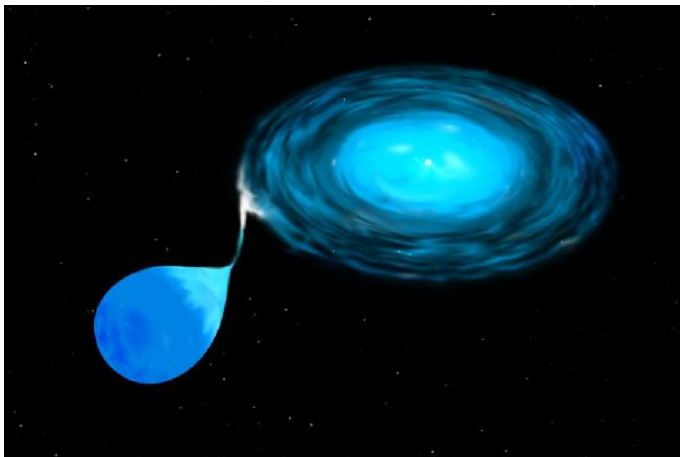
Akrēcijas diska izveidošanās

- Ar ātrumu 300-500 km/s vielas plūsmas saduras...
- Skaņas ātrums pie zvaigznes fotosfēras temperatūras (10^4 K) ir tikai daži km/s
- Virsskaņas ātrumi noved pie triecienviļņa veidošanās
 - Vielas spiediens, blīvums un temperatūra lēcieneida paaugstinās
- Pēc lieluma kārtas daļiņu plūsmas kinētiskā enerģija pāriet haotiskā siltuma enerģijā
 - Temperatūra var pieaugt līdz pat 10^7 K
- Ir iespējami divi gadījumi:
 - Ja plazma ir pietiekami blīva, tad tā var izspīdēt savu enerģiju relatīvi ātri un atdziest, izveidojot akrēcijas disku
 - Ja plazma ir retināta, tā “iztvaiko” no orbitālās plaknes un izveido retinātu mākonī ap zvaigzni

Akrēcijas diska izveidošanās

- Ar ātrumu 300-500 km/s vielas plūsmas saduras...
- Skaņas ātrums pie zvaigznes fotosfēras temperatūras (10^4 K) ir tikai daži km/s
- Virsskaņas ātrumi noved pie triecienviļņa veidošanās
 - Vielas spiediens, blīvums un temperatūra lēcieneida paaugstinās
- Pēc lieluma kārtas daļiņu plūsmas kinētiskā enerģija pāriet haotiskā siltuma enerģijā
 - Temperatūra var pieaugt līdz pat 10^7 K
- Ir iespējami divi gadījumi:
 - Ja plazma ir pietiekami blīva, tad tā var izspīdēt savu enerģiju relatīvi ātri un atdziest, izveidojot akrēcijas disku
 - Ja plazma ir retināta, tā “iztvaiko” no orbitālās plaknes un izveido retinātu mākonī ap zvaigzni

Akrēcijas disks



Atkāpe: centrālā simetrija

- Evolūcija akrēcijas diska pamatdaļā nav atkarīga no tā, vai centrā atrodas
 - Melnais caurums
 - Neitronzvaigzne (šos divus sauc par kompaktiem objektiem)
 - Baltais punduris (šos trīs sauc par kompaktām zvaigznēm)
 - Normālā zvaigzne
- Visos gadījumos tie ietekmē disku kā punktveida masa
- Otrās komponentes pievilkšanu var neievērot
- Pārtēcējušās plazmas orbītas kļūst par riņķveida

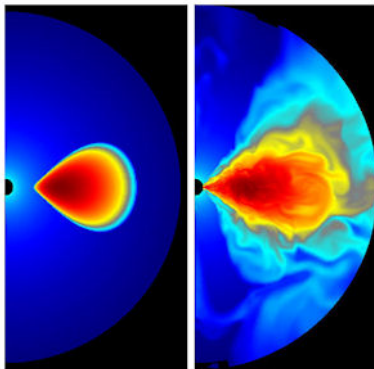
Akrēcijas diska izveidošanās

- Pēc karstā punkta viela atdziest, jo siltuma enerģiju aiznes starojums
- Jo lielāks ir blīvums, jo biežākas sadursmes, jonu ierosme un plazmas starojums
- Blīvajos akrēcijas diskos temperatūra var būt tikai ap 10^4 K (tad kinētiskā enerģija daļiņām ap 1 eV)
- Rezultātā visa viela kondensējas tuvu zvaigžņu orbitālai plaknei
 - Tur ir potenciālās enerģijas minimums
- Lai izveidotu akrēcijas disku (nevis tikai riņķi), vielai ir jākustas uz iekšieni
 - Jāatdod leņķiskais moments un potenciālā enerģija
- Leņķiskais moments tiek atdots to pārdalot: daļa no vielas krīt iekšā, daļa kustas ārā

Vielas kustība uz centru

- Vai vispār viela kustēsies uz savu pievilkšanas centru?
 - Planētas nekrīt uz Sauli
 - Saturna gredzeni nekrīt uz Saturnu – tiem gandrīz nav viskozitātes
- Tieši viskozitāte darbojas kā leņķiskā momenta pārdalīšanas iemesls
 - Iedomāsimies akrēcijas diska daļu. Elements A, kas atrodas tuvāk centrālām objektam, kustas ātrāk un apsteidz elementu B. Viskozitāte cenšas satuvināt elementu lineārus ātrumus. Rezultātā elementa A ātrums samazinās un kļūst mazāks par 1. kosmisko ātrumu uz šīs orbītas. Elements A pāriet uz zemāko orbītu un kustas uz centru. Tāpat, elementa B ātrums kļūst lielāks par $v_{1k,B}$ un tas kustas ārā.
- Paliek tikai jautājums par to, kāds ir šīs viskozitātes iemesls
 - Ar parasto gāzes viskozitāti nepietiek!

Magneto-rotācijas nestabilitāte akrēcijas diskā



- Akrēcijas diska diferenciālā rotācija, līdzīgi kā uz Saules, pastiprina diskā esošo magnētisko lauku
- Kad magnētiskā lauka enerģija ir pietiekami liela, lauks darbojas pret diferenciālo rotāciju
 - Kļūst enerģētiski izdevīgāk pārdalīt leņķisko momentu (tas prasa enerģiju, kas tiek ņemta no magnētiskā lauka)
- To sauc par **magnēto-rotācijas nestabilitāti**

Kāpēc disks?

- Disku uztur
 - Paša diska gravitācija (bieži vien neievērojami maza)
 - Centrāls objekts (parasti ietekme dominē)



- Rezultējošs spēks ir vērsts virzienā uz diska plakni:

$$F = -G \frac{Mm}{R^2} \frac{h}{R},$$
 kur h ir attālums no diska plaknes
 - NB! $g \sim h$
- Potenciālā enerģija attiecībā pret ekvatora plakni

$$E_{p,eq} = -G \frac{Mm}{R^3} \frac{h^2}{2}$$

Viriālā temperatūra

- Attālumā R no centra daļiņas potenciālā enerģija ir $E_p = -G \frac{Mm}{R}$
- Uz riņķveida orbītas $E_k = m \frac{v_{1k}^2}{2} = G \frac{Mm}{2R} = -\frac{1}{2} E_p$ (viriāla teorēma)
- Enerģijas starpība $\Delta E \equiv E_p - E_k = E_k$ aiziet uz plazmas sildīšanu
- Ja plazma patur šo enerģiju, tad tā temperatūra ir vienāda ar **viriālo temperatūru** $T_{vir} = E_k/k$.
 - Galvenās secības zvaigznes virsmas tuvumā $g \approx 500 \text{ m/s}^2$ un $T_{vir} = \frac{m_p g R}{2k} \approx 1 \times 10^7 \text{ K}$
 - Baltā pundura virsmas tuvumā $T_{vir} \approx 8 \times 10^8 \text{ K}$
 - Neitronzvaigznes virsmas tuvumā $T_{vir} \approx 1 \times 10^{12} \text{ K}$

Akrēcijas diska starojums

- Ja vielai ir iespēja efektīvi starot (piemēram, akrēcijas diska ietvaros), tad visa šī enerģija netiek sakrāta, bet ir izstarota siltuma veidā. Tāpēc paši akrēcijas diski kompakto zvaigžņu tuvumā ir spoži objekti.
 - Akrēcijas efektivitāte kompakto objektu tuvumā ir $L_{akr} = \frac{dE}{dt} = G \frac{M}{2R} \frac{dm}{dt}$.
 - Izsakot rādiius $\checkmark$ Švarcsilda rādiiusa $R_S = \frac{2GM}{c^2}$ vienībās, iegūsim $L_{akr} = \frac{1}{4} \frac{R_S}{R} \frac{dm}{dt} c^2$.
 - Neitronzvaigznēm ($R = 4R_S$) sanāk $L = \frac{1}{16} \frac{dm}{dt} c^2$, 1 grams dod 10^6 kWh!
 - Melniem caurumiem atkarīga no rotācijas, var sasniegt $L = 0.3 \frac{dm}{dt} c^2$
 - Tā ir pat lielāka, nekā kodolreakciju efektivitāte $L_{kod} = 0.007 \frac{dm}{dt} c^2$!

Akrēcijas disks pie centrālā objekta

- Gandrīz tikpat daudz enerģijas izdalās uz neitronzvaigznes vai baltā pundura virsmas, kad no v_{1k} viela bremzējas līdz objekta rotācijas ātrumam uz ekvatora
 - Ja centra objekta rotācijas ātrums ir nulle, tad izdalās tikpat daudz!
- NB! Akrēcija paātrina objekta rotāciju
 - Tieši tāpēc visātrāk rotējošie pulsāri (neitronzvaigznes) ir tie, kuri tika paātrināti akrēcijas rezultātā. To periodi ir ar kārtu 1-2 ms, tāpēc tos sauc par **milisekunžu pulsāriem**

Akrēcija bez diska

- Ja akrēcijas temps ir zems, tad akrēcijas disks neizveidojas, jo plazma neatdziest pietiekami ātri
- Pārtecējošā viela sadalās pa Roša tilpumu, tā temperatūra ir aptuveni vienāda ar T_{vir}
- Notiek karstās gāzes akrēcija ar mazu ātrumu no šī **akrēcijas vainaga**.
 - Šo procesu sauc par ADAF - *advection dominated accretion flow*
 - Advekcija ir siltuma pārnese kopā ar matēriju
- Tik austās temperatūrās viela nav efektīvs starotājs, tāpēc objekta spožums vairākkārt samazinās salīdzinot ar akrēcijas disku

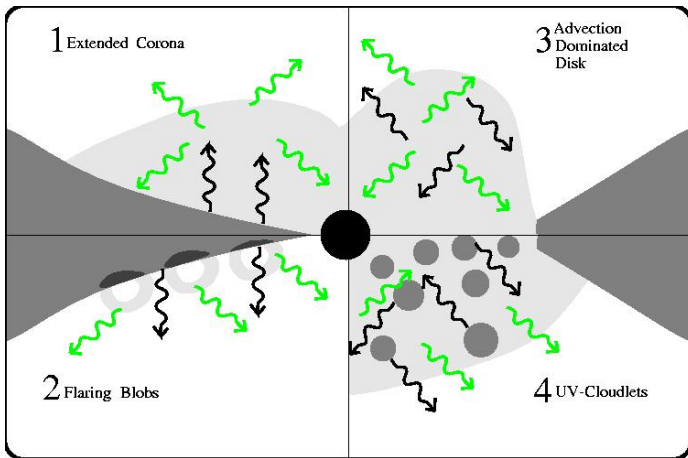
Akrēcija bez diska: 2

- Dažās rentgena dubultzvaigznēs (sk. zemāk) ar nelielu akrēcijas tempu pārslēdzas starp šiem stāvokļiem: ar un bez diska
 - Akrēcijas vainags pastāv vienmēr; ja diska blīvums nav pietiekami liels, tad siltumkontaktā ar vainagu tas tiek iztvaicēts
- Ja kompaktais objekts (melns caurums, neitronzvaigzne) nepieder dubultsistēmai, bet vienkārši kustas starpzvaigžņu telpā, tad akrēciju no tās sauc par **Bondi akrēciju**. Tās ātrums ir relatīvi neliels.

Akrēcija bez diska: 2

- Dažās rentgena dubultzvaigznēs (sk. zemāk) ar nelielu akrēcijas tempu pārslēdzas starp šiem stāvokļiem: ar un bez diska
 - Akrēcijas vainags pastāv vienmēr; ja diska blīvums nav pietiekami liels, tad siltumkontaktā ar vainagu tas tiek iztvaicēts
- Ja kompaktais objekts (melns caurums, neitronzvaigzne) nepieder dubultsistēmai, bet vienkārši kustas starpzvaigžņu telpā, tad akrēciju no tās sauc par **Bondi akrēciju**. Tās ātrums ir relatīvi neliels.

Akrēcijas tipu salīdzinājums



Outline

- 1 Teorētiskā analīze
 - Roša tuvinājums, Lagranža punkti
 - Akrēcijas disks
 - Bondi akrēcija, ADAF
- 2 Ciešo dubultsistēmu evolūcija
- 3 Novērojamās parādības ciešās dubultsistēmās
 - Novas, 1a tipa pārnovas
 - Rentgena dubultzvaigznes
 - Cita eksotika

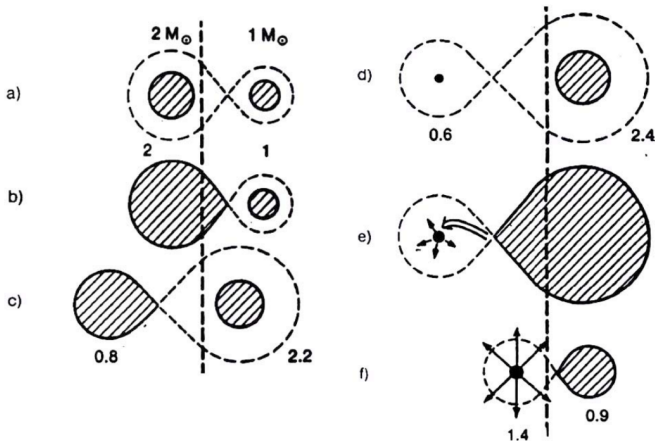
Ciešo dubultsistēmu izveidošanās

- Aptuveni 50% no zvaigznēm ietilpst dubultsistēmās
- Ir vismaz divi efektīvi veidi to izveidei
 - Ja zvaigznes kolapses laikā leņķiskais moments ir pārāk liels, no viena kodola izveidojas zvaigžņu dubultsistēma, nevis viena zvaigzne
 - “Svīstot” nalielām zvaigžņu kopām to negatīvās siltumietilpības rezultātā, palikušās daļas saites enerģija palielinās - kopa saraujas. Beigās paliek tikai viena vai daži ciešās dubultzvaigznes. Tajās paliek visa bijušās zvaigžņu kopas gravitācijas saites enerģija.

Ciešo dubultsistēmu evolūcija

- Masas pārplūde starp komponentēm var ietekmēt to evolūciju.
- Piemēram apskatīsim $1M_{\odot}$ un $2M_{\odot}$ ciešo zvaigžņu dubultsistēmu
 - Smagāka zvaigzne evolucionē ātrāk un pārveršas par milzi pārpildot savu Roša tilpumu. Caur L_1 punktu daļa vielas pārtek uz kompanjonu
 - Sākotnēji smagāka zvaigzne pārveršas par balto punduru ar masu ap $0.6M_{\odot}$
 - Otrā zvaigzne sasniedz milža stadiju un arī pārpilda savu Roša tilpumu. Viela sāk pārtecēt atpakaļ
 - Kad baltā pundura masa akrēcijas rezultātā palielinās līdz $1.4M_{\odot}$, tiek pārsniegta Čandrasekāra robeža
 - Baltais punduris sprāgst kā **1a tipa pārnova**

Ciešo dubultsistēmu evolūcija: piemērs



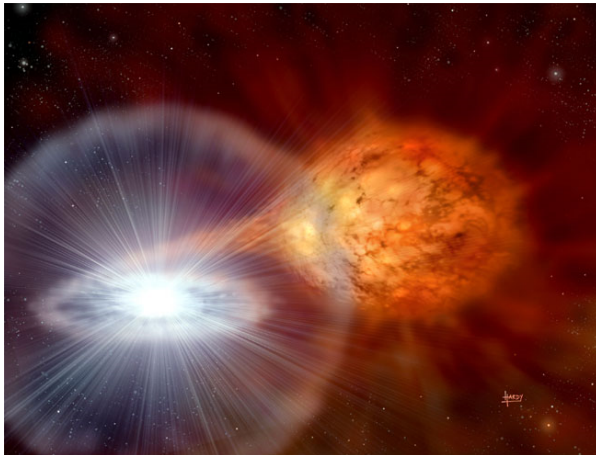
Outline

- 1 Teorētiskā analīze
 - Roša tuvinājums, Lagranža punkti
 - Akrēcijas disks
 - Bondi akrēcija, ADAF
- 2 Ciešo dubultsistēmu evolūcija
- 3 Novērojamās parādības ciešās dubultsistēmās
 - Novas, 1a tipa pārnovas
 - Rentgena dubultzvaigznes
 - Cita eksotika

Akrēcija uz balto punduru: nova

- Apskatīsim nedaudz sīkāk, kas notiek ar vielu, kas krīt uz balto punduru
- Akrēcijas disks sastāv no zvaigznes atmosfēras vielas: H, He
- Šī viela krīt uz balto punduru, kas sastāv no C, O, un paliek uz virsmas
 - Arī nokritusi viela kļūst deģenerēta
- Kad sakrājas pietiekami daudz ūdeņraža, tas sak degt (CNO cikls)
- Deģenerācijas rezultātā nav stabilizējošās atpakaļsaītes; notiek sprādziens
- Liela daļa no nokritušās vielas tiek nomesta
- Tā ir **klasiskā nova** (no latīņu: jaunā zvaigzne)

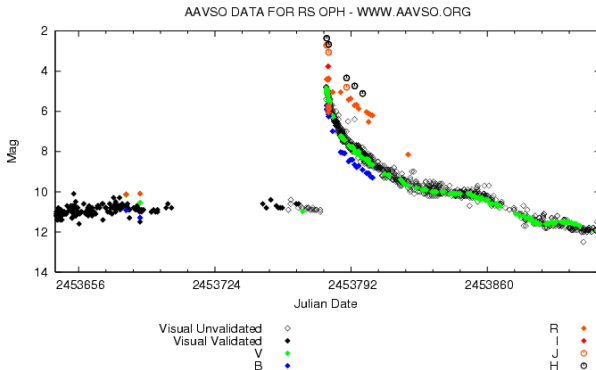
Nova: ilustrācija



Novas: parametri

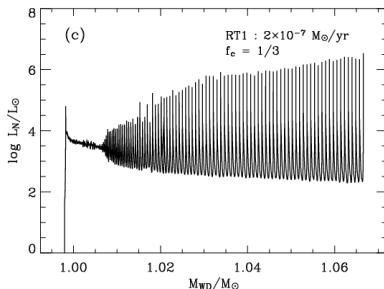
- Novas tiek klasificētas kā **kataklizmas maiņzvaigznes**
- Tās visas tiek uzskatītas par (kvazi)periodiskām maiņzvaigznēm.
 - Ir zināmi novu periodi no 10 gadu (rekurentās novas)
 - Domājams, ka klasiskām novām periodi ir ar kārtu $10^3 - 10^5$ gadu
 - Spožums maksimumā pieaug $10^3 - 10^5$ reizes
- Laiks starp uzliesmojumiem ir atkarīgs no akrēcijas tempa un (galvēnokārt) no baltā pundura masas. Jo smagāks ir baltais punduris, jo vieglāk ir vielai uzdegties un jo mazāks ir laiks starp uzliesmojumiem
- Katru gadu mūsu Galaktikā notiek ap 40 novu uzliesmojumiem. Tiek reģistrēti ap 10 novu uzliesmojumi gadā mūsu Galaktikā un ap 25 novas gadā Andromēdas galaktikā.

RS Ophiuchi uzliesmojums 2006. gadā

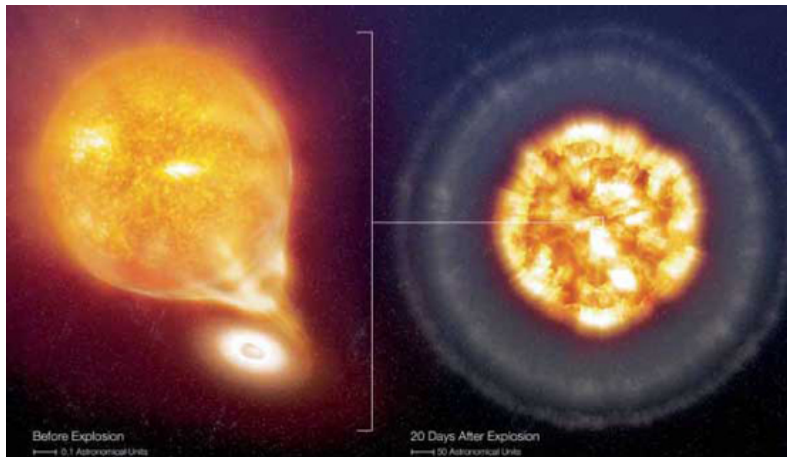


RS Ophiuchi uzliesmoja 1898., 1933., 1958., 1967., 1985. un 2006. gados

Baltā pundura masas pieaugums



- Neskatoties uz masas zudumiem nomestā čaulā, baltā pundura masa pieaug.
 - Uz attēla: baltā pundura spožums atkarībā no tā masas, kas kalpo kā laika ass (masas pieaugums ir proporcionāls laikam)
- Kad baltā pundura masa tuvojas Čandrasekāra masai, tā izmērs arvien samazinās, līdz ...

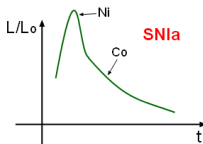


1a tipa pārnovas

- Kas tad īsti notiek:
 - Tuvojoties Čandrasekāra robežai, baltā pundura vielas blīvums pieaug
 - Palielinoties blīvumam, palielinās arī kodolreakciju ātrumi
 - Kādā brīdī sākas oglekļa un skābekļa degšana (kodolreakcijas)
 - Baltā pundura deģenerētās gāzes spiediena dēļ nav negatīvās atpakaļsaites
 - Sadeg C un O un palielina temperatūru, uzreiz sadeg Ne un Si
 - Galvēnokārt izveidojas ^{56}Ni (ap $1 M_{\odot}$!)
 - Siltuma enerģijas, kas izdalās (ap $(1 - 2) \times 10^{44}$ J), pietiek, lai pārvarētu baltā pundura gravitāciju
 - Sprādziena rezultātā visa viela tiek sašķaidīta ar ātrumiem $(5 - 20) \times 10^3$ km/s, centrā nepaliek nekā
- Tas ir **1a tipa pārnovas** sprādziens

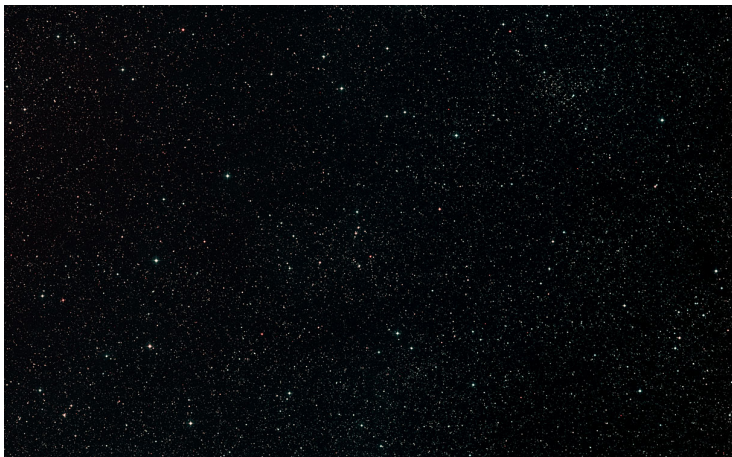
Pēc sprādziena

- Objekta spožums palielinās proporcionāli tā virsmas laukumam, kamēr objekts ir optiski dziļš
- Maksimumā spožums sasniedz $M_V = -19^m$, tad sāk dilt
 - Konstants spožums: **SN1a ir attāluma indikators!**
- Enerģijas pievadīšanu nodrošina β -sabrukuma kodolreakcija
 $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co}$ ($\tau_{1/2} = 6.07^d$) un $^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ ($\tau_{1/2} = 77.3^d$)

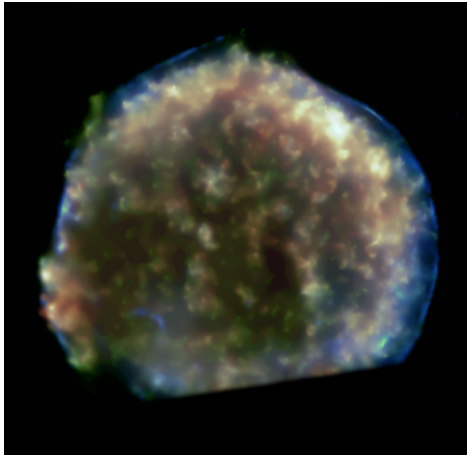


- Izmestās čaulas optiskais starojums ātri pazūd, jo karstā ($10^7 - 10^8$ K) plazma nestaro optiskā diapazonā

Tiho pārnovas palieka (SN1572)



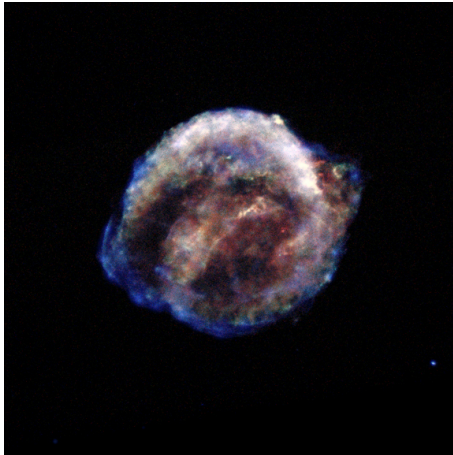
Tiho pārnovas palieka rentgenstaros



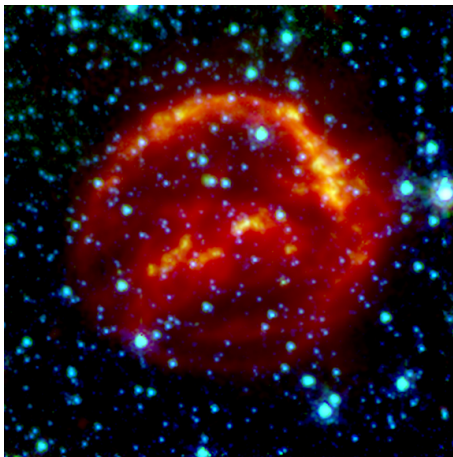
Keplera pārnovas palieka (SN1604) redzamā gaismā



Keplera pārnovas palieka (SN1604) rentgenstaros



Keplera pārnovas palieka (SN1604) IS gaismā

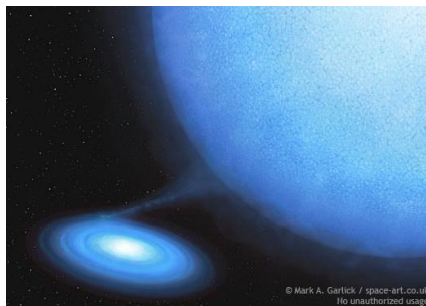


Akrēcijas diska starojums

- Atgriezīsimies pie ciešām dubultsistēmām un apskatīsim akrēcijas diska starojumu
- Šoreiz pievērsīsim uzmanību kompaktiem objektiem - neitronzvaigznēm un melniem caurumiem - akrēcijas diska centrā
- Jo tuvāk centrālam objektam, jo lielāka kļūst akrēcijas diska temperatūra ($T \sim R^{-3/4}$). Tuvu centrālam objektam tam tipiski ir ap $10^7 - 10^8$ K
- Akrēcijas disks kļūst par spožu rentgenstaru avotu
- Tādus objektu sauc par **rentgena dubultzvaigznēm**. Tās sadala divās klasēs
 - Lielās masas rentgena dubultzvaigznes (*HMXB, high-mass X-ray binary*)
 - Mazās masas rentgena dubultzvaigznes (*LMXB, low ...*)
- Mūsu Galaktikā ir ap 100-200 rentgena dubultzvaigžņu

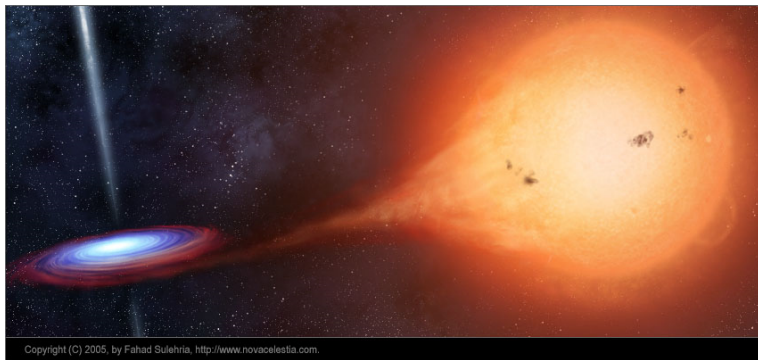
Lielās masas rentgena dubultzvaigznes

- Kompaktā objekta kompanjons ir O-B tipu pārmilzis vai WR zvaigzne ar stipru vēju. Roša tilpums netiek pārpildīts.
- Daļa no vēja tiek saķerta kompaktās zvaigznes Roša tilpumā un izveido nelielu akrēcijas disku

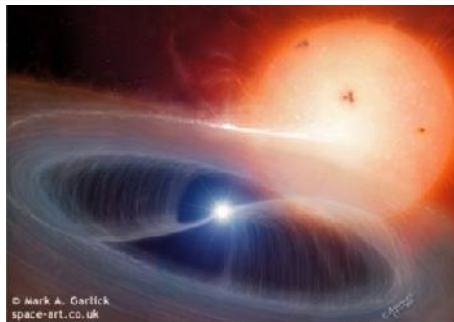


Mazās masas rentgena dubultzvaigznes

- Cieša dubultsistēmā, kurā normālā zvaigzne pārpilda Roša tilpumu
- Kompaktā objekta kompanjons ir galvenās secības zvaigzne, milzis, ...
- NB! Strūklas parasti neveidojas (izņēmums: mikrokvazāri)



Polāri un vidēji polāri



- Ja akrēcijas diska centrālām objektam ir stiprs magnētiskais lauks, tad akrēcijas disks var vispār neizveidoties, jo krītošā viela uzreiz pēc L_1 sāk kustēties pa kompaktās zvaigznes magnētiskā lauka līnijām. Tā nokrīt magnētisko polu rajonos, kur izveidojas spožas bremzējošās vielas kolonnas. Tādus objektus sauc par **polāriem**.

- Dažreiz magnētiskais lauks nav tik stiprs un akrēcijas diska

Mikrokvazāri

- Mūsu Galaktikā ir zināmi daži objekti, kas atrodas īsā evolūcijas stadijā, kad akrēcijas temps no normālās zvaigznes uz kompakto objektu ir tik liels, ka akrēcijas diska spožums ir lielāks par Edingtona spožumu
 - Tādus objektus sauc par mikrokvazāriem
 - Viens no tiem ir SS433; kompakts objekts šajā gadījumā ir melnais caurums ($M = (11 \pm 5)M_{\odot}$)
- Rezultātā starojuma spiediena dēļ akrecējošā viela tiek izmesta no akrēcijas diska centra gar tā rotācijas asi
 - SS433 gadījumā izmestās vielas ātrums sasniedz $0.26c$!

SS433 objekts: ilustrācija

