Bolavé zuby, zlámané kosti, zhroucené hvězdy:

Co společného má jejich studium?

O výzkumu kompaktních hvězd a černých děr metodami rentgenové astronomie

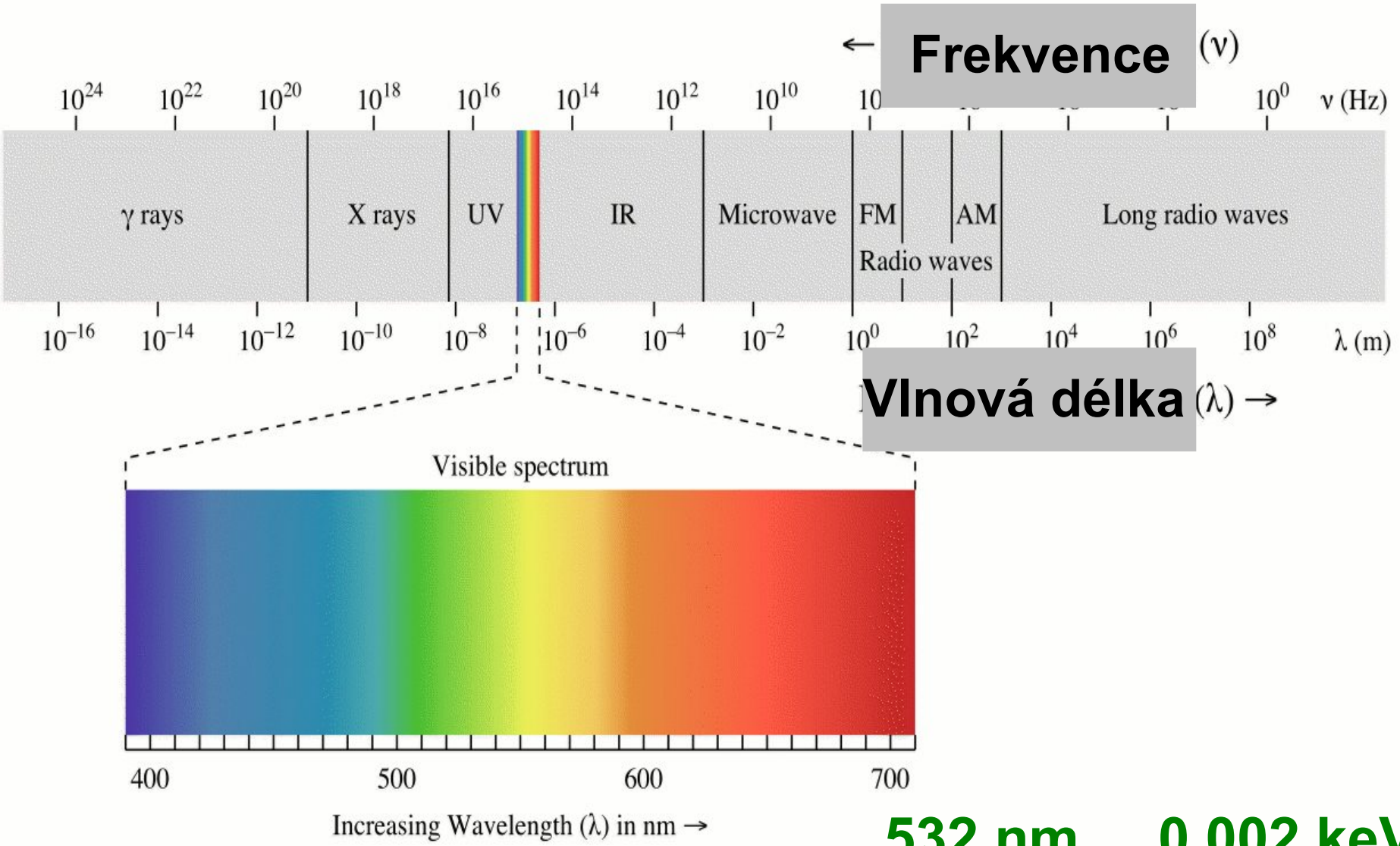
Vladimír Karas

Kopalova přednáška,
Akademie věd ČR, 18. 12. 2009

NEWS

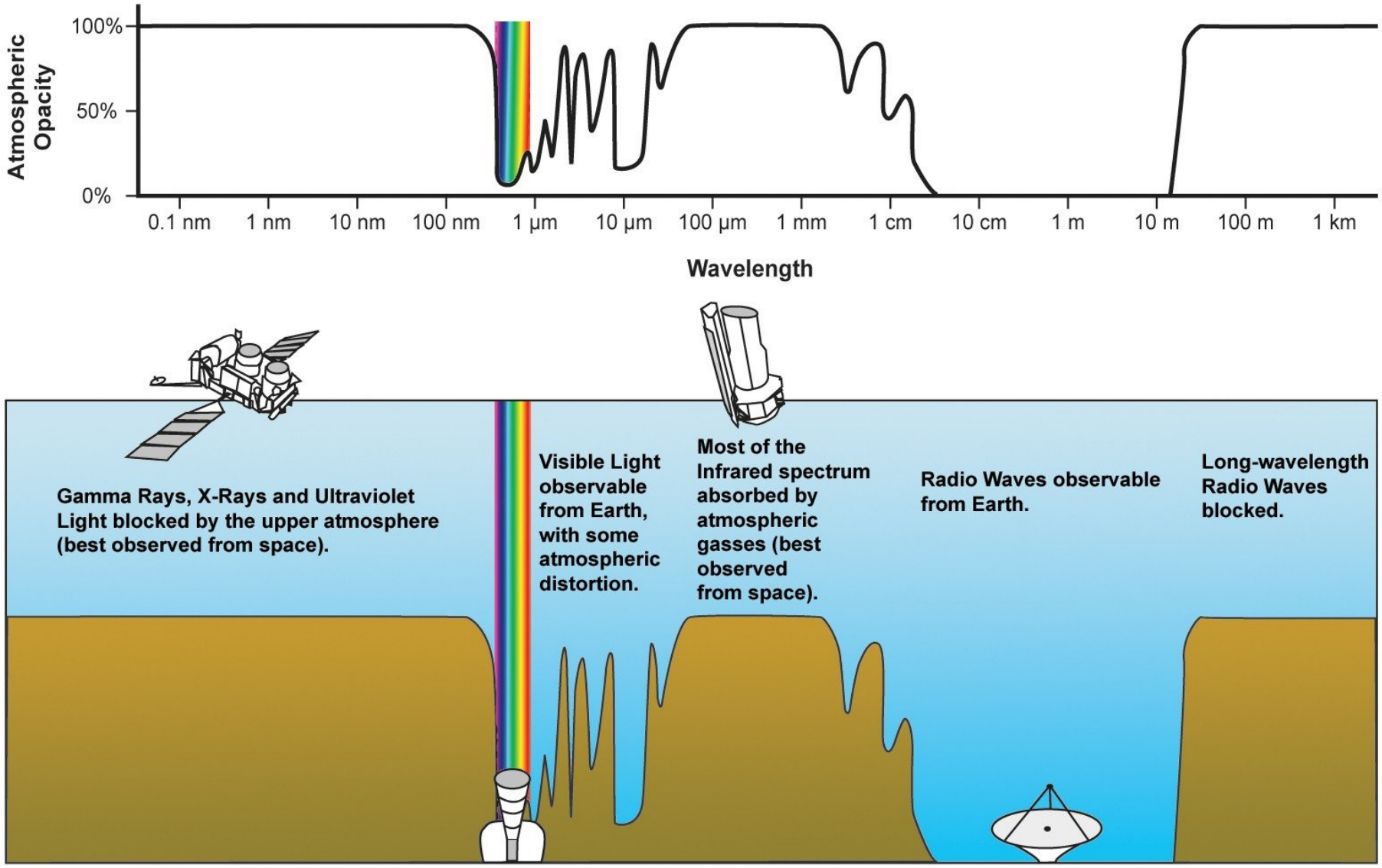
Rentgenové paprsky zvoleny “vrcholným vědeckým objevem”

Elektromagnetické spektrum



532 nm ... 0,002 keV

Opacita zemské atmosféry



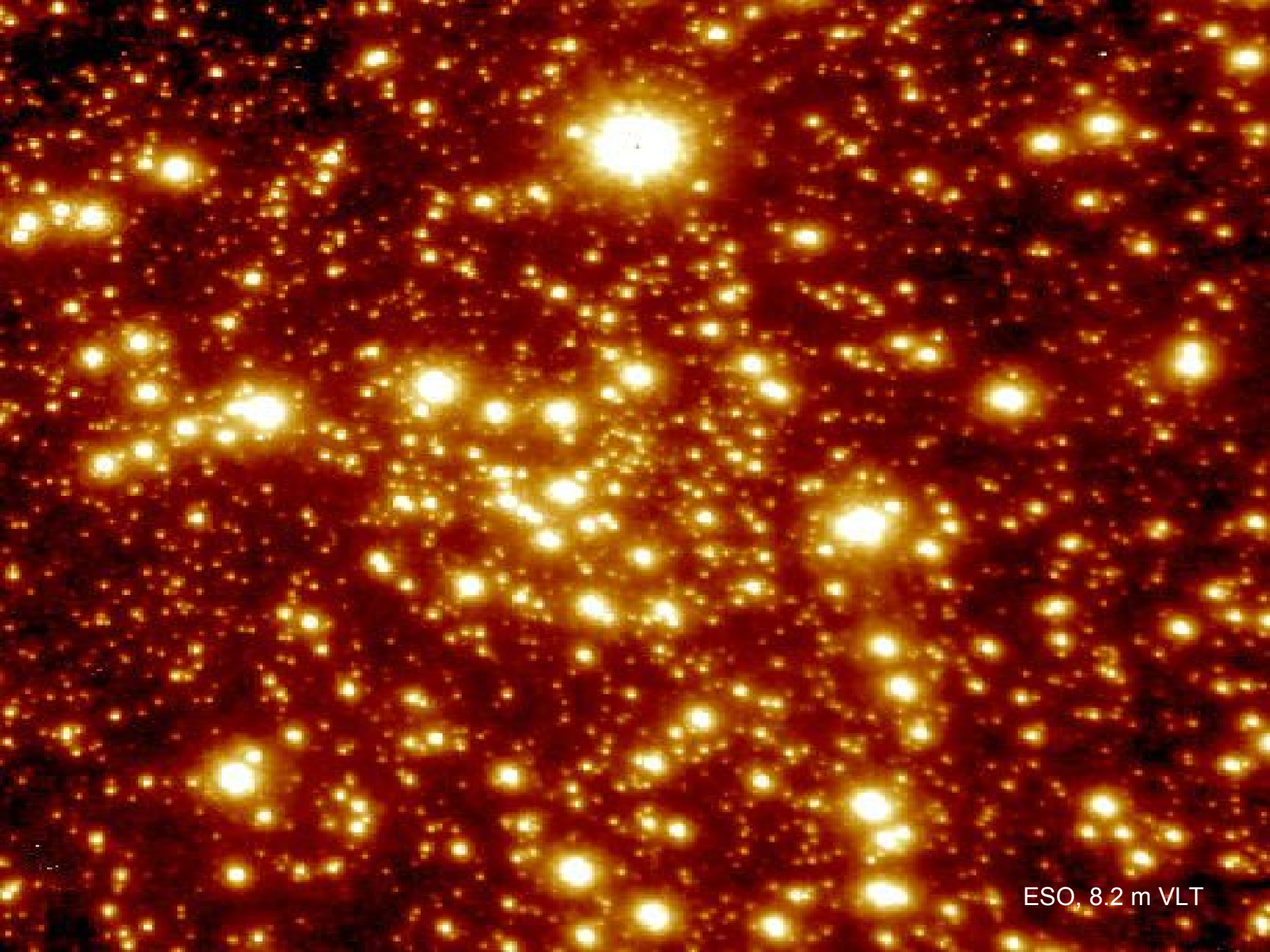
Jádro Galaxie v pohledu družice Chandra

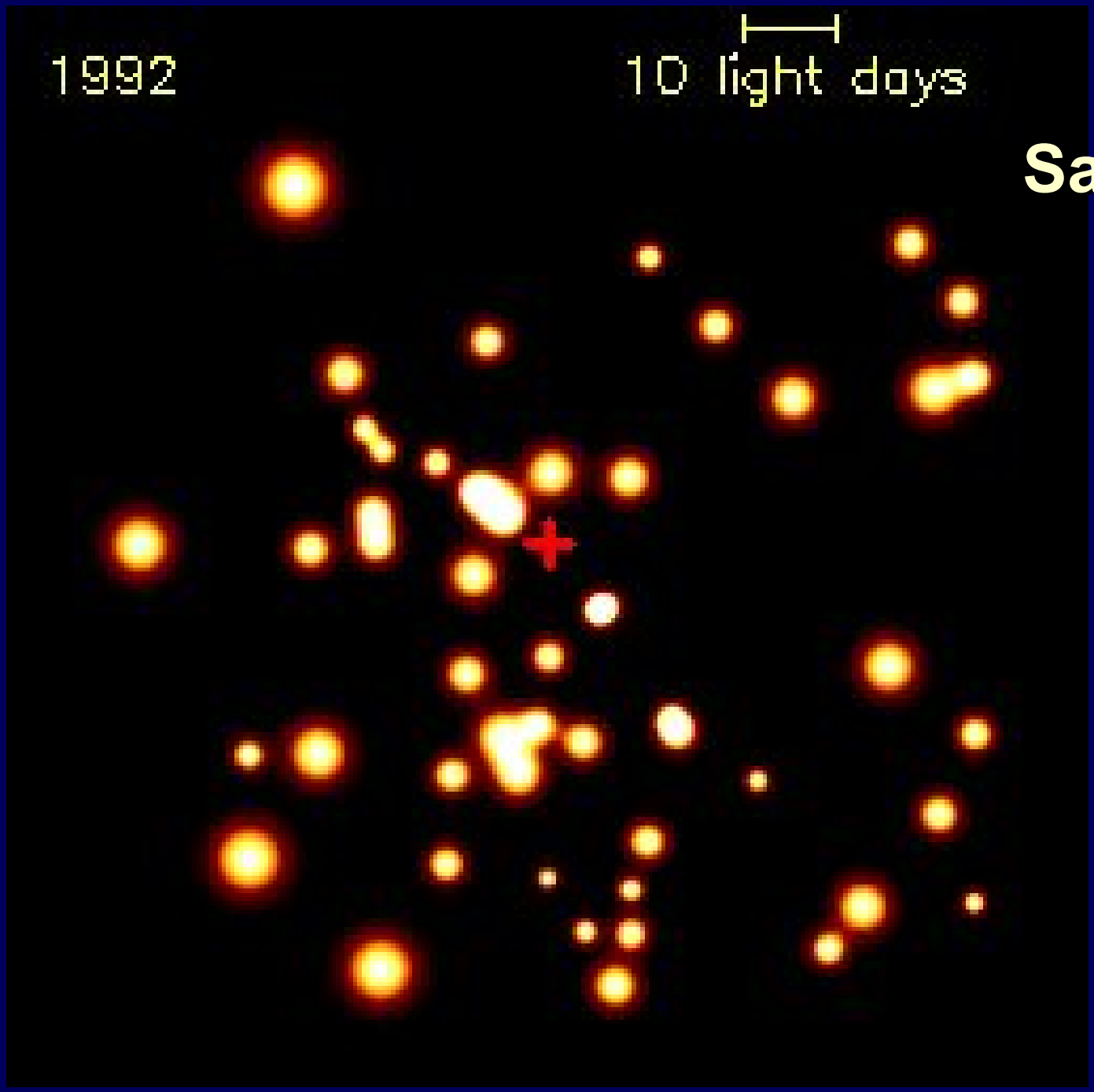
Barvy na snímku jsou “rentgenové”

Červená: 1—3 keV

Zelená: 3—5 keV

Modrá: 5—8 keV


ESO, 8.2 m VLT



Sagittarius A*

Poznámky k historii

John Michell (1784): Philosophical Transactions of the Royal Society of London LXXIV, 35

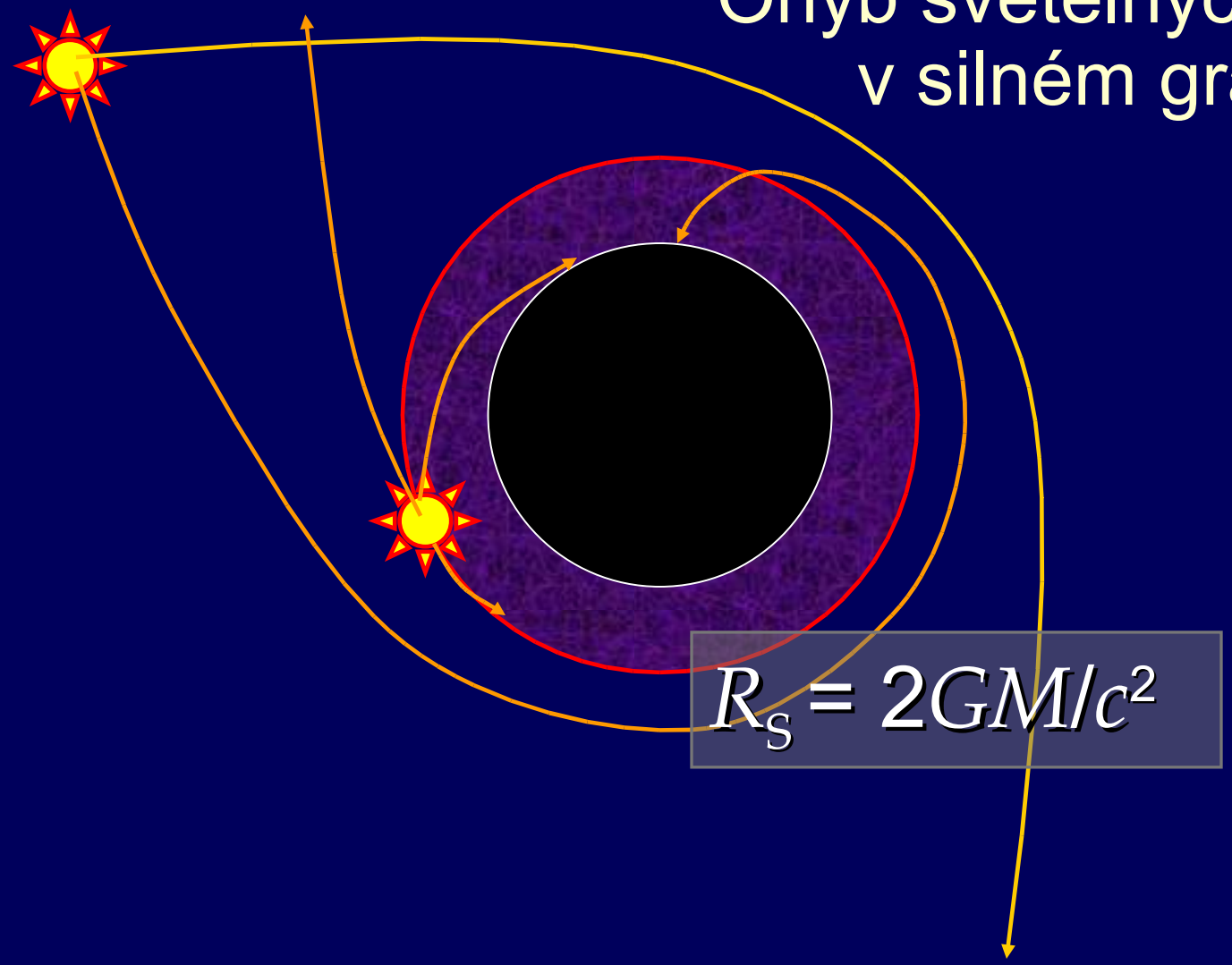
... Pokud by existovala v přírodě jakákoli tělesa, jejichž hustota není menší, než hustota sluneční, a jejichž průměr přesahuje více než pětsetkrát průměr Slunce, pak, neboť jejich světlo by nás nemohlo dosáhnout ... nezískali bychom o nich pohledem žádnou informaci. Přesto však, pokud by kolem nějakého takového tělesa shodou okolností obíhal zářící objekt, byla by zde ještě možnost na základě tohoto pohybu usoudit na přítomnost ústředního ...

Poznámky k historii

Pierre S. Laplace (1796): “Exposition du Systēme du Monde”

… přitažlivost nebeského tělesa může být natolik silná, že ani světlo není schopno uniknout z jeho povrchu.

Ohyb světelných paprsků v silném gravitačním poli



Karl Schwarzschild: “Über das Gravitationsfeld eines Masses nach der Einsteinschen Theorie”, Sitzungsberichte Königlich Pr. Akad. Wiss., 189 (1916).

O maximální hmotnosti hvězd

S. Chandrasekhar (1931): “The maximum mass of ideal white dwarfs”, Astrophysical Journal **74**, 81

... Neexistuje v celé kvantové teorii žádná příčina, jež by zabránila kolapsu tělesa o hmotnosti větší než asi 1,5M_S do jediného bodu ...

Mezní hmotnost: pro bílé trpaslíky ≈ 1.4 M_S

pro neutronové hvězdy ≈ 2 M_S

W. Baade & F. Zwicky (1934): “On supernovae; Cosmic rays from supernovae”, Proc. Nat. Acad. Sci. **20**, 254

... Se vší opatrností rozvíjíme názor, že supernovy představují přechodové stádium od normálních hvězd ke hvězdám neutronovým …

O maximální hmotnosti hvězd

S. Eddington (1935): “Relativistic degeneracy”, Observatory **58**, 37

... Různé náhody mohou hvězdu zachránit, ale já chci ochranu důkladnější. Domnívám se, že by měl v Přírodě existovat nějaký zákon zamezující hvězdám takové absurdní chování!

A. Einstein (1939): “On a stationary system with spherical symmetry consisting of many gravitating masses”, Ann. Math. (Princeton) **40**, 922

... „Schwarzschildova singularita“ ve fyzikální realitě neexistuje … důvodem je skutečnost, že hmotu není možné libovolně zhušťovat.

J.R. Oppenheimer & G. Volkoff (1939): “On massive neutron cores”, Physical Review **55**, 374

Pokud rotace, ztráta hmoty zářením či její odvržení nesníží hmotnost hvězdy na hodnotu srovnatelnou se Sluncem, kontrakce bude pokračovat bez ustání

...

radius hvězdy se blíží gravitačnímu poloměru; světlo hvězdy postupně červená, uniknout může jen ve stále užším kuželu

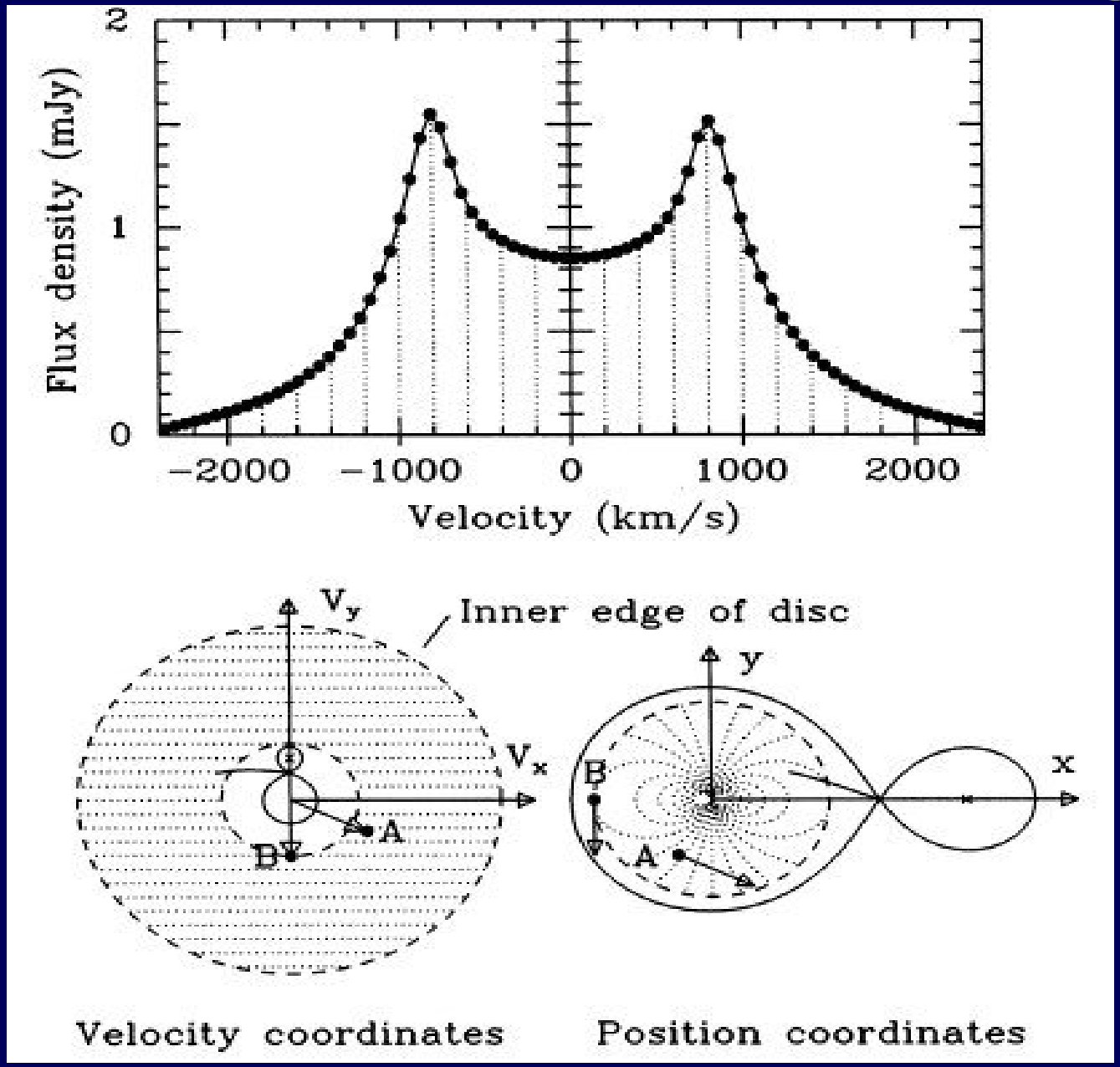
...

celková doba kolapsu je pro pozorovatele padajícího s hmotou hvězdy konečná.

Rengenová dvojhvězda

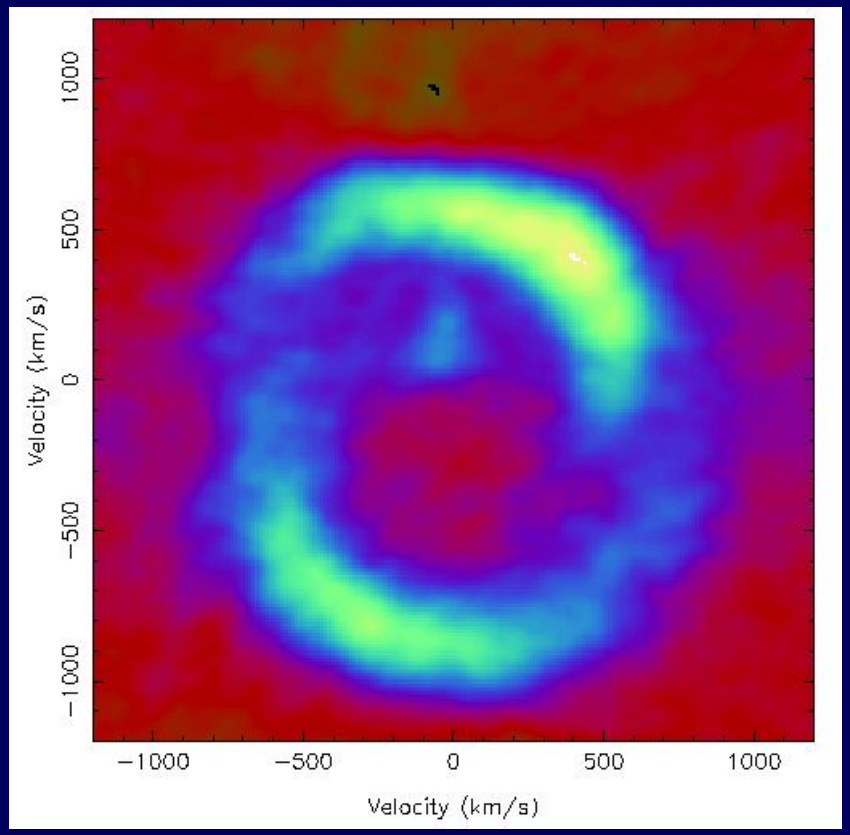
R. Hynes 2000

Metoda dopplerovské tomografie

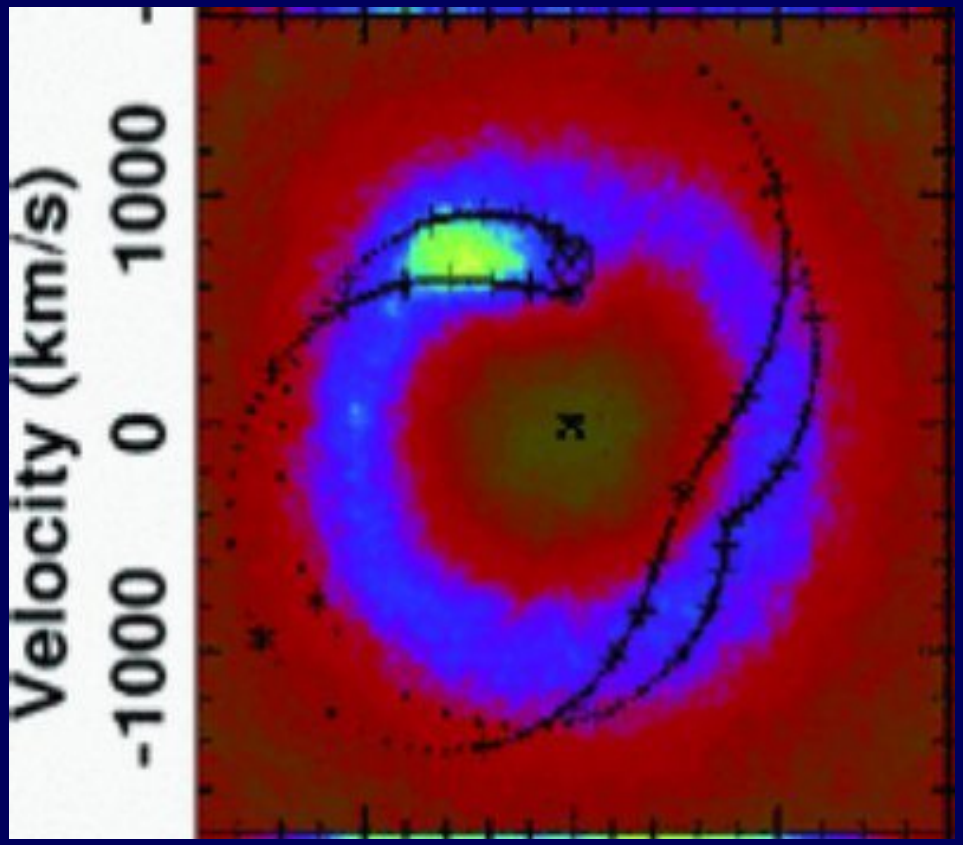


Marsh & Horn
Karas & Kraus

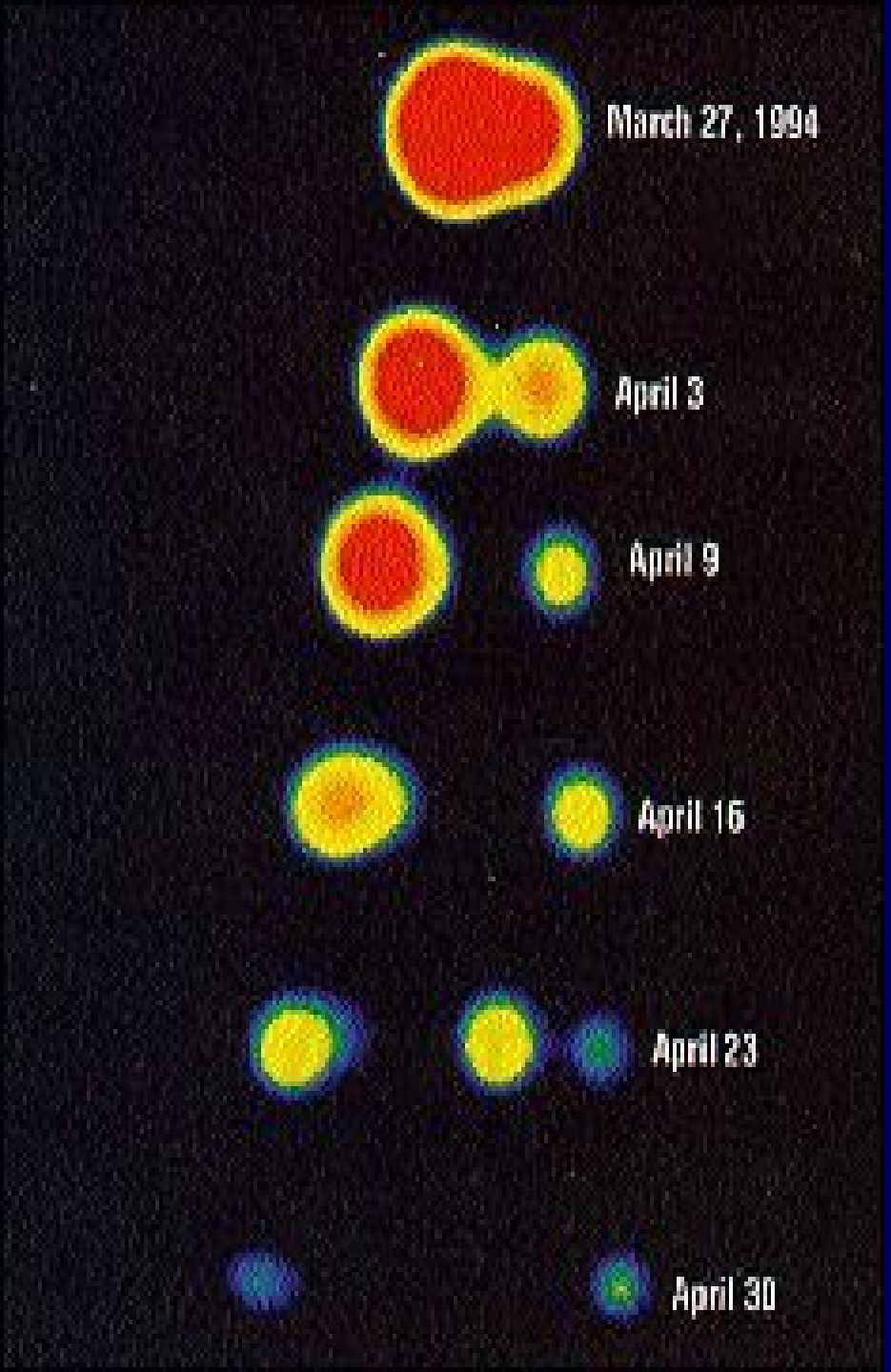
Metoda dopplerovské tomografie



Morales-Rueda et al.



Vrtilek et al.



Mikrokvasar

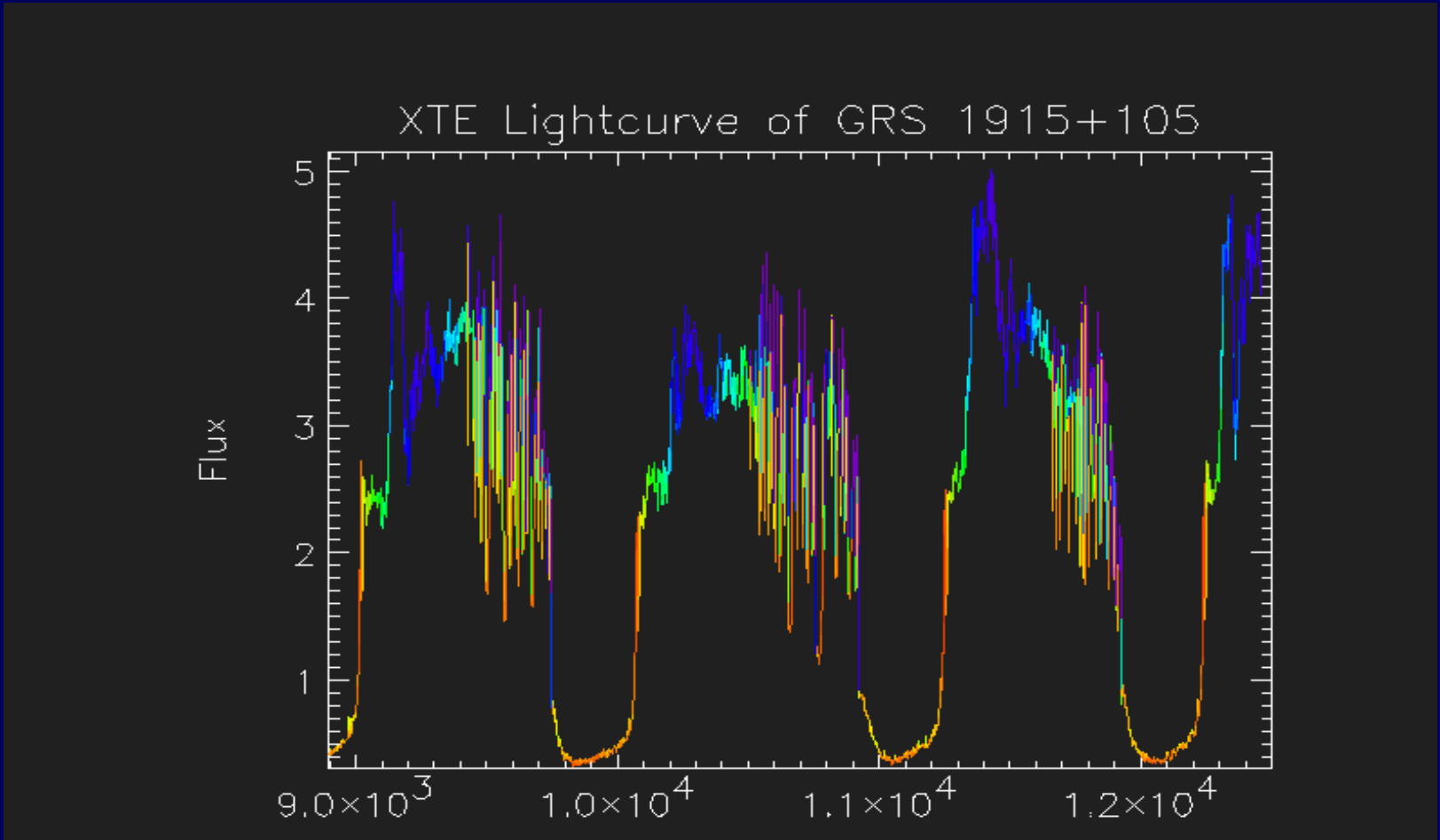
Černé díry hmotu nejenom pohlcují – část je urychlena a odvržena v podobě výtrysků

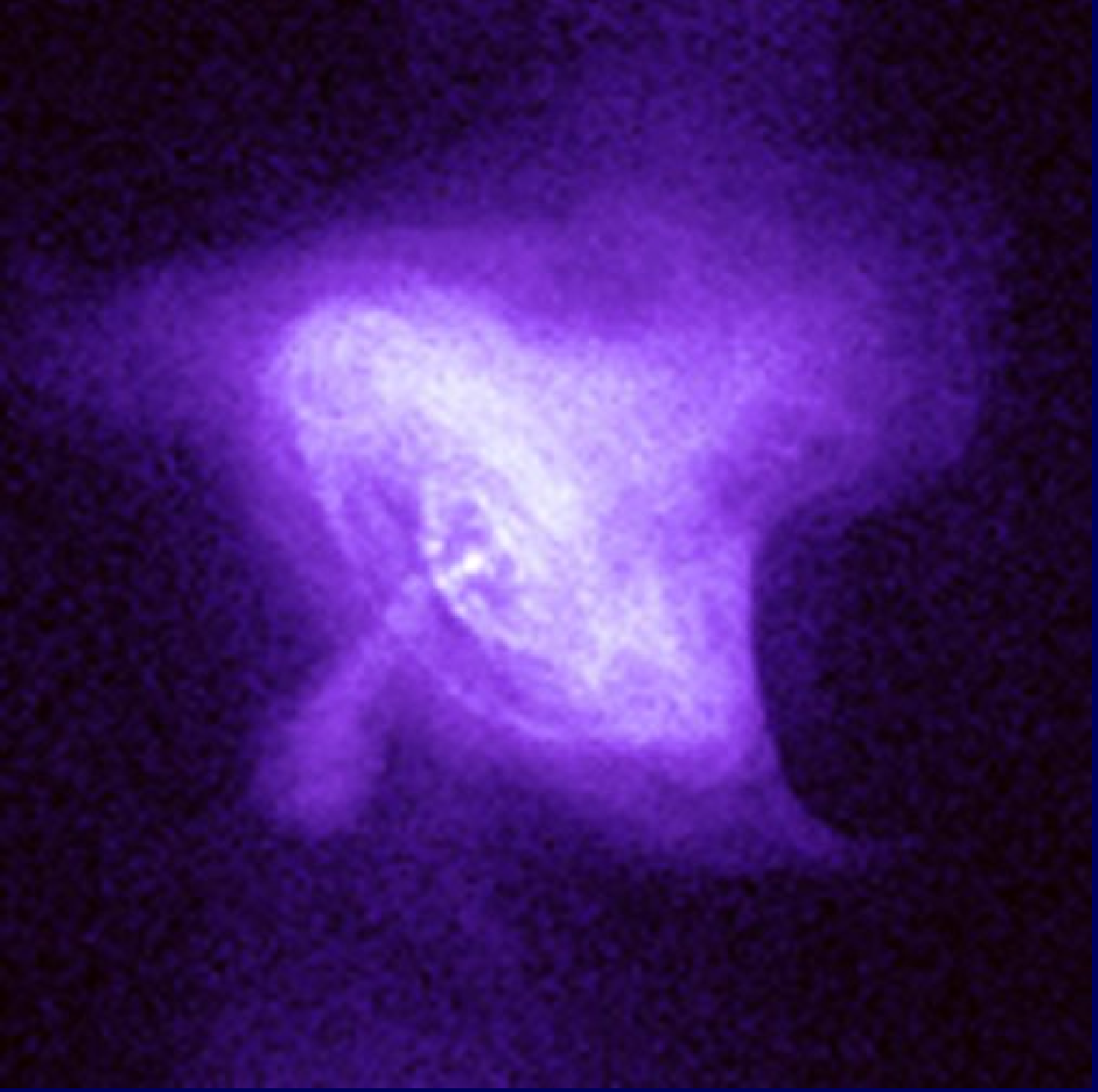
Rychlost proudění hmoty ve výtrysku ~ 0.9 *c*

SS433, GRS 1915+105, GRO J1655-40, …

Černá díra – konečné stadium vývoje velmi hmotné hvězdy

- Typický rozměr ~ 3 km
- Ekvivaletní časový interval ~ 10 mikrosekund
- Intenzívní rentgenové záření (~ 1–10^2 keV)

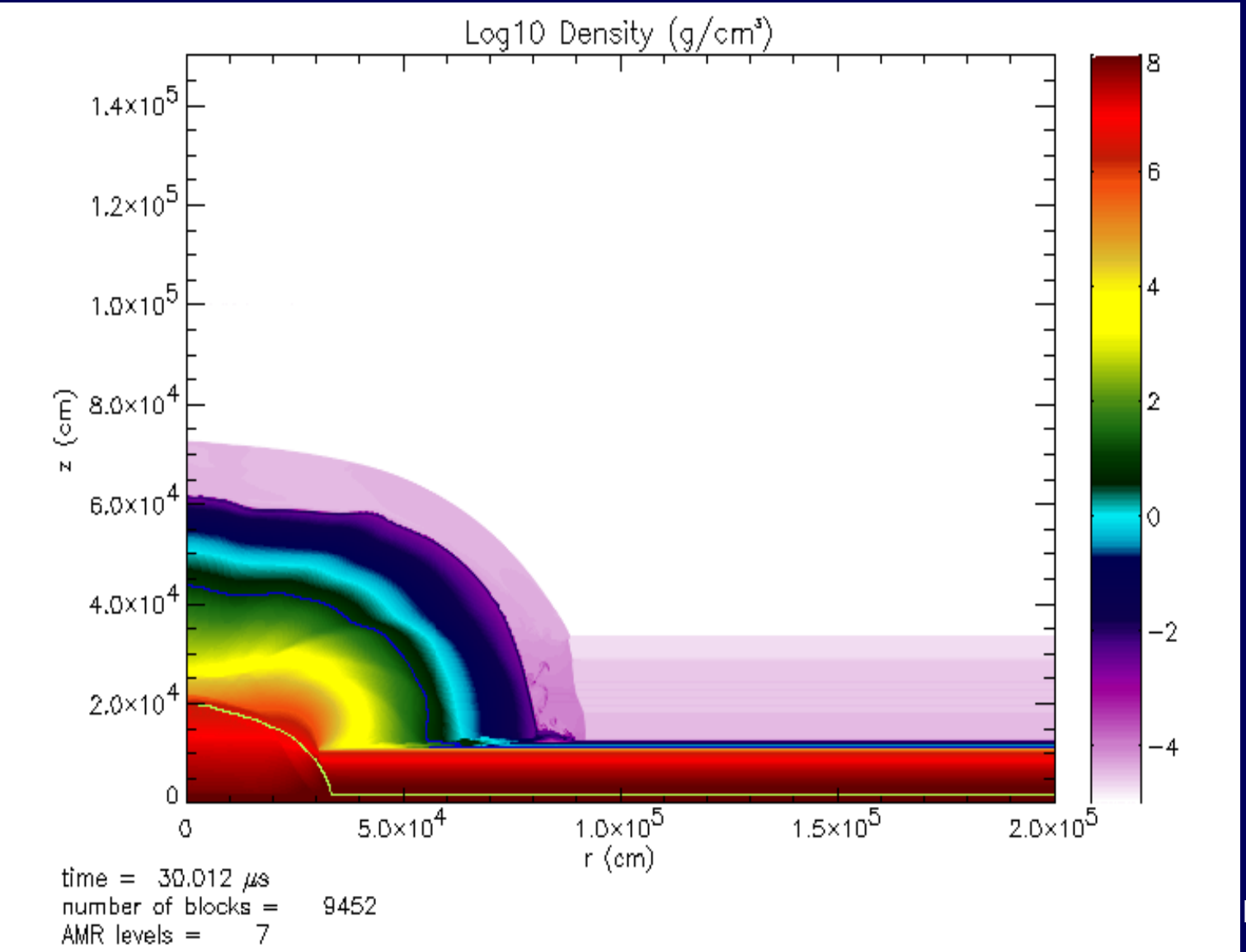




Krabí mlhovina pozorovaná v rentgenovém oboru (snímek z družice Chandra)

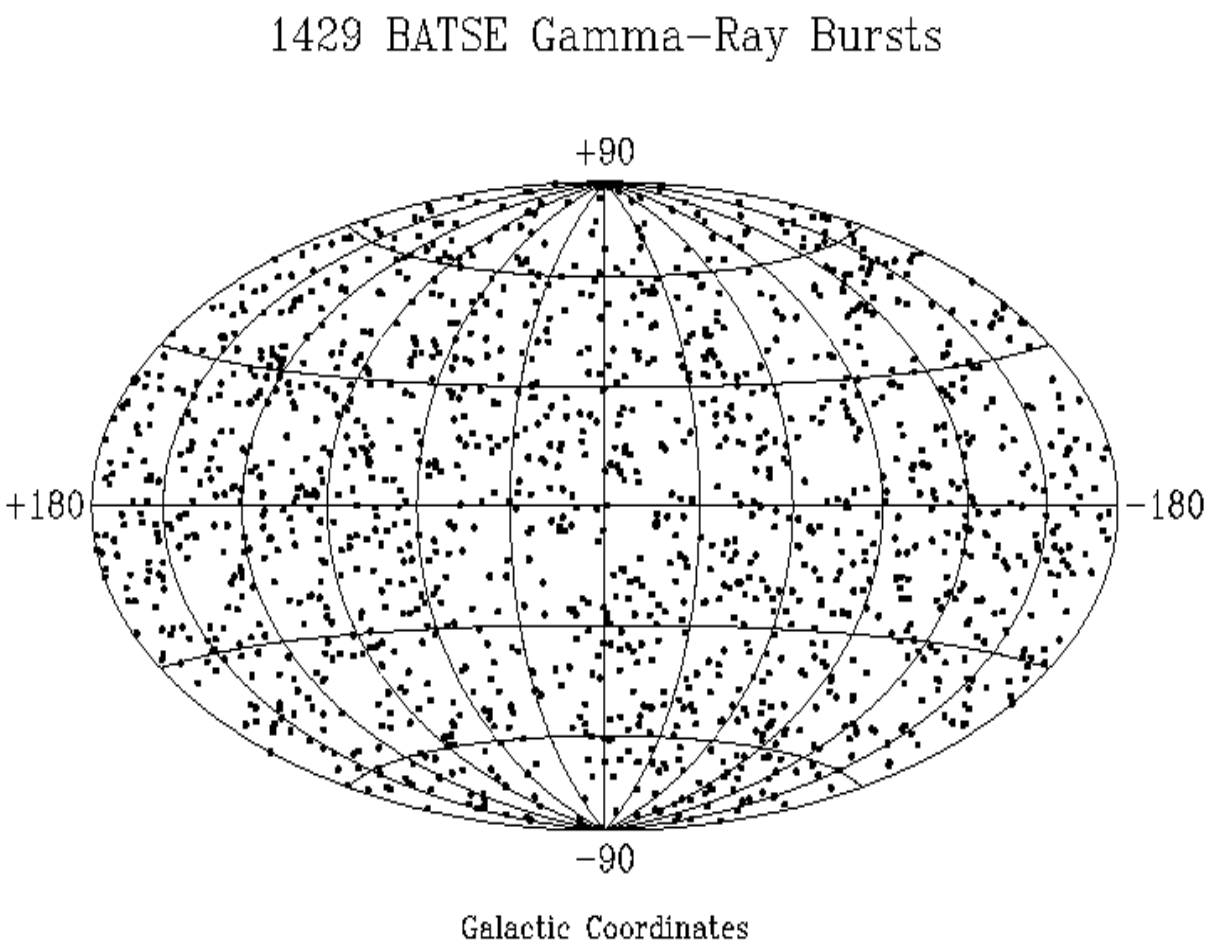
Rentgenová vzplanutí – typ 1

Počítačová simulace termonukleárního záblesku na povrchu neutronové hvězdy ... (neutronové hvězdy mají povrch).



M. Zingale *et al.*

Zábleskové zdroje záření gamma



Vzplanutí trvají 0.1–100 sec.

Pozorujeme asi jedno vzplanutí denně.

Záblesky jsou rozloženy rovnoměrně po celé obloze.

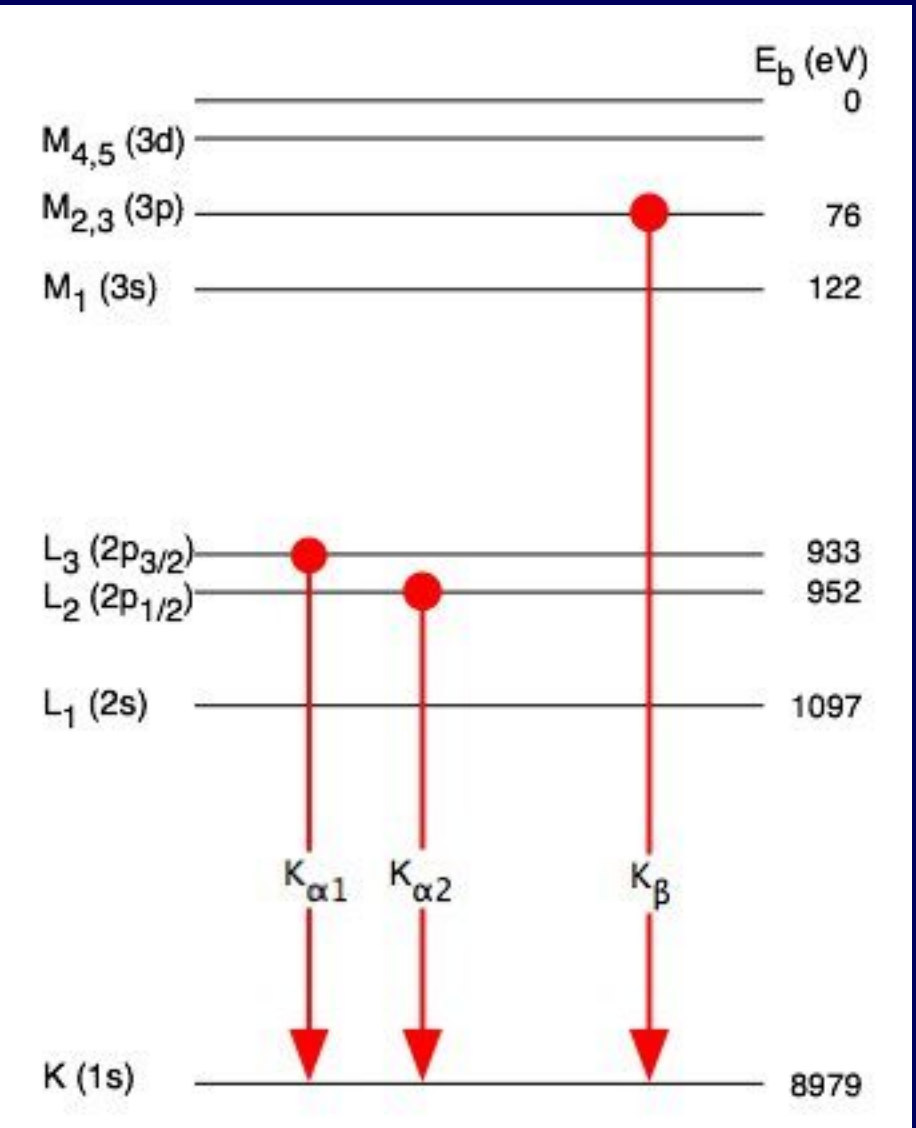
Škála hmotnosti

$$R_S = 2GM/c^2$$
$$\cong 3 \times 10^5 \left(M/M_S\right) \text{ cm}$$

- ✓ Superhmotné černé díry (~ 10^6 – 10^9 M_S, (v jádrech galaxií včetně naší Galaxie)
- ✓ Středněhmotné černé díry (~ 10^3 M_S)

  velmi hypotetické
- ✓ Stelární (hvězdné) černé díry
- ✓ Minidíry – v současnosti se nepovažují za reálně existující

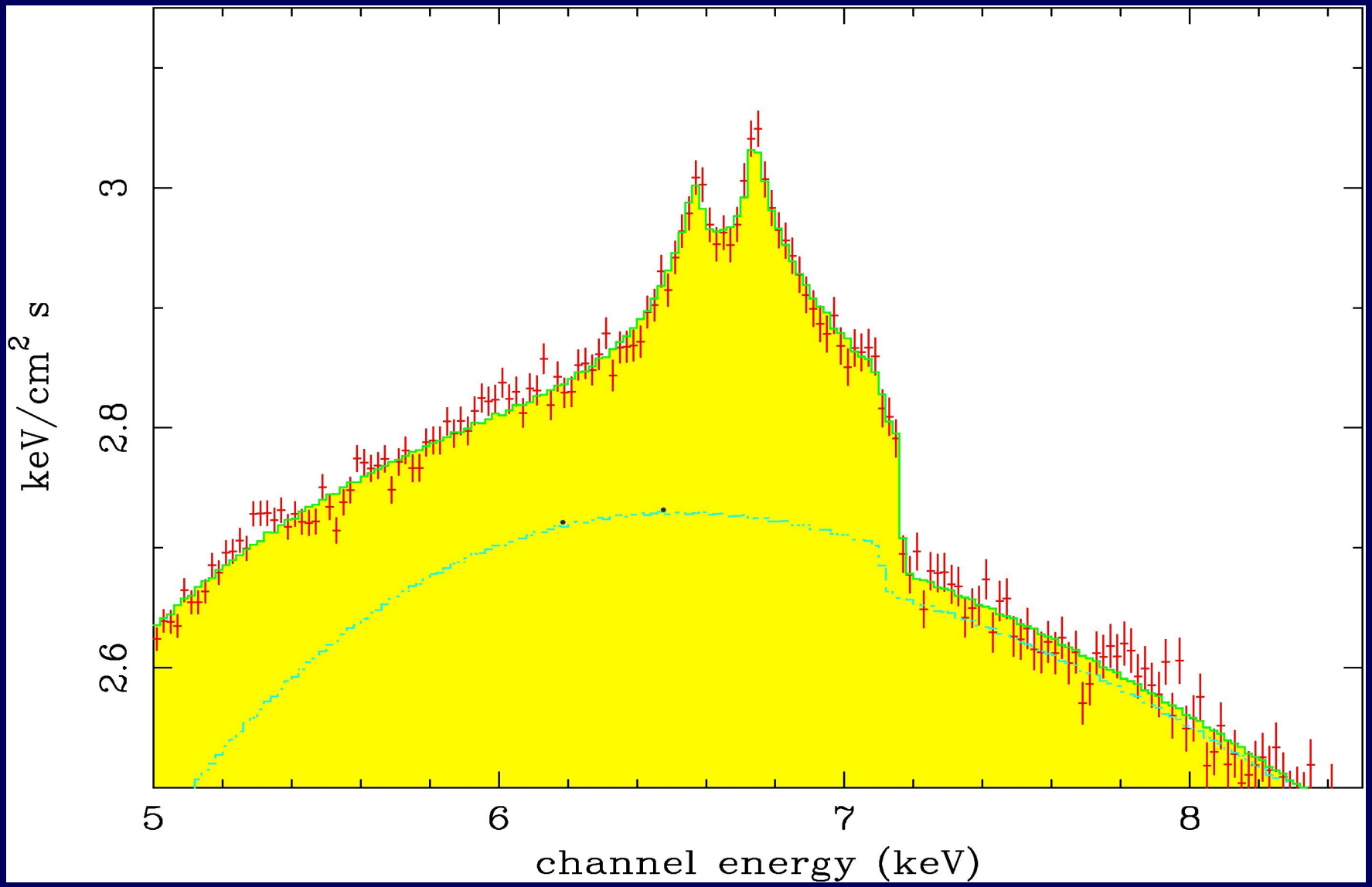
Relativistické spektrální čáry akrečních disků



Rentgenová čára železa

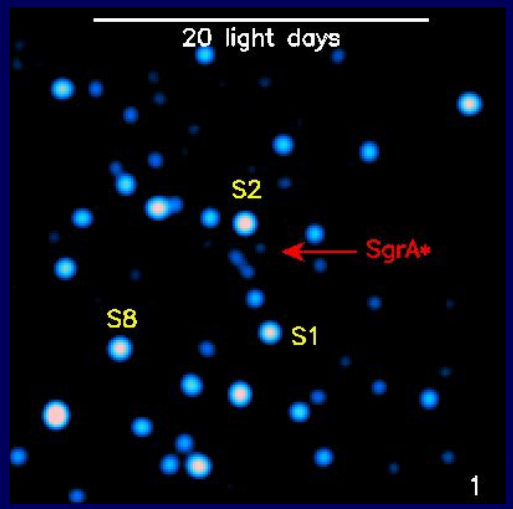
Kombinace gravitačního červeného posuvu a dopplerovského rozšíření

Relativistické spektrální čáry akrečních disků



V. Karas, M. Dovčiak, J. Svoboda et al.

Kosmické objekty s černými děrami



Jádra galaxií

- naše Galaxie – Sagittarius A*
- ostatní galaxie, kvasary

✓ **Hmotné hvězdy – konečné stadium vývoje**

- rentgenové dvojhvězdy, mikrokvasary
- záblesky záření gamma, supernovy

✓ **Černé díry o střední hmotnosti (jádra hvězdokup)?**

✓ **Minidíry??**