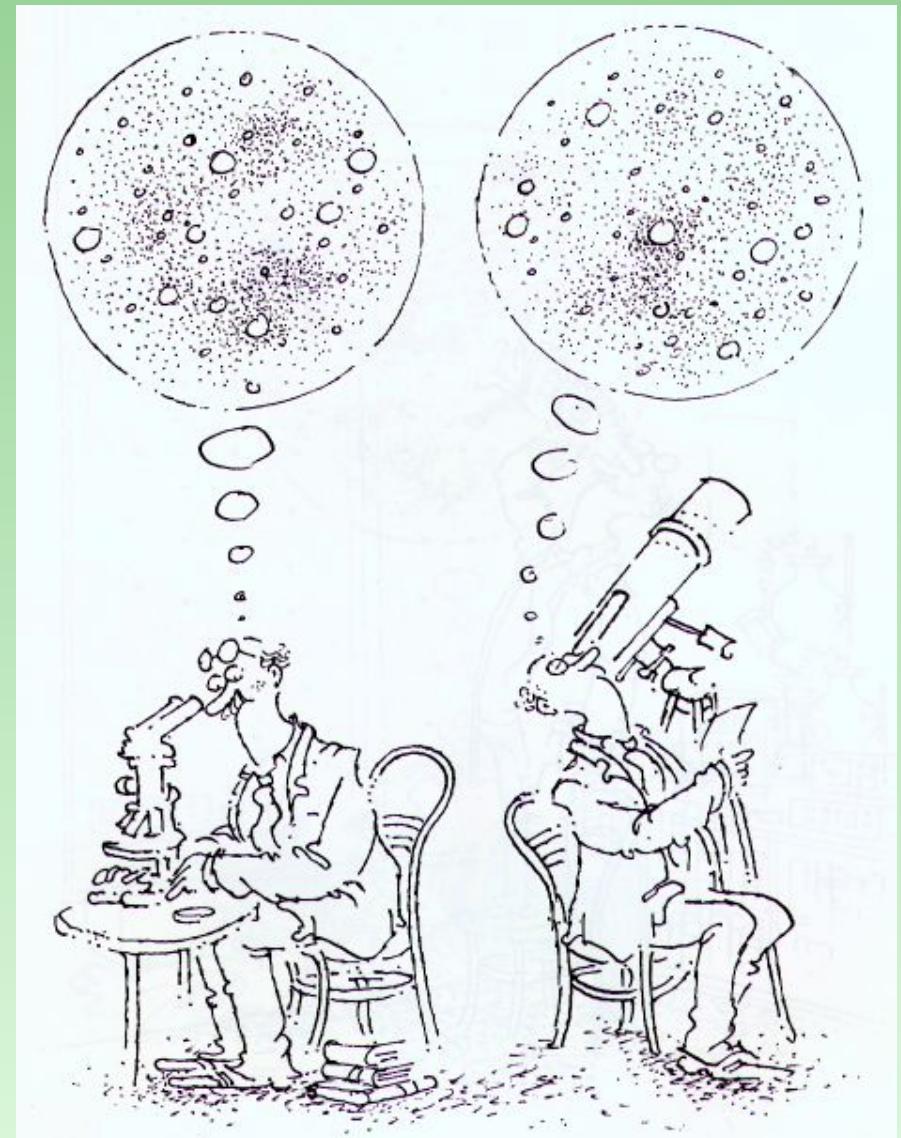


O PLEŠATOSTI ČERNÝCH DĚR



OSNOVA

- Předpověď a zavržení černých děr
- Umírající hvězdy a gravitační kolaps
- Pátrání ve vesmíru
- „Motory“ v centrech galaxií
- Symfonie černých děr
- Vypařování černých děr
- Svět pod horizontem



PŘEDPOVĚDI – TEMNÉ HVĚZDY

- filozofové přírody 18. století: světlo se skládá z korpuskulí
- John Michell (27. 11. 1783): *temné hvězdy*, kritický obvod pro Slunce 18 km, $r_g = 3$ km, světlo zpomalováno jako vržený kámen
- Pierre Simon Laplace (1796): *Le Système du monde*, v třetím vydání 1808 vypuštěno



PŘEDPOVĚDI – TEMNÉ HVĚZDY

- filozofové přírody 18. století: světlo se skládá z korpuskulí
- John Michell (27. 11. 1783): *temné hvězdy*, Kritický ohvěd pro Člunec 1814

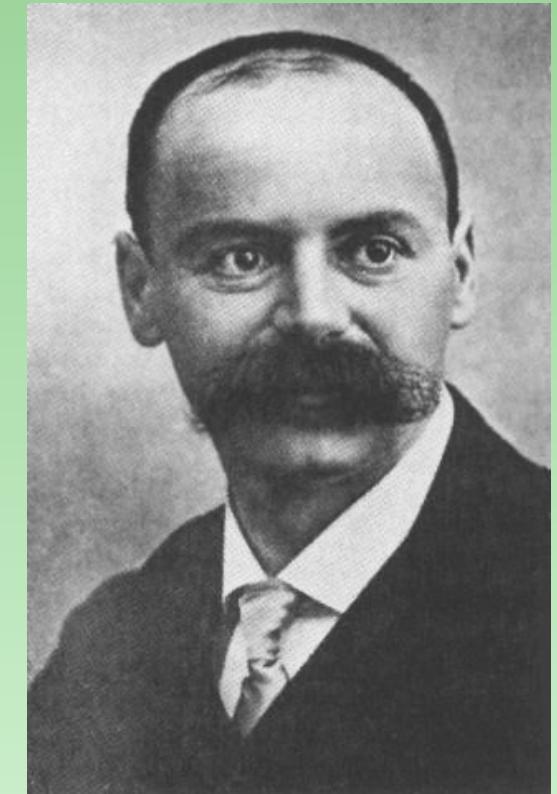
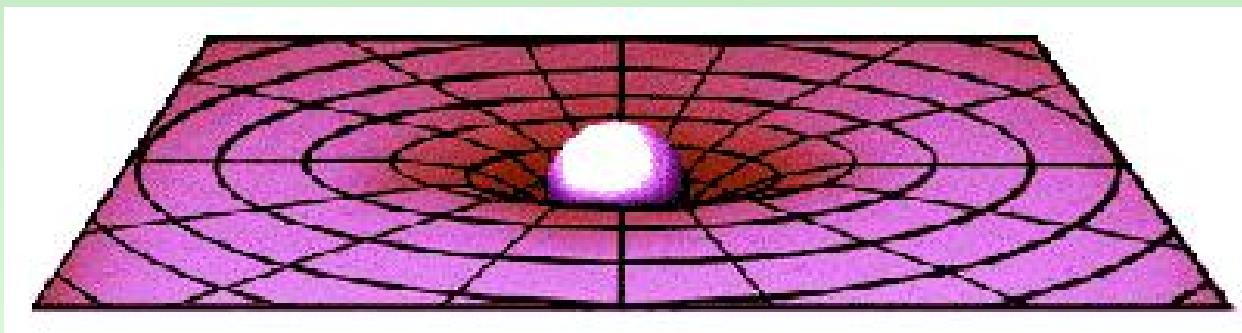


OBECNÁ TEORIE RELATIVITY

- Einstein na zasedání Pruské akademie věd (25. 11. 1915): nový nástroj k výpočtům – OTR

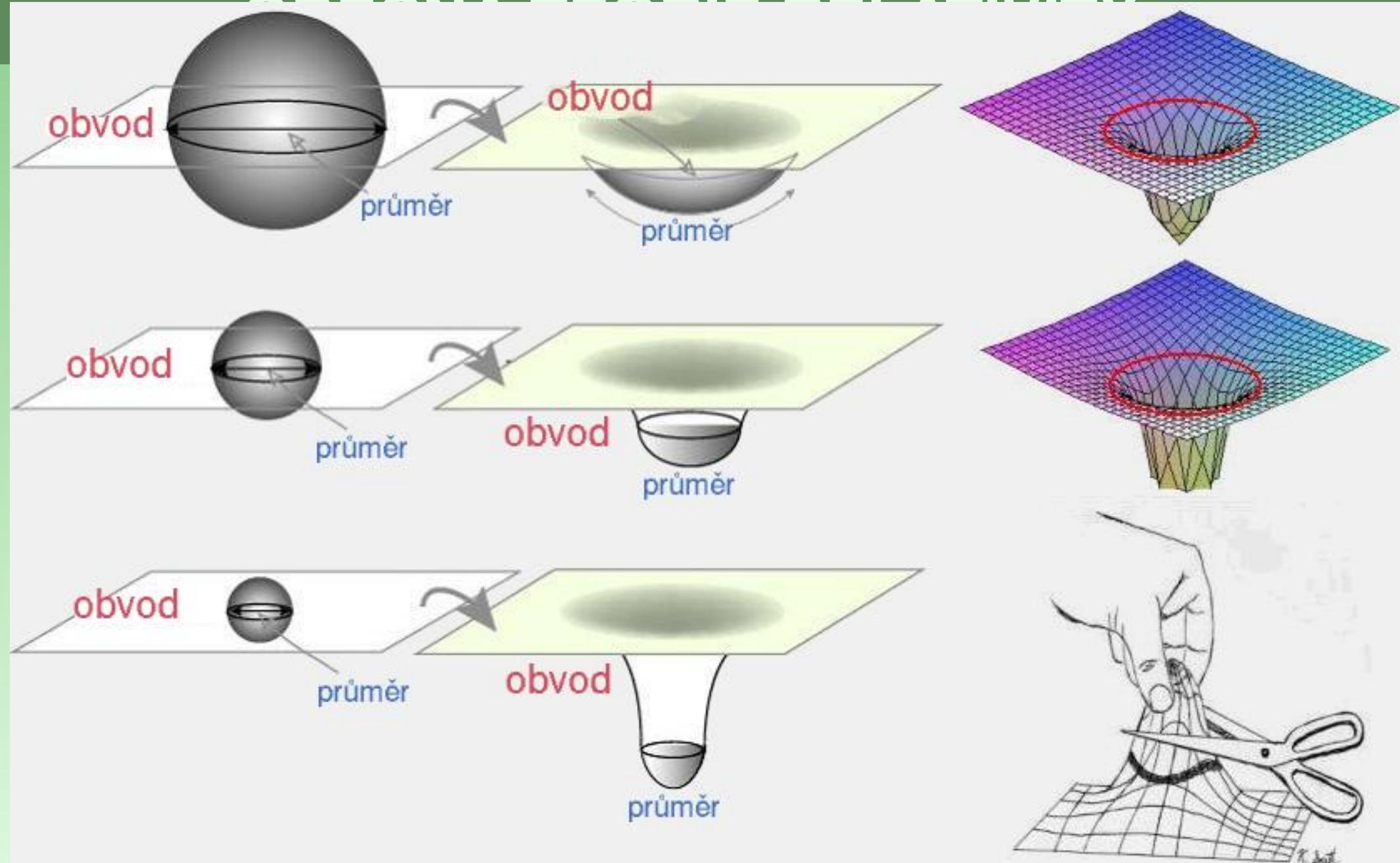
Gravitace je důsledkem zakřivení prostoročasu!

- Karl Schwarzschild (13. ledna 1916): prostoročas vně sférické nerotující hvězdy, kritický poloměr stejný jako Michellův

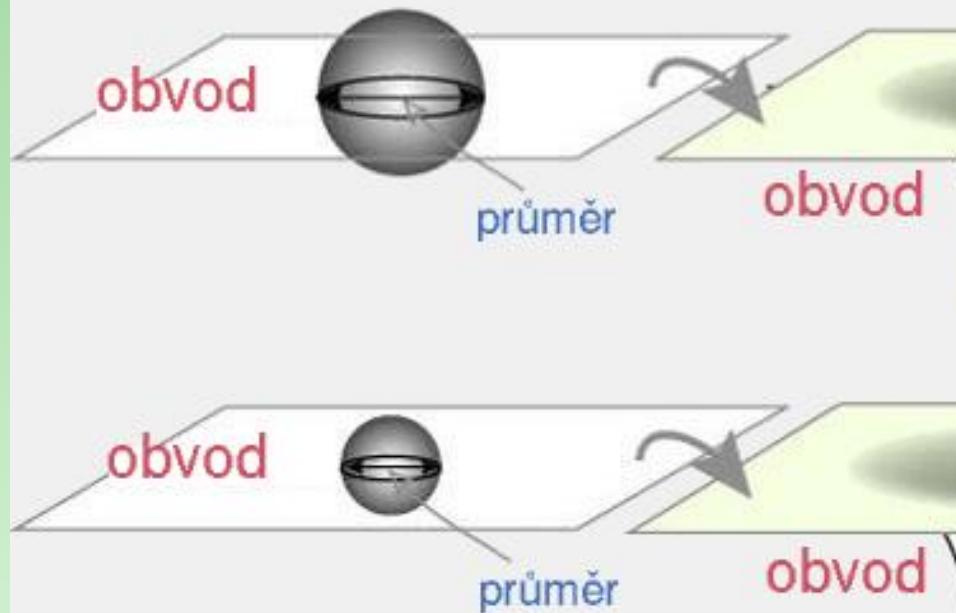
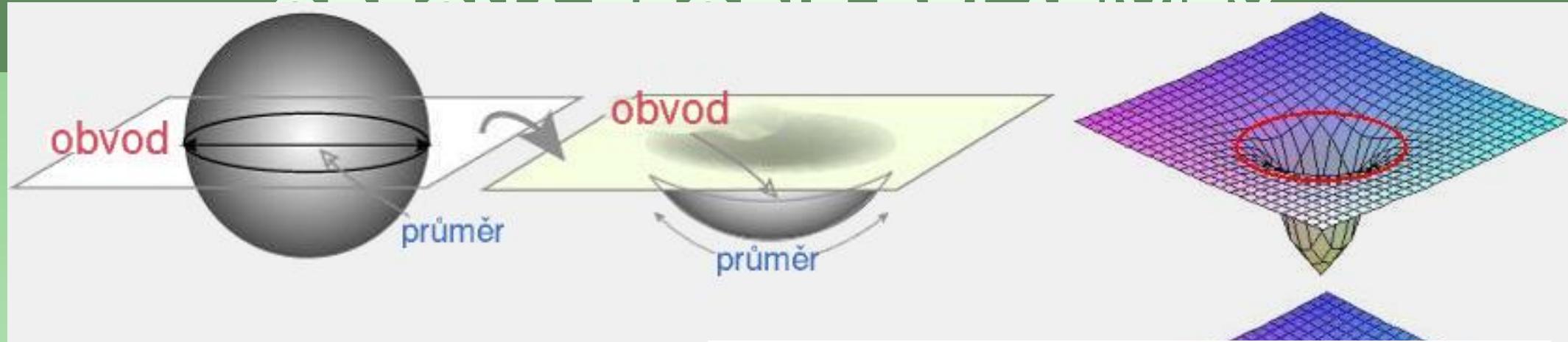


ředitel hvězdáren
v Göttingen a
Potsdami

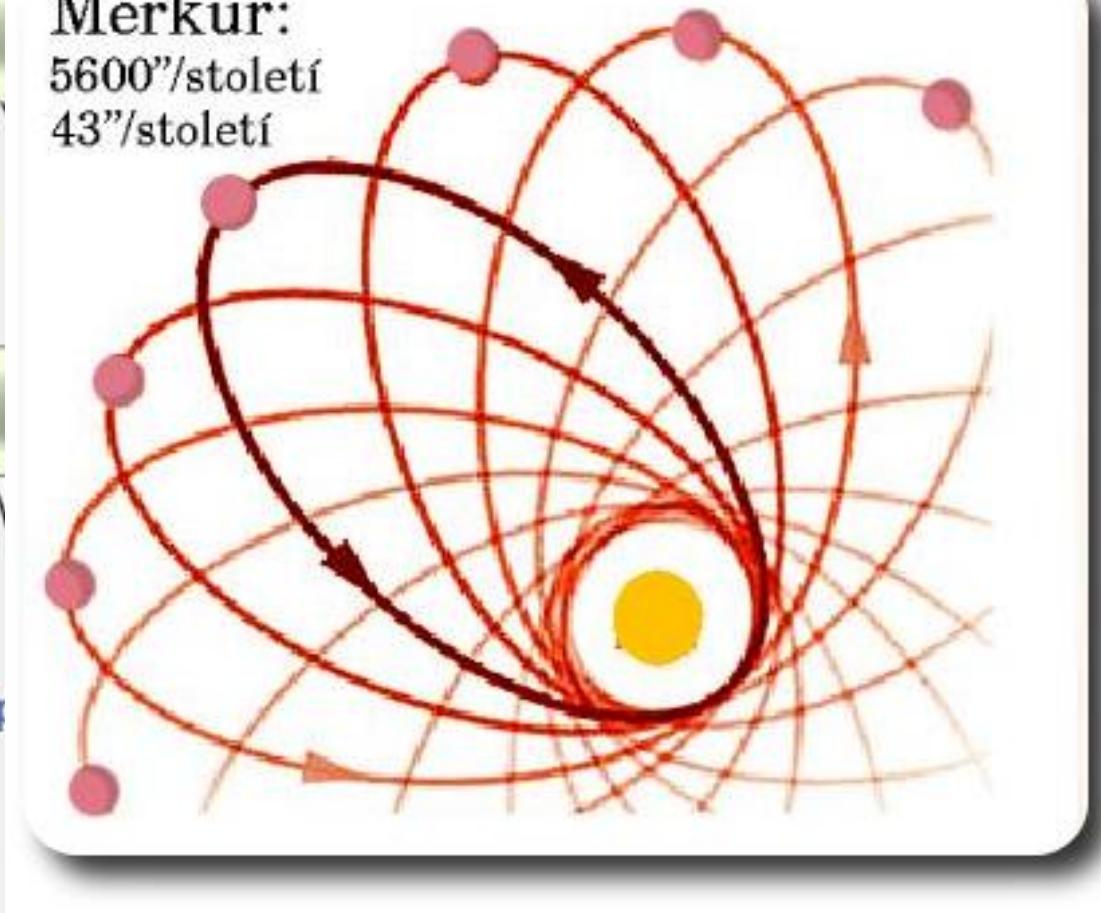
OPTICKÝ KROPUDEL VÍKOVÝ



ORTONOVÝ KROPIK REZULTATY

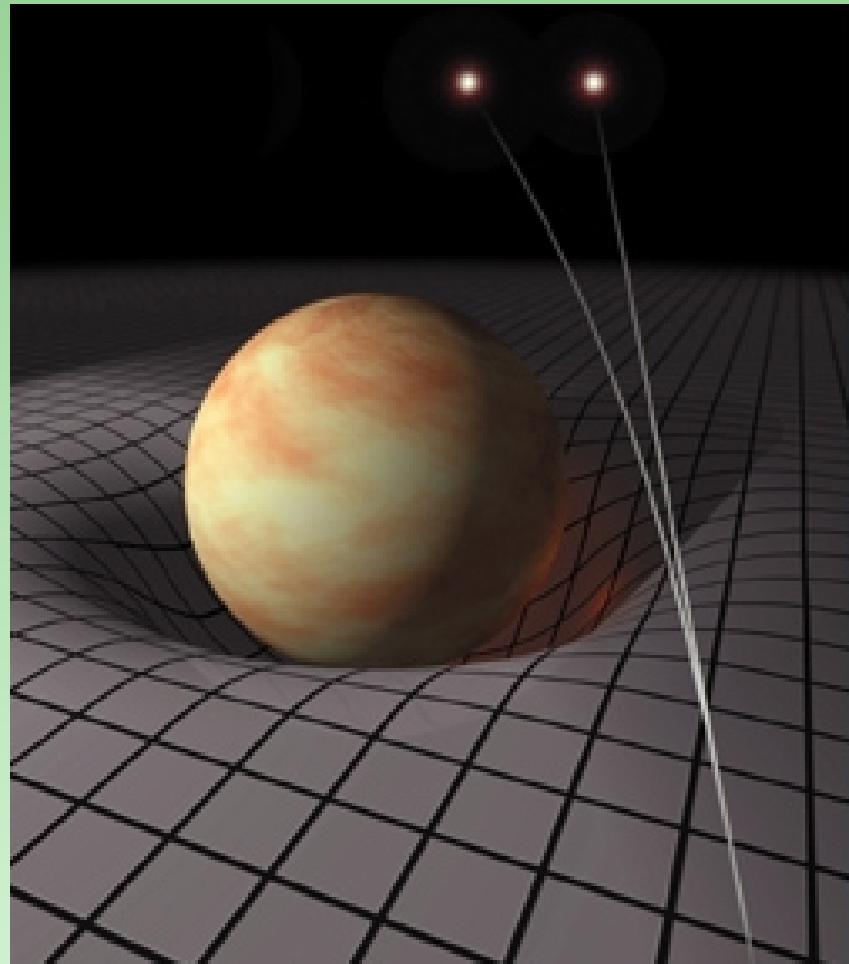


Merkur:
5600"/století
43"/století



OHYB SVĚTLA A RUDÝ POSUV

- zpomalení chodu hodin v gravitačním poli
- „ohýbání“ – změna směru světelných paprsků, **fotonová orbita**
- změna vlnové délky vysílaných signálů – **rudý posuv**

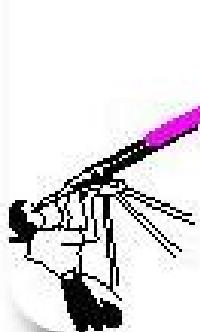


OHYB SVĚTLA A RUDÝ POSUV

- zpomalení chodu hodin v

Předpověď: $1,75'$

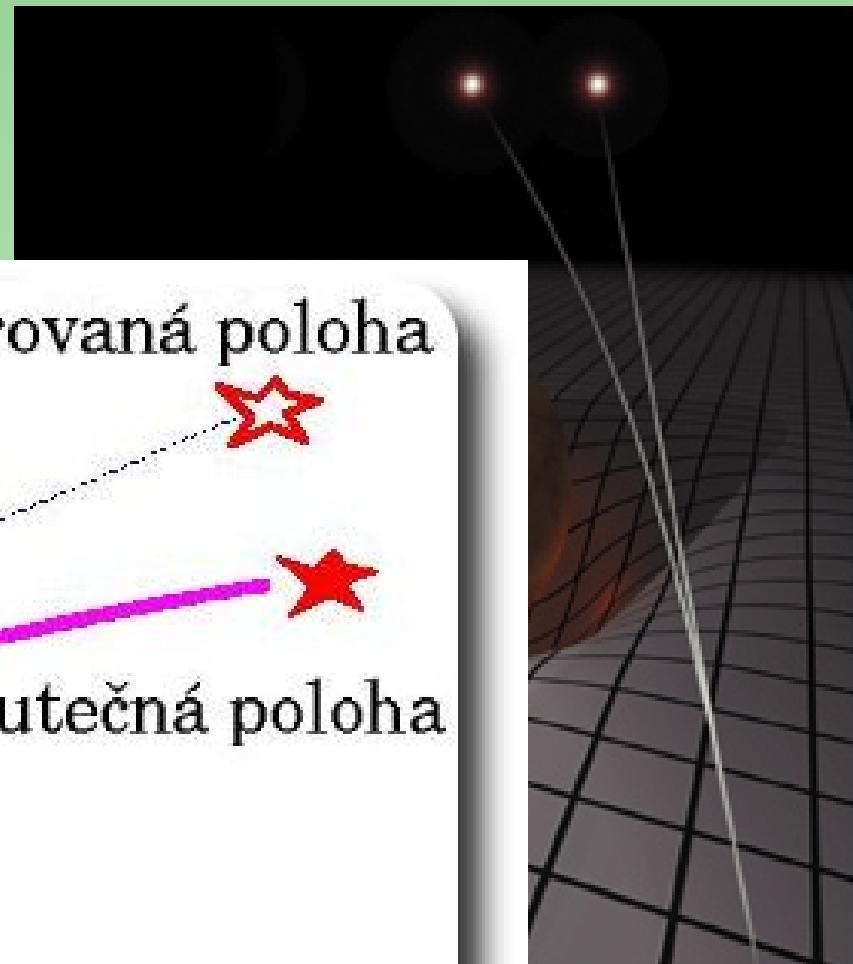
Eddington 29. 5. 1919:
Afrika: $(1,61 \pm 30)'$
Brazílie: $(1,98 \pm 12)'$



Slunce

Pozorovaná poloha

Skutečná poloha



OHYB SVĚTLA A RUDÝ POSUV

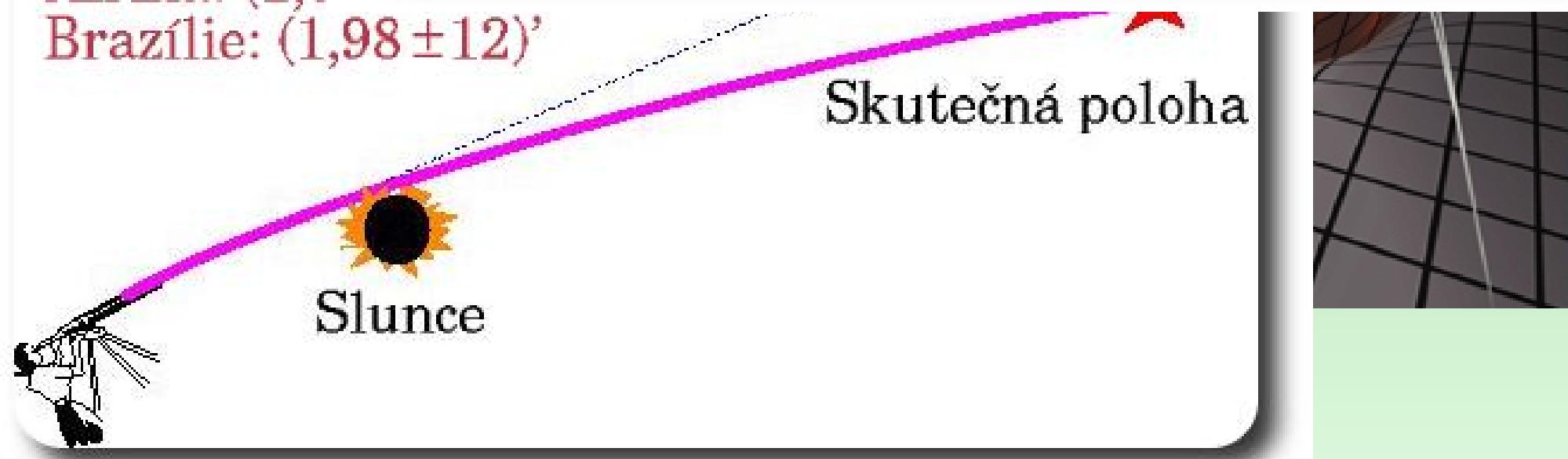
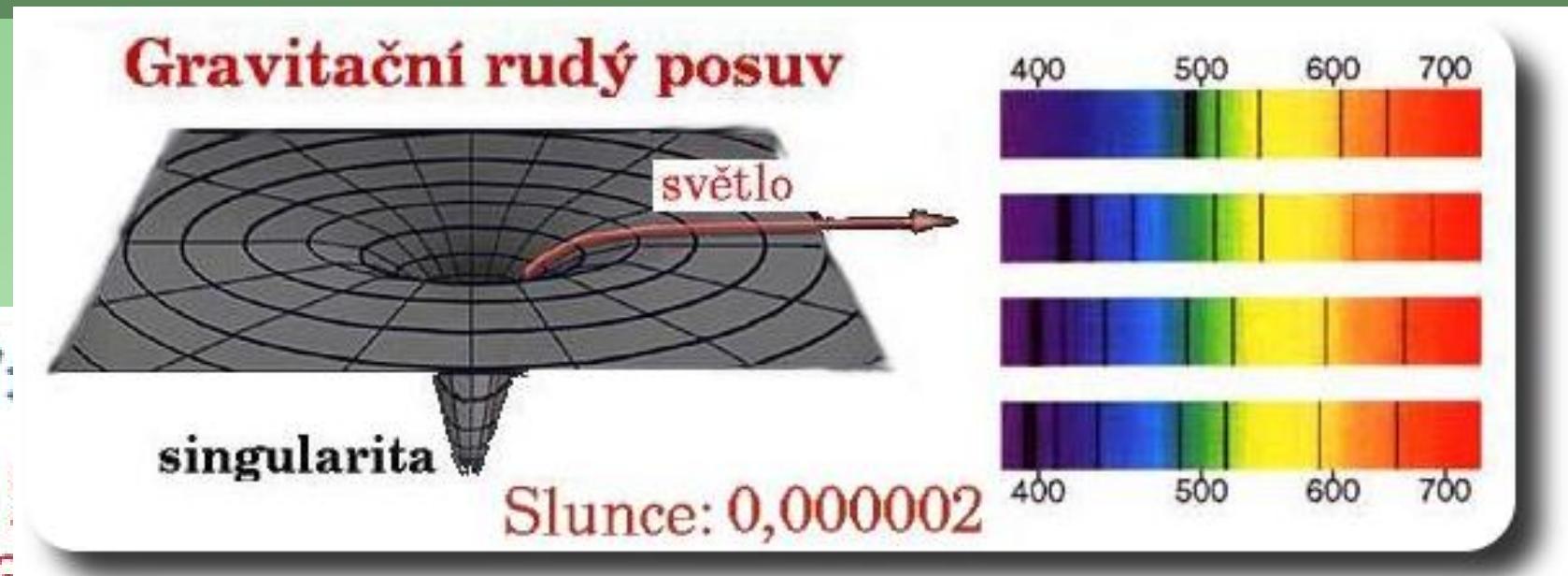
- zpomalení

Předpověď:

Eddington

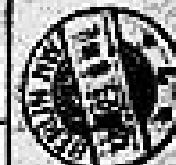
Afrika: $(1,67 \pm 1)$

Brazílie: $(1,98 \pm 12)'$



837

einstein akademie wissenschaften
berlin



telegraphie des
deutschen reichs.
antw s
berlin, haupt-telegraphenamt
1916

telegraphie des
deutschen reichs.
antw s
berlin, haupt-telegraphenamt
1916

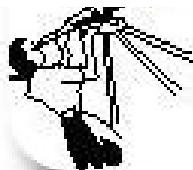
telegraphie des
deutschen reichs.
antw s
berlin, haupt-telegraphenamt
1916

three pairs australia tahiti eclipse plates measured by campbell
crumpler sixty two to eighty four stars each five of six
measurements completely calculated give einstein deflection
between one point fifty nine and one point eighty six seconds
arc mean value one point seventy four seconds = campbell .+

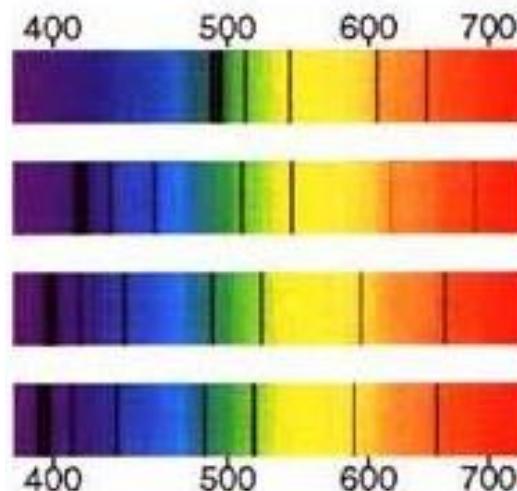
1,24

1,1

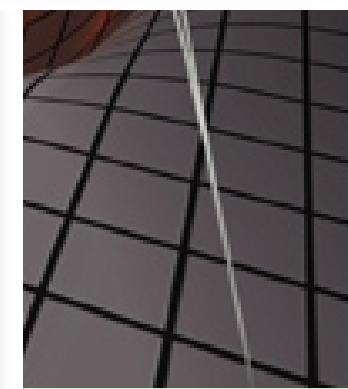
strasse

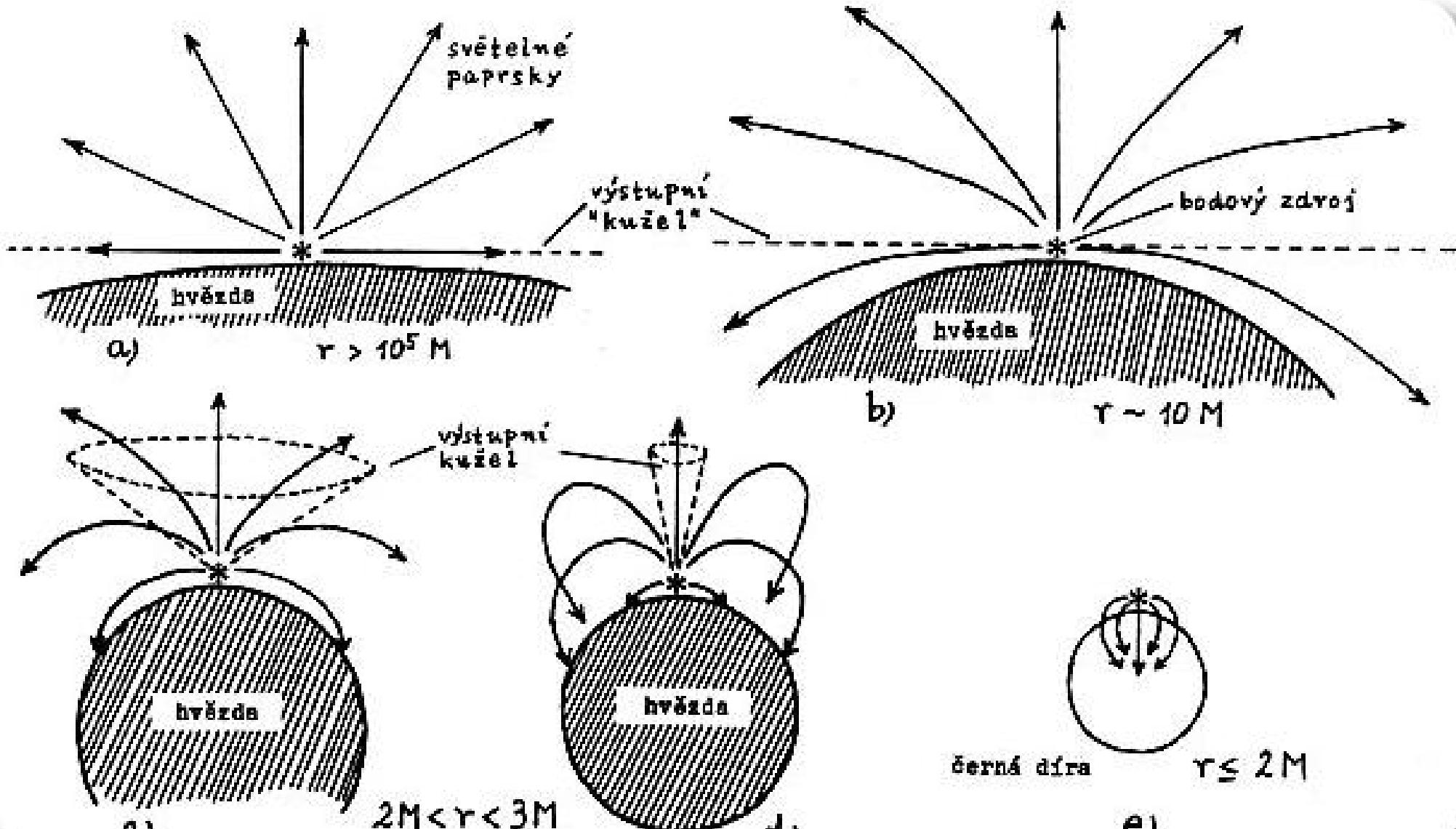


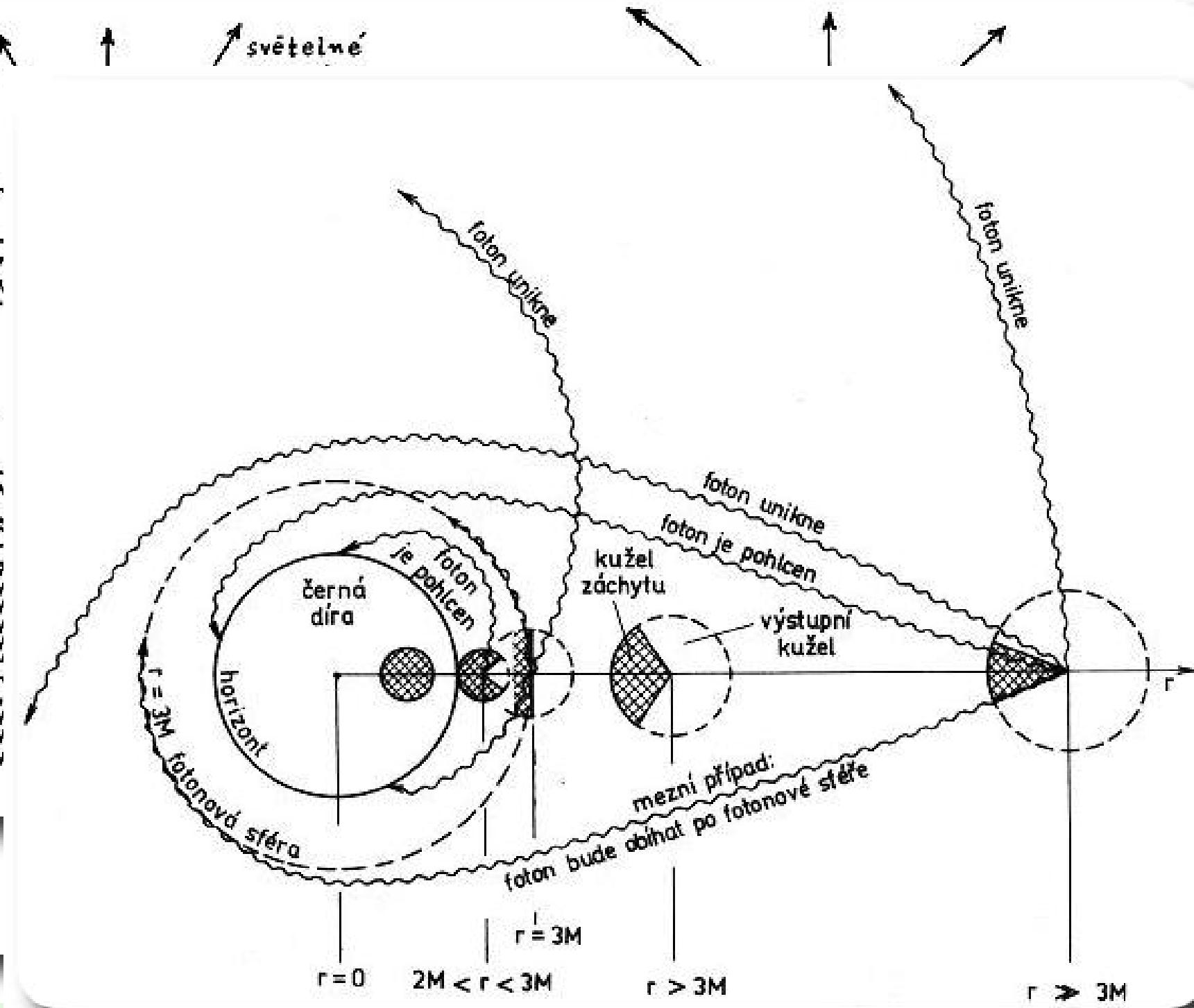
POSUV



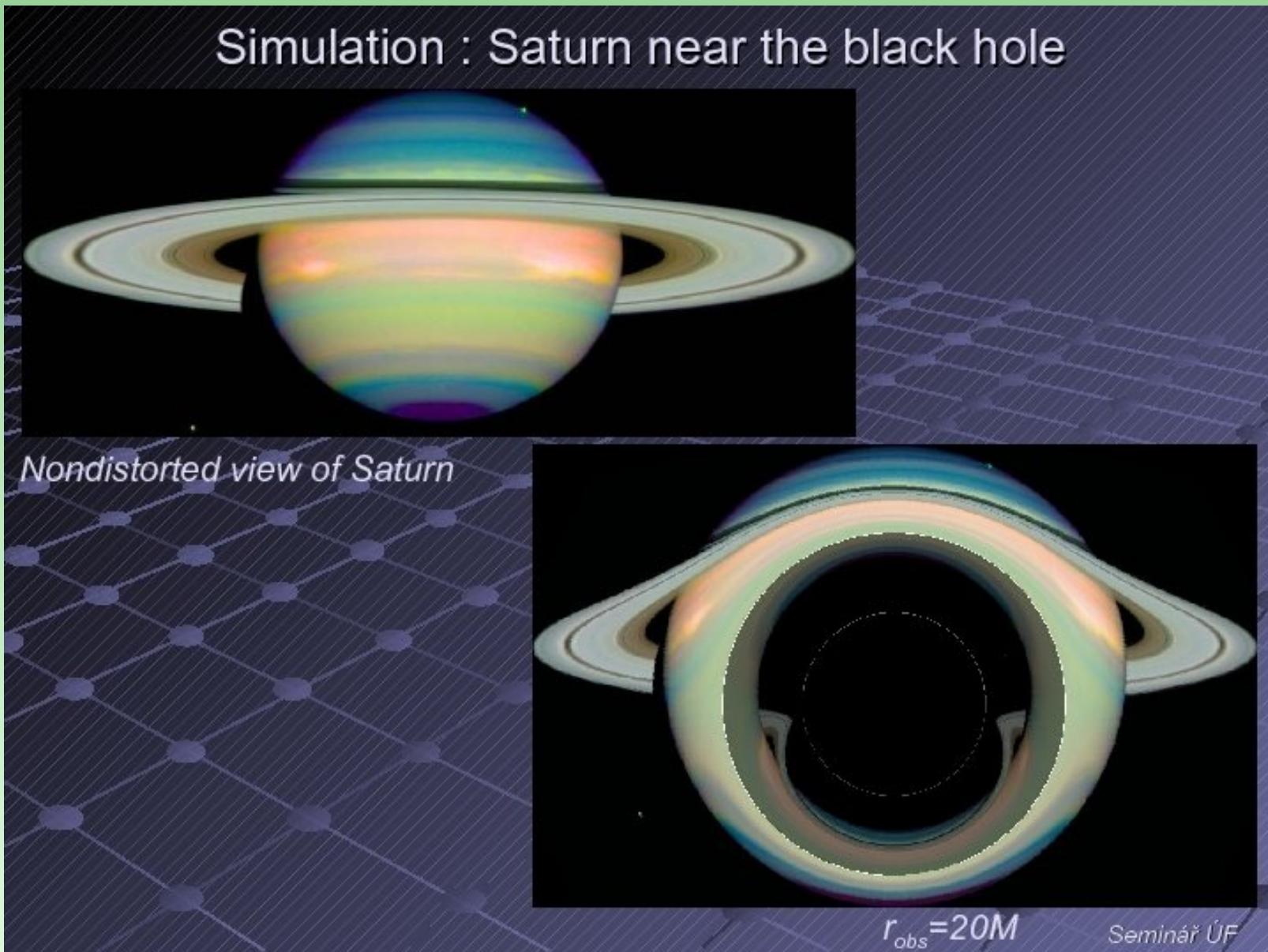
loha







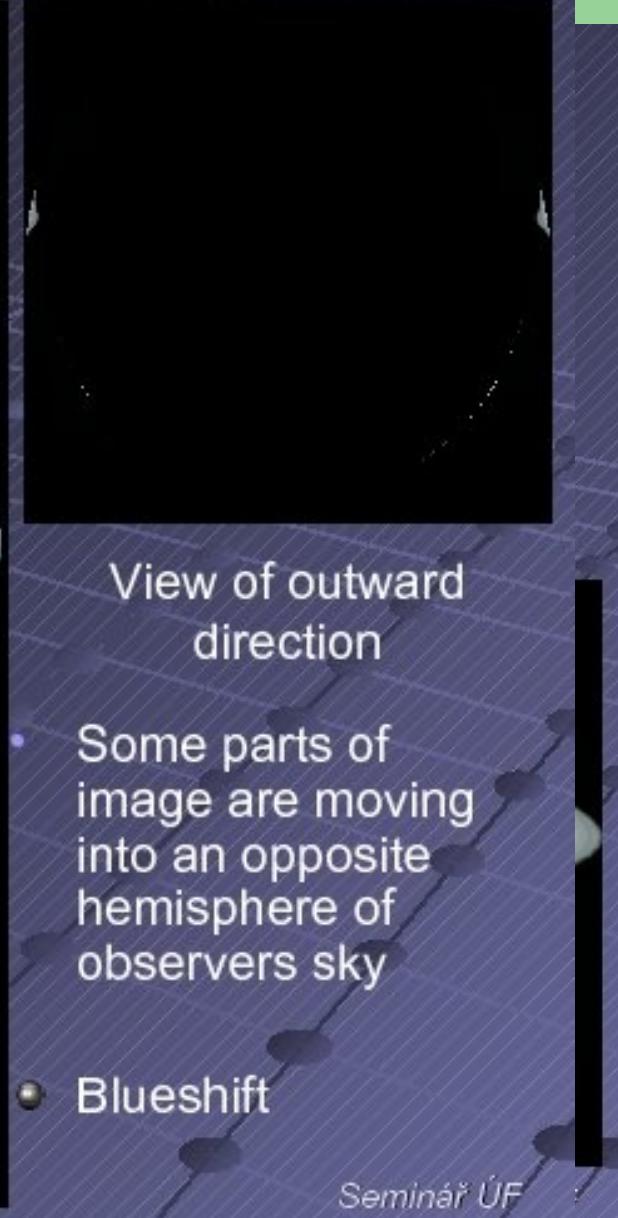
POČÍTAČOVÉ SIMULACE



$r_{obs} = 20M$

Seminář ÚF

Simulation : Saturn near the black hole, $r_{obs}=5M$



Simulations of gravitational lensing by a black hole

Simulation : Free-falling observer from infinity to the event horizon in pure Schwarzschild case.

The virtual black hole is between observer and Galaxy M104 „Sombrero“.



Nondistorted image of M104



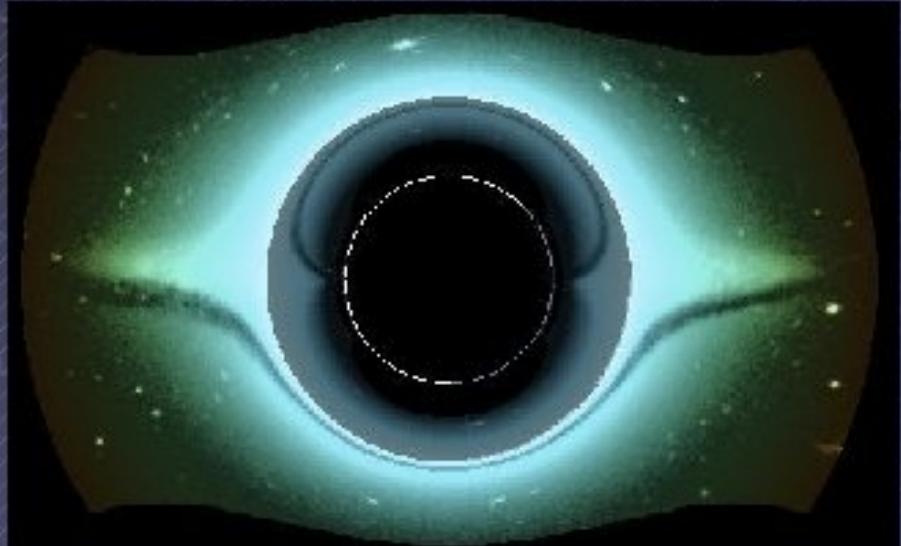
$r_{\text{obs}} = 100M$



$r_{\text{obs}} = 50M$

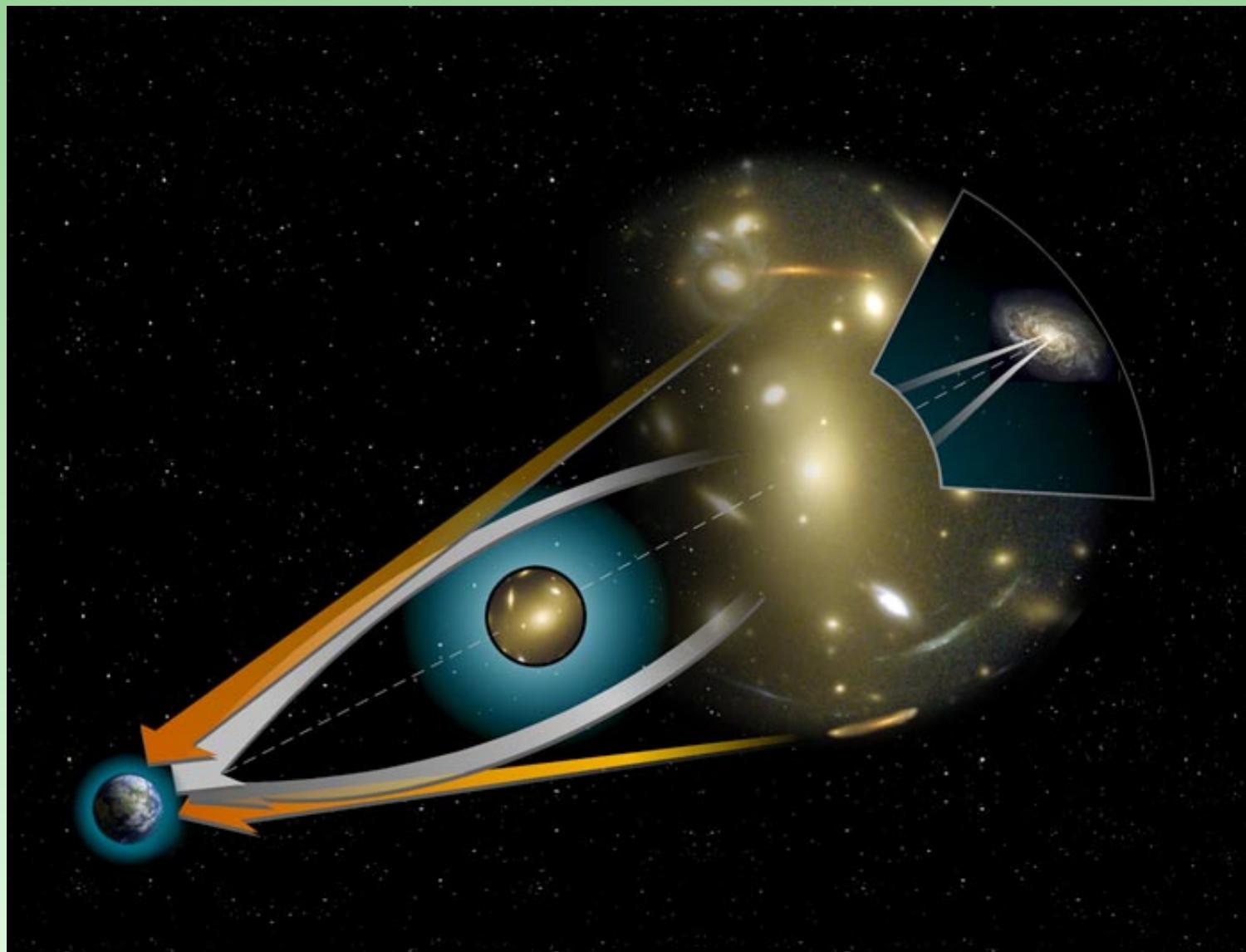


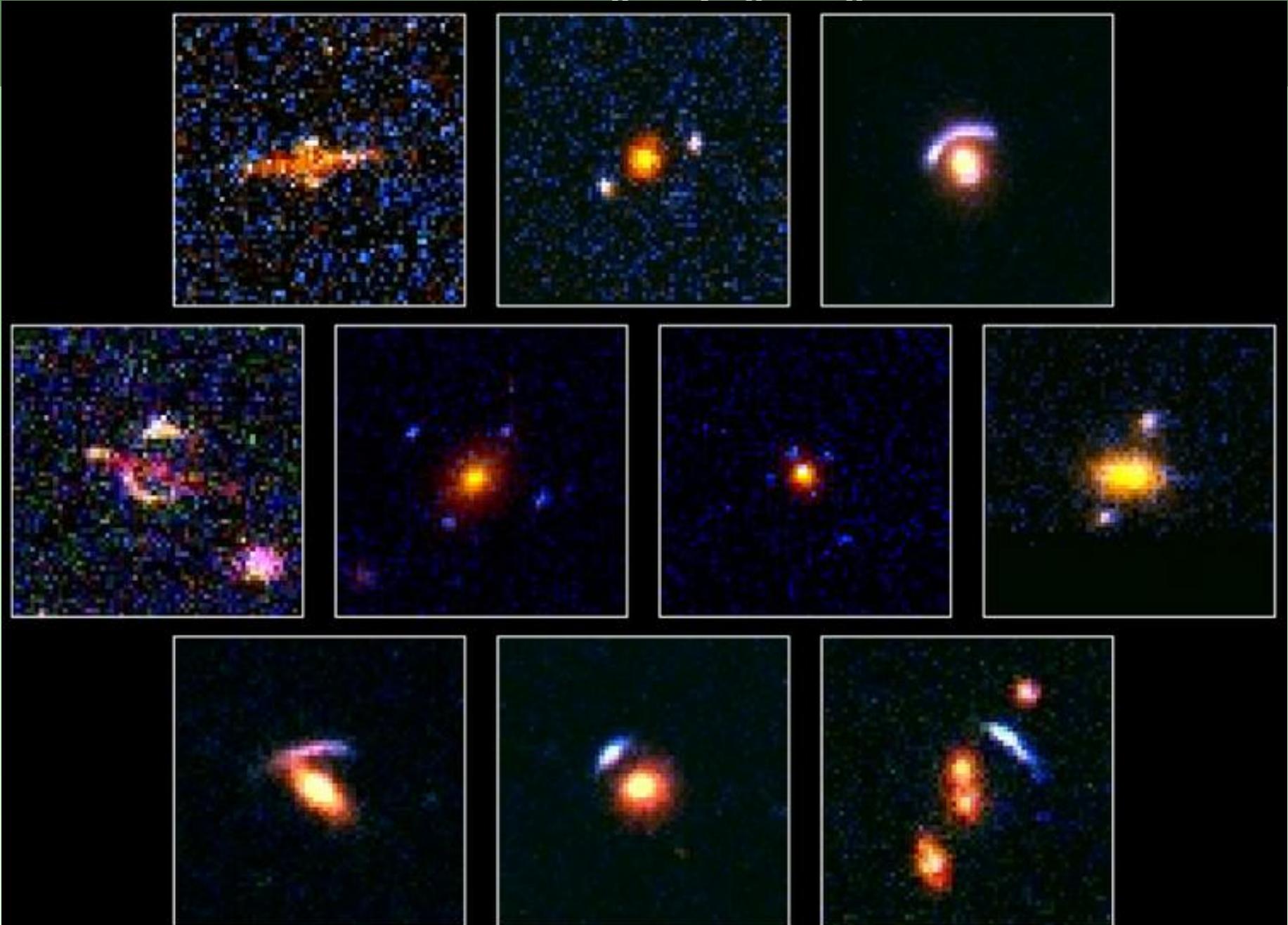
$r_{\text{obs}} = 40M$



$r_{\text{obs}} = 15M$

GRAVITAČNÍ ČOČKY





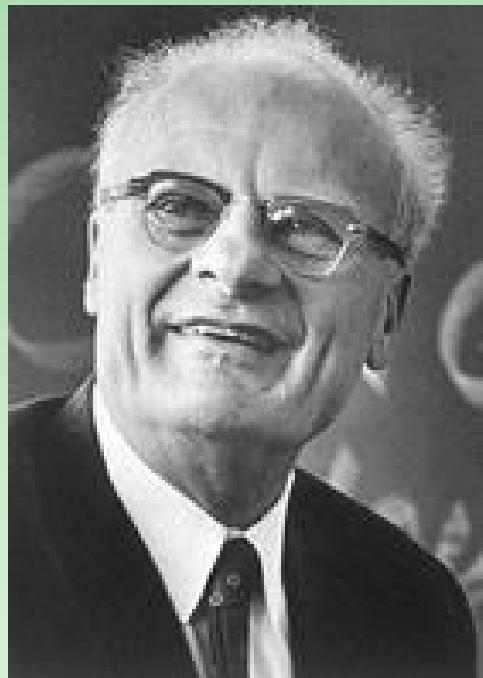
Gallery of Gravitational Lenses

PRC99-18 • STScI OPO • K. Ratnatunga (Carnegie Mellon University) and NASA

HST • WFPC2

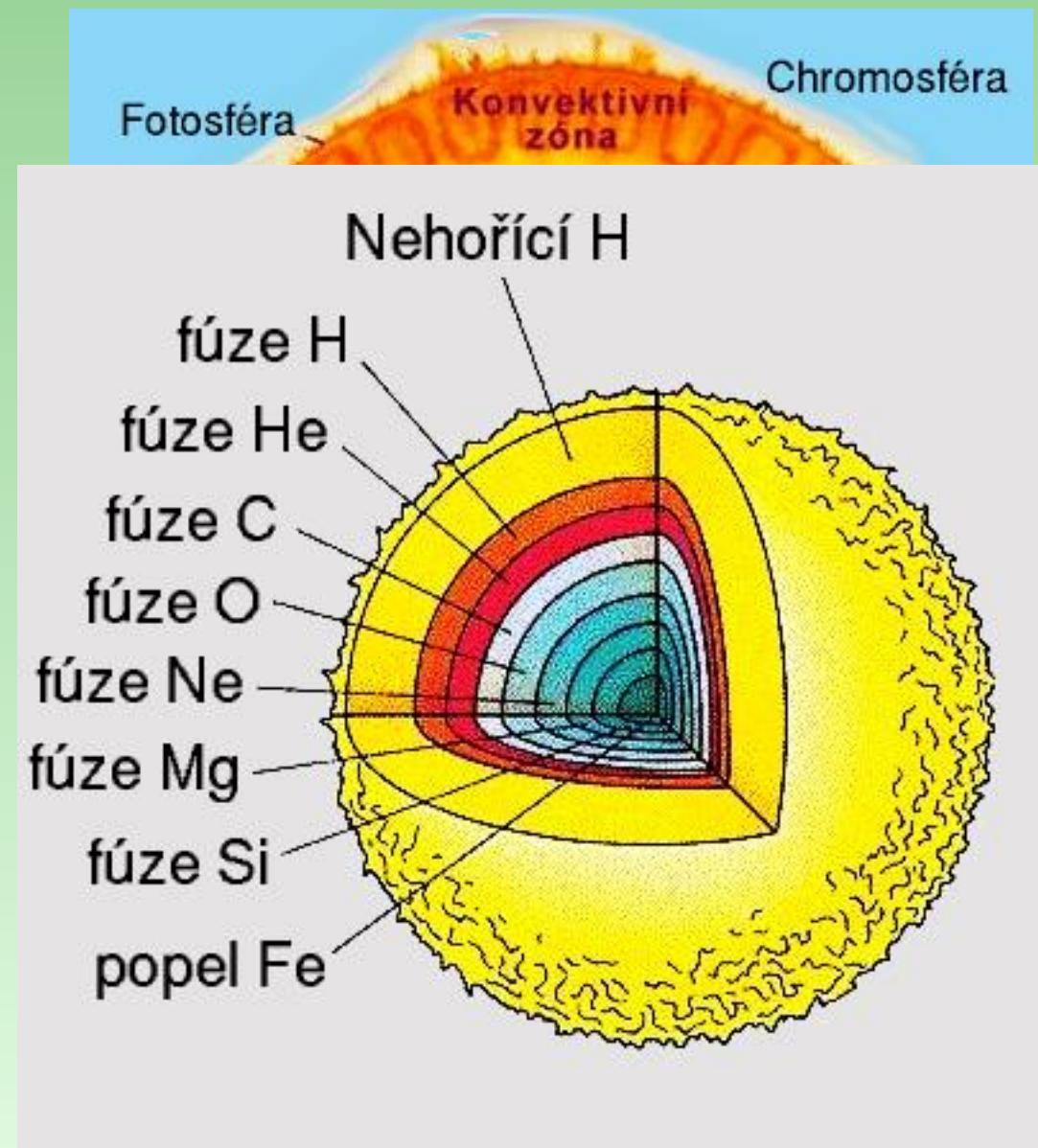
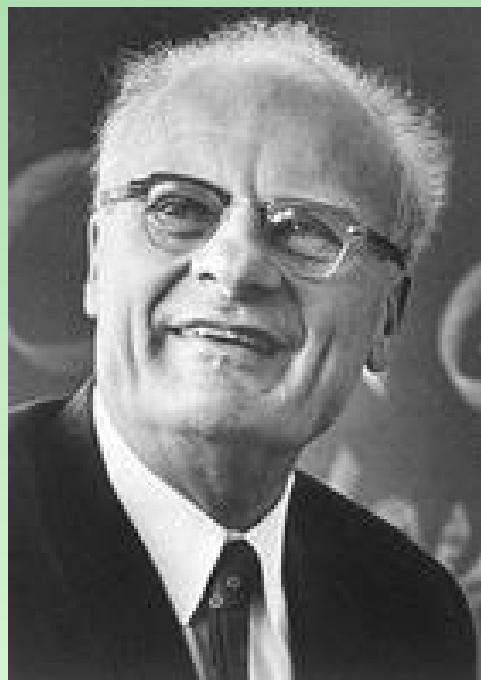
ŽIVOT HVĚZD

- zdroj energie: termonukleární reakce
- Hans Bethe (1938): p-p cyklus, C-N cyklus, NC 1967

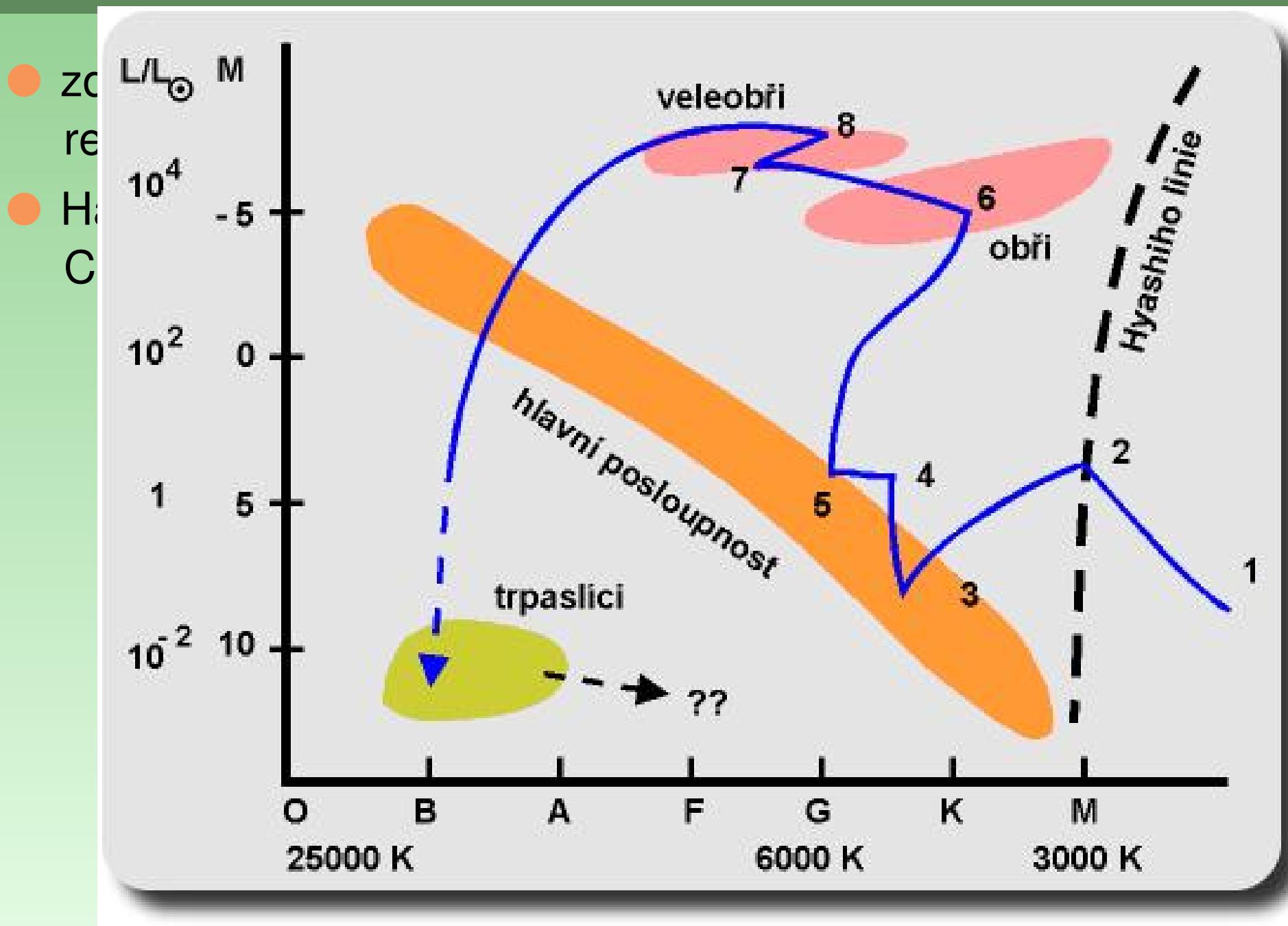


ŽIVOT HVĚZD

- zdroj energie: termonukleární reakce
- Hans Bethe (1938): p-p cyklus, C-N cyklus, NC 1967



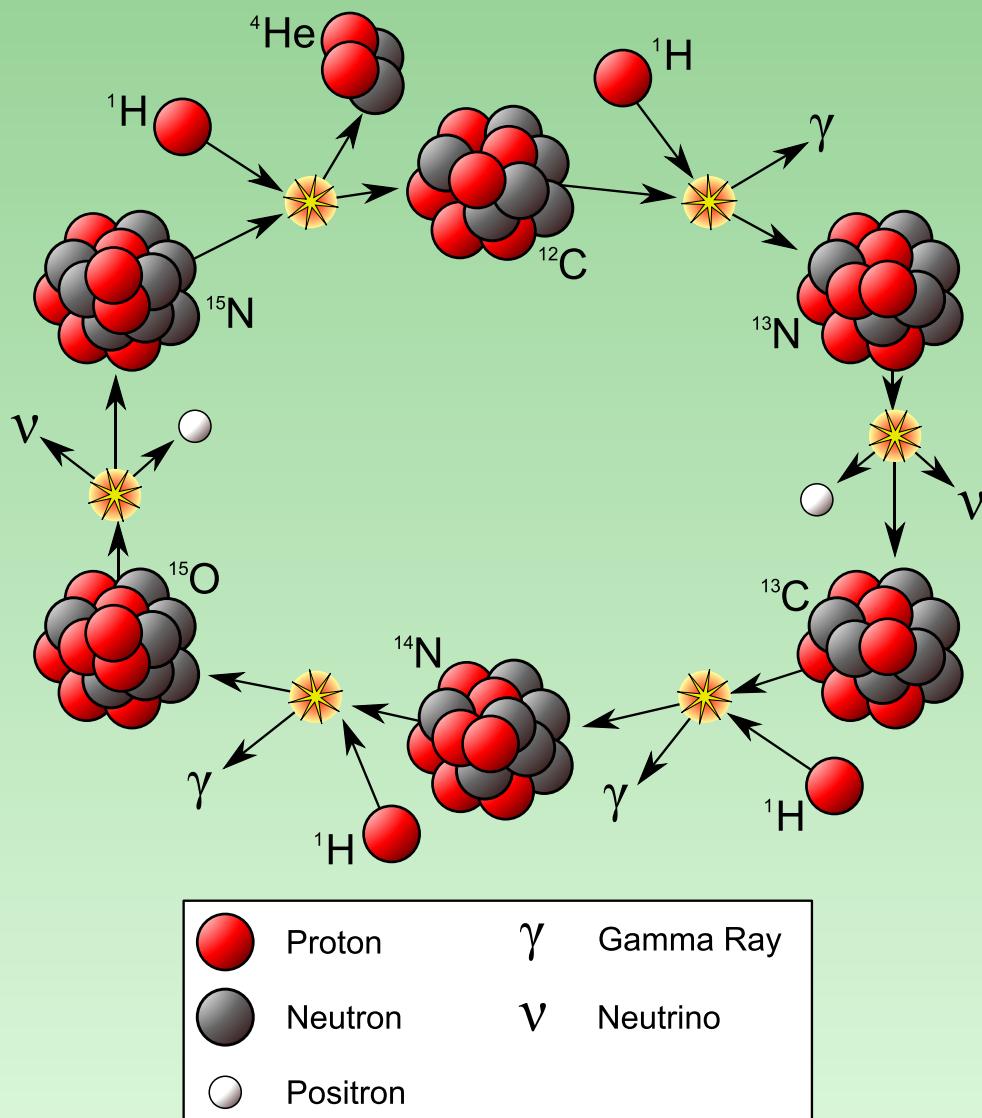
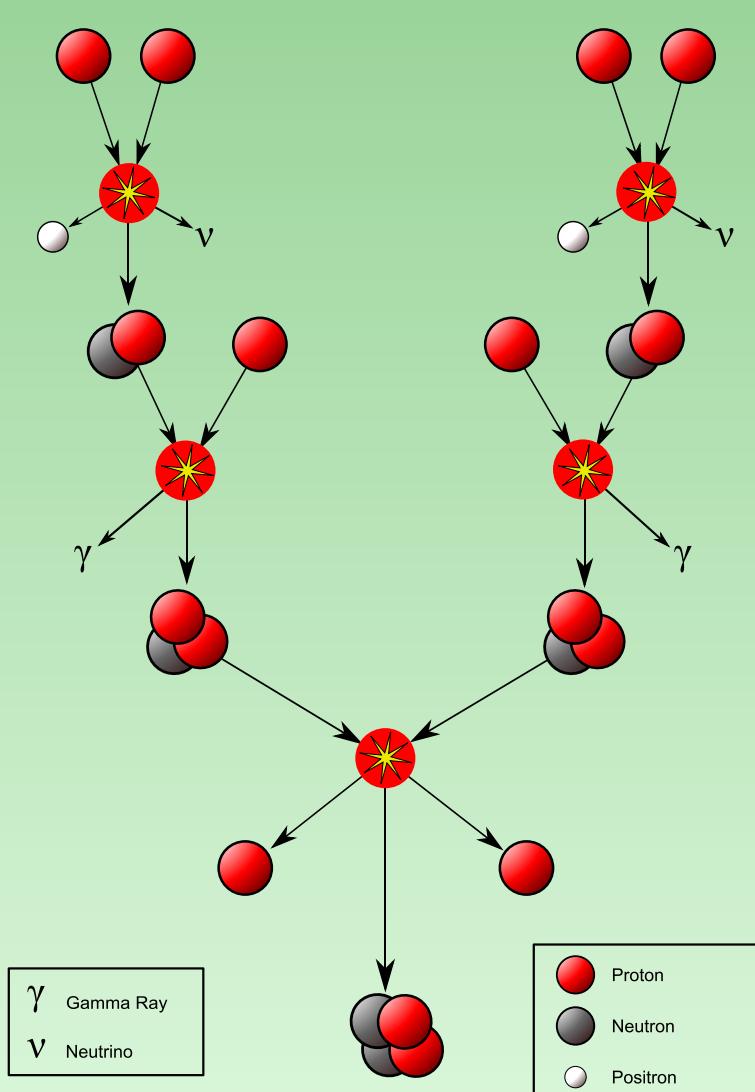
ŽIVOT HVĚZD



osféra



PROTON-PROTONOVÝ A CNO CYKLUS





What is Your Cosmic Connection to the Elements?

H

3 4

Li Be

11 12

Na Mg

13 14

K Ca Sc Ti V

37 38

Rb Sr Y Zr Nb

55 56

Cs Ba La Hf Ta W

87 88

Fr Ra Ac Rf

Big Bang

Hydrogen
Helium

Carbon
Nitrogen
Oxygen

Lithium

Sulfur
Calcium
Iron
Silicon

Cosmic
Rays

Gold
Titanium
Magnesium

Supernovae

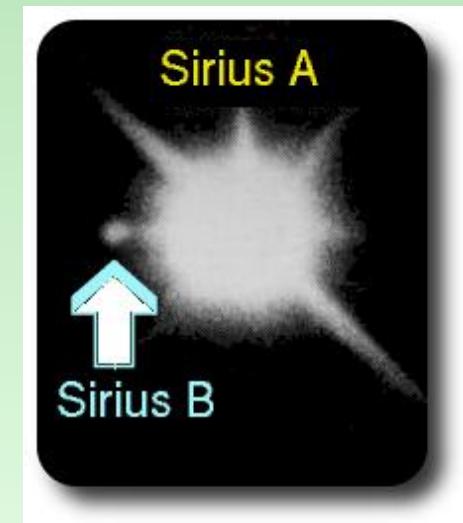
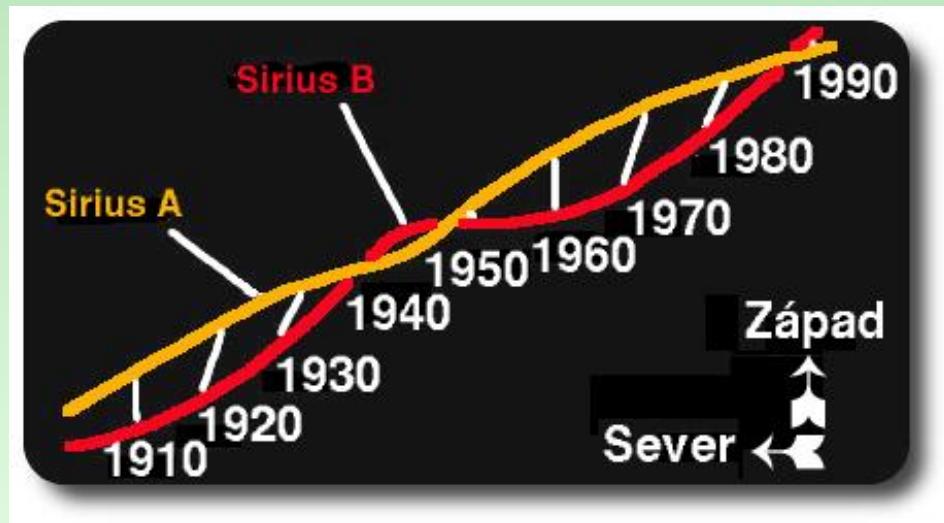
Small Stars

Large Stars

Imagine the Universe!
<http://imagine.gsfc.nasa.gov/>

BÍLÍ TRPASLÍCI

- Einstein 1939: „Základním výsledkem tohoto výzkumu je jasné pochopení proč Schwarzschildovy singularity nemohou existovat ve fyzikální realitě...“
- hvězda konstantní hustoty: při $r = 1,125 r_g$ nekonečný tlak \iff za určitých podmínek gravitace překoná všechny ostatní síly
- bílí trpaslíci – Sírius B: $M = 1,05 M_\odot$, hustota 4 tuny/cm³ (Bessel 1844, Clark 1862)



PÚBLICAS



NOAO

Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA and H. Richer (University of British Columbia)
STScI-PRC03-19b



Globular Cluster M4
Location of white dwarf
companion to pulsar B1620-26

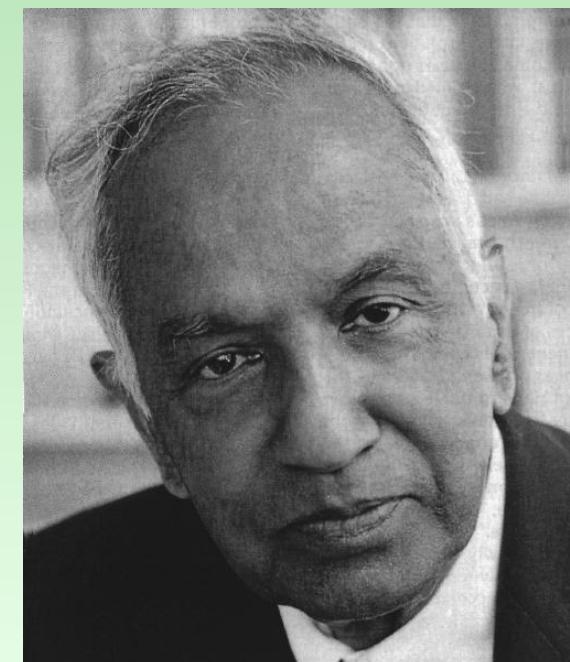
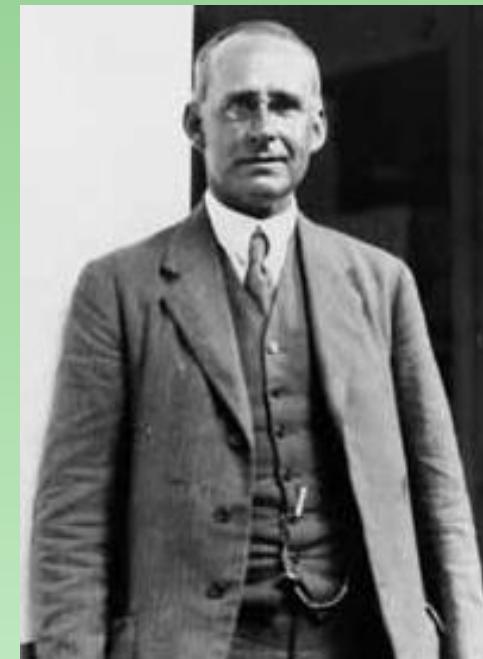
HST

CHANDRASEKHA ROVA MEZ

- Subrahmanyan Chandrasekhar
1930–1931: rovnováhu udržuje
degenerovaný elektronový plyn, NC
1983 s Williamem Fowlerem

bílý trpaslík nemůže mít hmotnost
větší než $M = 1,4 M_{\odot}$

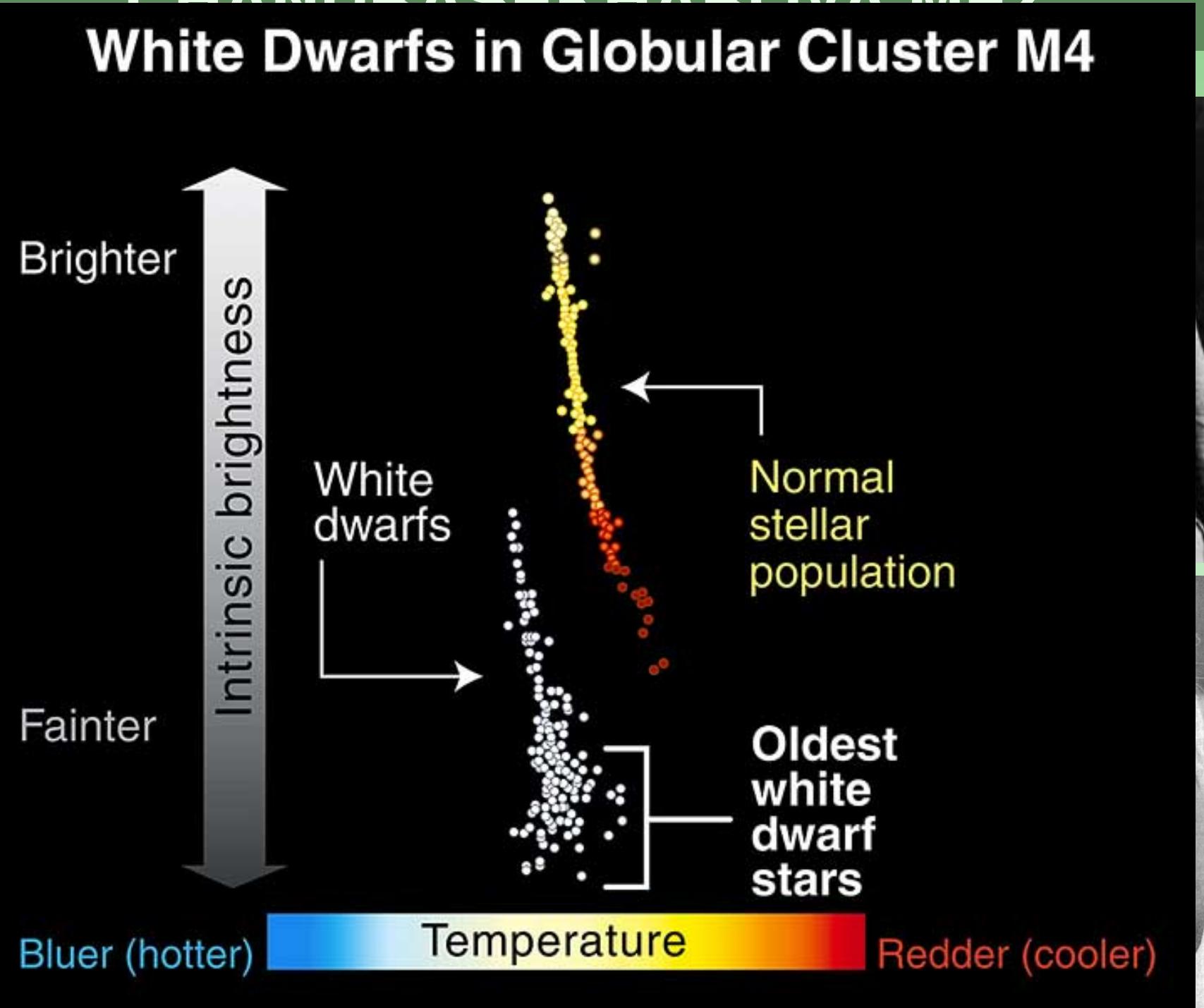
- Arthur Eddington 11. 1 1935:
„Domnívám se, že by měl existovat
přírodní zákon, který by zabránil
hvězdám, aby se chovaly tak
absurdním způsobem!“



CHANDRASEKHA ROVÁ MEZ

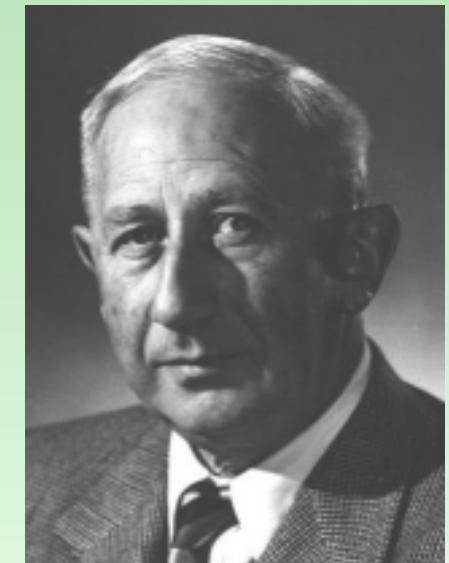
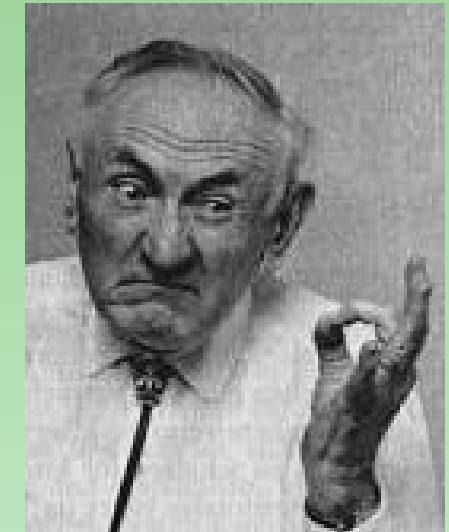
White Dwarfs in Globular Cluster M4

- Sub 193
degrees
198
- Arth „Do přírodní hvězd“ abs



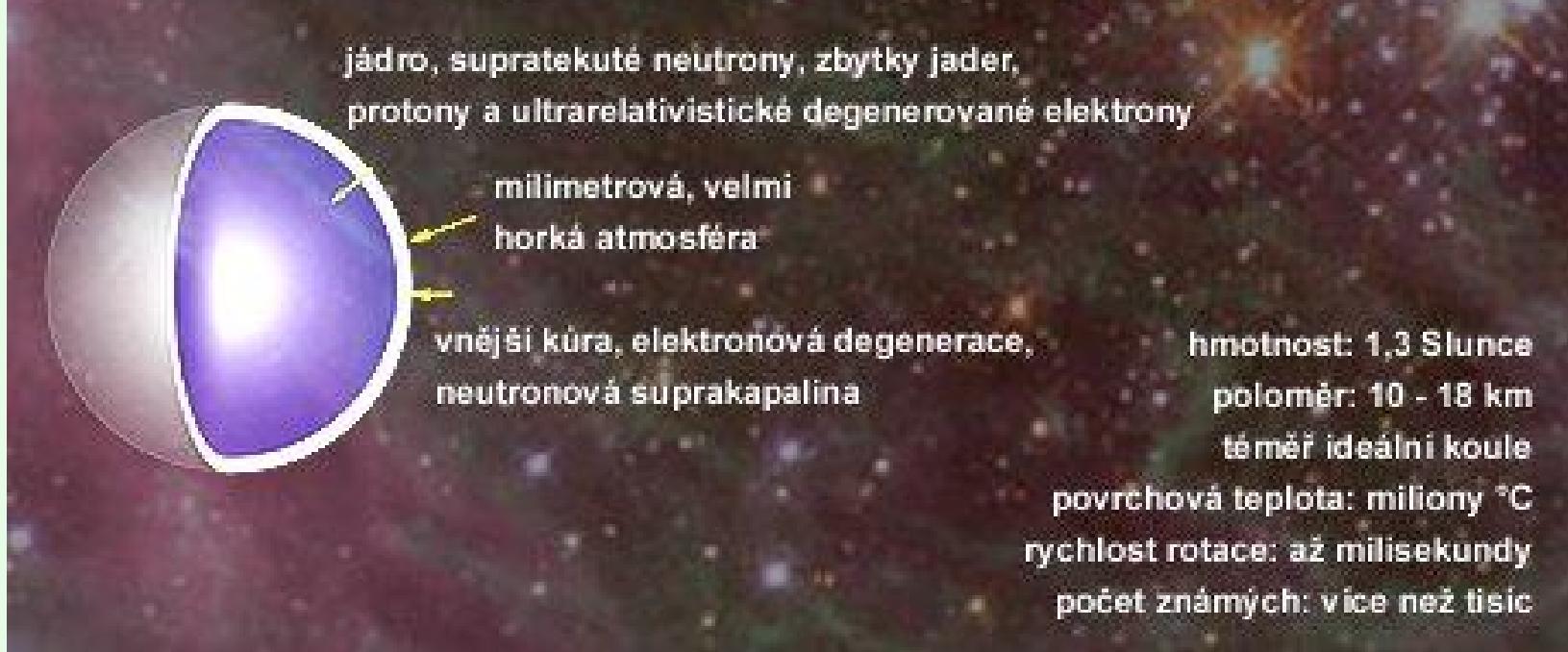
NEUTRONOVÉ HVĚZDY

- James Chadwick (1932): experimentální objev neutronu
- Fritz Zwicky, 30-tá léta: představa neutronové hvězdy, poloměr okolo 10 km, hustota $10^{13} - 10^{15} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, centrální teplota 10^9 K
- Walter Baade (Göttingen, Hamburg, Mount Wilson): pozorování velmi zářivých nov $10^{10} \times$ zářivějších než Slunce – **supernovy**
- Antony Hewish a Jocelyn Bell (1967): **pulsary**, perioda rotace $0,0016 - 4 \text{ s}$, NC 1974 s Martinem Ryleem
- Joseph Taylor a Russell Hulse (1974): binární pulsar **PSR1913+16**, perioda rotace $0,0059 \text{ s}$, zkracování periody oběhu o $76 \cdot 10^{-6} \text{ s}/\text{rok}$,



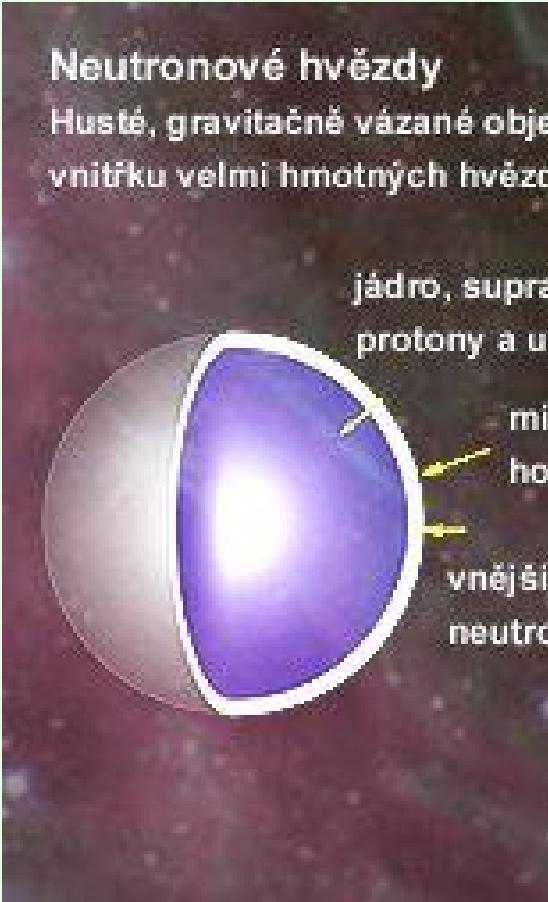
Neutronové hvězdy

Husté, gravitačně vázané objekty, složené z větší části z neutronů, vznikají zhroucením vnitřku velmi hmotných hvězd při výbuchu supernovy.

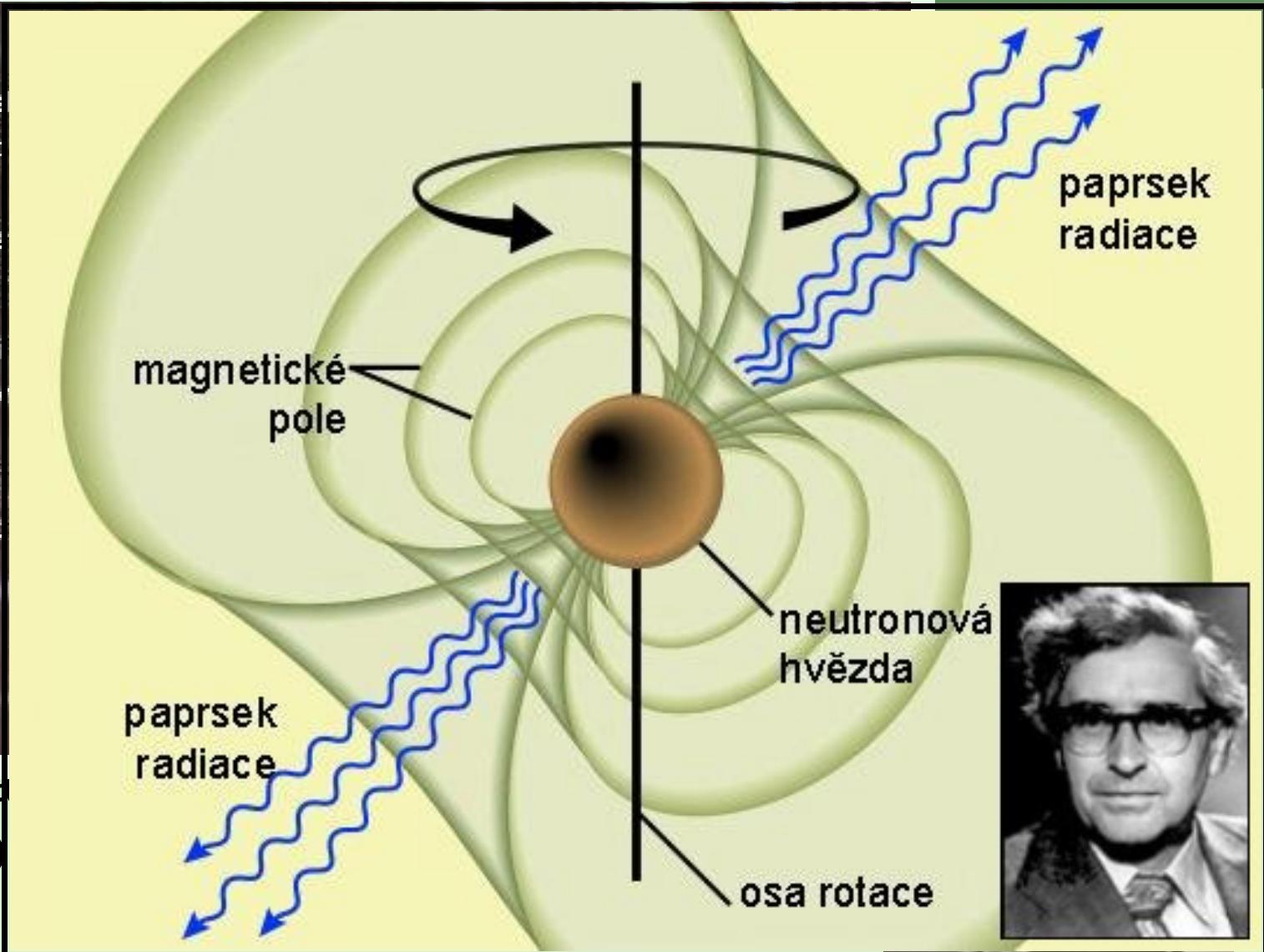


- Anthony Hewish a Jocelyn Bell (1967): pulsary, perioda rotace 0,0016 – 4 s, NC 1974 s Martinem Ryleem
- Joseph Taylor a Russell Hulse (1974): binární pulsar PSR1913+16, perioda rotace 0,0059 s, zkracování periody oběhu o $76 \cdot 10^{-6}$ s/rok,



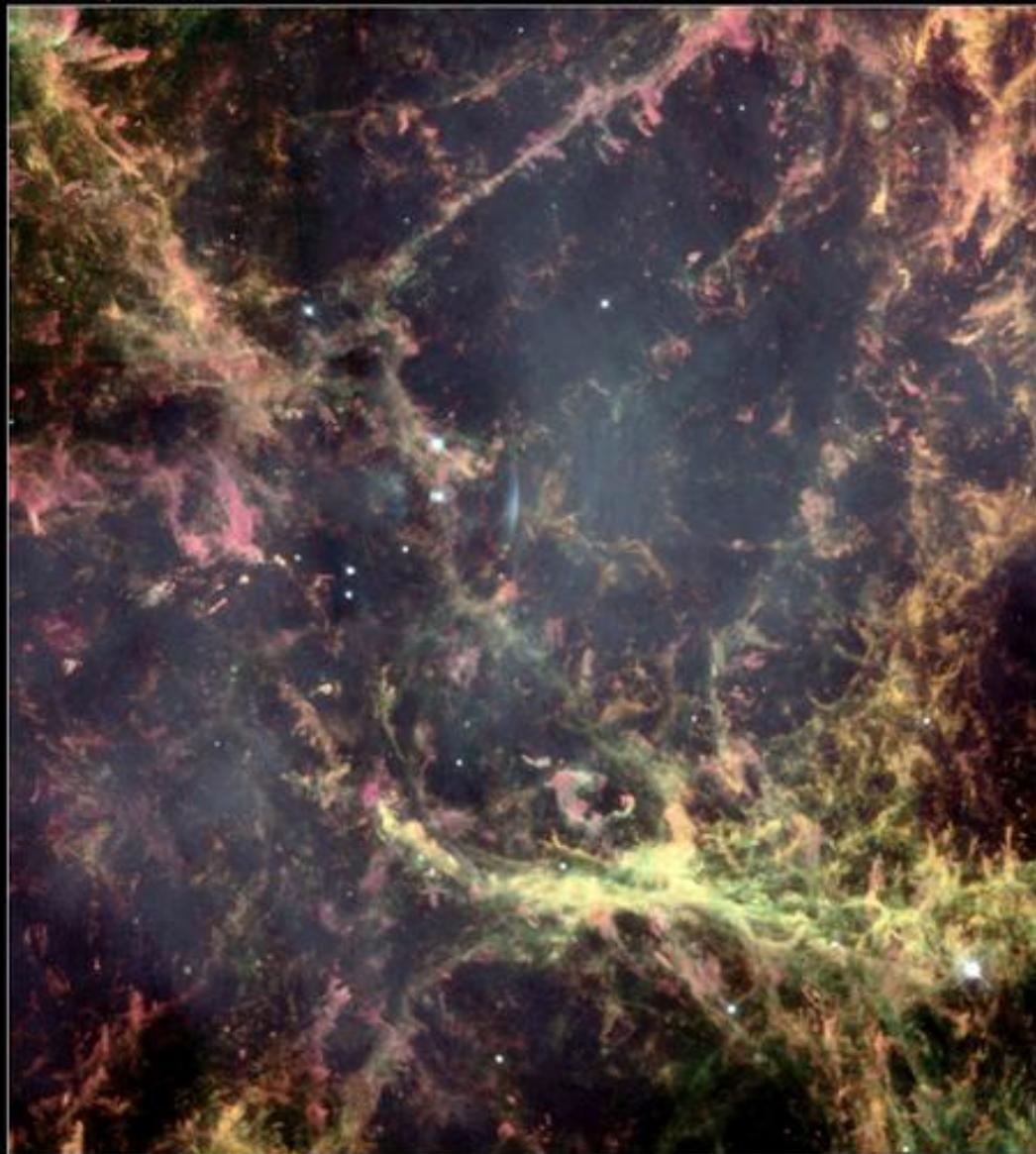


- Antoni Hewish a perioda rotace 0,3 s Ryleem
- Joseph Taylor a Russell Hulse (1974): binární pulsar **PSR1913+16**, perioda rotace 0,0059 s, zkracování periody oběhu o $76 \cdot 10^{-6}$ s/rok,



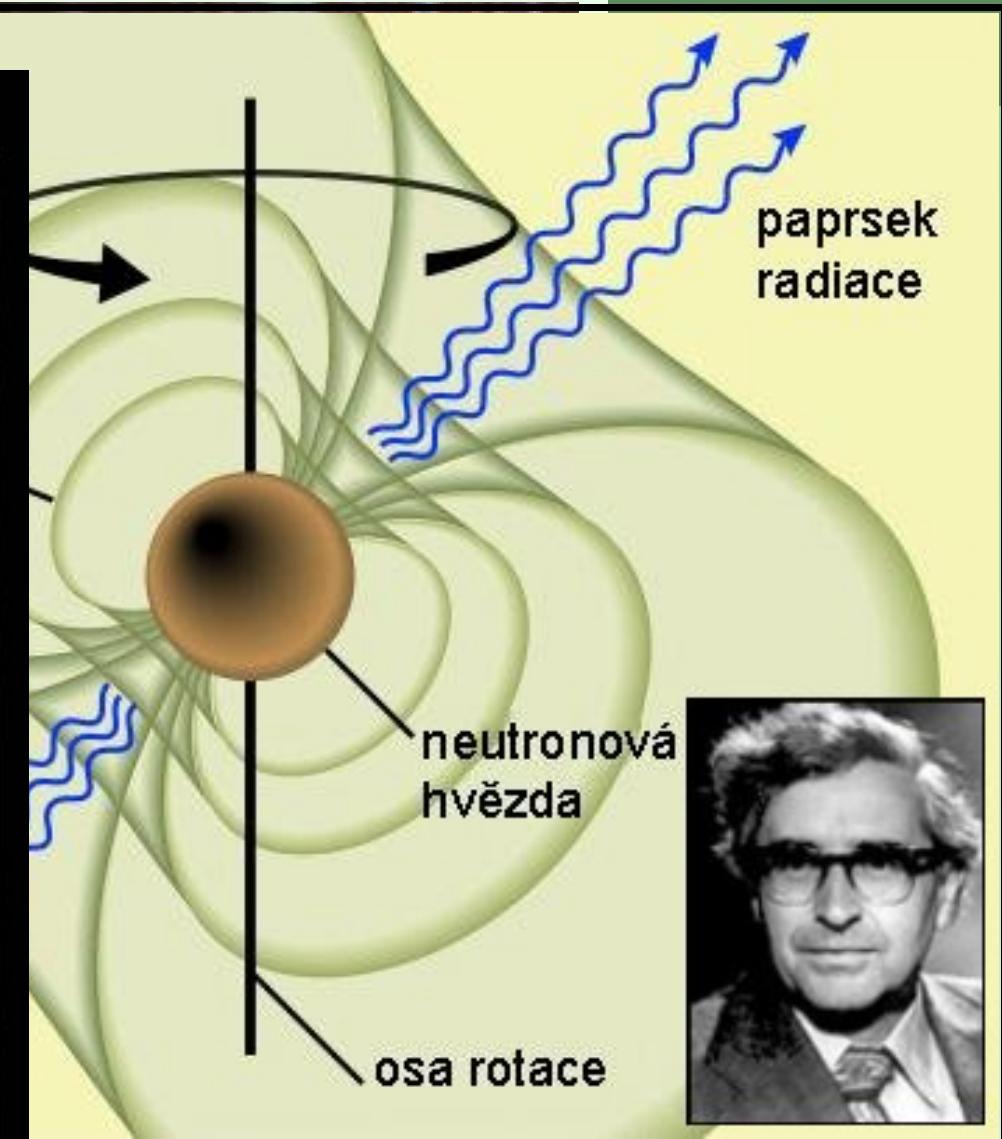
Neutronová hvězda

Crab Nebula



Hubble
Heritage

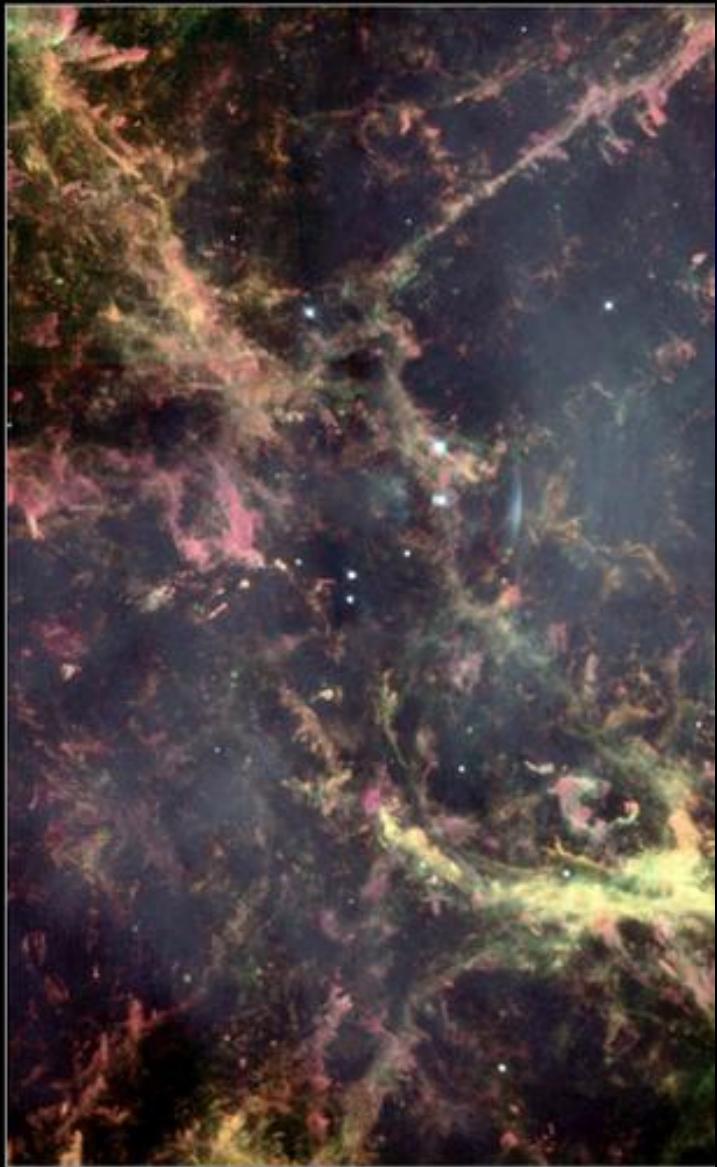
PRC00-15 • Space Telescope Science Institute • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



74): binární
periódě 0,0059 s,
 -6 s/rok ,

Nebulanová hvězda

Crab Nebula

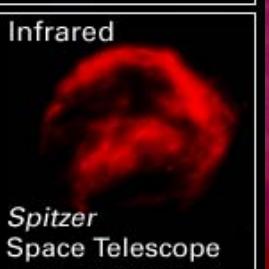
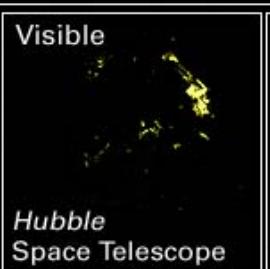
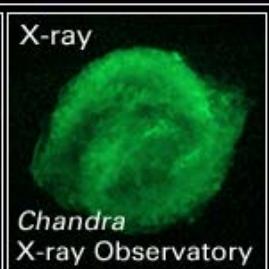
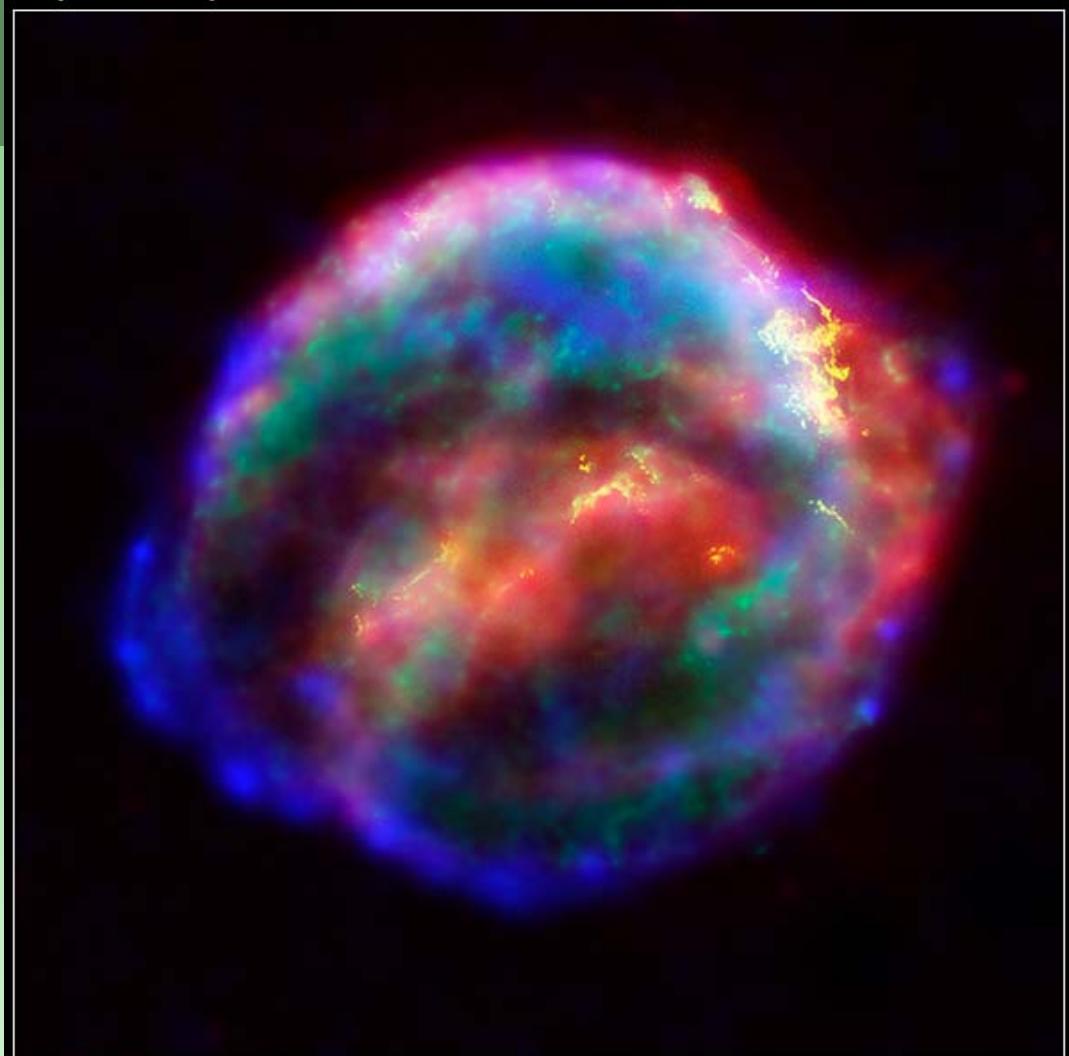


Heritage

PRC00-15 • Space Telescope Science Institute • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

° s/rok,

Kepler's Supernova Remnant • SN 1604



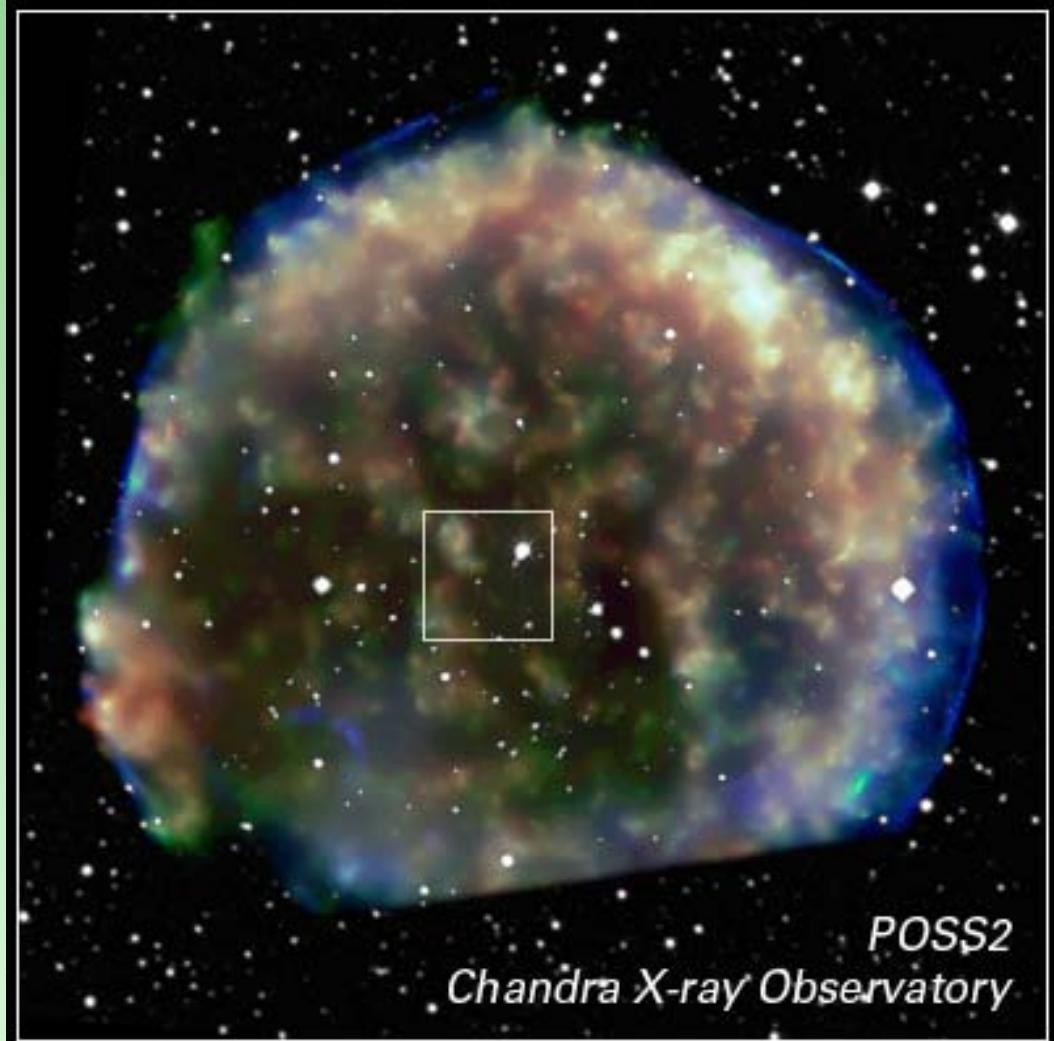
NASA, ESA, R. Sankrit and W. Blair (Johns Hopkins University)

STScI-PRC04-29a



° S/rok,

Candidate Progenitor Companion to Tycho's Supernova 1572



NASA, ESA and P. Ruiz-Lapuente (University of Barcelona)

NASA, ESA, R. Sankrit and W. Blair (Johns Hopkins University)

STScI-PRC04-29a

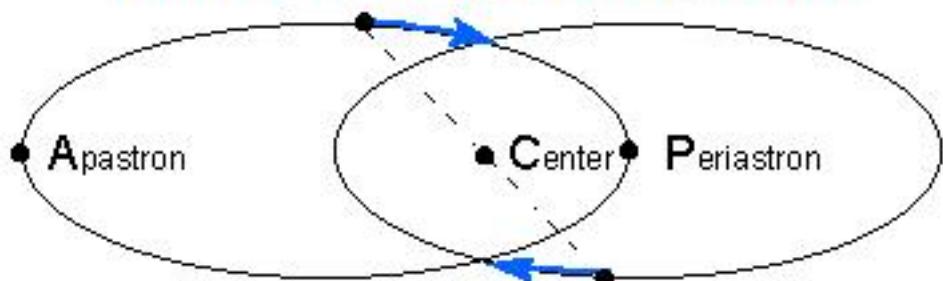


STScI-PRC04-34

° s/rok,

Heritage

Hulseův-Taylorův pulsar



T=7h 45 min



NASA, ESA and P. Ruiz-Lapuente (University of Barcelona)

NASA, ESA, R. Sankrit and W. Blair (Johns Hopkins University)

STScI-PRC04-29a

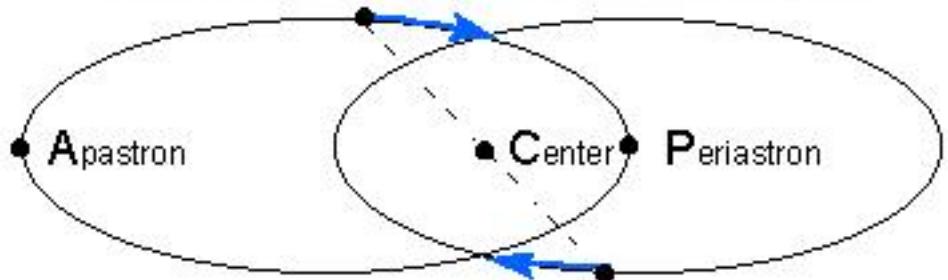


STScI-PRC04-34

° s/rok,

Heritage

Hulseův-Taylorův pulsar



T=7h 45 min



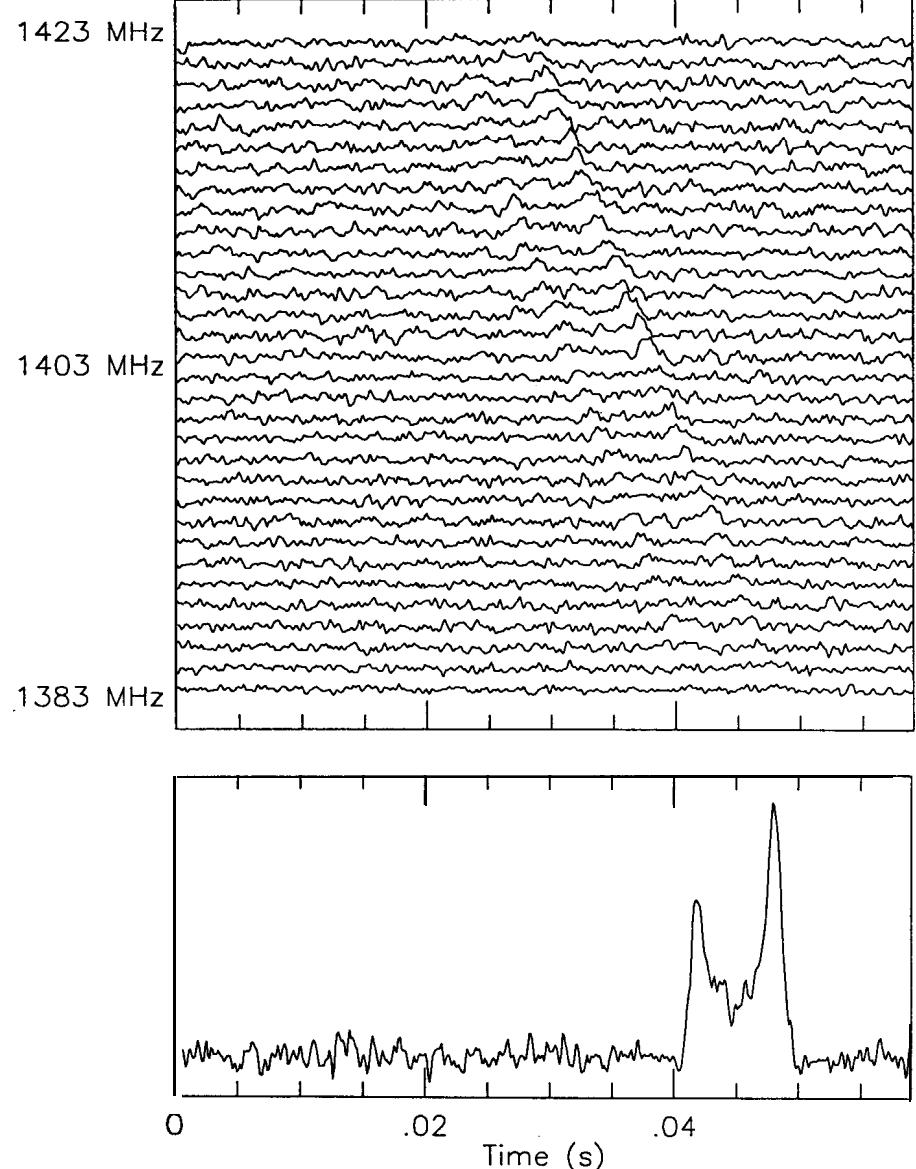
NASA, ESA and P. Ruiz-Lapuente (University of Barcelona)

NASA, ESA, R. Sankrit and W. Blair (Johns Hopkins University)

STScI-PRC04-29a

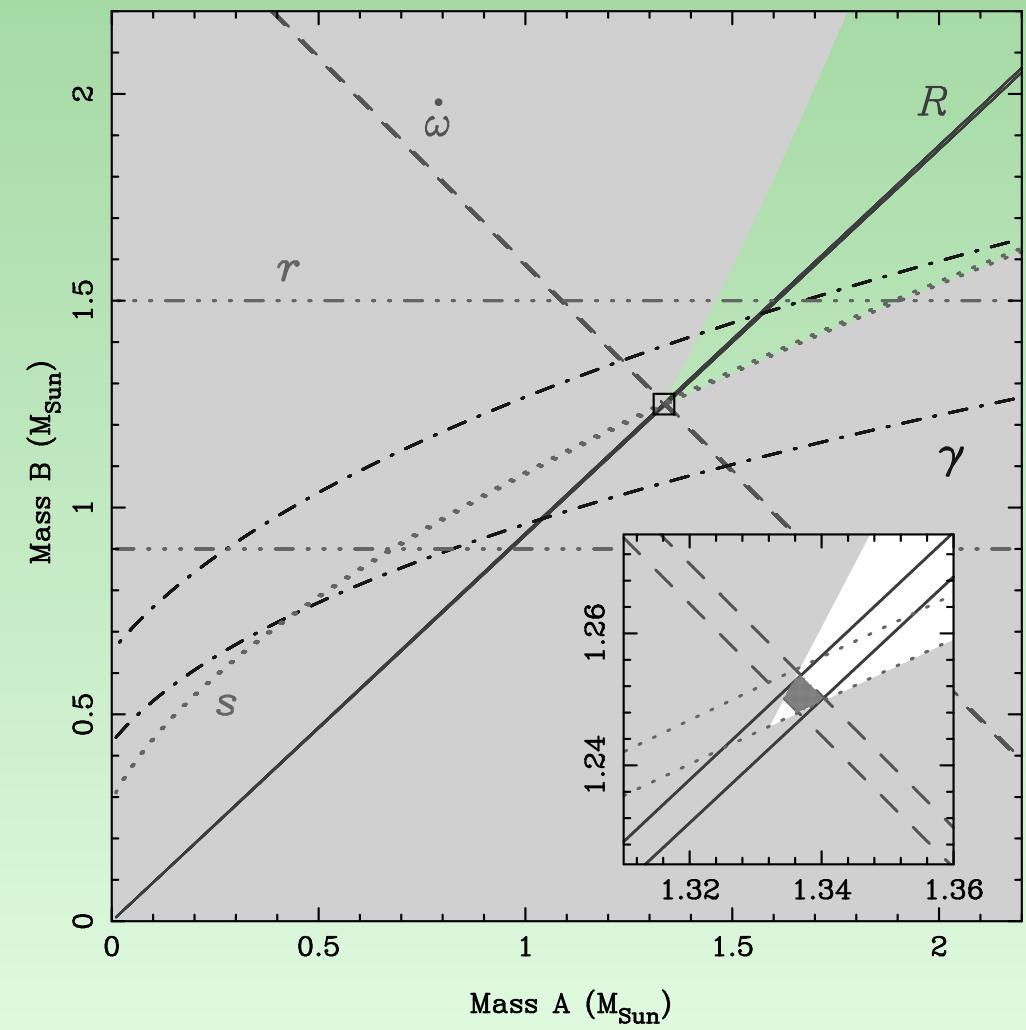
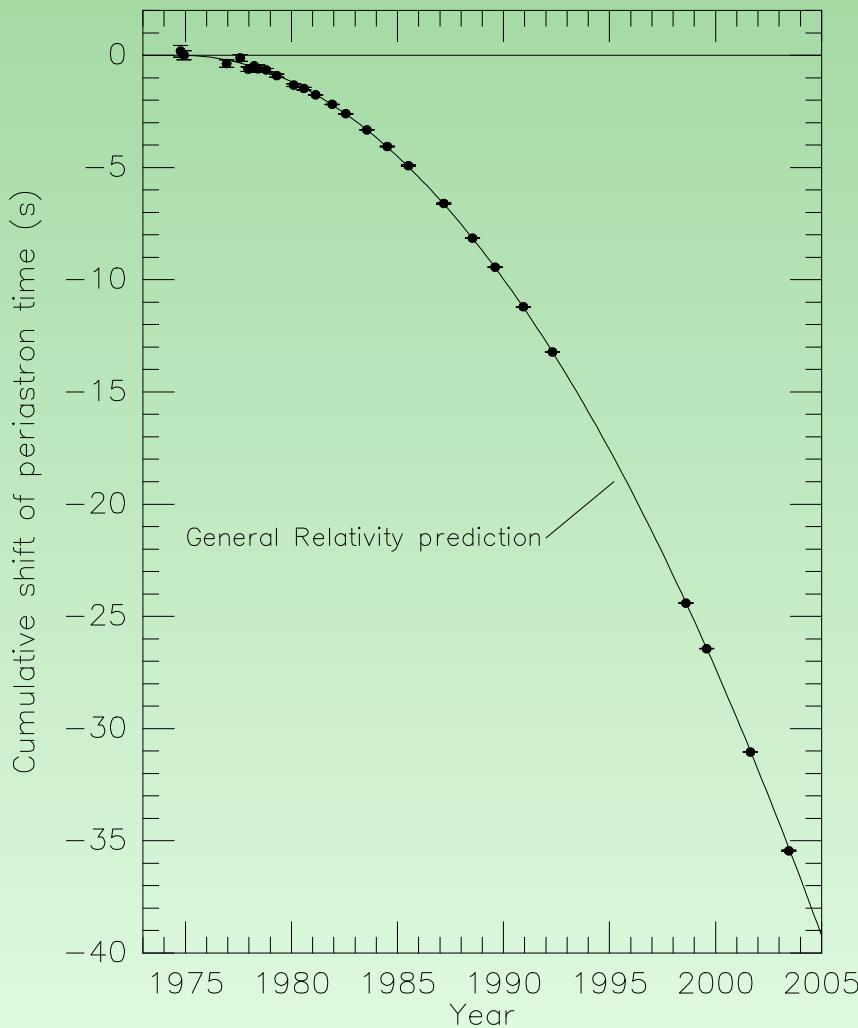
Heritage

Supernova 1572



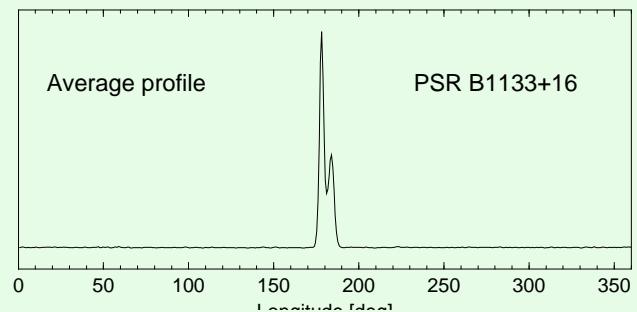
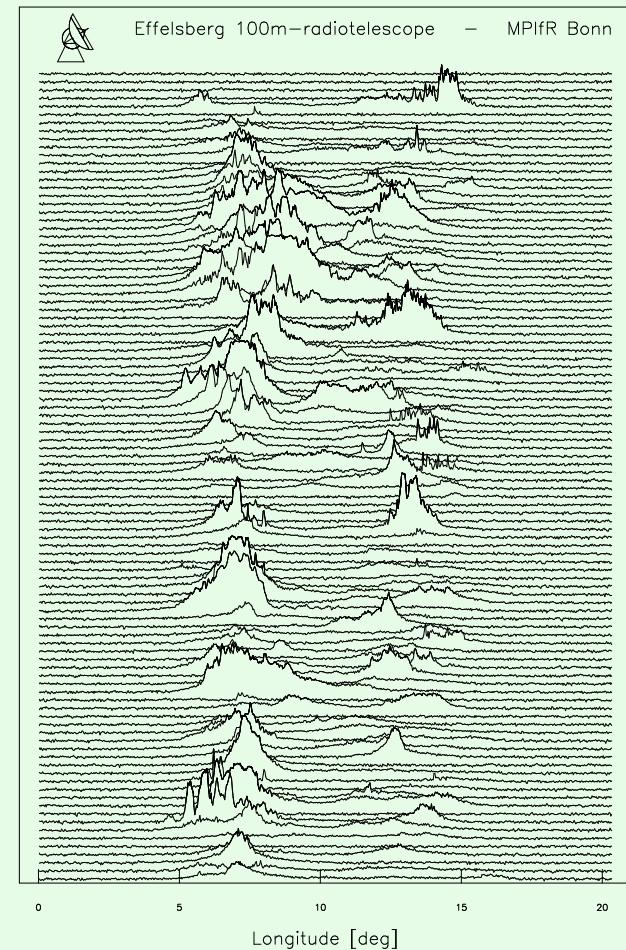
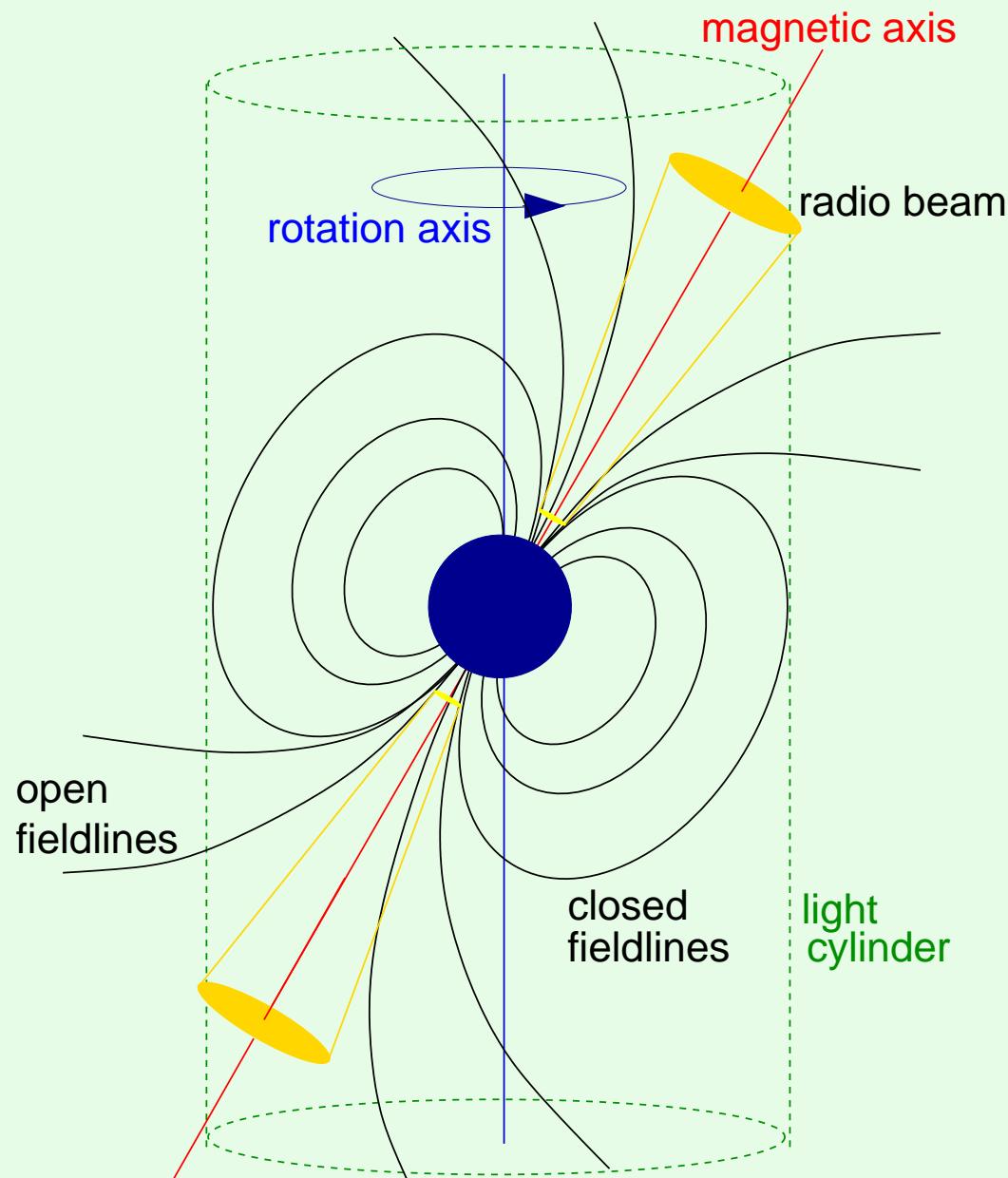
BINÁRNÍ PULSAR J0737-3039

- objev v roce 2003, $T = 2,4$ h, $\dot{\omega} = 16,88 \pm 0,09^\circ/\text{year}$,
- splynutí asi za 85 miliónů let



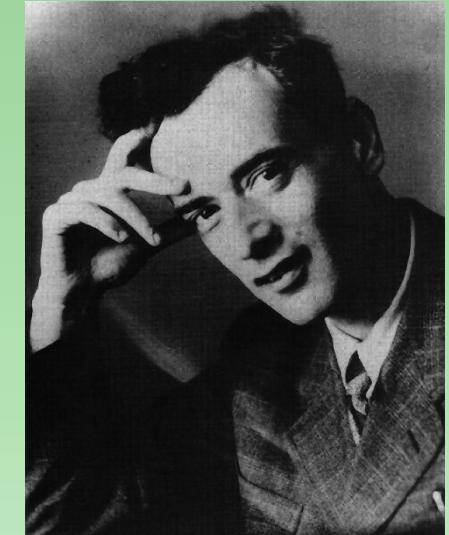
PULÁRNÍ PULEA B1133+16

Single pulses of PSR 1133+16



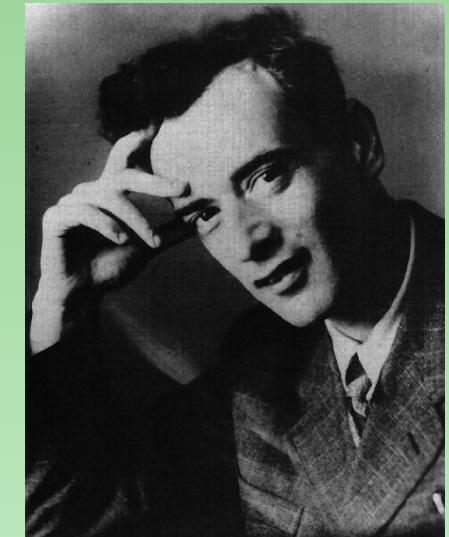
NEVYHNUTELNOST KOLAPSU

- Lev Davidovič Landau (Nature, 1938): hvězdy jako Slunce ve svém středu neutronová jádra, účinnost přeměn energie 10 %, NC 1962
- Robert Oppenheimer, George Volkoff: L. nezapočetl jaderné síly, existuje maximální hmotnost n. hvězd asi $1,4 - 3 M_{\odot}$, u známých blízko $1,4 M_{\odot}$, se Snyderem studuje kolaps; přerušeno válkou
- John Archibald Wheeler, Harrison, Wakano (1956): stavová rovnice n. hvězd, studium kolapsu
- Kolik hmoty se odvrhne do okolí?
- J. A. Wheeler (1967): „zamrzlé hvězdy“ \implies černé díry
- Wolfgang Rindler (50-tá léta): horizont



ST KOLAPSU

8): hvězdy
nová jádra,
1962
off: L.
maximální
, u známých
je kolaps;

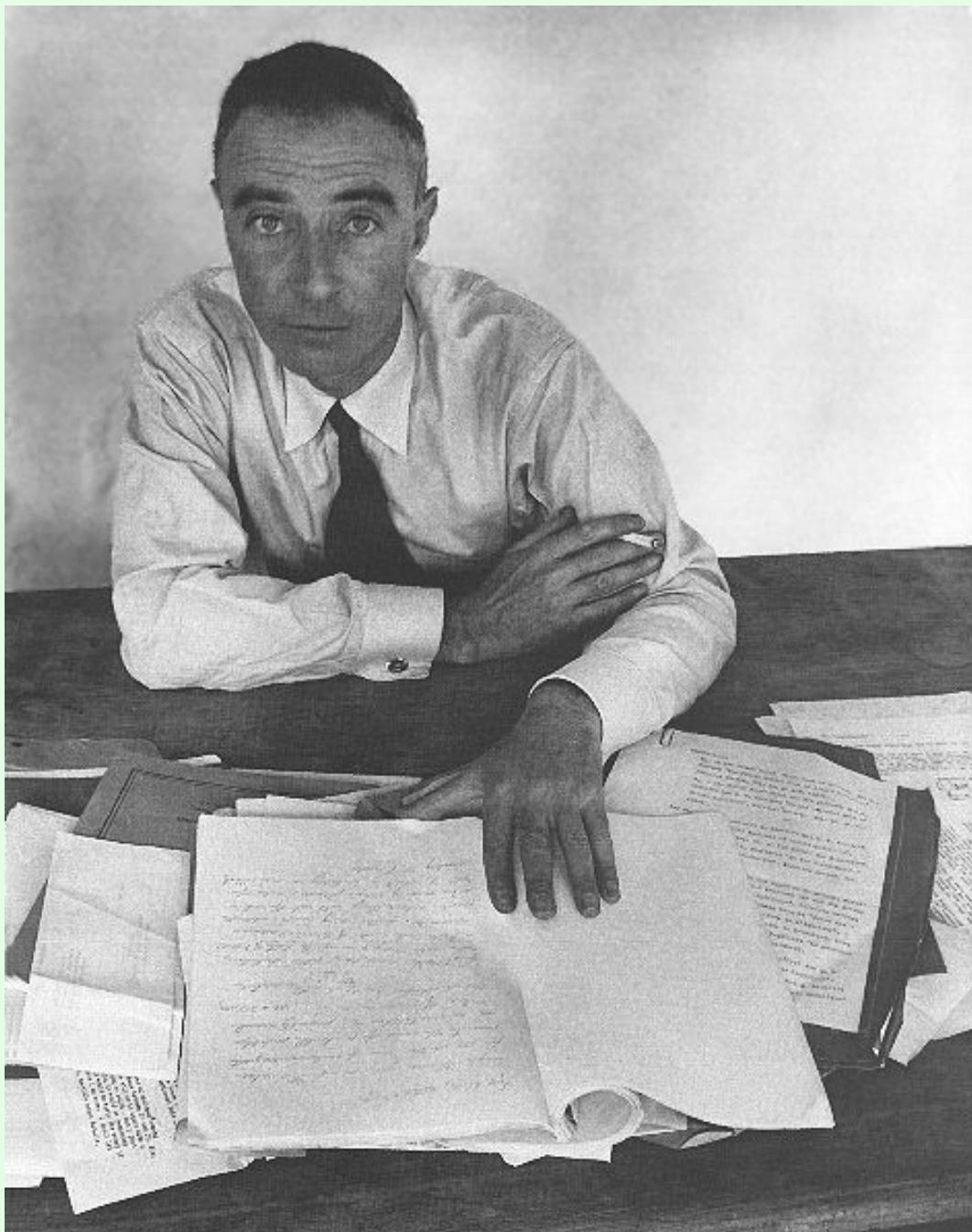


Wakano
studium kolapsu

zdy“ \implies černé

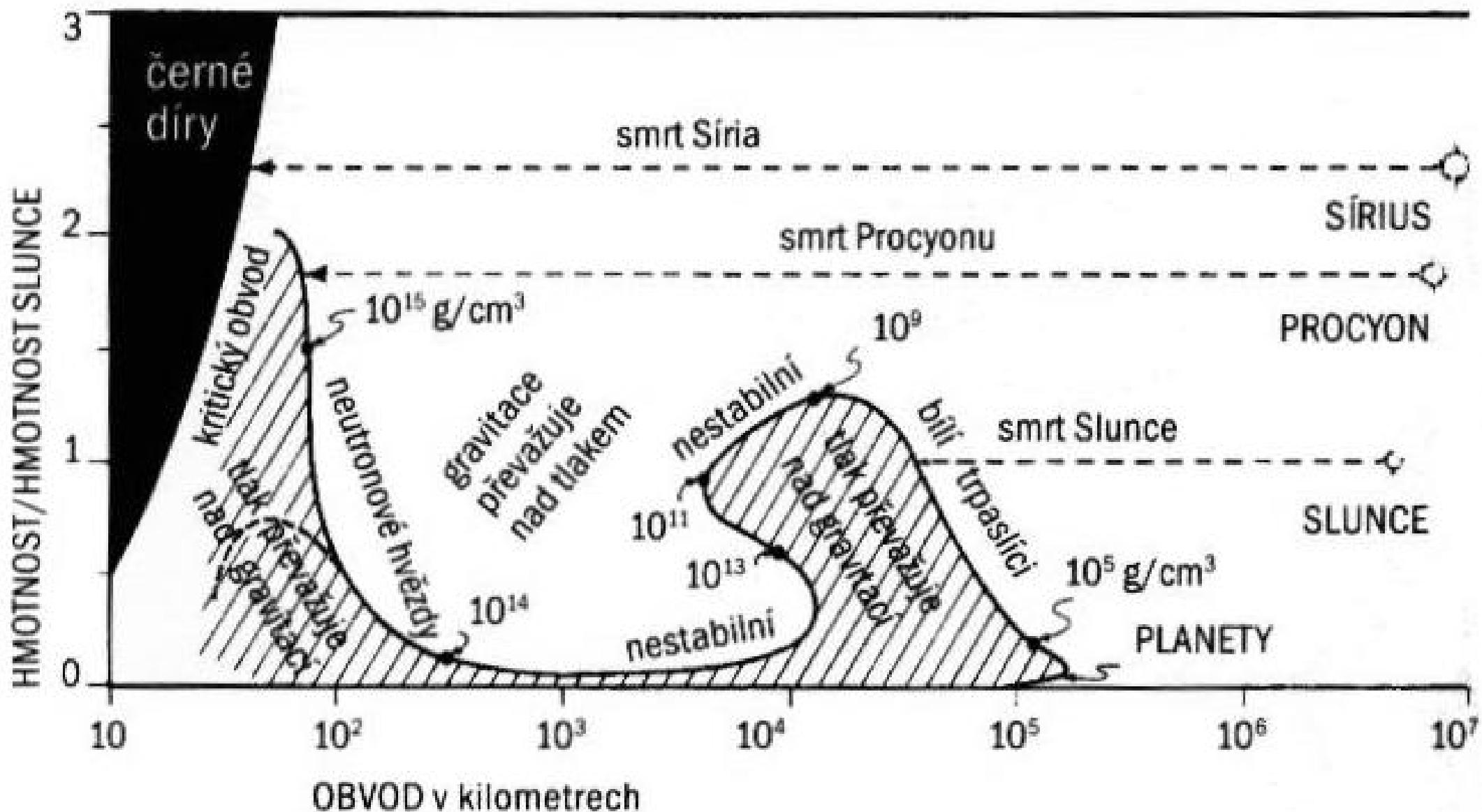


ont

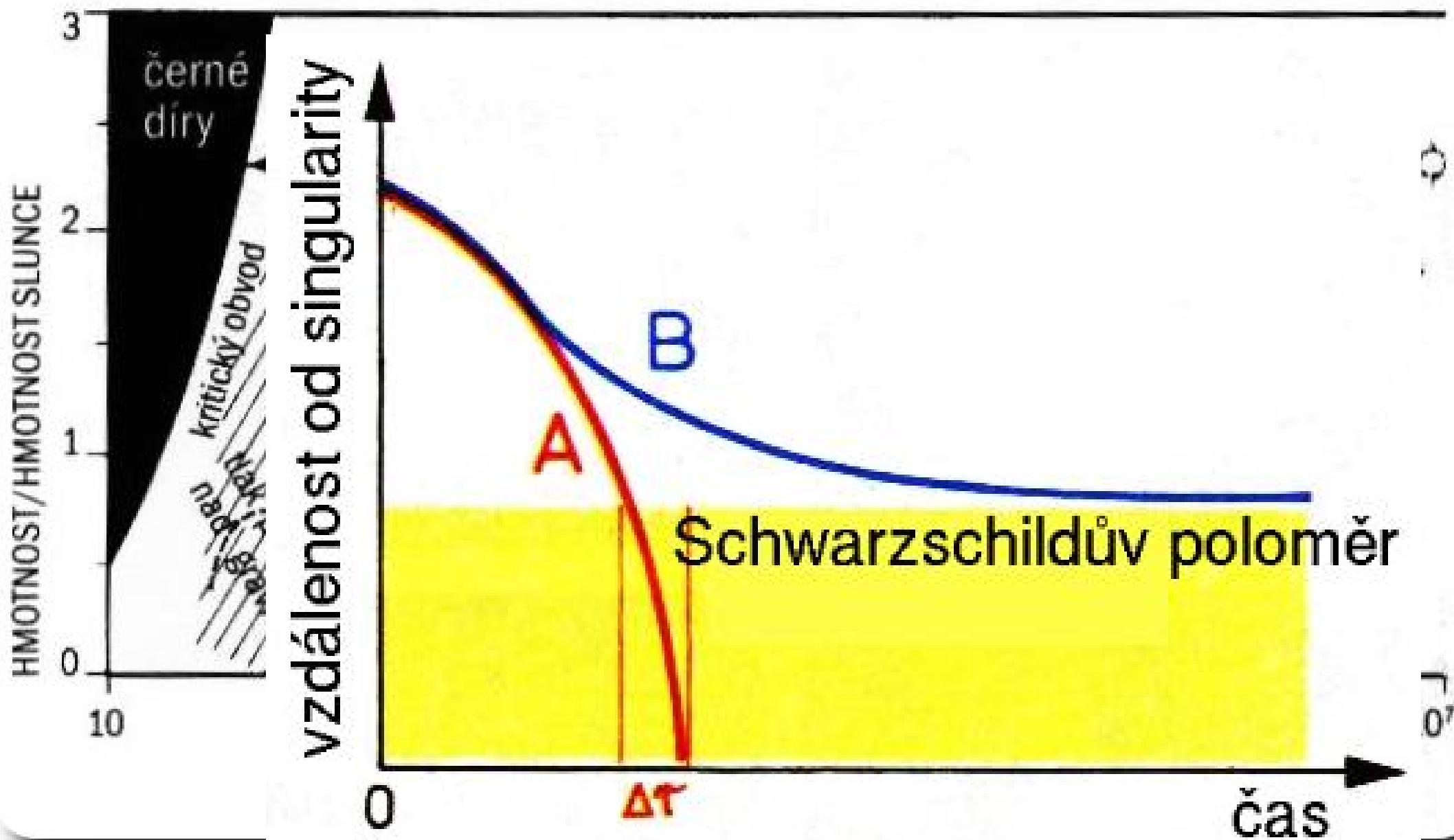


— Younger writer (you know, now)

ST KOLAPSU

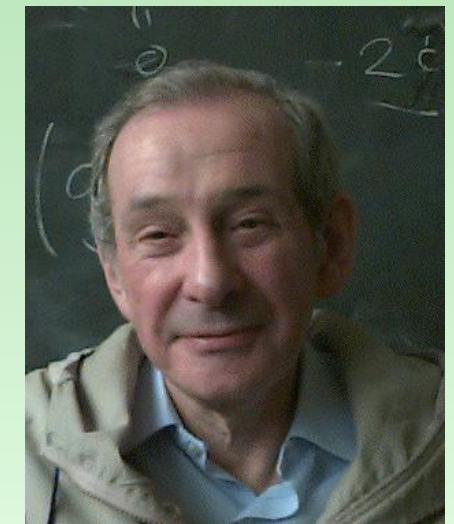


ST KOLAPSU



ČERNÁ DÍRA NEMÁ VLASY

- Vitalij Lazarevič Ginzburg (1964): kolapsem zmizí magnetické pole, NC 2003
- Zeldovič, Novikov, Doroškevič: horizont sférický
- Werner Israel (8. 2. 1967): *nesférický kolaps může mít dva důsledky – buď nevznikne ČD nebo vznikne přesně sférická ČD*
- Priceova věta (1968): co se může vyzářit, se opravdu vyzáří (elmag., grav. vlnami)
- Wheeler: **černá díra nemá vlasy** (téměř!), nelze určit, z čeho vznikla
- Zákony zachování: hmotnost, moment hybnosti, el. náboj
- Obecný důkaz: Brandon Carter, Stephen Hawking, Werner Israel





ÍRA NEMÁ VLASY

(1964): kolapsem zmizí

3

levič: horizont sférický

: nesférický kolaps může

evznikne ČD nebo

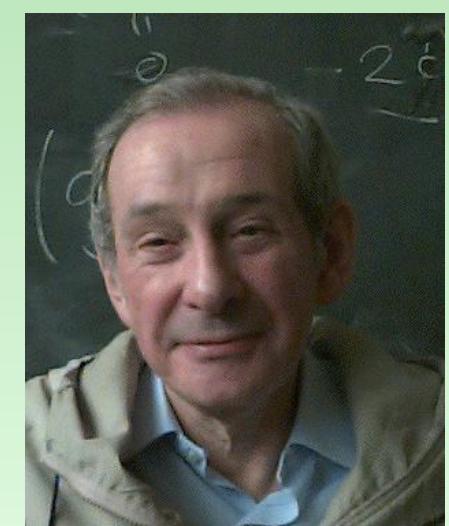
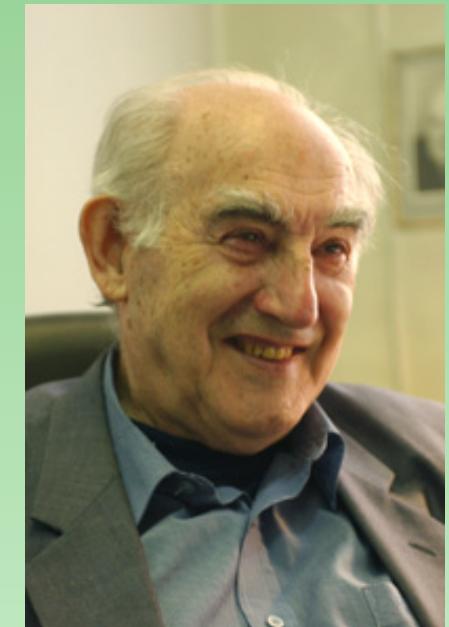
ČD

se může vyzářit, se

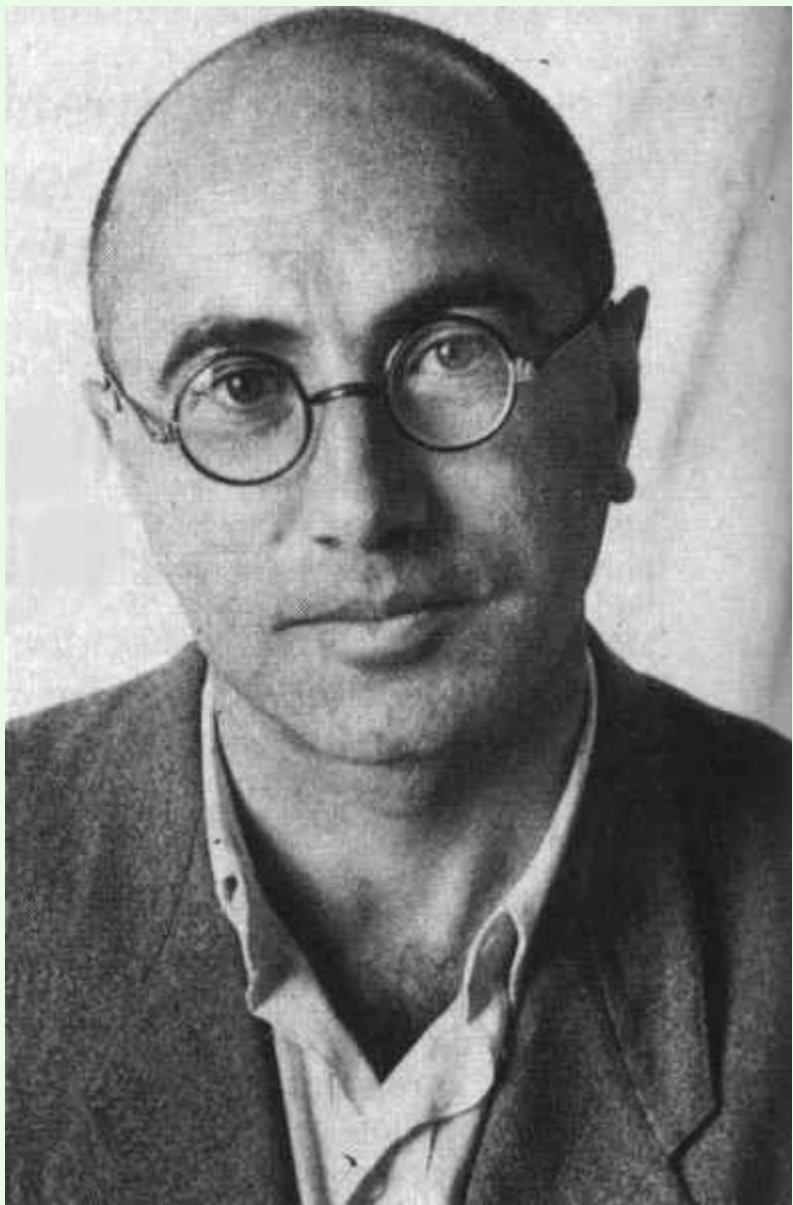
rav. vlnami)

u vlasů (téměř!), nelze

ost, moment hybnosti,



- Obecný důkaz: Brandon Carter, Stephen Hawking, Werner Israel



ÍRA NEMÁ VLASY

(1964): k

3

evič: hori

: *nesféric*

evznikne

SD

se může v

rav. vlnan

a **vlasy** (té

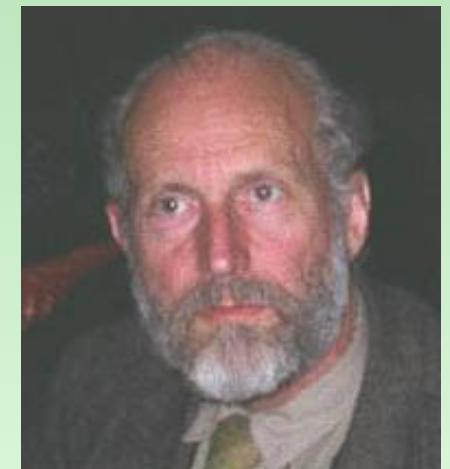
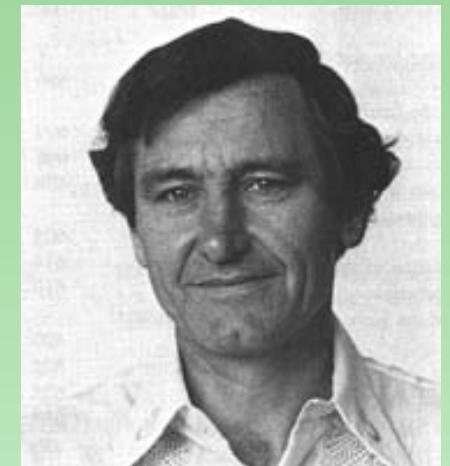
ost, mom



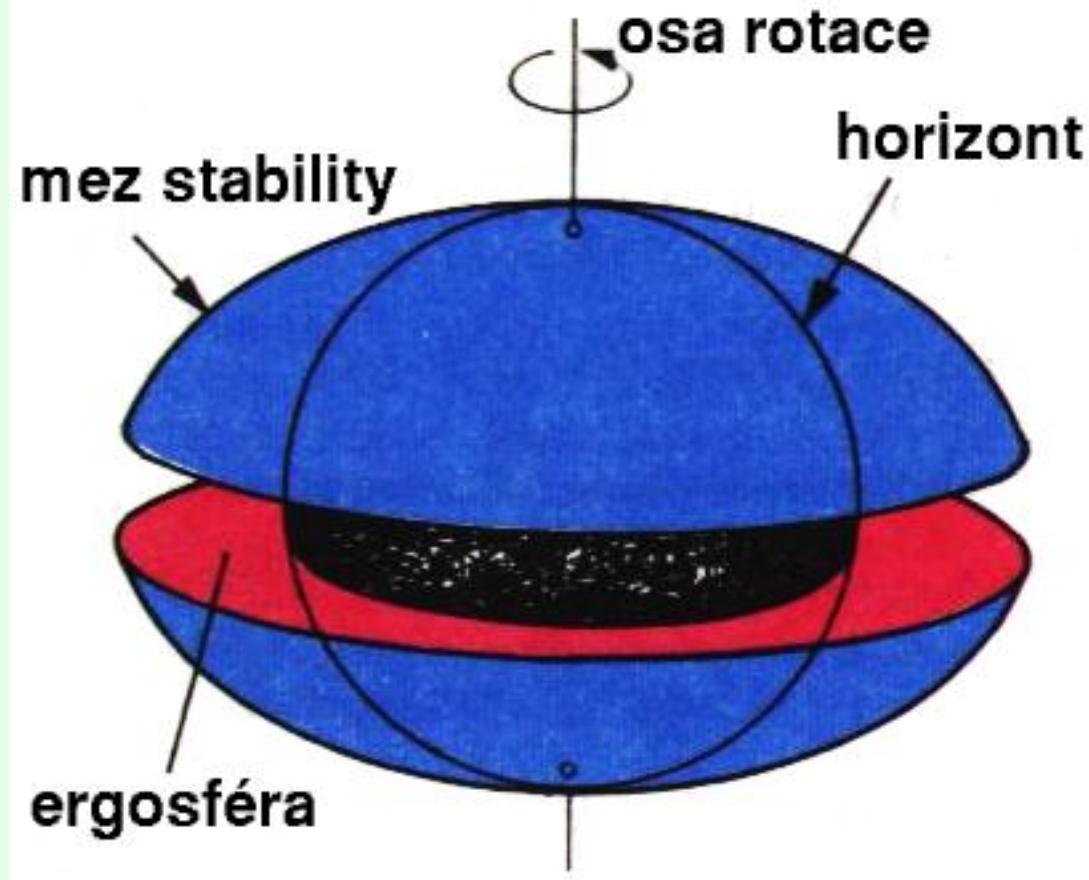
- Obecný důkaz: Brandon Carter, Stephen Hawking, Werner Israel

ROTUJÍCÍ ČERNÉ DÍRY

- Roy Kerr (1964): řešení pro prostoročas v okolí rotující hvězdy
- Brandon Carter (70-tá léta): Kerrovo řešení popisuje *všechny* možné rotující ČD
- limitní rotace: horizont rotuje maximálně, rychlosťí c , pro Slunce $62 \mu\text{s}$, jinak horizont rozmetán
- Roger Penrose (1969): lze odčerpávat rotační energii, 48x účinnější než fúze
- rotující nabité ČD může mít i magnetické pole
- Ted Newman (1965): obecné řešení nabité černé díry
- ČD může i pulzovat (zvlnění prostoročasu), pulzace stabilní



ČERNÉ DÍRY



● Rotující černá díra má magnetické pole

- Ted Newman (1965): obecné řešení nabité černé díry
- ČD může i pulzovat (zvlnění prostoročasu), pulzace stabilní

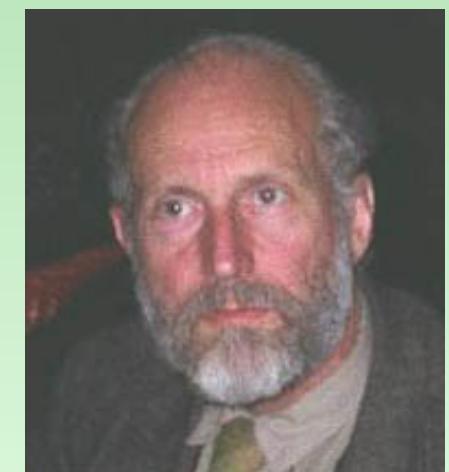
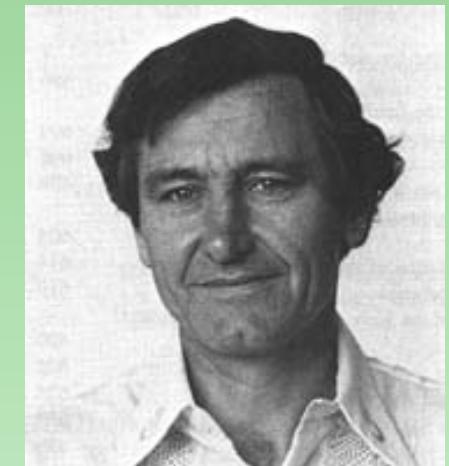
gas v okolí

řešení

černé, rychlostí

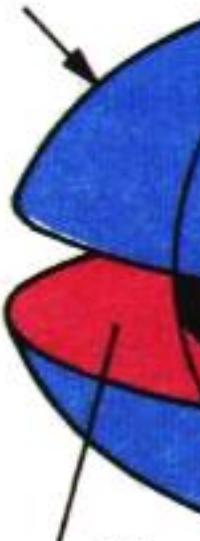
metán

t rotační



NEBULOSY A VÍŘIVÉ DÍRY

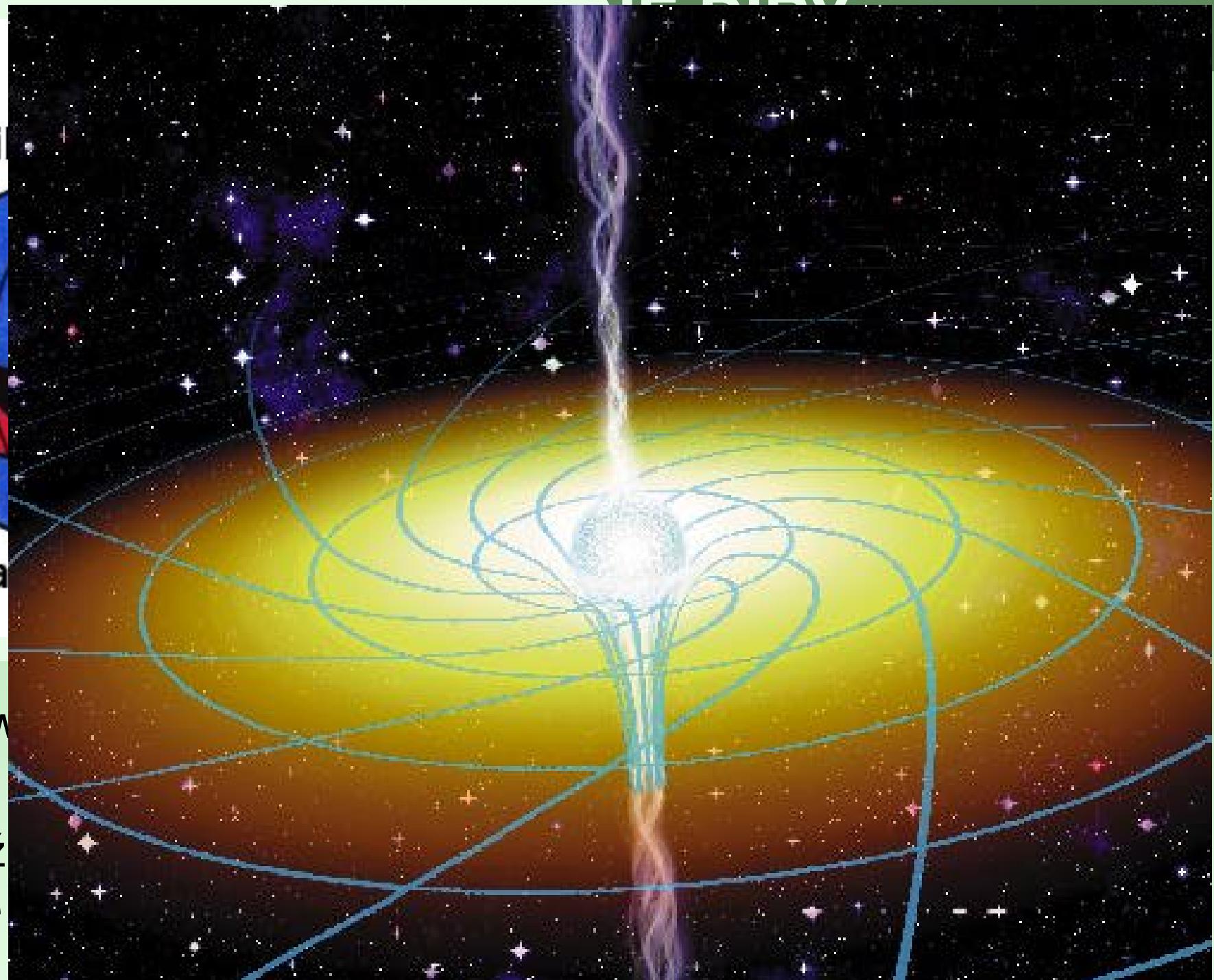
mez stabi



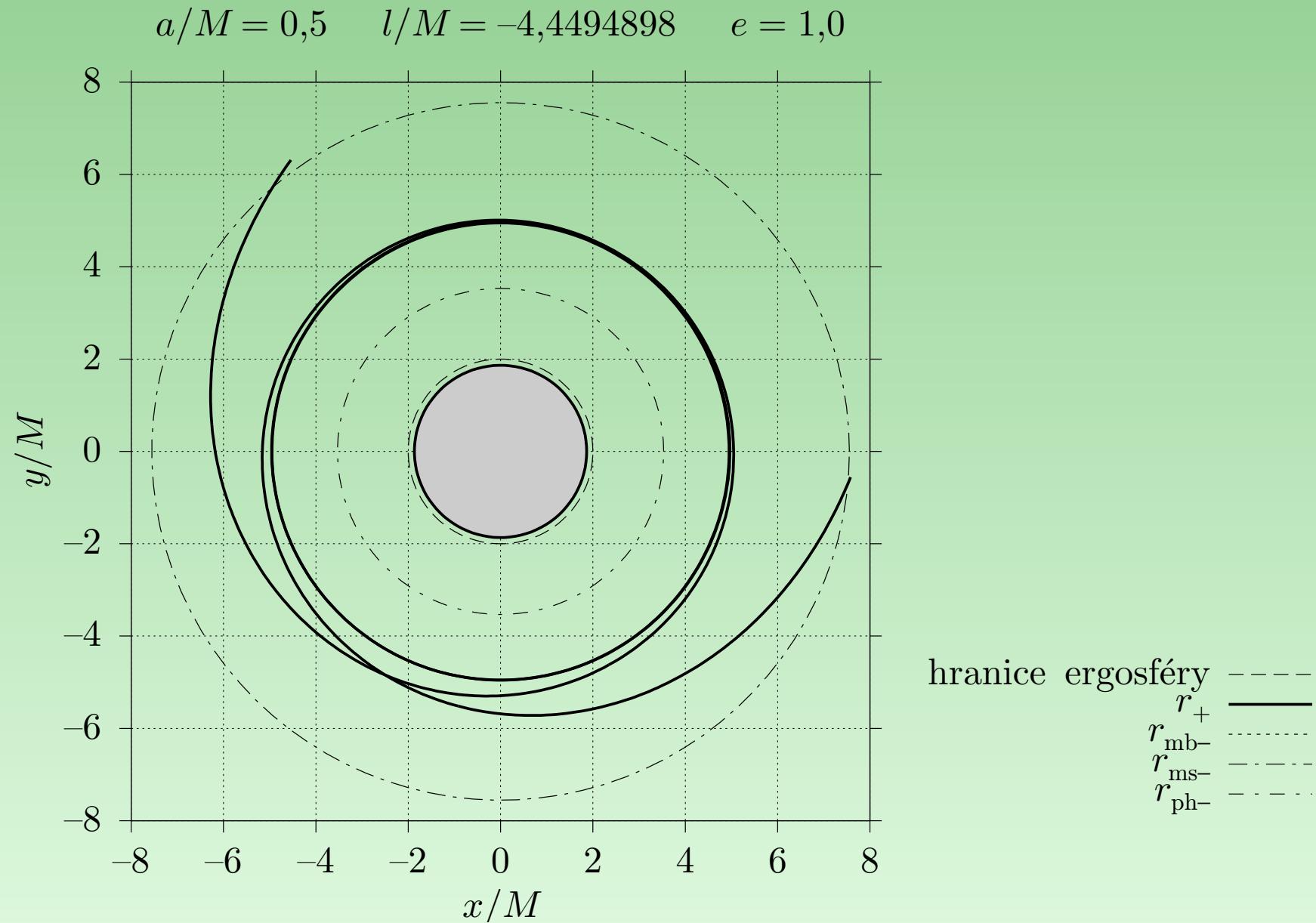
ergosféra

• výstřely

- Ted New
- díry
- ČD můž
- pulzace

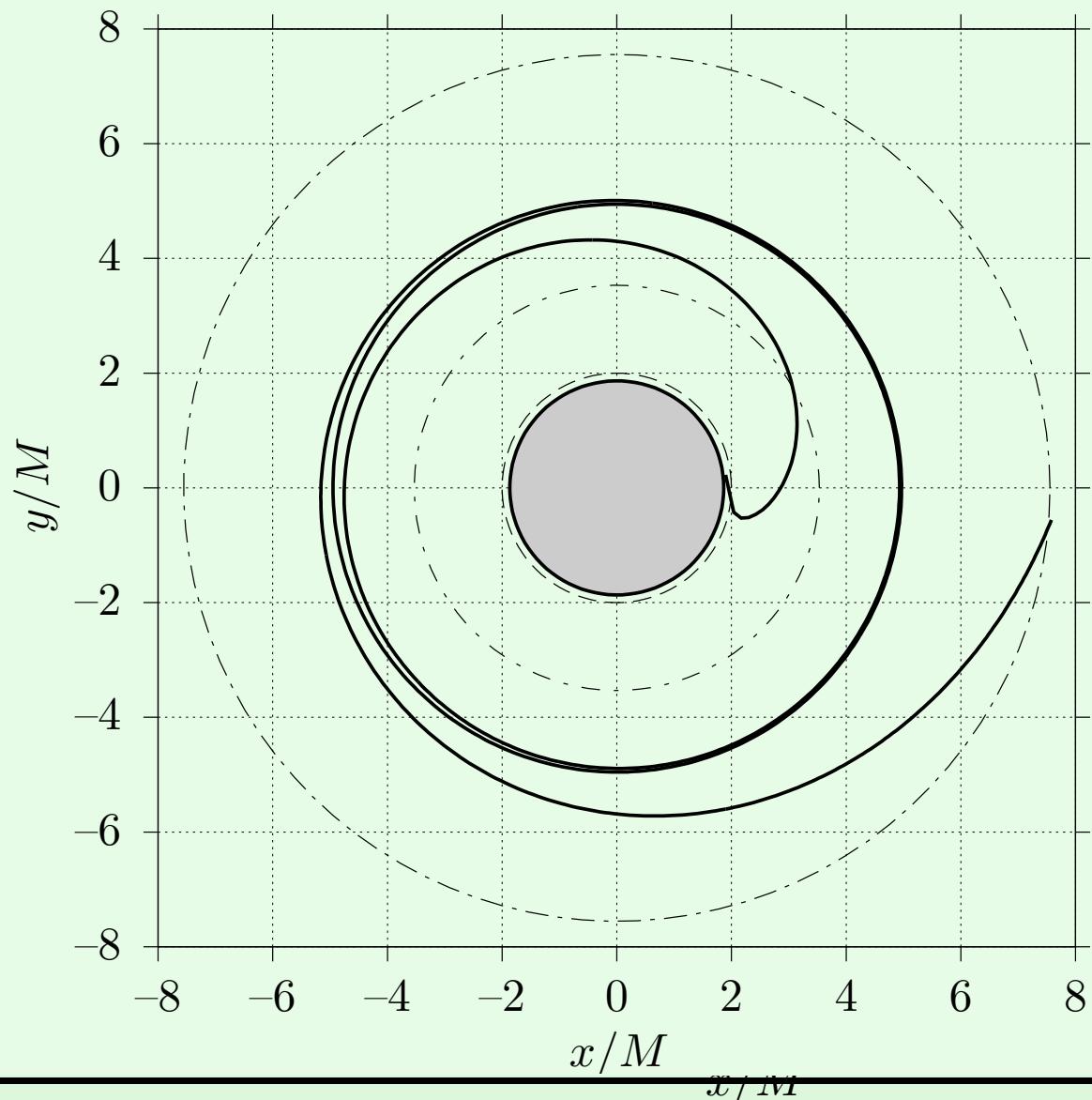


TRAJEKTORIE ČÁSTIC V POLI KERROVY ČD



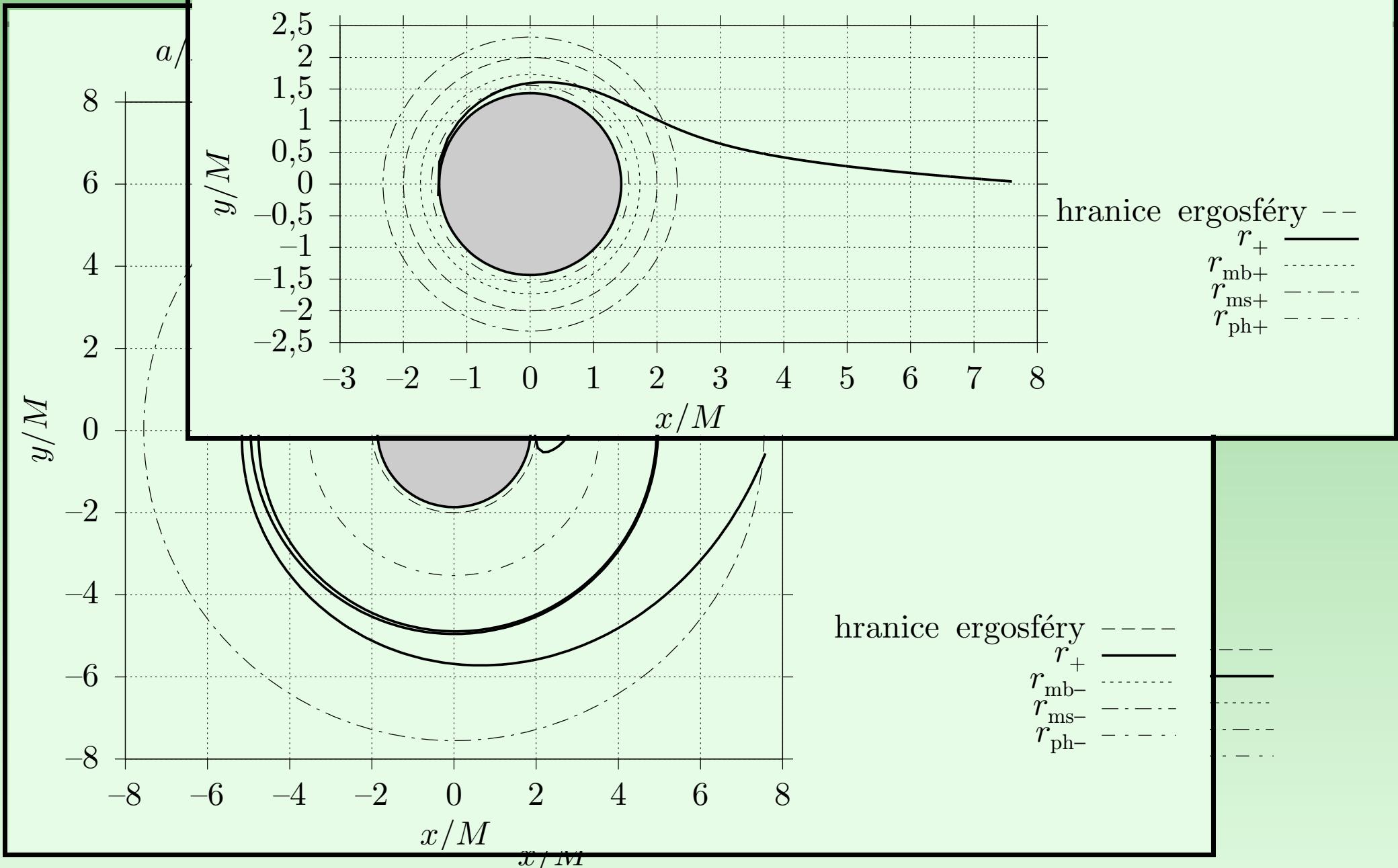
TRAJEKTORIE ČÁSTIC V POLI KERROVY ČD

$$a/M = 0,5 \quad l/M = -4,449489 \quad e = 1,0$$



hranice ergosféry
 r_+
 r_{mb-}
 r_{ms-}
 r_{ph-}

TRAJ



TRAJ

$$a/M = 0,9 \quad l/M = 0 \quad e = 1,0$$

 a/M 2,5
2

$$a/M = 0,9 \quad l/M = 2,5039 \quad e = 0,96$$

2,5

2

1,5

1

0,5

0

-0,5

-1

-1,5

-2

-2,5

 y/M

-2,5

-2

-1,5

-1

-0,5

0

0,5

1

1,5

2

 x/M

gosféry --
 r_+ —
 r_{mb+} - - -
 r_{ms+} - - - -
 r_{ph+} - - - - -

hranice ergosféry

r_+ —
 r_{mb+} - - -
 r_{ms+} - - - -
 r_{ph+} - - - - -

TRAJ

$a/M = 0,9$ $l/M = 0$ $e = 1,0$

a/M

2,5
2

$a/M = 0,95$ $l/M = -4,244045$ $e = 0,96$

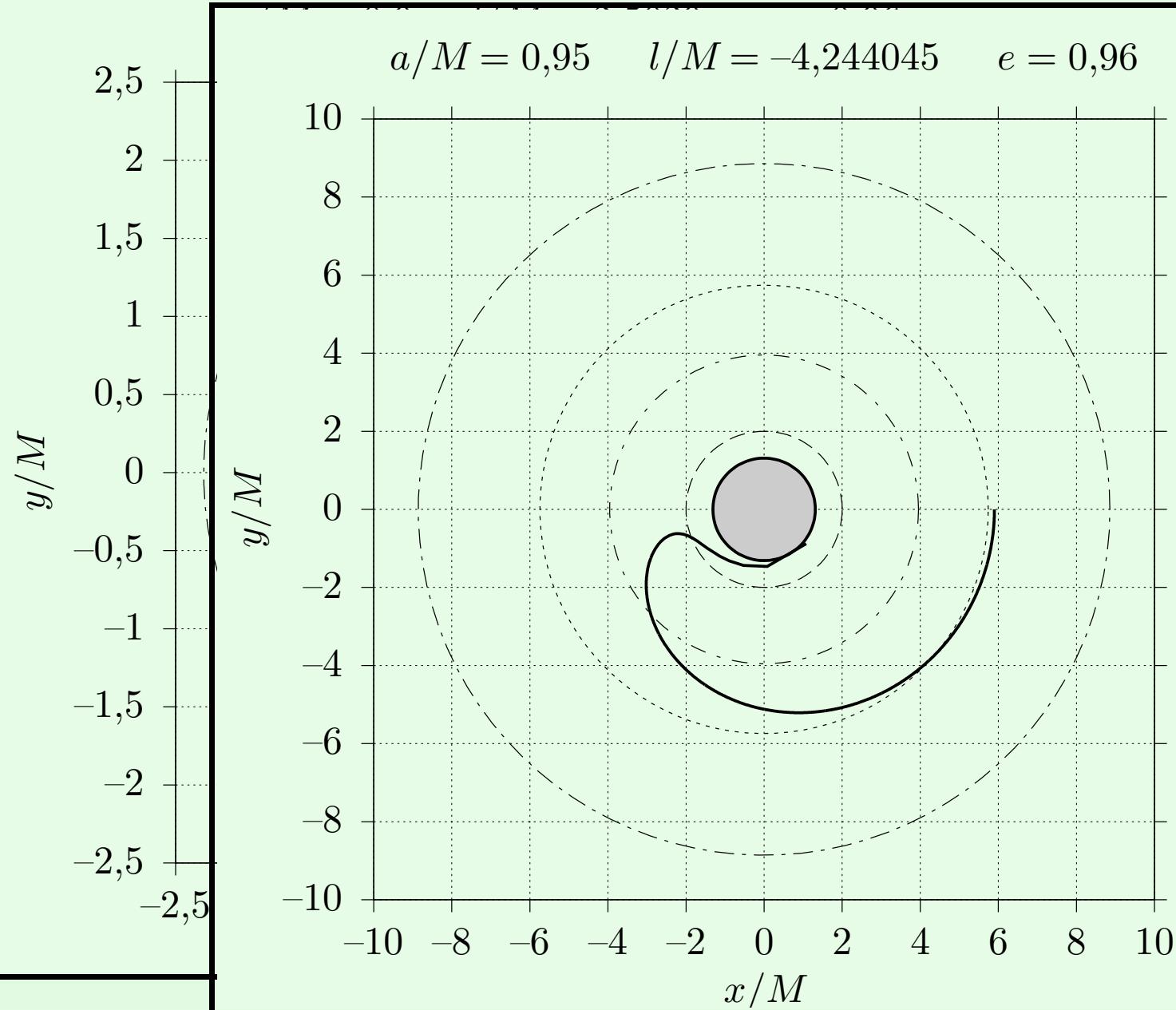
y/M

2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-1
-1,5
-2
-2,5
-3

-10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10

x/M

hranice ergosféry
 r_+ —
 r_{mb} - - -
 r_{ms} - - -
 r_{ph} - - -

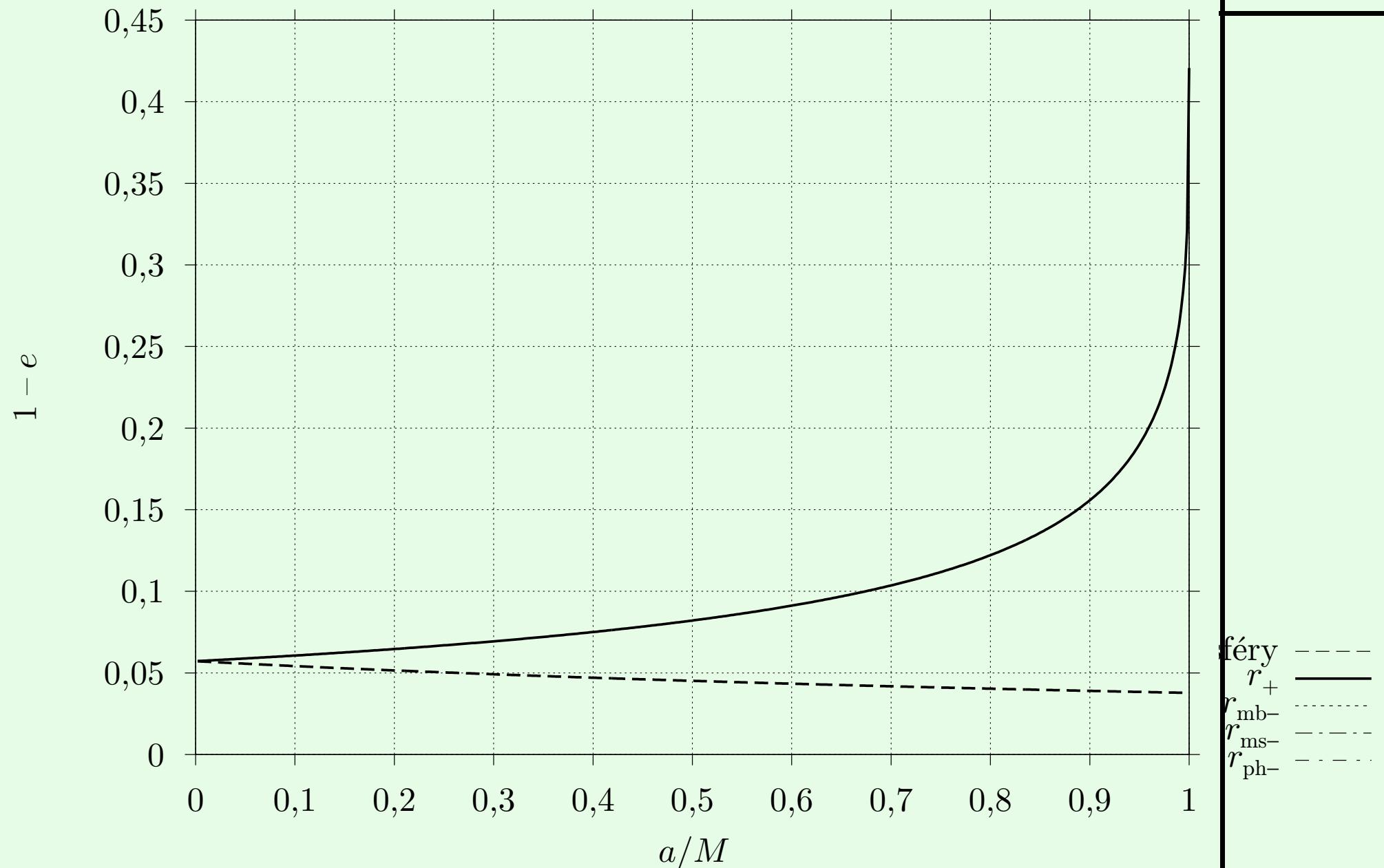


TRAJ

$$a/M = 0,9 \quad l/M = 0 \quad e = 1,0$$

a/l

2,5
2



PÁTRÁNÍ VE VESMÍRU

- ČD o obvodu 50 km ve vzdálenosti 4 ly pod úhlem $10^{-7}''$ (vlas z Měsíce); izolovanou ČD nezaznamenáme ani jako gr. čočku
- Zeldovič a Novikov, Salpeter (1964): okolí ČD v binárních systémech zdrojem RTG záření
- Ricardo Giacconi – NC 2002, Uhuru (1970), Einstein (1978), Chandra (1999)
- Cygnus X-1: hvězda $20 - 35 M_{\odot}$ a průvodce HDE226868 min. $6 M_{\odot}$, 6 000 ly, 2. nejjasnější RTG zdroj
- RXJ1242: rozmetání hvězdy v souhvězdí Panny, 700 miliónů ly



Chandra



XMM-Newton

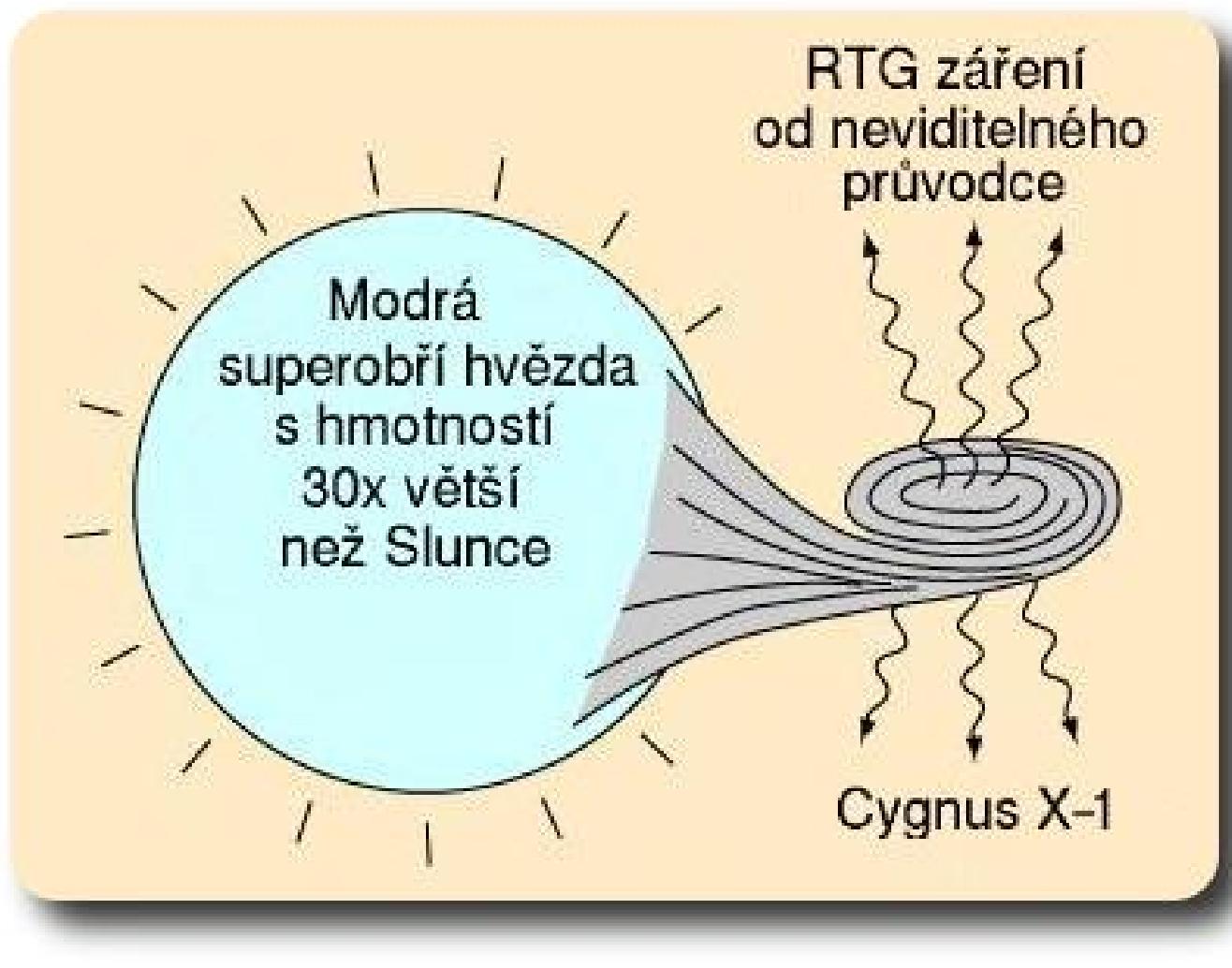
PÁTRÁNÍ V

- ČD o obvodu 50 km ve vzdálenosti úhlem $10^{-7}''$ (vlas z Měsíce); i když nezaznamenáme ani jako gr. číslo
- Zeldovič a Novikov, Salpeter (1959) – v binárních systémech zdrojem
- Ricardo Giacconi – NC 2002, UHETE Einstein (1978), Chandra (1999)
- Cygnus X-1: hvězda $20 - 35 M_{\odot}$, HDE226868 min. $6 M_{\odot}$, 6 000 ly, 2. nejjasnější RTG zdroj
- RXJ1242: rozmetání hvězdy v souhvězdí Panny, 700 miliónů ly



XMM-Newton

PÍTRÁNÍ



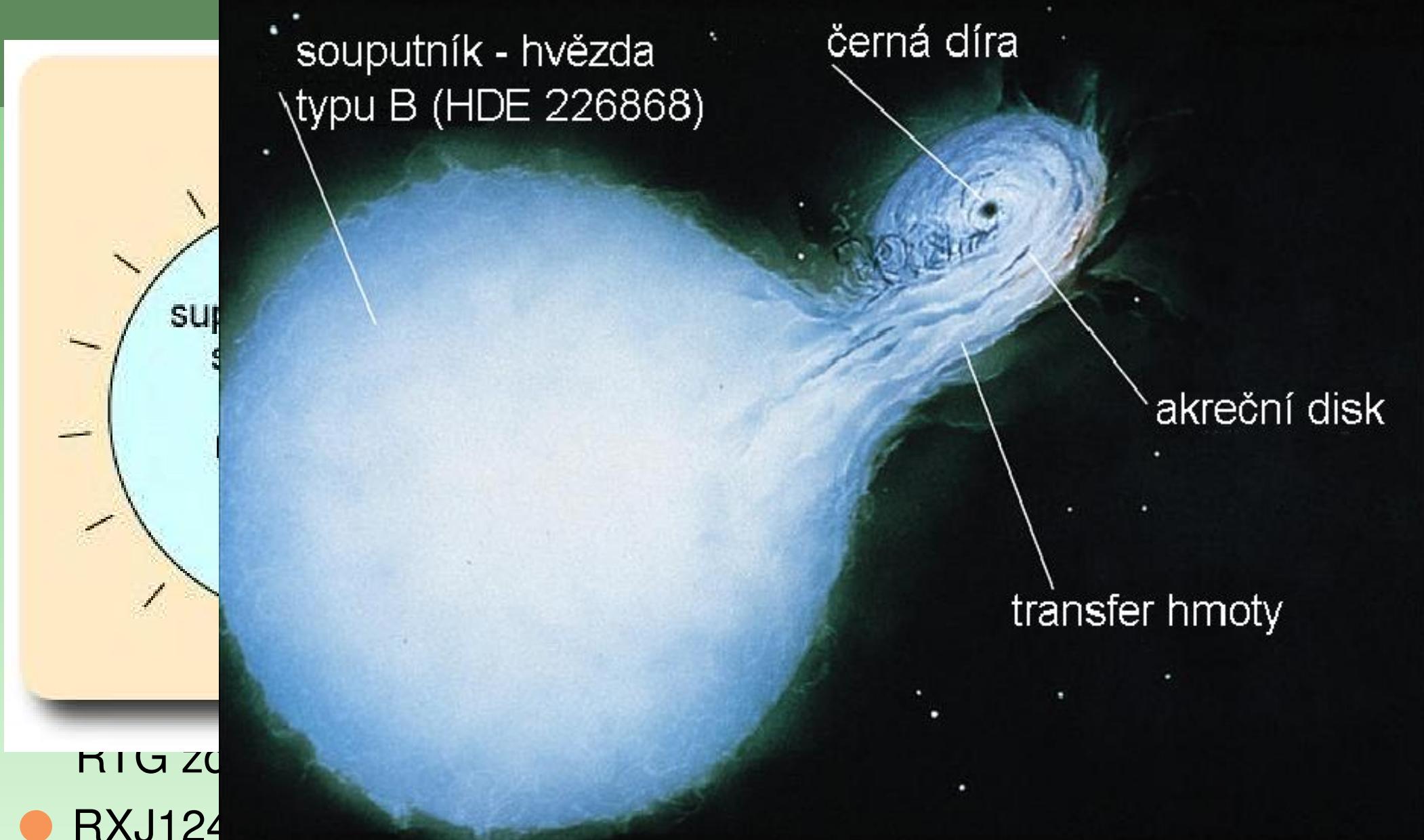
ejší

RTG zároj

- RXJ1242: rozmetání hvězdy v souhvězdí Panny, 700 miliónů ly



XMM-Newton



RIG ZO

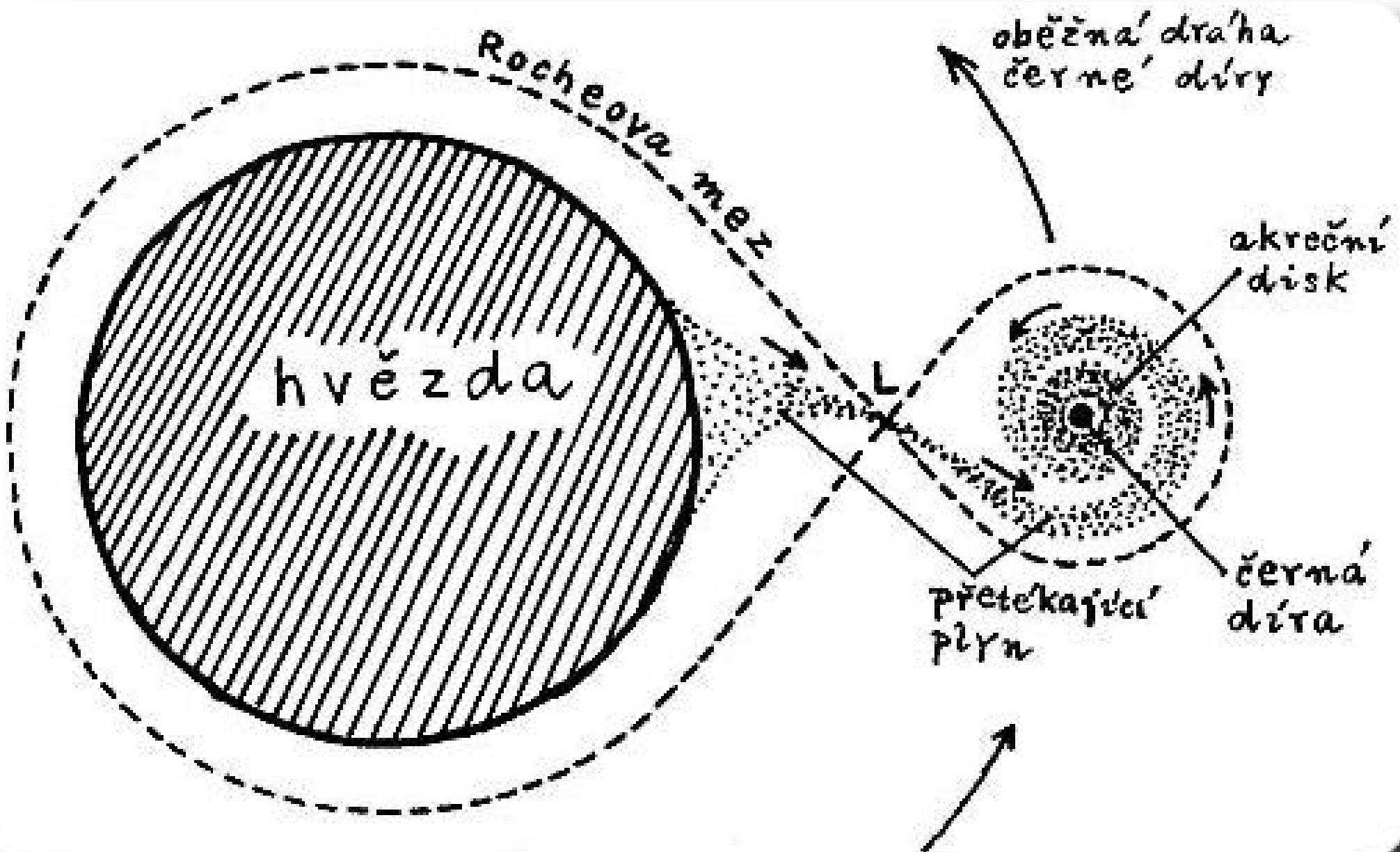
● RXJ124

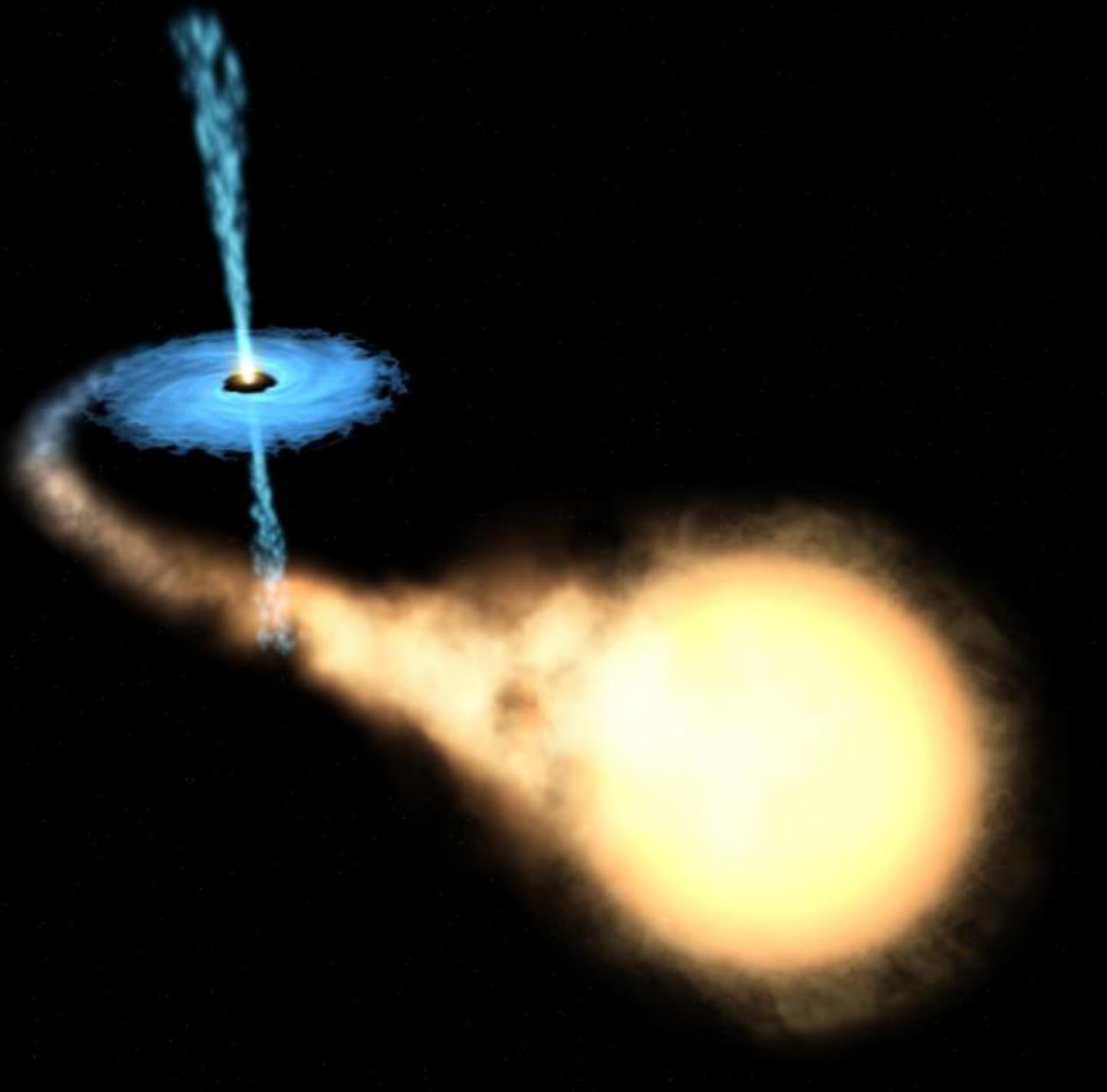
Panny, 700 miliónů ly

XMM-Newton

souputník - hvězda

černá díra

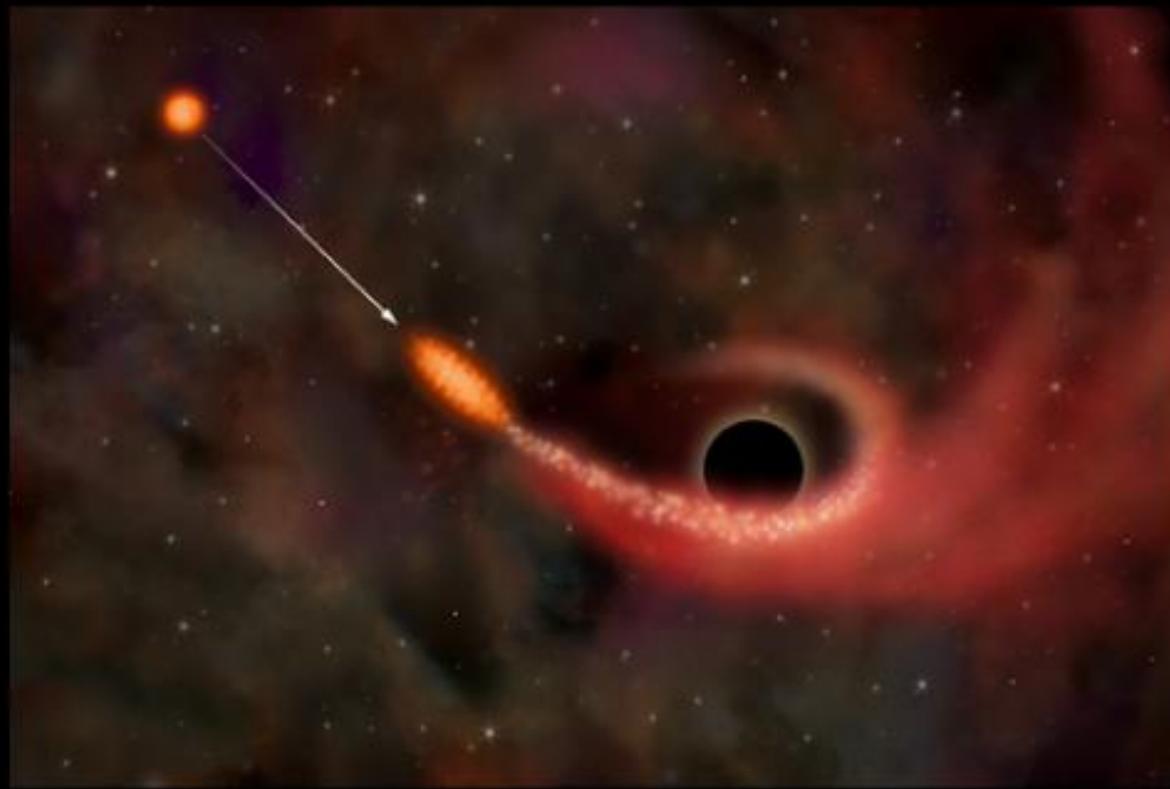
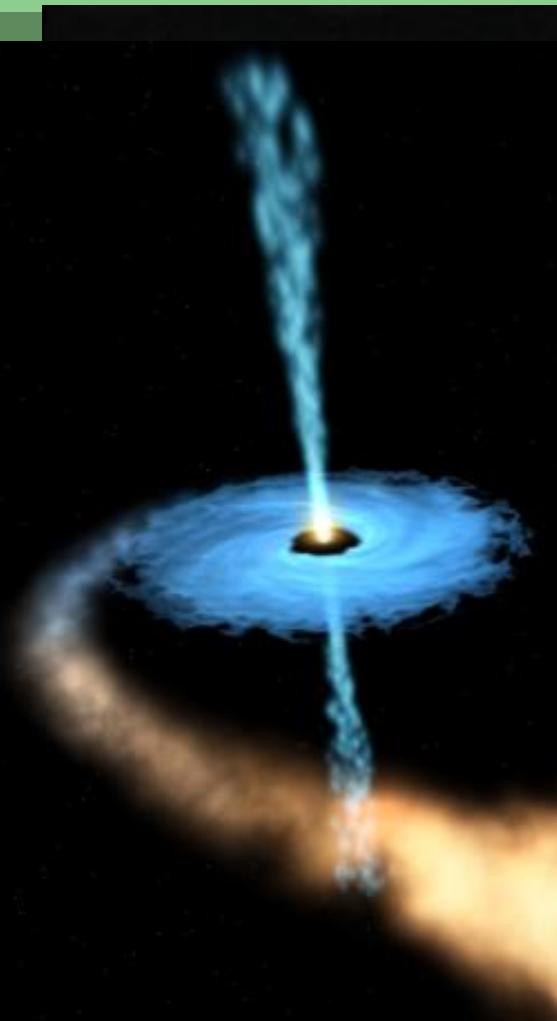




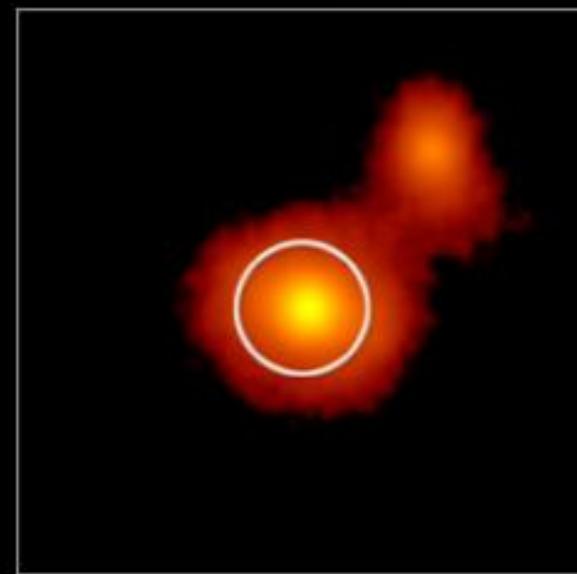
černá
díra

akreční
disk

černá
díra



CHANDRA X-RAY

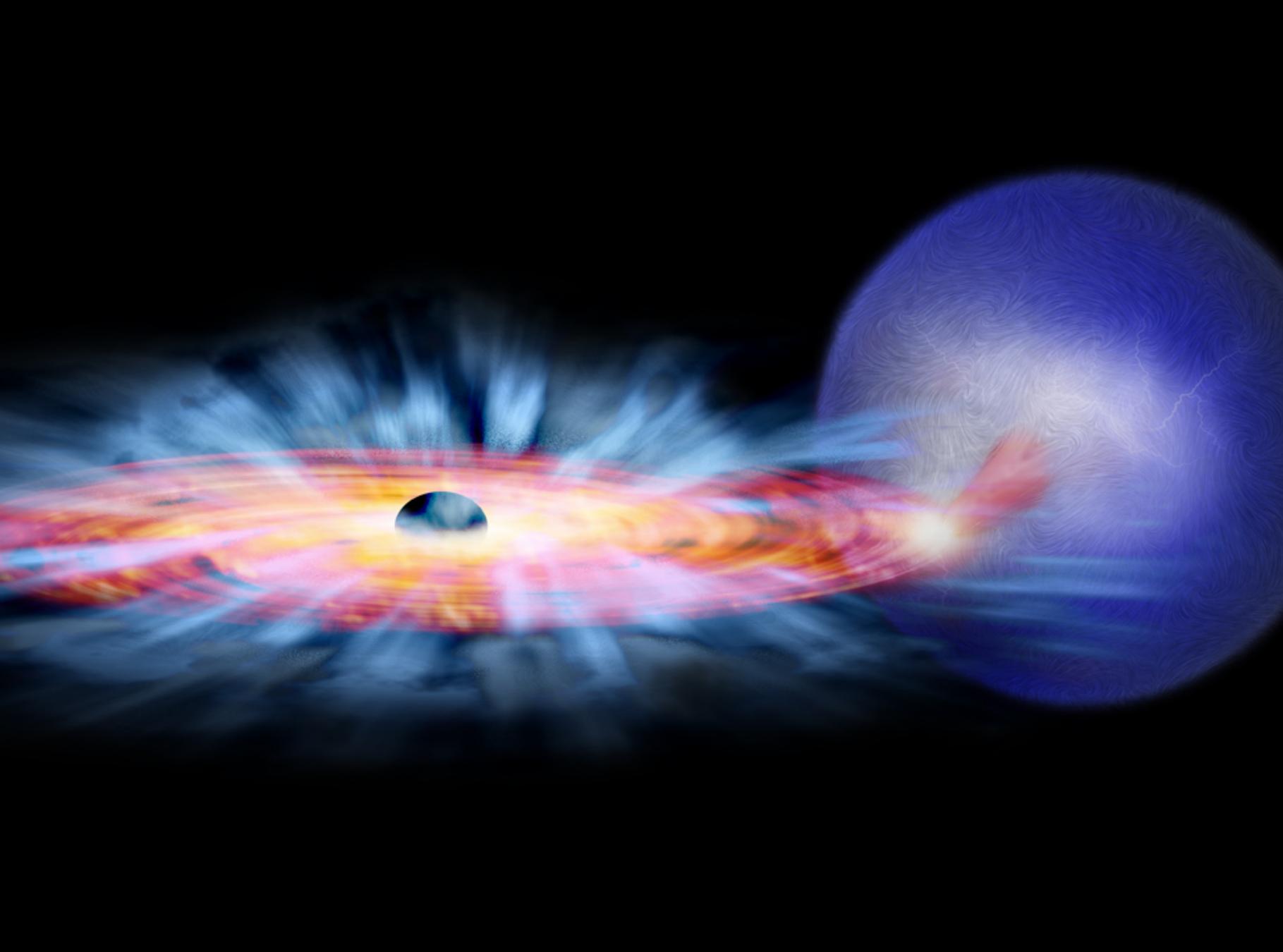


ESO OPTICAL

MAGNETICKÁ AKRECE

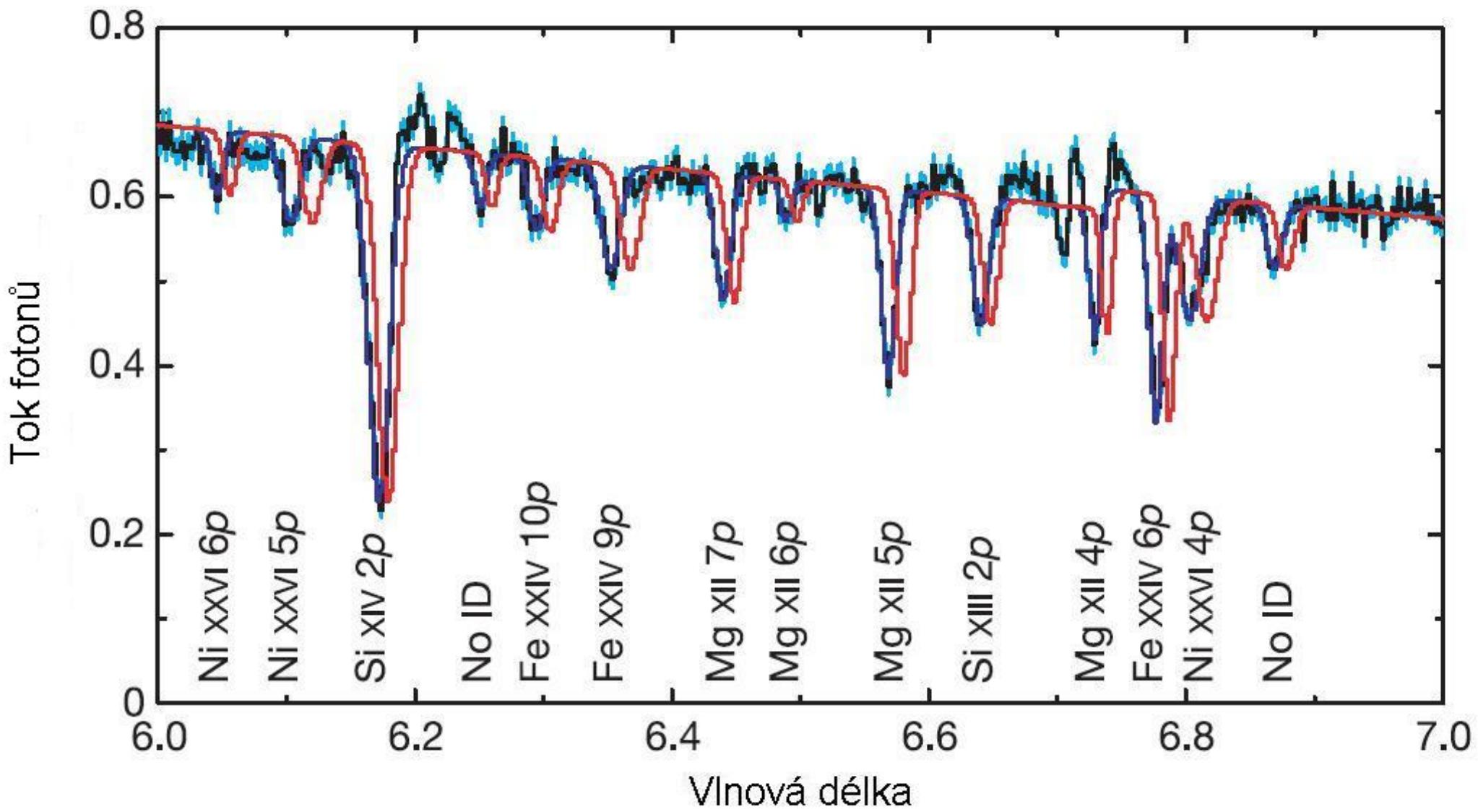
Nevyřešené problémy:

- přeměna mechanické energie na teplo
- přesunu momentu hybnosti od vnitřních částí akrečního disku směrem k jeho okrajům
- možný scénář: magnetické síly???
- GRO J1655–40 (květen 2005 Chandra X-ray), dvojhvězda vzdálená 3,2 kpc, ČD ($7M_{\odot}$) a hvězda ($2,3M_{\odot}$) obíhají s periodou 2,6 dne
- proudy řídkého vysoce ionizovaného plynu tzv. vítr směrem ven, chladný (ne tepelná energie)

A detailed simulation of a black hole's accretion disk and surrounding plasma. A central black sphere represents the black hole, from which a bright, multi-colored disk of gas and dust extends horizontally. The disk is primarily red and orange, with some yellow and white, indicating high temperatures and density near the center. It is surrounded by a complex, swirling pattern of blue and purple plasma, representing magnetic fields and outflows. The background is a deep black, suggesting the void of space.

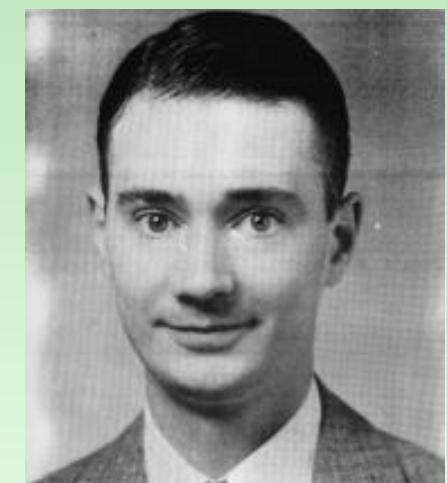
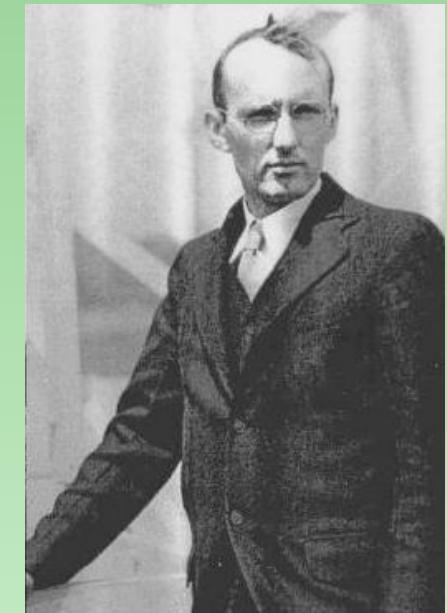
sku smě-

vzdálená
dne
rem ven,



OBŘÍ ČERNÉ DÍRY

- Karl Jansky (1935): rádiový šum z centra Galaxie; dokonce silnější než ze Slunce
- Grote Reber (1939): radioamatér, na dvorku své matky, zdroje Cyg A, Cas A – 1. pozorování černých děr
- 1951: první rádiová galaxie (Ryle, opt. identifikace Baade), záření z gigantických laloků na obou stranách
- Maarten Schmidt (5. 2. 1963): **kvasar** 3C273, $z = 0,16$, velmi daleko, výkon 100× větší než galaxie z prostoru „světelného měsíce“
- nejpravděpodobnější vysvětlení: obrovská rotující černá díra + akreční disk (Donald Lynden-Bell 1969)

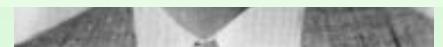
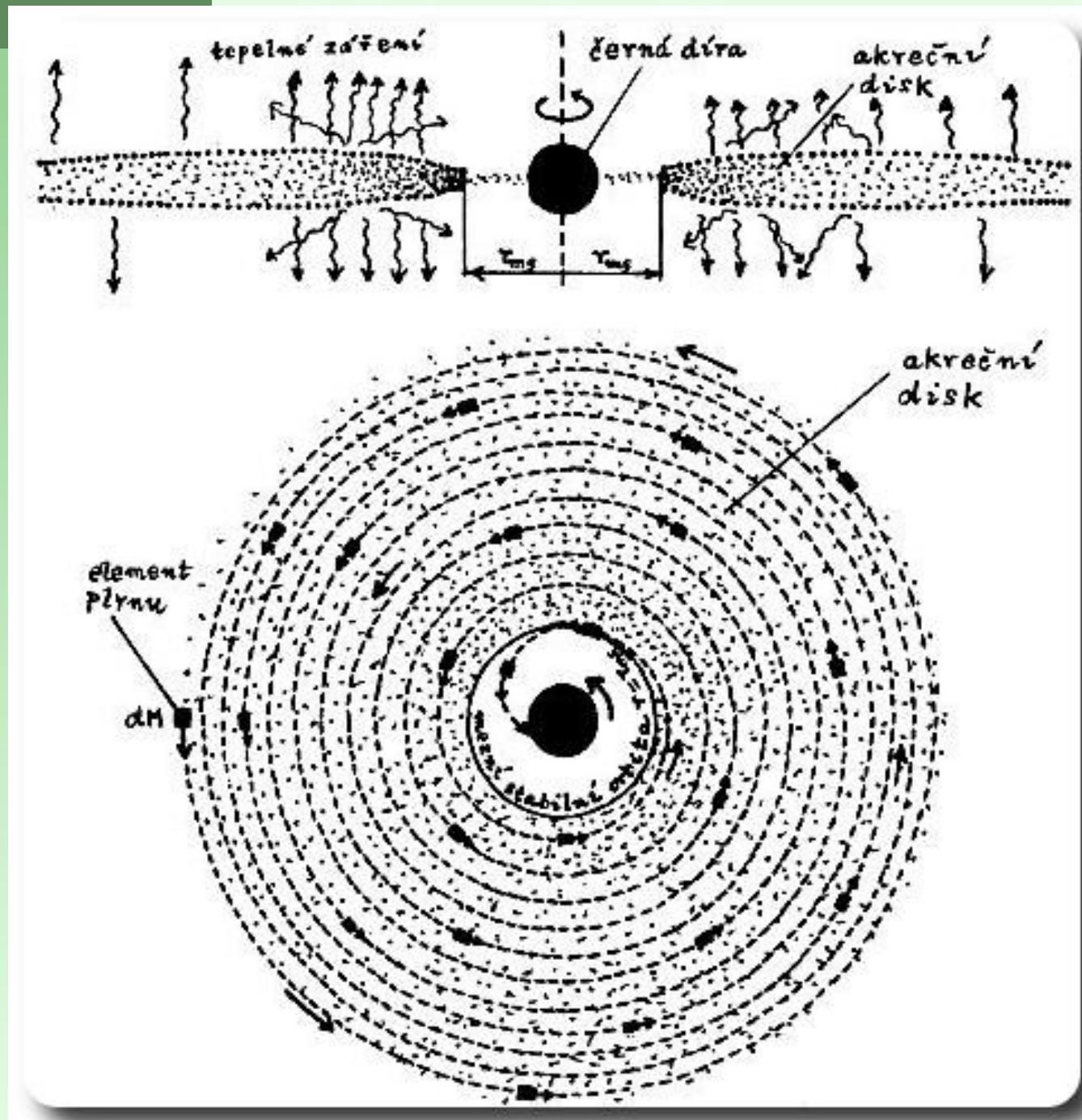


OBŘÍ ČERNÉ DÍRY

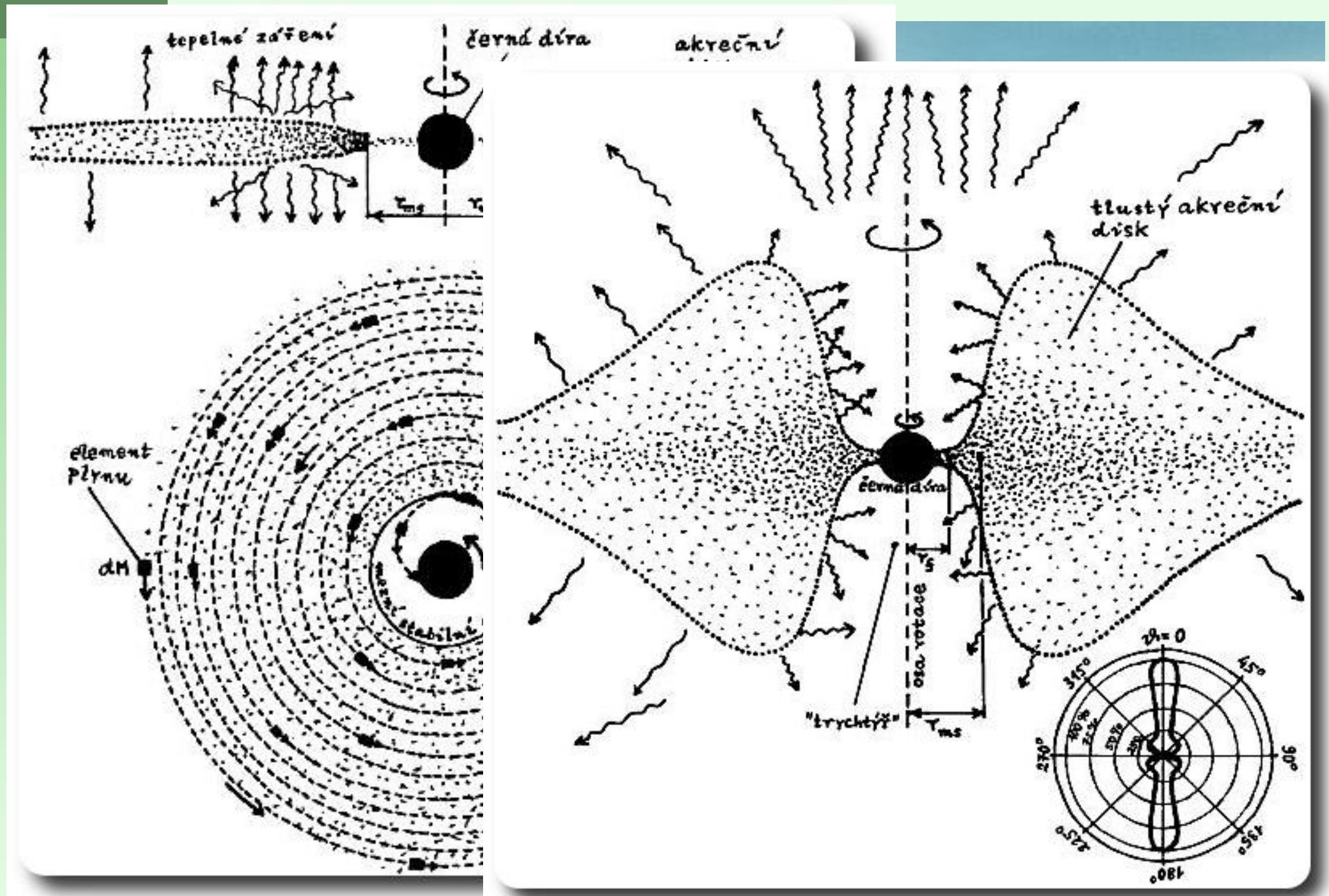
- Karl Jansky (1931) dokončil svůj radioteleskop
- Grote Reber (1951) matkou výzkumu černých díry
- 1951 Baade a Zwicky na straně černé díry
- Maarten Schmidt (1963) $z = 0.1$ vzdálenost galaxie
- nejdokonalejší černá díra (1969)



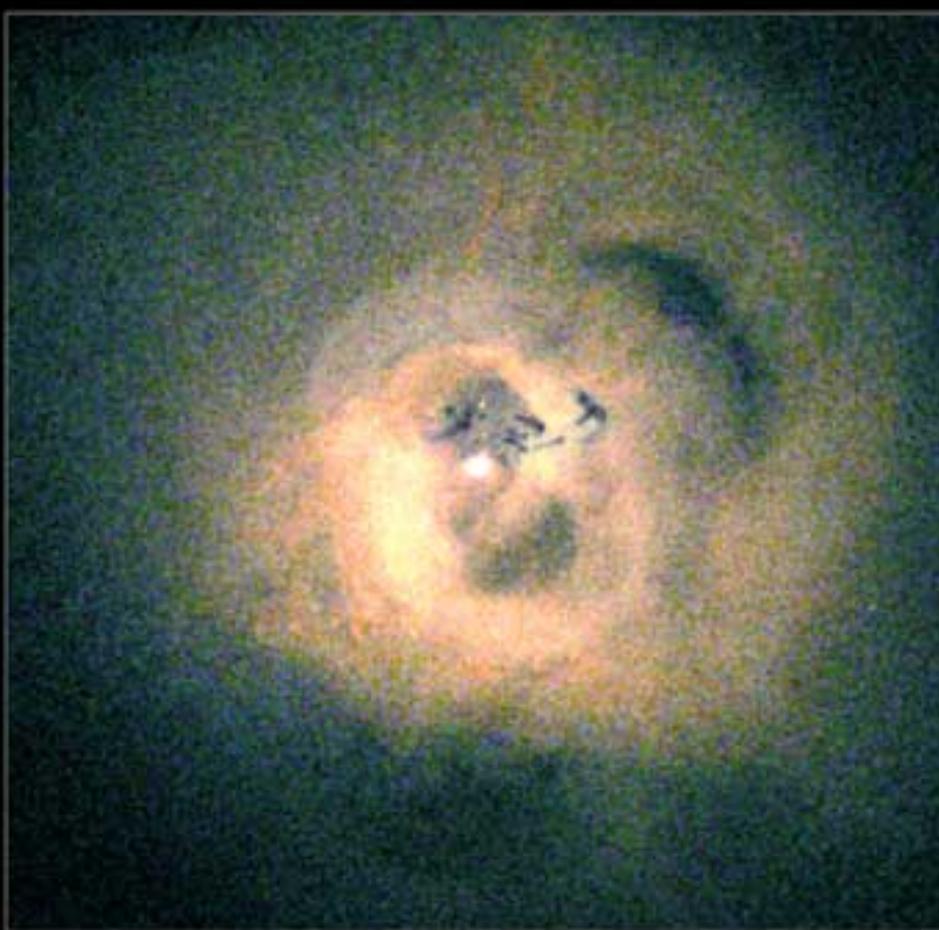
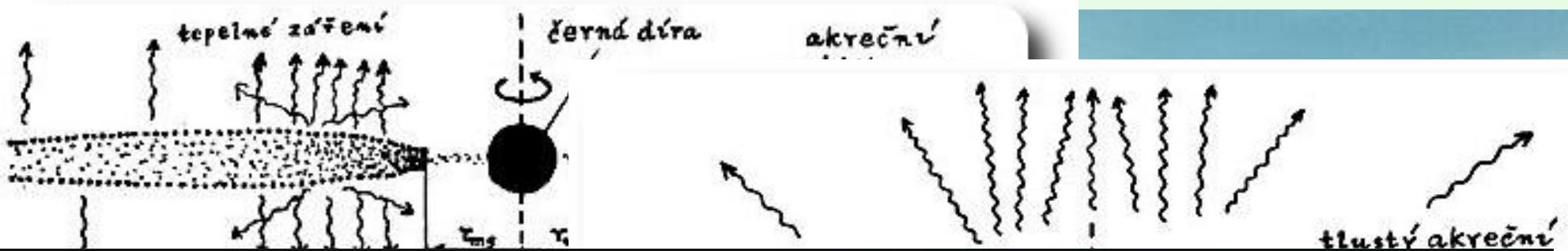
OBŘÍ ČERNÉ DÍBY



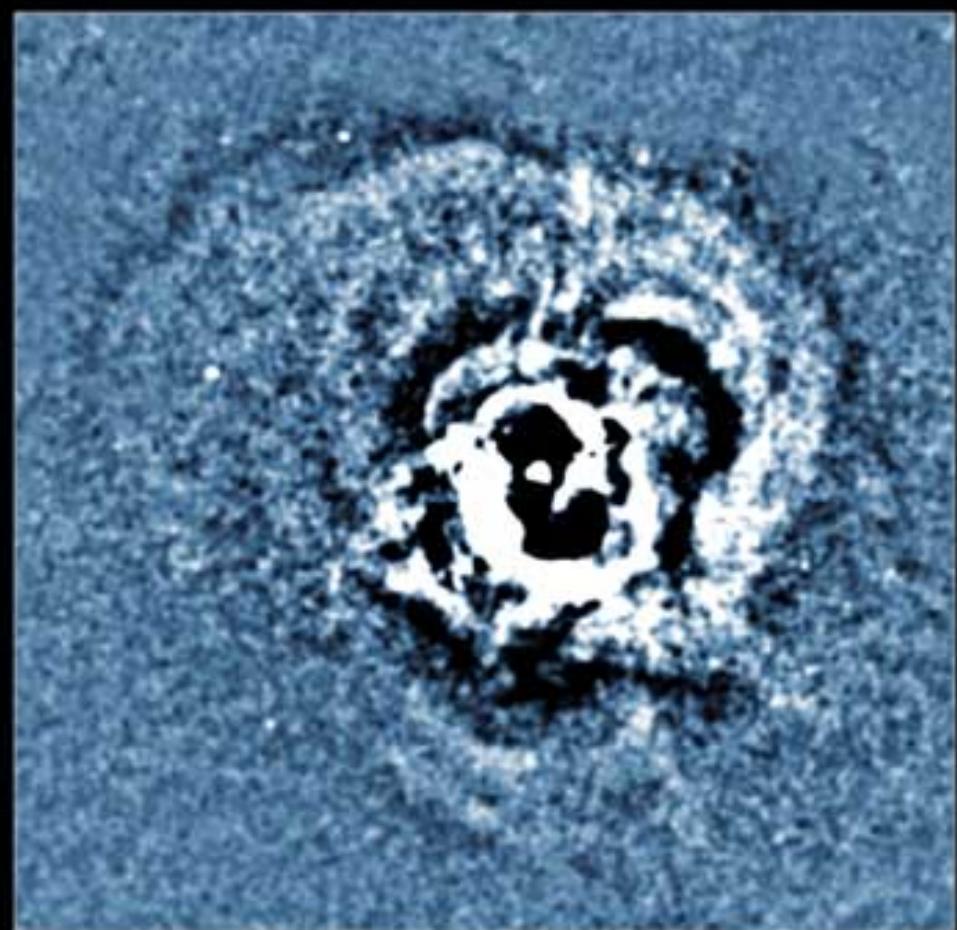
OBŘÍ ČERNÉ DÍBY



OBŘÍ ČERNÉ DÍBY



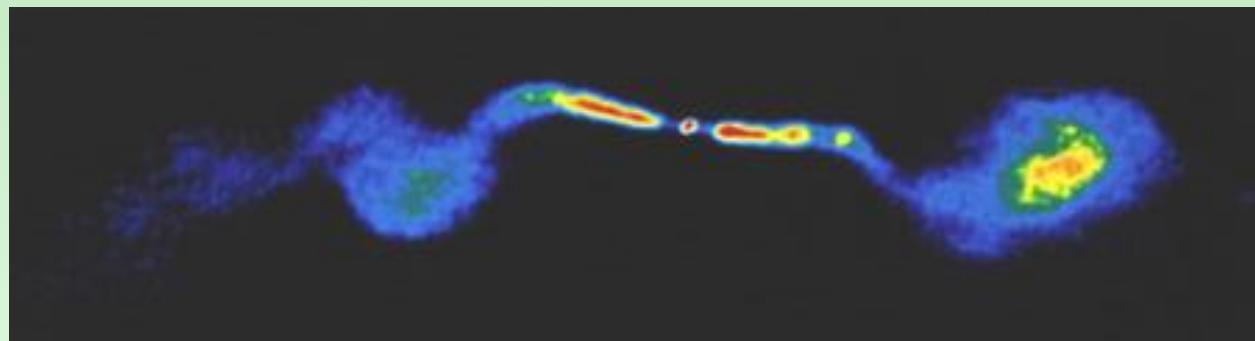
CHANDRA X-RAY [3-COLOR]



CHANDRA X-RAY [SOUND WAVES]

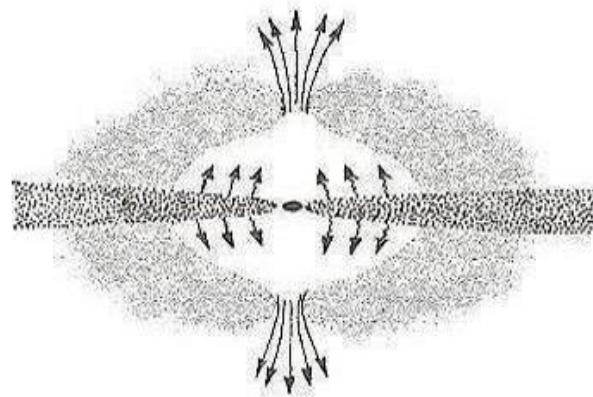
„MOTORY“ V CENTRECH GALAXIÍ

- zdroj energie v akr. disku: **tření**, $\eta \leq 40\%$
- „**krmení**“ roztáčí ČD na maximální otáčky
- vznik výtrysků: **Blandfordův-Znajekův proces**
- **Aktivní galaktická jádra**, u kvazarů intenzivnější „**krmení**“, přezáří okolí; významný vliv rotace
- M87 v Panně: vzdálenost 50 miliónů ly, kolimace 10° na 100 miliónů ly
- v centru naší Galaxie ČD $M = 3 \cdot 10^6 M_\odot$

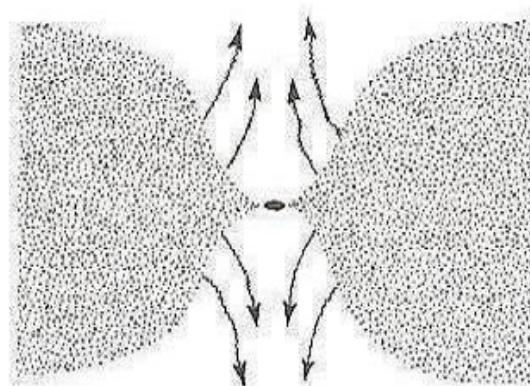


„MOT“

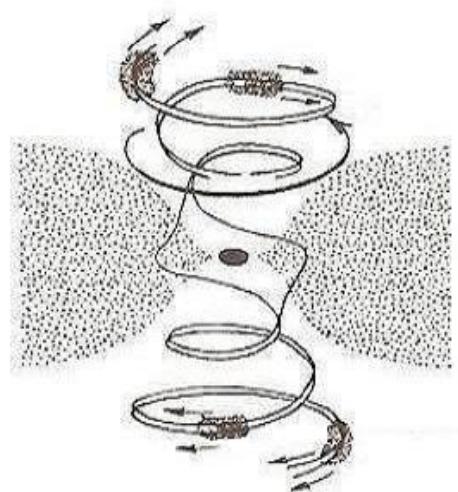
- zdroj energie v galaxii
- „krmení“ roztáčeního disku
- vznik výtrysků: akrecce, expozice
- **Aktivní galaktické jádro**: okolí; významný výtrysk
- M87 v Panně: vzdálenost ~ 100 miliónů ly
- v centru naší Galaxie



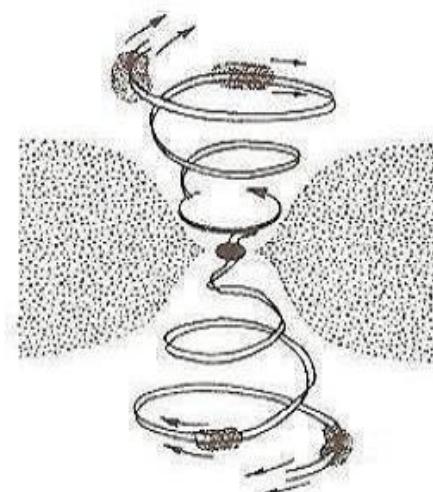
(a)



(b)



(c)



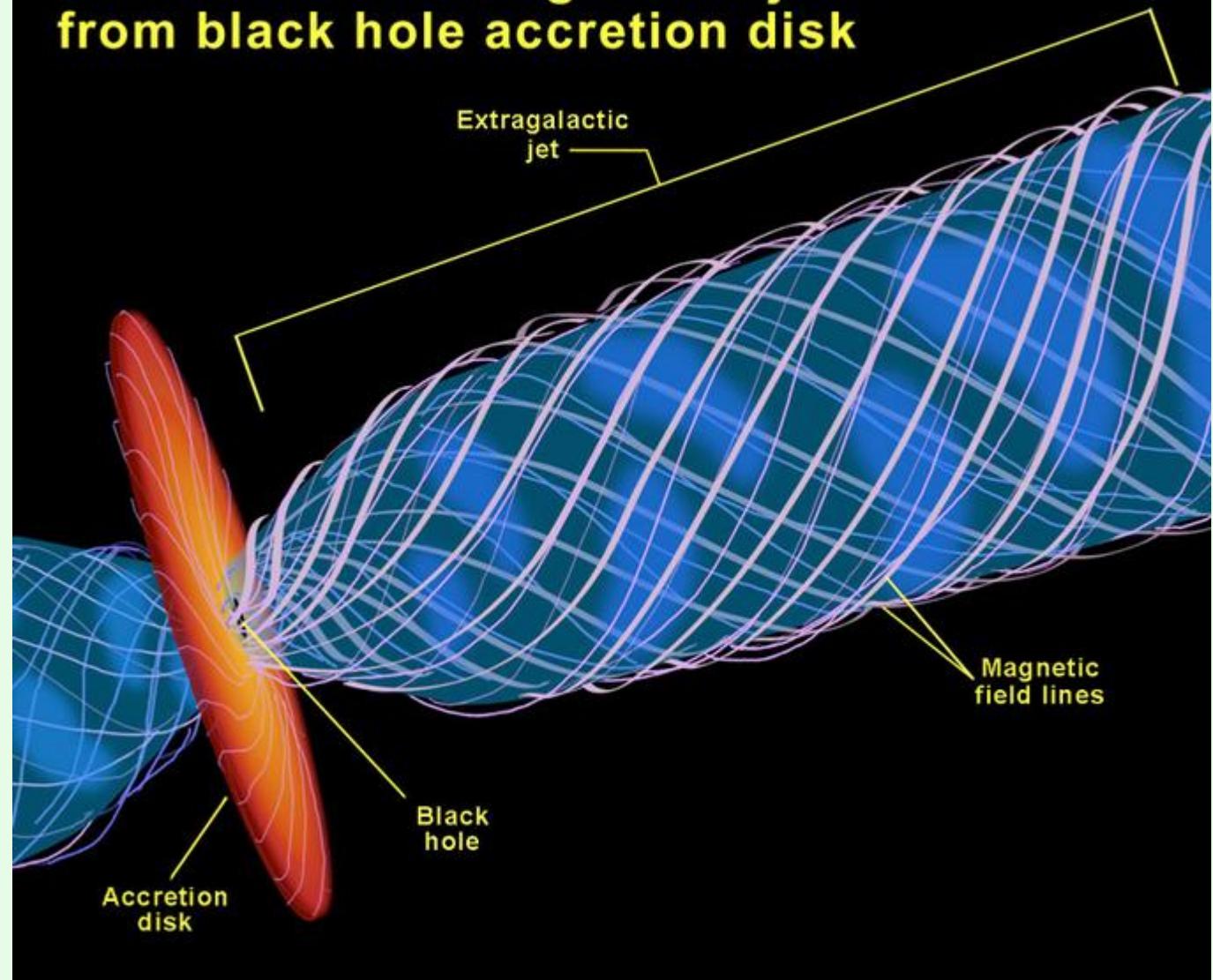
(d)

„MOT“

- zdroj energie v galaxii
- „krmení“ roztáčení materiálu
- vznik výtrysků:
- Aktivní galaktické jádro; okolí; významná vlna
- M87 v Panně: vzdálenost ~100 miliónů ly
- v centru naší Galaxie



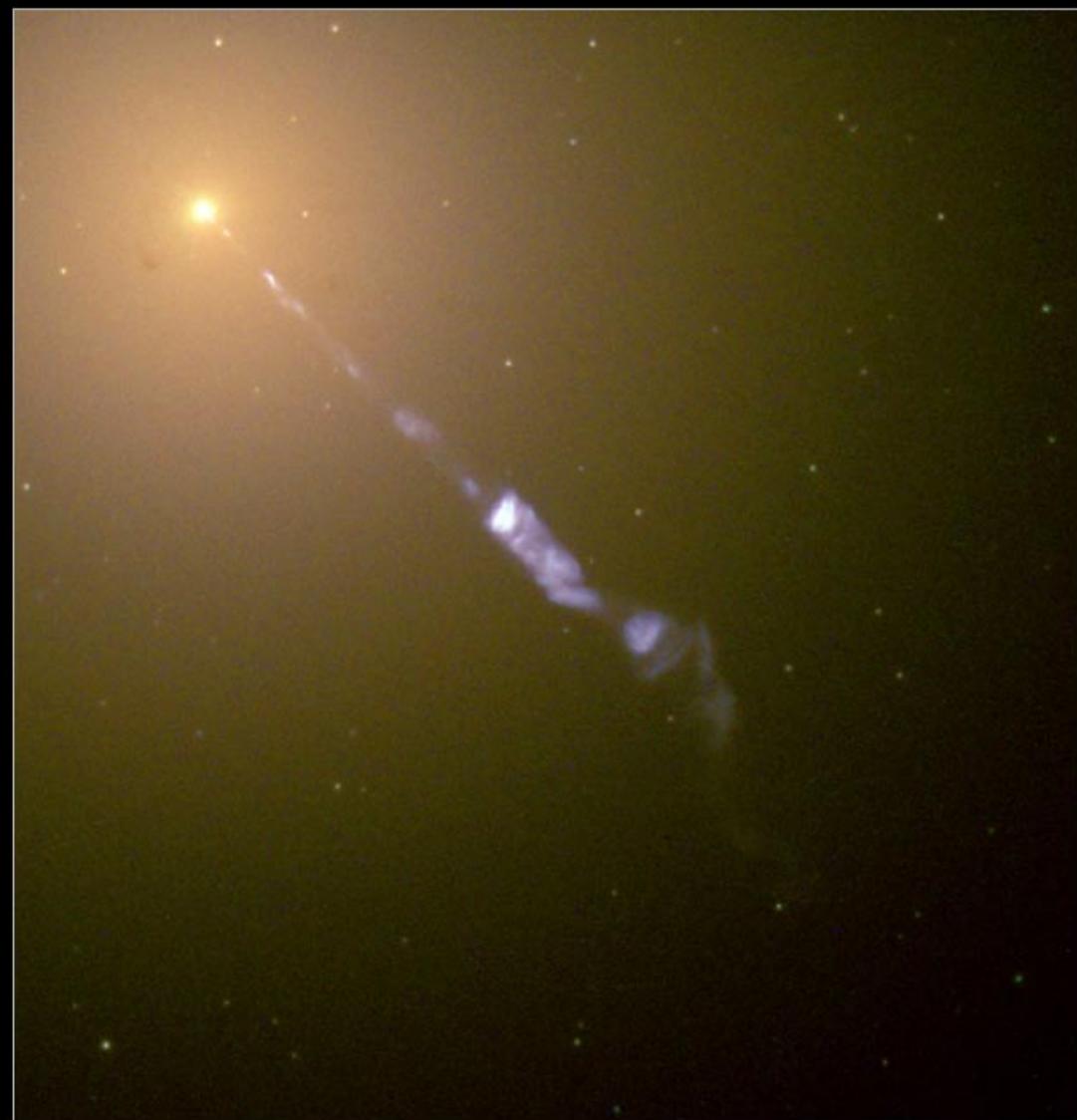
Formation of extragalactic jets from black hole accretion disk



(c)

(d)

The M87 Jet



Hubble
Heritage

extragalactic jets from accretion disk

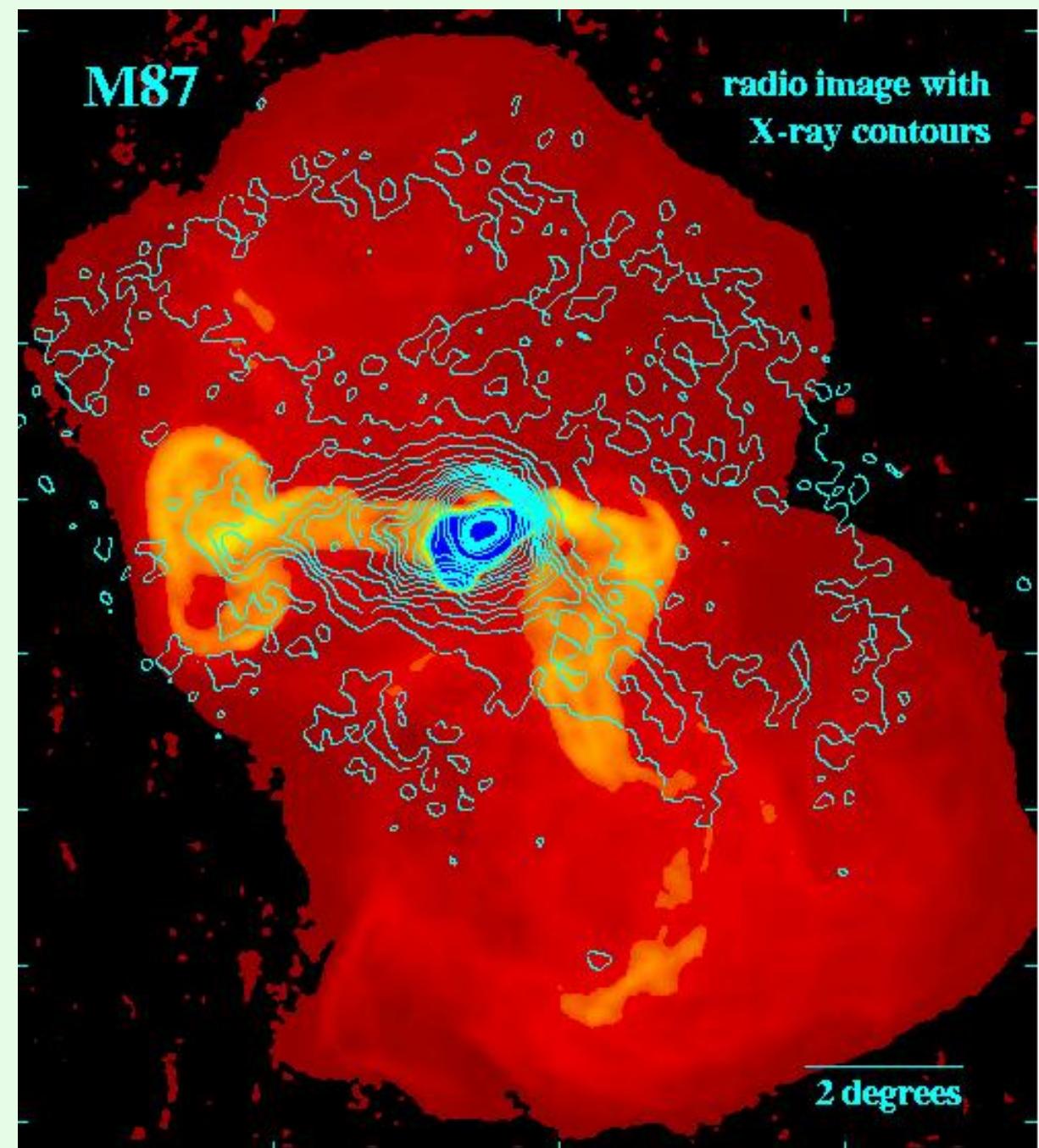
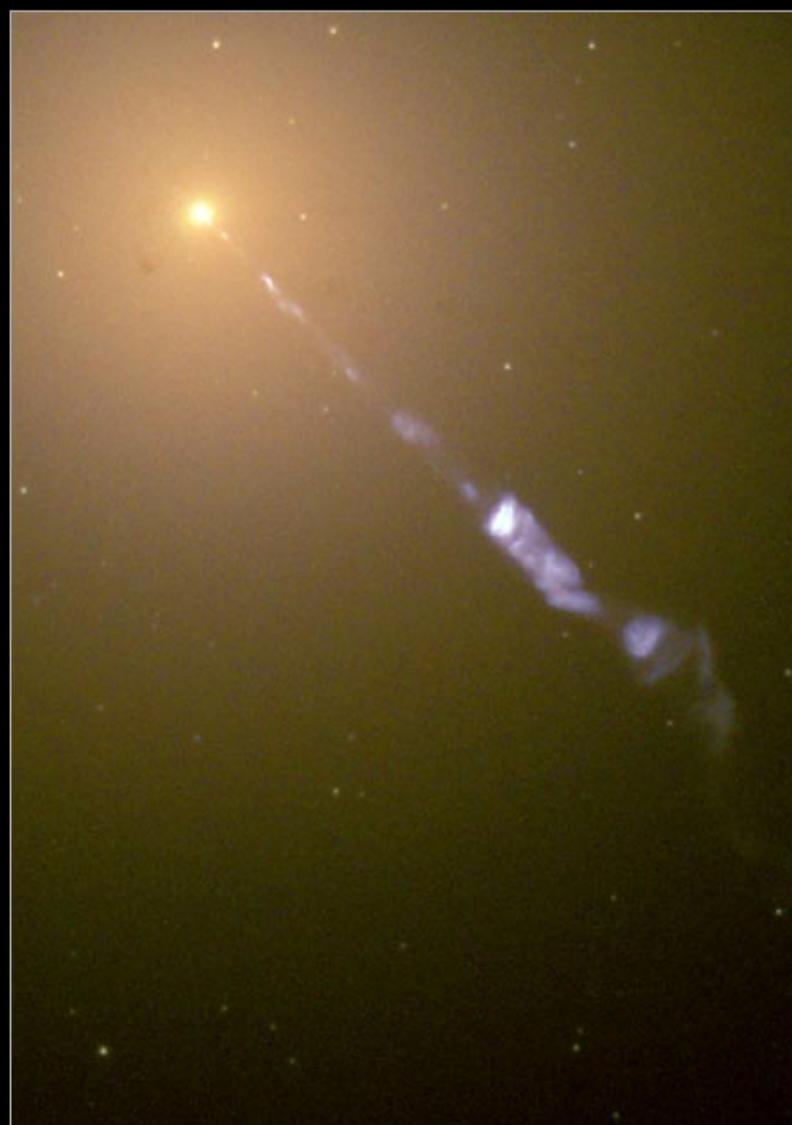
Extragalactic
jet

Black
hole

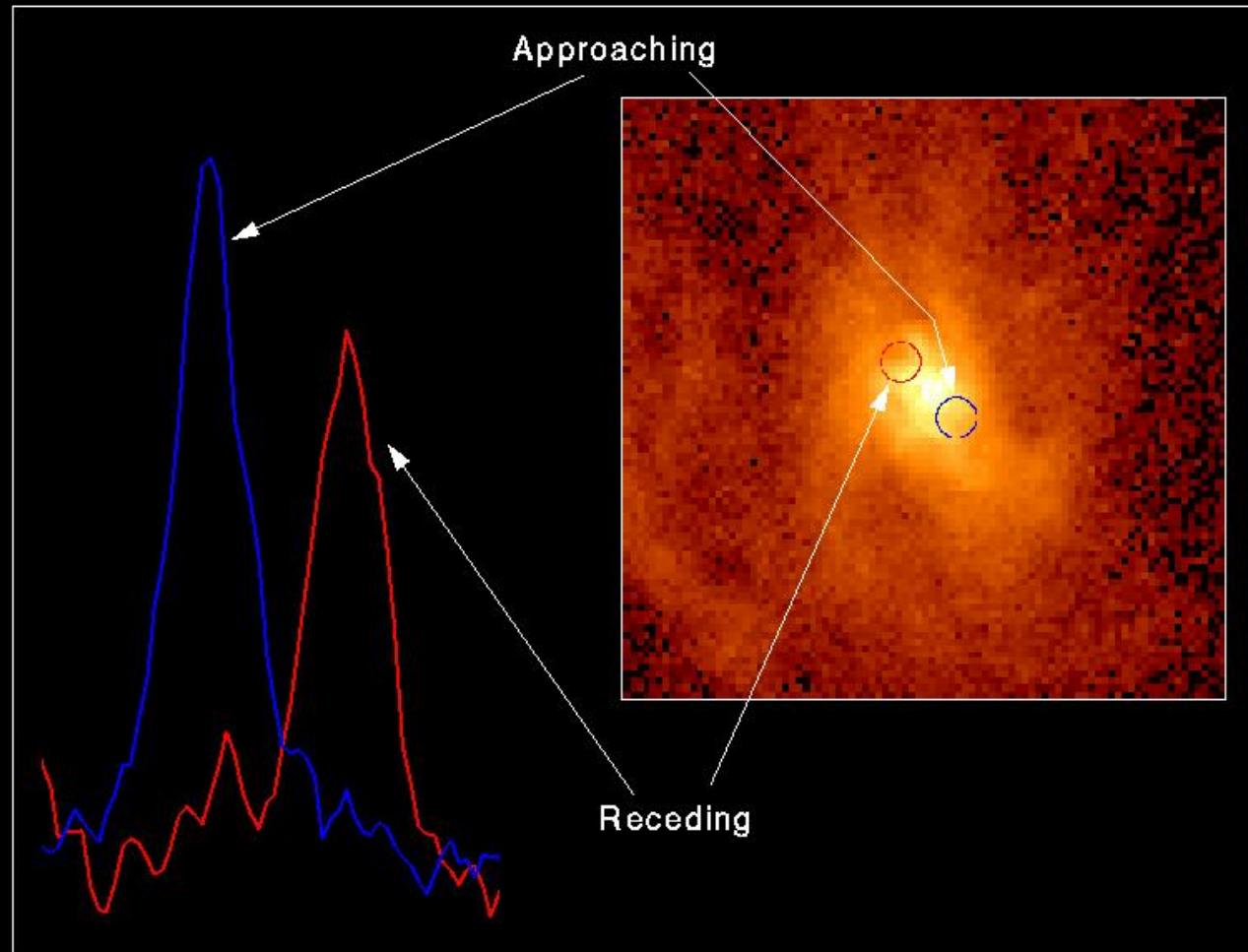
Magnetic
field lines

(d)

The M87 Jet



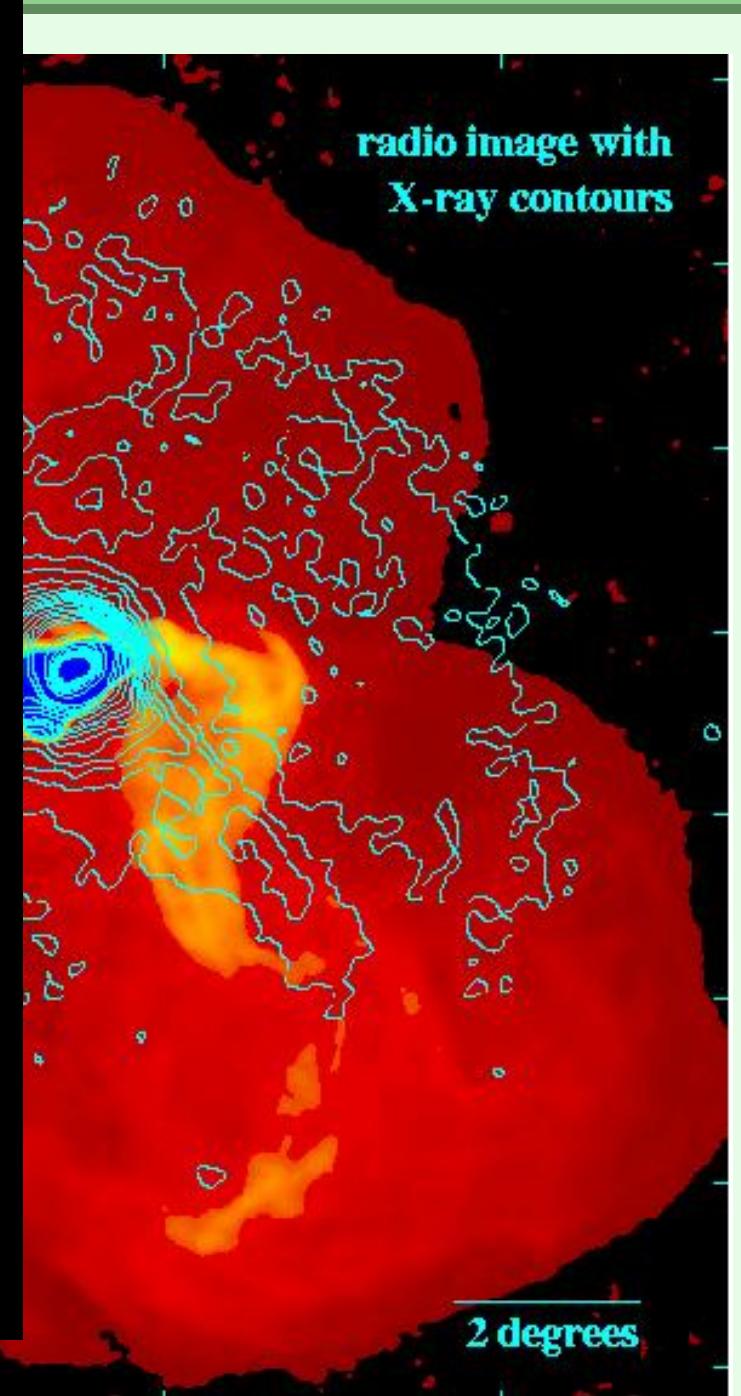
Spectrum of Gas Disk in Active Galaxy M87



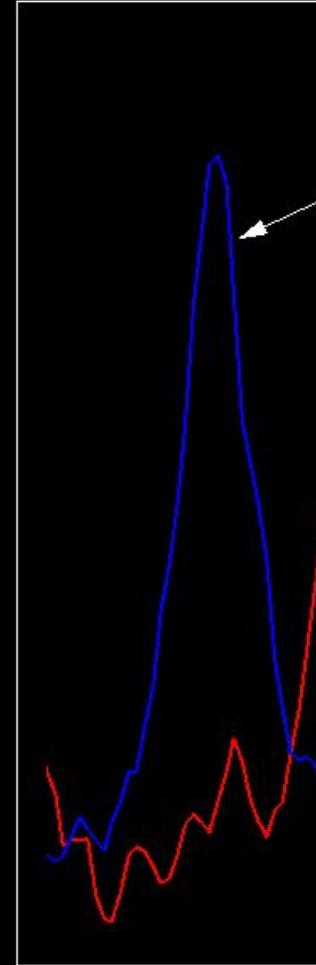
Hubble Space Telescope • Faint Object Spectrograph



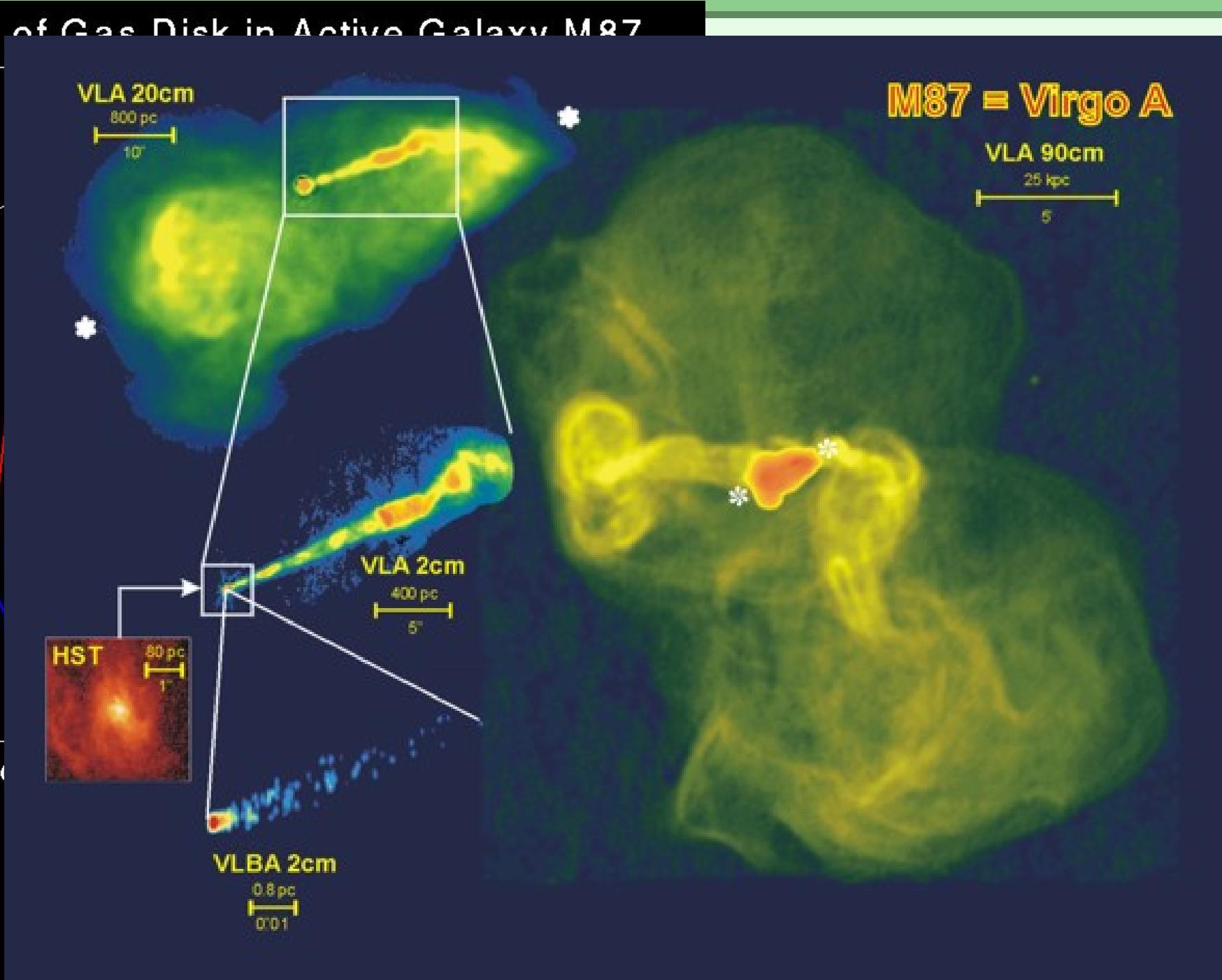
SPACE
TELESCOPE
SCIENCE
INSTITUTE



Spectrum of Gas Disk in Active Galaxy M87



Hubble Space

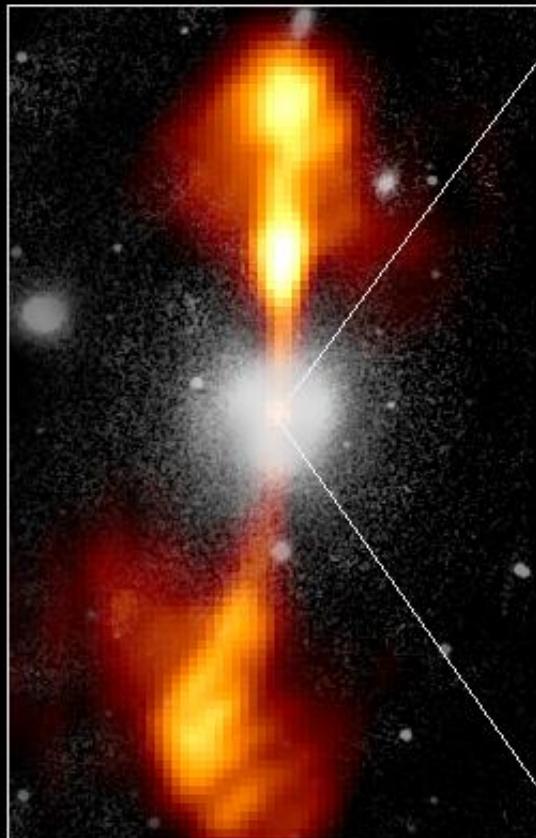


Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

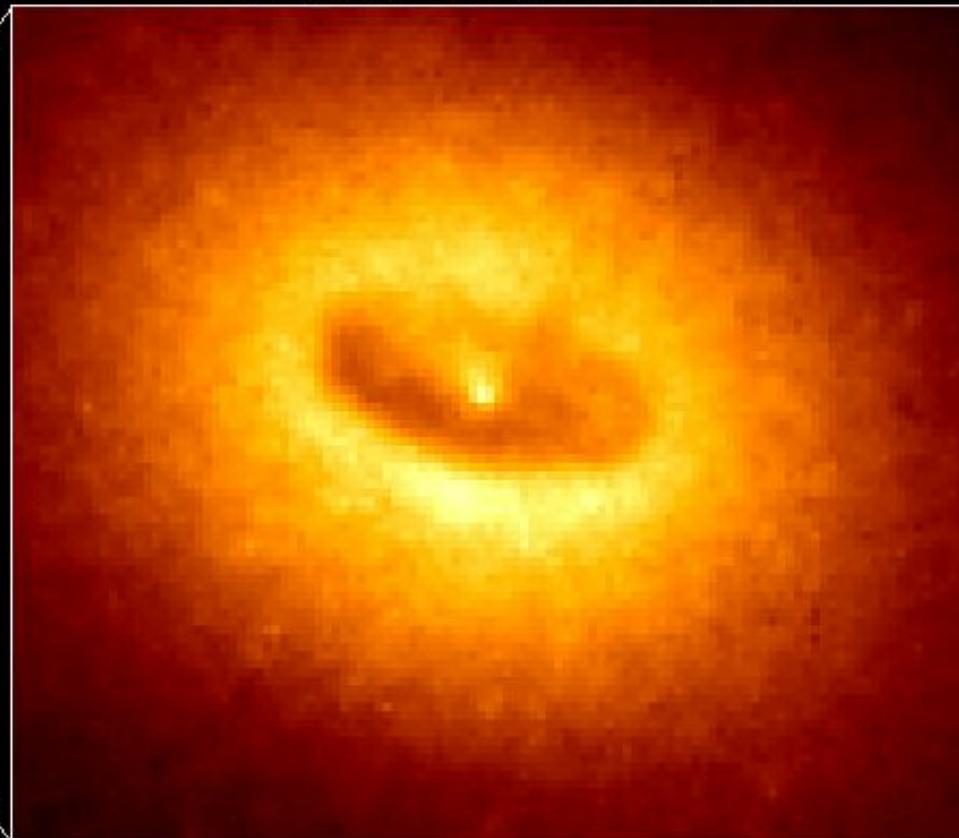
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

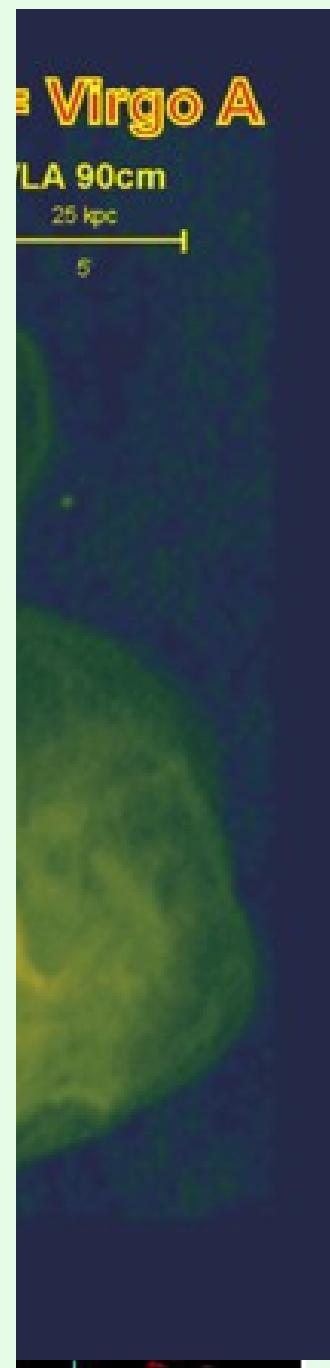


380 Arc Seconds
88,000 LIGHT-YEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



1.7 Arc Seconds
400 LIGHT-YEARS



Virgo A

LA 90cm

25 kpc

5

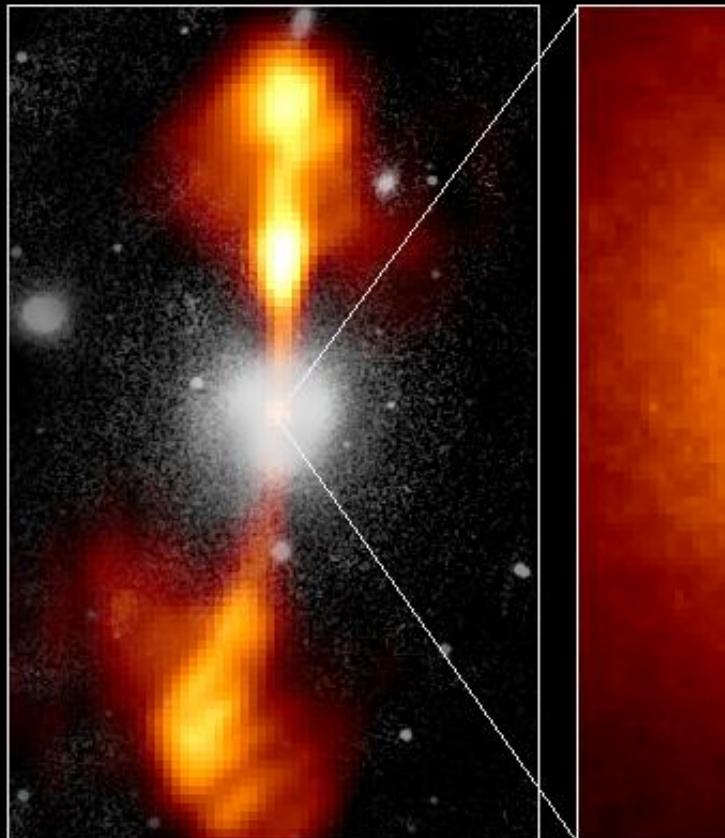
Core of Galaxy NGC 4261

• Merge A

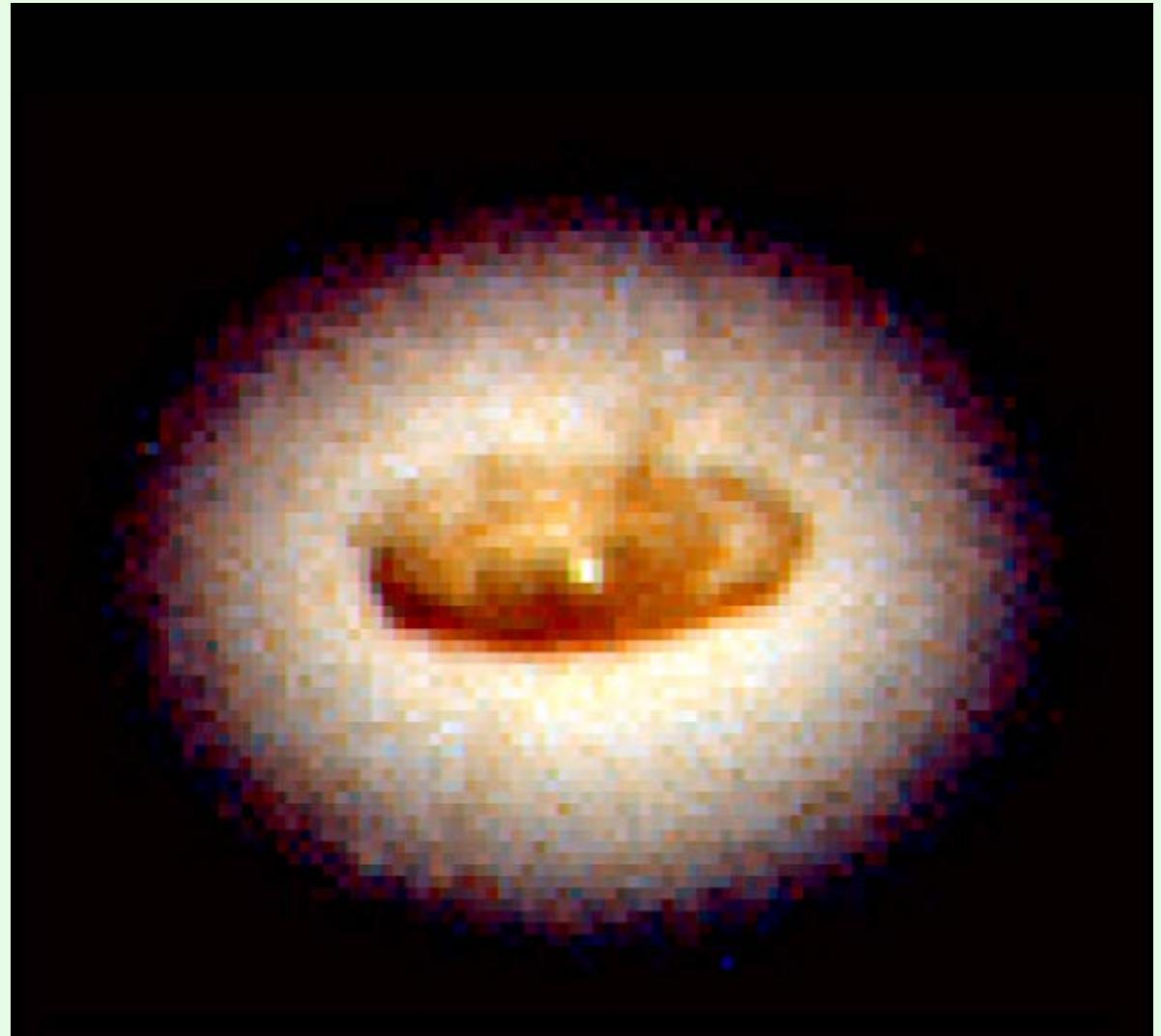
Hubble Sp

Wide Field /

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHT-YEARS



Core of Galaxy NGC4261

PRC95-47 • ST Scl OPO • December 4, 1995
H. Ford and L. Ferrarese (JHU), NASA

HST • WFPC2

Core of Galaxy NGC 4261

• Merge A

NGC 3377

NGC 3379

NGC 4486B

NGC4261

HST • WFPC2

Galaxies Possibly Containing Black Holes

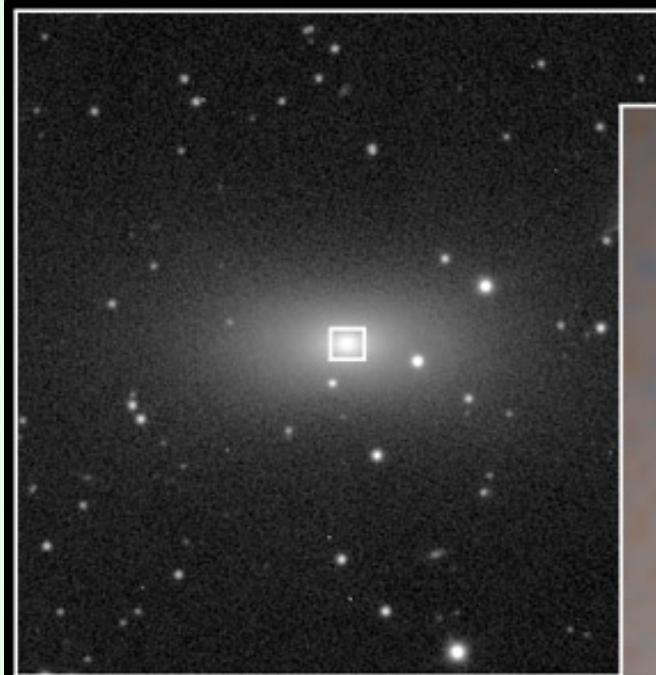
PRC97-01 • ST Scl OPO • January 13, 1997 • K. Gebhardt (U. MI), T. Lauer (NOAO) and NASA

HST • WFPC2

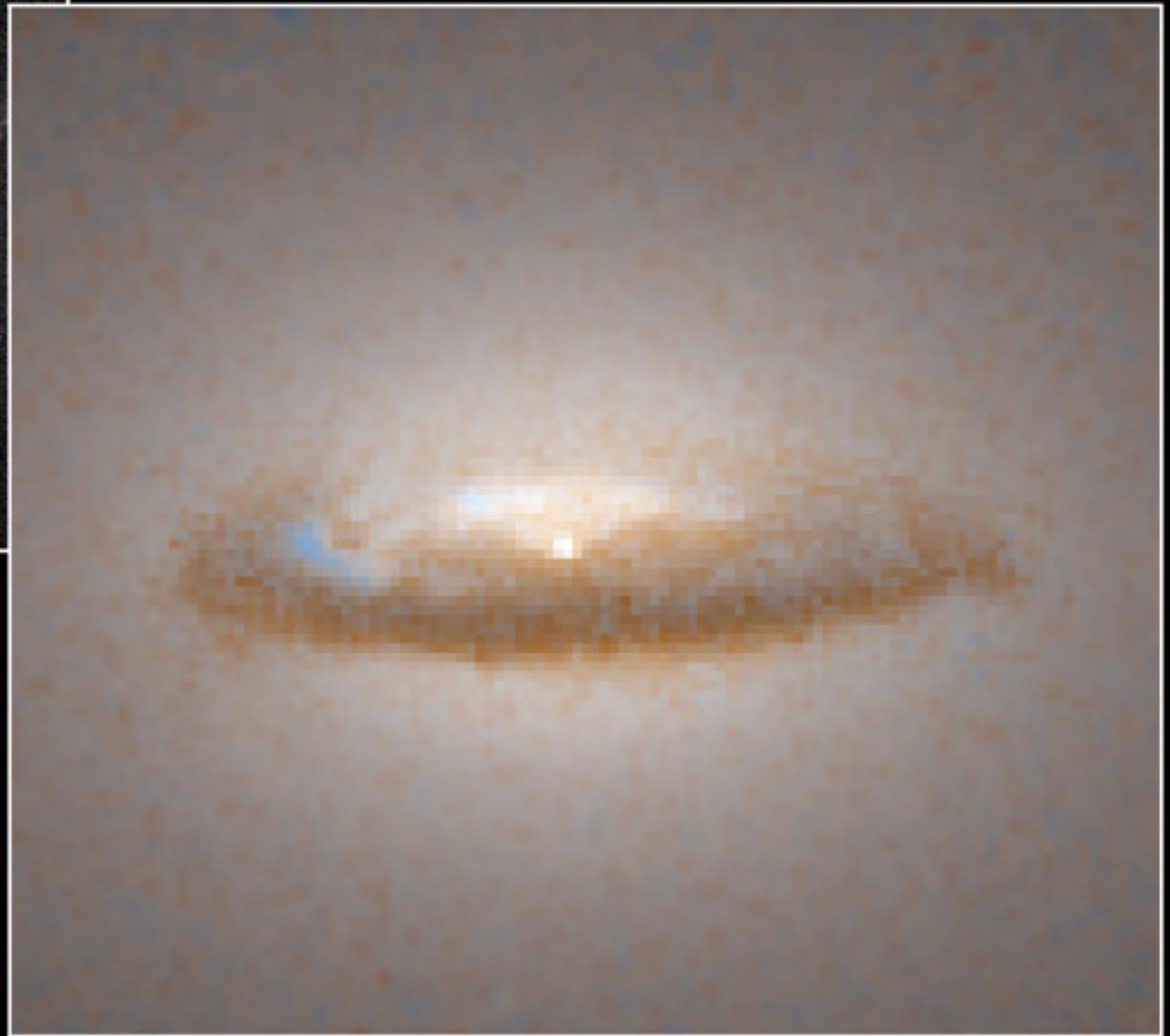
December 4, 1995
(JHU), NASA

Core of Galaxy NGC 4261

• Merge A



Ground



Disk in Galaxy NGC 7052

HST • WFPC2

PRC98-22 • June 18, 1998 • ST Scl OPO

R. P. van der Marel (ST Scl), F. C. van den Bosch (University of Washington) and NASA

Core of Galaxy NGC 4261

STScI-PRC00-21



Hubble Space Telescope
WFPC2

Active Galaxy
NGC 4438



NASA and J. Kenney (Yale University)
STScI-PRC00-21

Core of Galaxy NGC 4151

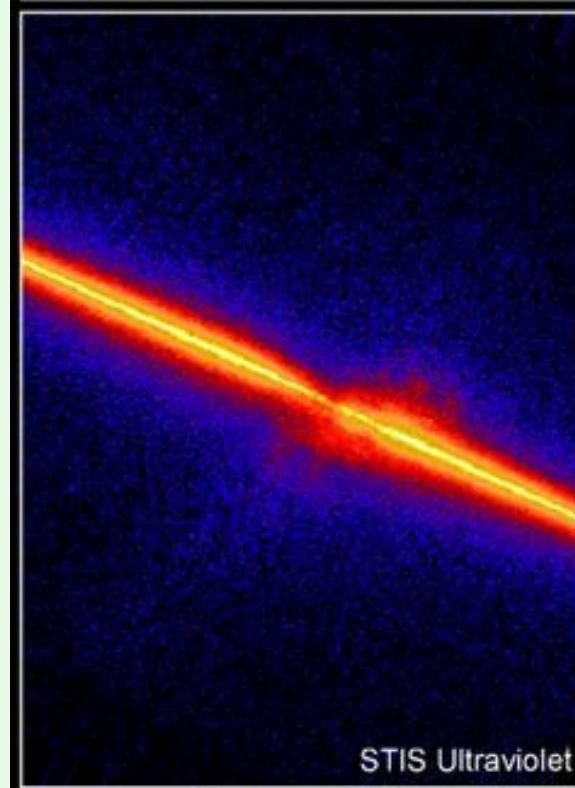


Hubble Space Telescope
WFPC2

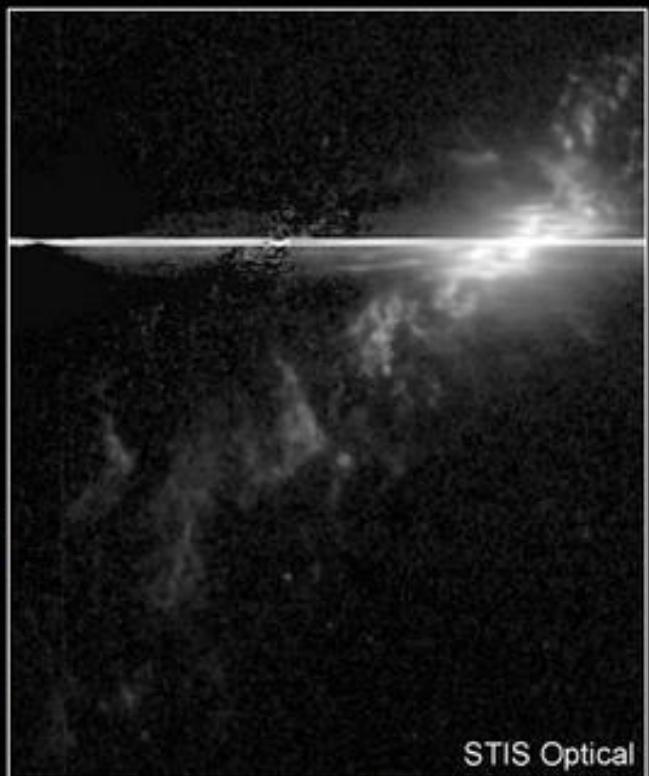
NASA and J. Kenney (Yale University)
STScI-PRC00-21



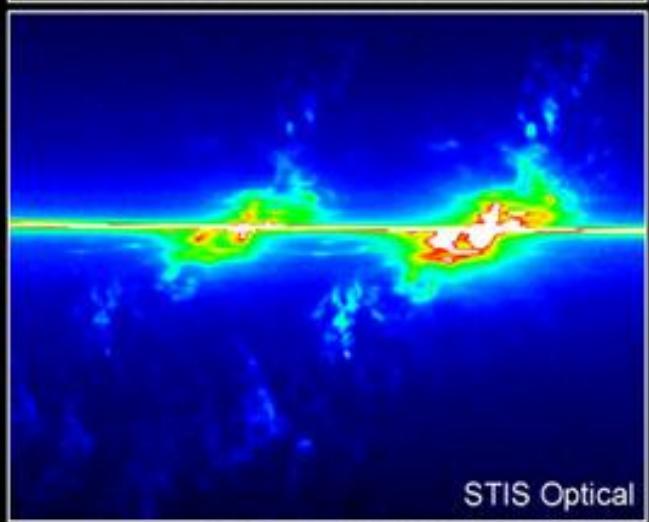
WFPC2



STIS Ultraviolet



STIS Optical



STIS Optical

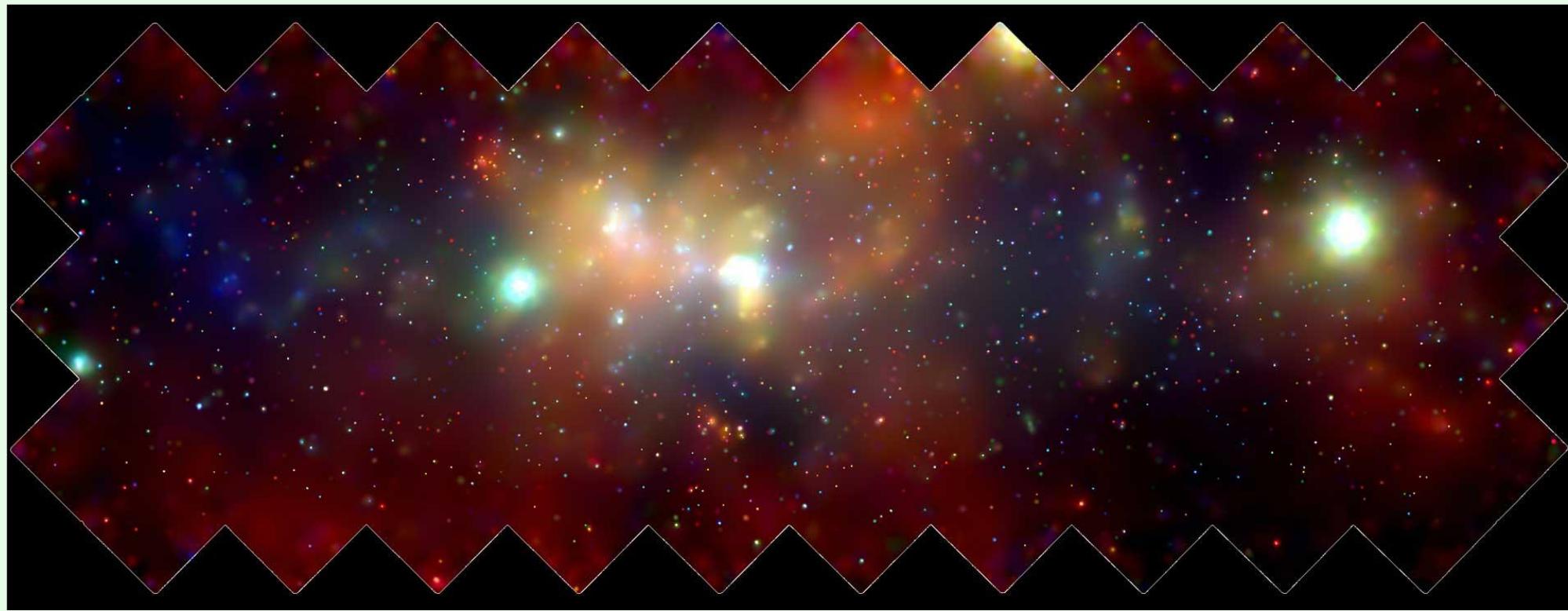
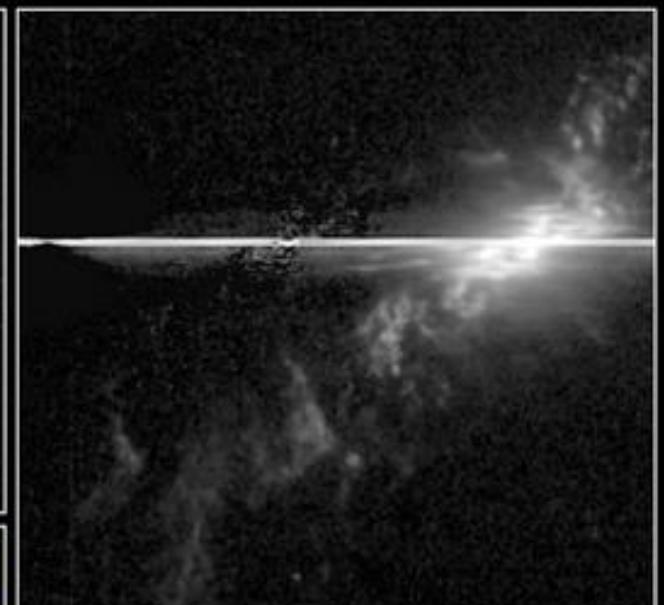
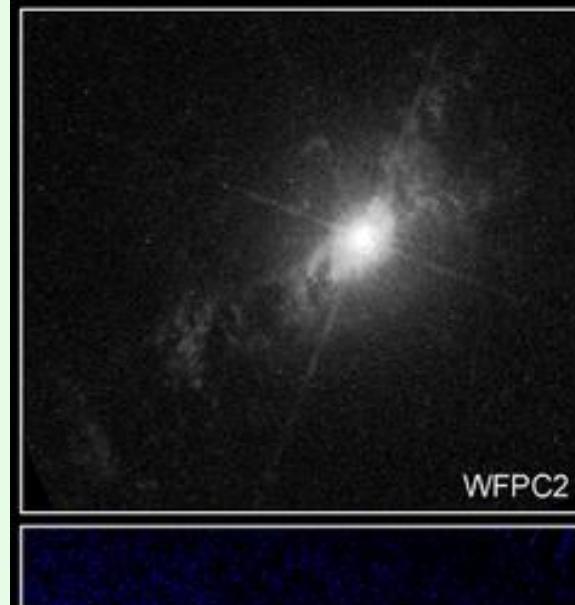
Seyfert Galaxy NGC 4151

PRC97-18 • ST Scl OPO • June 9, 1997

B. Woodgate (GSFC), J. Hutchings (DAO) and NASA

HST • STIS • WFPC2

Core of Gr



SYMFONIE ČERNÝCH DĚR

- splinutí černých děr: **simulace**, vyzařovány **gravitační vlny**; **splynutí horizontů**; **doznívání**
- urychlují přiblížování černých děr, zaznamenávají historii splynutí, tvar dráhy, rotaci, vzdálenost od Země, nezkresleny mezihvězdnou hmotou; nelinearita
- pro černé díry s $M = 10 M_{\odot}$ ve vzd. miliardy ly síla vln 10^{-21} (supernovy v Galaxii)
- LIGO II, Virgo by mělo dosáhnout 10^{-23} , LISA méně než 10^{-24}

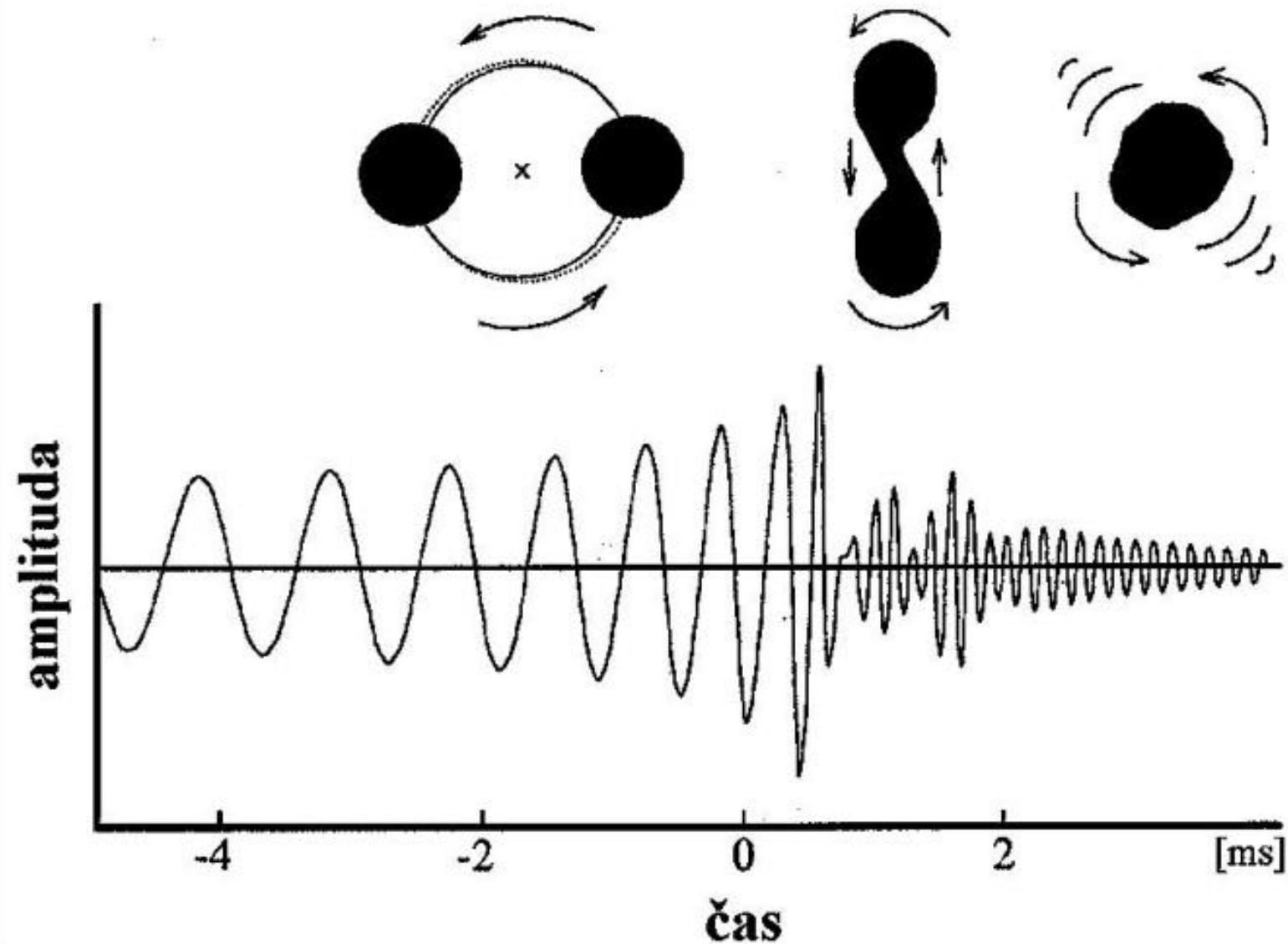


- splinutí černých dier
- gravitační vlny
- doznívání
- urychlují k výbuchu
- zaznamenávají rotaci, vzdálenost mezihvězd
- pro černé dery miliardy ly (Galaxii)
- LIGO II, V
- LISA měření

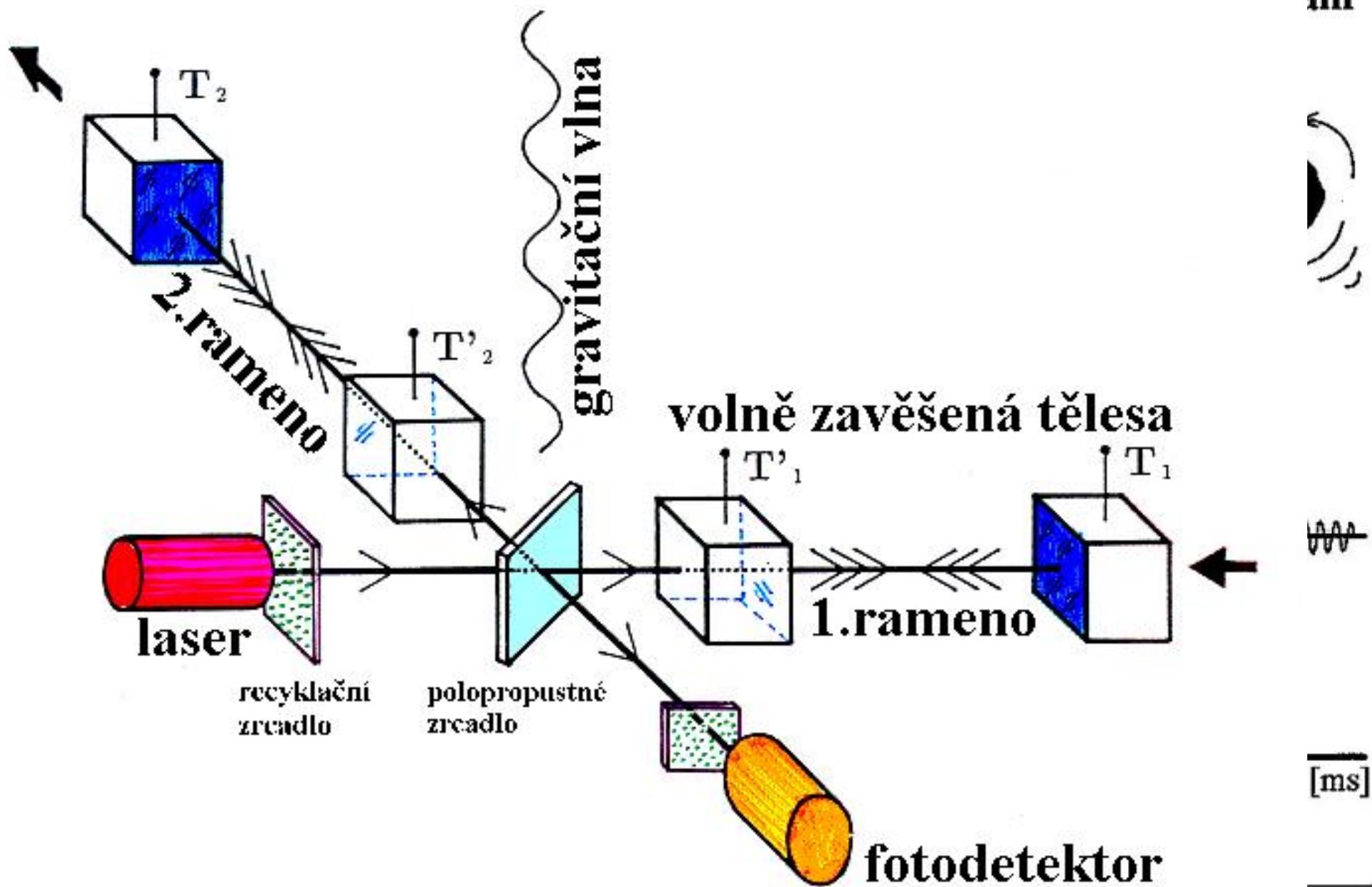
oběh po spirále

splynutí

dohnívání



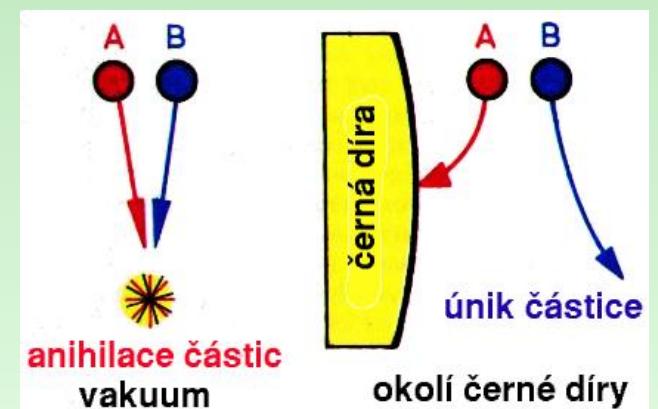
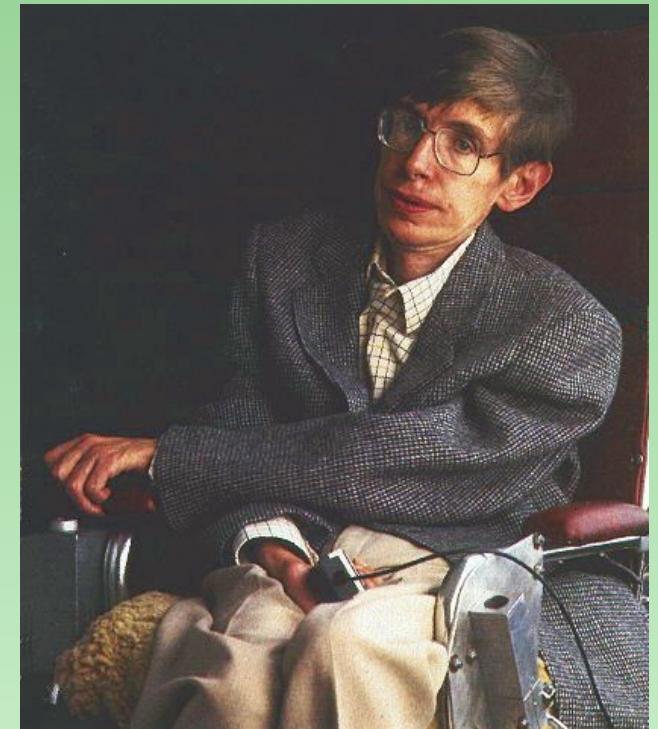
ání





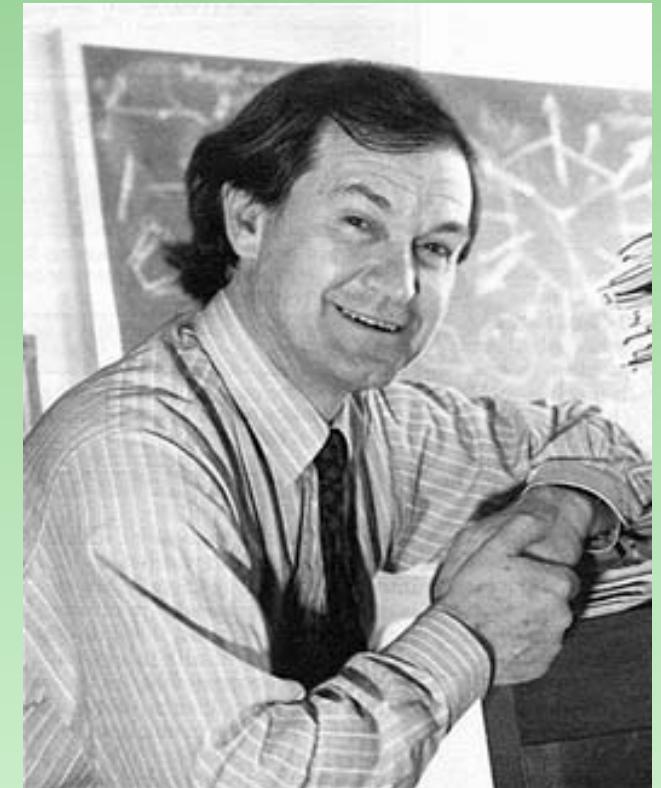
VYPAŘOVÁNÍ ČERNÝCH DĚR

- Stephen Hawking (1970): zákon růstu plochy horizontu
- 2. věta termodynamická: ČD by mohla mít entropii, ale nezáří, entropie
- Hawking (1974): ČD vyzařují, ztrácejí energii
- entropie ČD dána logaritmem počtu způsobů jejího vzniku, při $M = 10 M_{\odot}$ asi 10^{79} , vhozením do ČD se entropie v okolí zmenší, ale celkem vzroste, podobně při vypařování
- doba života úměrná M^3 , pro $M = 2 M_{\odot}$ asi 10^{67} let; problém prvotních (primordiálních) ČD, γ -záření



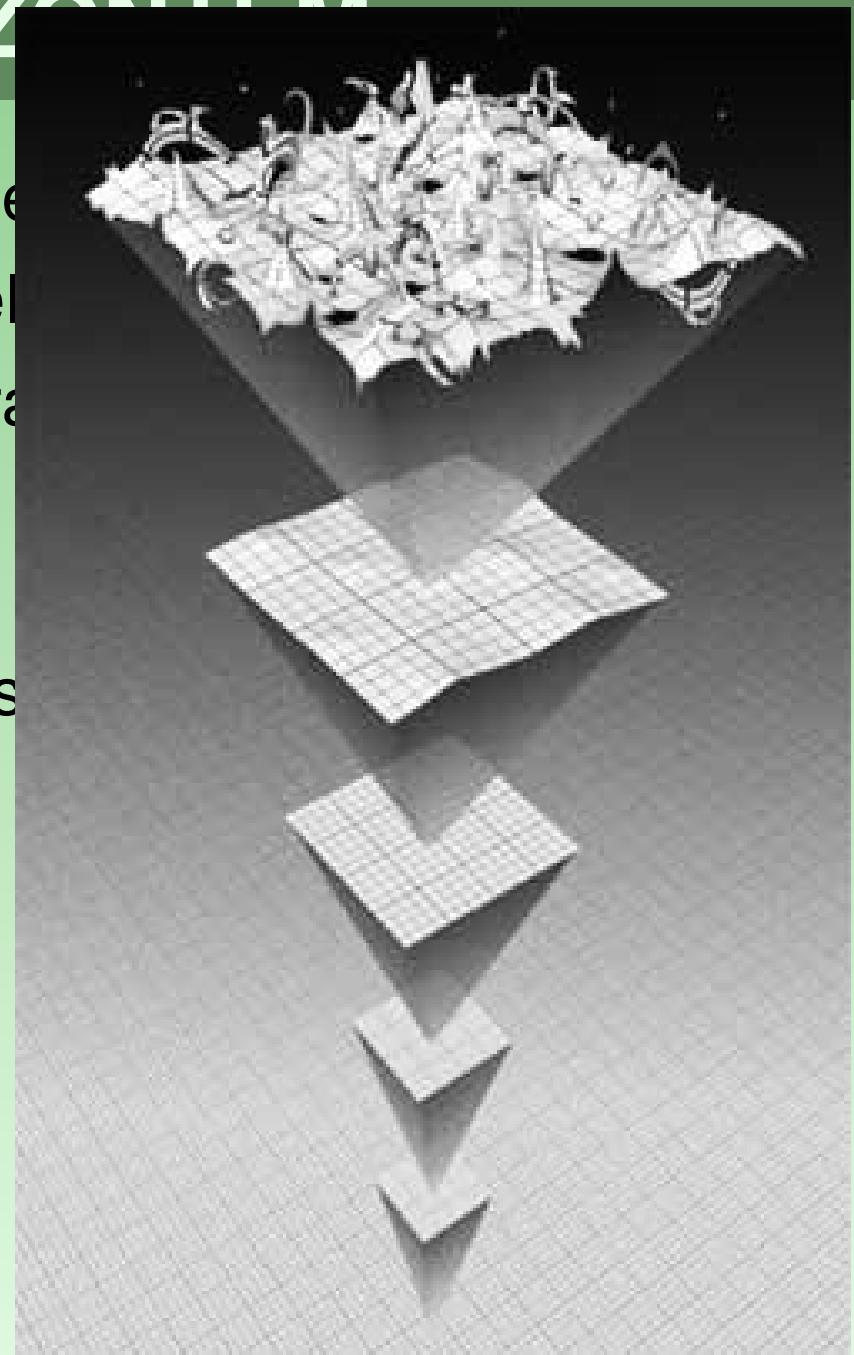
SVĚT POD HORIZONTEM

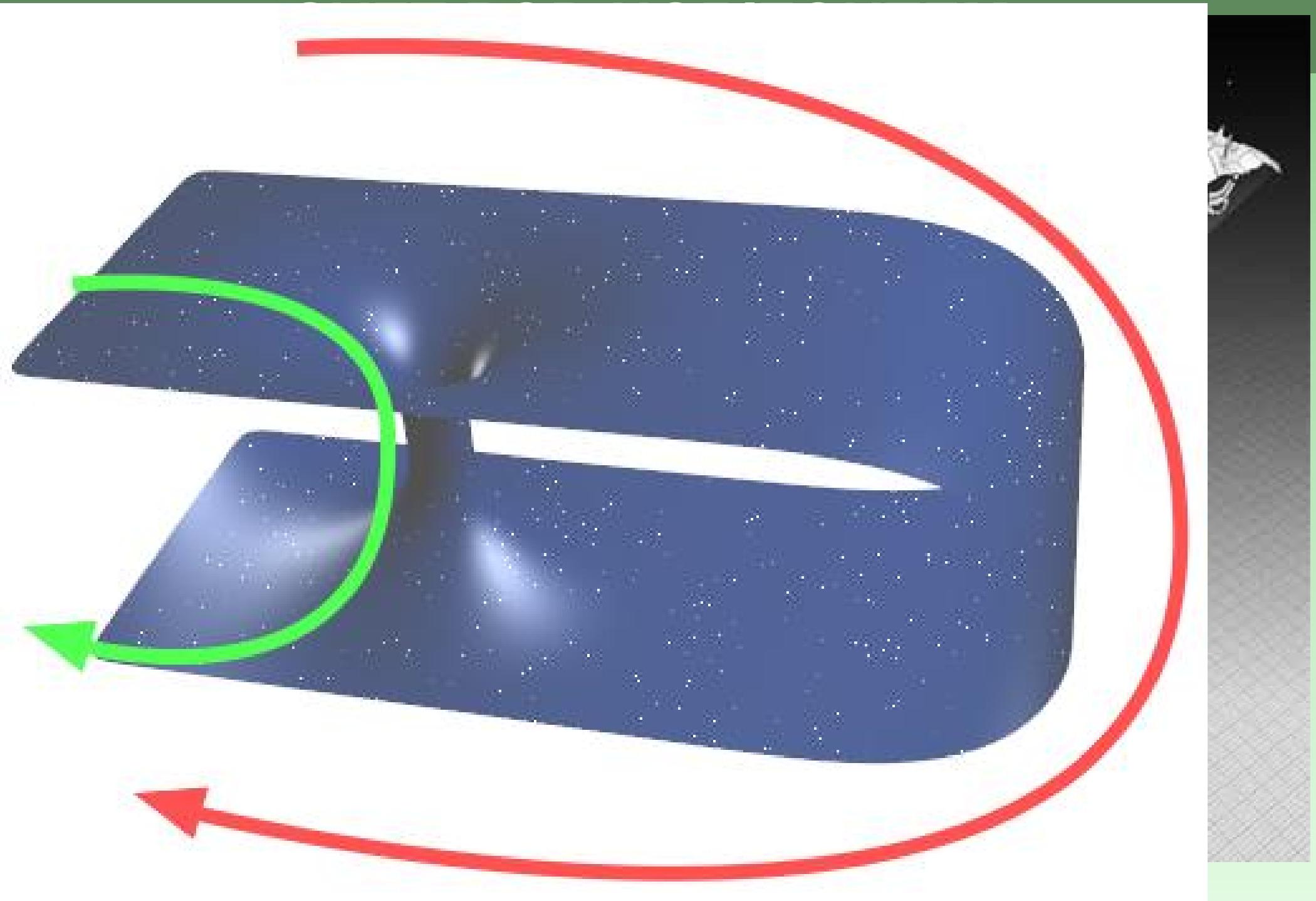
- podle OTR za singularitou nic neexistuje
- hledání kvantové gravitace (J. A. Wheeler)
- Roger Penrose (1964): každá černá díra musí obsahovat singularity
- i singularita může „stárnout“
- kvantová gravitace: oddělí prostor a čas, pravděpodobnosti křivosti a topologie
- Penrose (1969): hypotéza kosmické cenzury



SVĚT POD HORIZONTEM

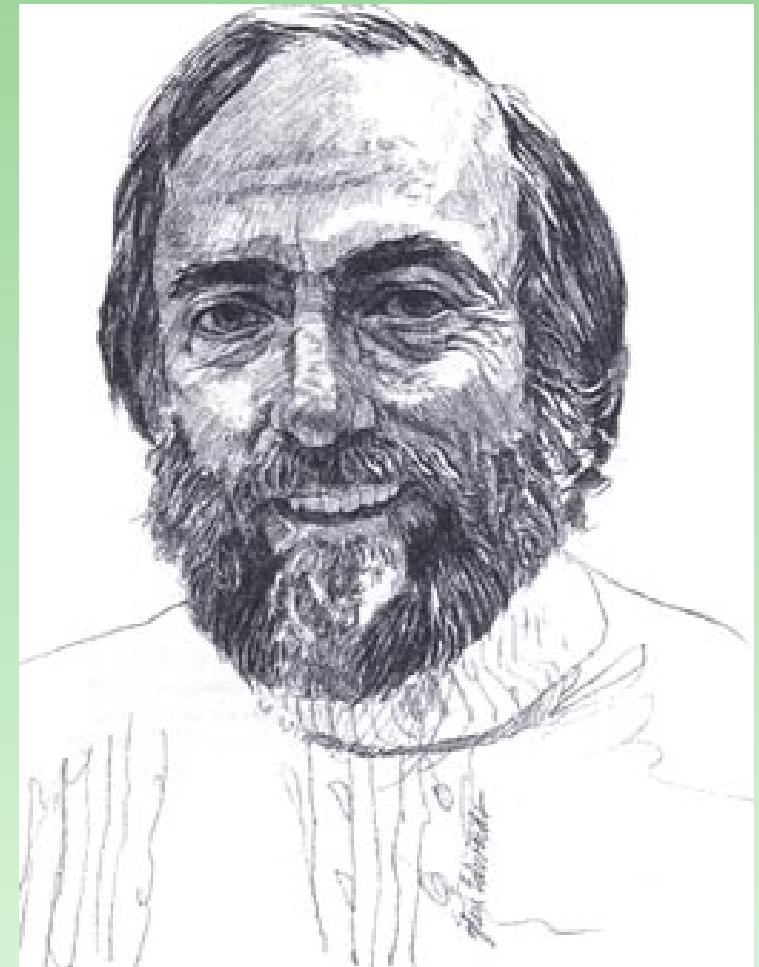
- podle OTR za singularitou nic neexistuje
- hledání kvantové gravitace (J. A. Wheeler)
- Roger Penrose (1964): každá černá díra musí obsahovat singularity
- i singularita může „stárnout“
- kvantová gravitace: oddělí prostor a čas, pravděpodobnosti křivosti a topologie
- Penrose (1969): hypotéza kosmické cenzury





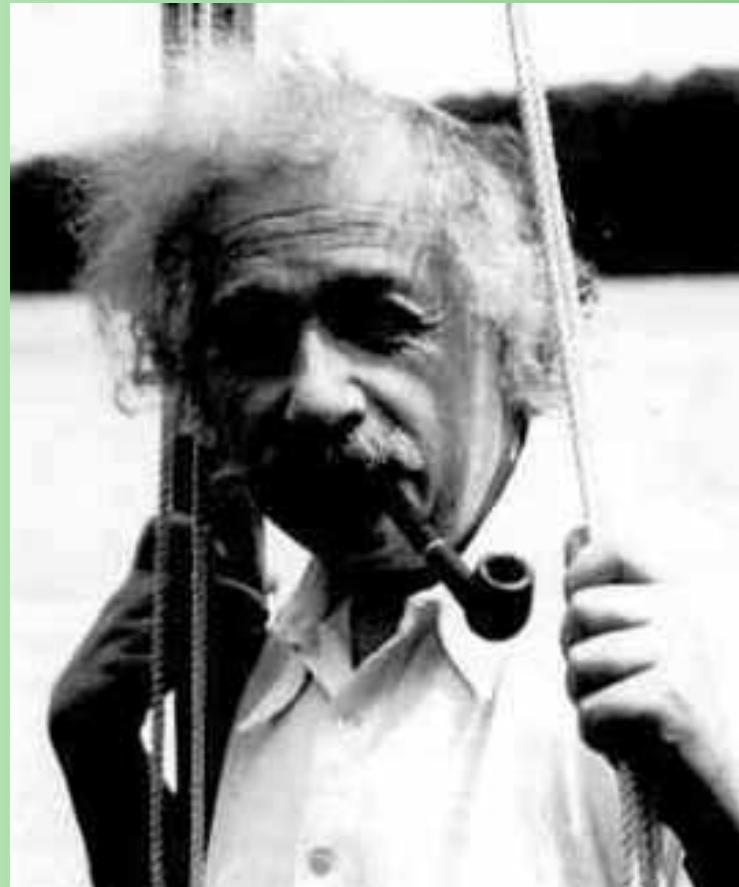
Mezi všemi výtvory lidského ducha – od jednorožců a chimér až po vodíkovou bombu – je skutečně tím nejfantastičtějším obraz černé díry, oddělené od ostatního prostoru hranicí, kterou nic nemůže proniknout, díry, jejíž silné gravitační pole ve svém smrtelném sevření zachytí i světlo, díry, která zakřivuje prostor a brzdí čas. Zdálo by se, že podobně jako jednorožci a chiméry patří černé díry spíš do vědeckofantastických románů nebo dávných mýtů než do reálného vesmíru. A přesto zákony současné fyziky skutečně vyžadují, aby černé díry existovaly. Je možné, že jen v naší Galaxii je jich hned několik miliónů.

Kip S. Thorne



Teorie černých děr byla vytvořena dříve, než byly známy jakékoli experimentální výsledky naznačující, že černé díry skutečně existují. Neznám ve vědě jiný příklad tak dalekosáhlé úspěšné extrapolace učiněné jen na základě teoretických úvah. Ukazuje to na neobyčejnou sílu a hloubku Einsteinovy teorie.

Stephen Hawking



A. Einstein

Teorie černých děr byla vytvořena dříve, než byly známy jakékoli experimentální výsledky naznačující, že černé díry skutečně existují. Neznám ve vědě jiný příklad tak dalekosáhlé úspěšné extrapolace učiněné jen na základě teoretických úvah. Ukazuje to na neobyčejnou sílu a hloubku Einsteinovy teorie.

Stephen Hawking

