

Czarne dziury –
niezwykłe obiekty we
Wszechświecie

Marek Demiański

Instytut Fizyki Teoretycznej

Uniwersytet Warszawski



ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 49.

1. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie; von A. Einstein.*

Die im nachfolgenden dargelegte Theorie bildet die denkbar weitgehendste Verallgemeinerung der heute allgemein als „Relativitätstheorie“ bezeichneten Theorie; die letztere nenne ich im folgenden zur Unterscheidung von der ersteren „spezielle Relativitätstheorie“ und setze sie als bekannt voraus. Die Verallgemeinerung der Relativitätstheorie wurde sehr erleichtert durch die Gestalt, welche der speziellen Relativitätstheorie durch Minkowski gegeben wurde, welcher Mathematiker zuerst die formale Gleichwertigkeit der räumlichen Koordinaten und der Zeitkoordinate klar erkannte und für den Aufbau der Theorie nutzbar machte. Die für die allgemeine Relativitätstheorie nötigen mathematischen Hilfsmittel lagen fertig bereit in dem „absoluten Differentialkalkül“, welcher auf den Forschungen von Gauss, Riemann und Christoffel über nichteuklidische Mannigfaltigkeiten ruht und von Ricci und Levi-Civita in ein System gebracht und bereits auf Probleme der theoretischen Physik angewendet wurde. Ich habe im Abschnitt B der vorliegenden Abhandlung alle für uns nötigen, bei dem Physiker nicht als bekannt vorauszusetzenden mathematischen Hilfsmittel in möglichst einfacher und durchsichtiger Weise entwickelt, so daß ein Studium mathematischer Literatur für das Verständnis der vorliegenden Abhandlung nicht erforderlich ist. Endlich sei an dieser Stelle dankbar meines Freundes, des Mathematikers Grossmann, gedacht, der mir durch seine Hilfe nicht nur das Studium der einschlägigen mathematischen Literatur ersparte, sondern mich auch beim Suchen nach den Feldgleichungen der Gravitation unterstützte.



3 wymiarowa przestrzeń Euklidesowa
(prawo Pitagorasa)

$$dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 ,$$

Czasoprzestrzeń Minkowskiego

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 ,$$

Równania Einsteina

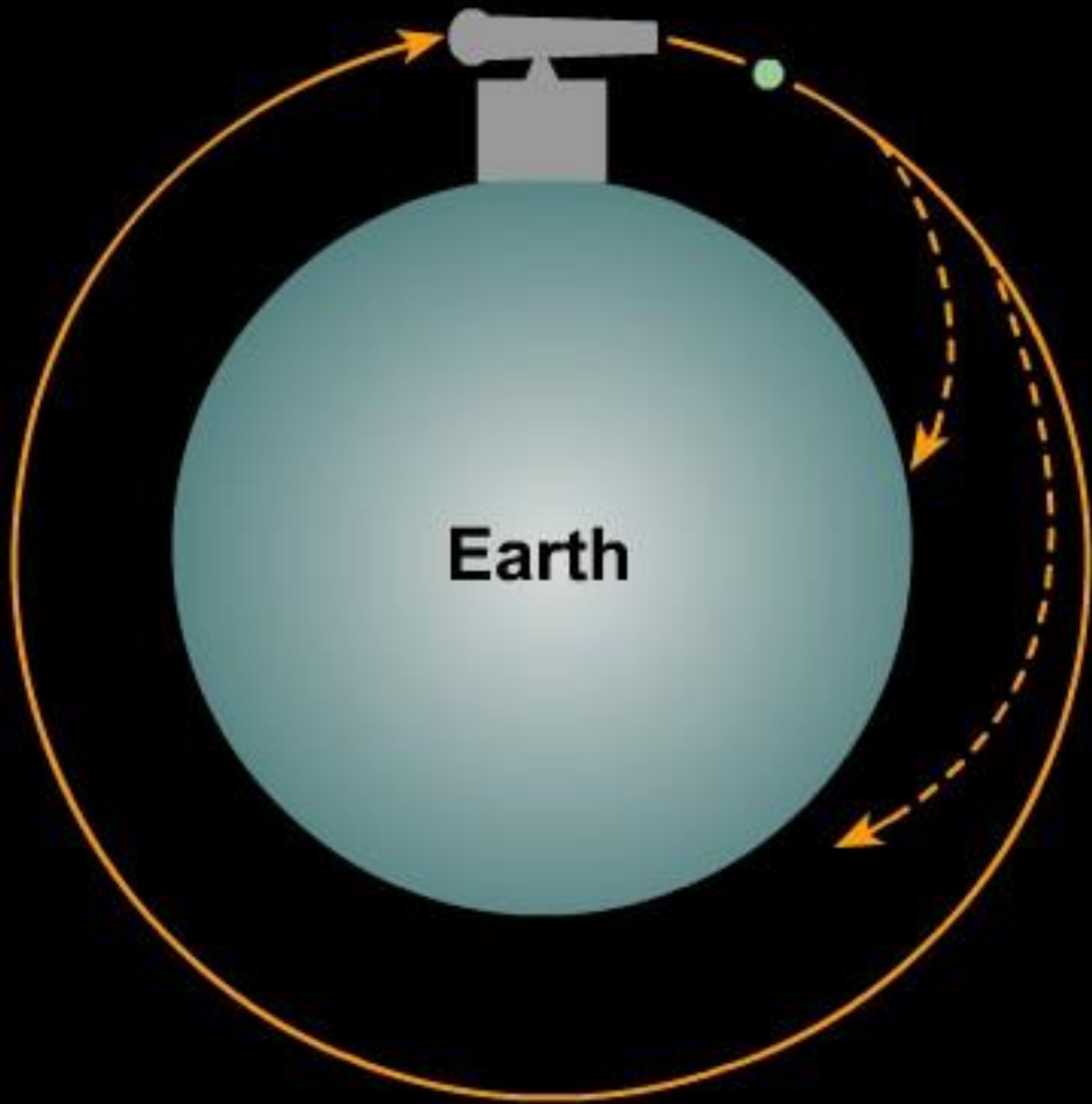
(geometria) \Leftrightarrow (rozkład materii)

Czasoprzestrzeń Schwarzschilda

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)} - r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2),$$

gdzie $r_g = \frac{2GM}{c^2}$,

$$r_{g\odot} \approx 3\text{km}, \quad r_{g\oplus} \approx 0,9\text{cm}$$



Newton's Orbital Cannon

Escape velocity



$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

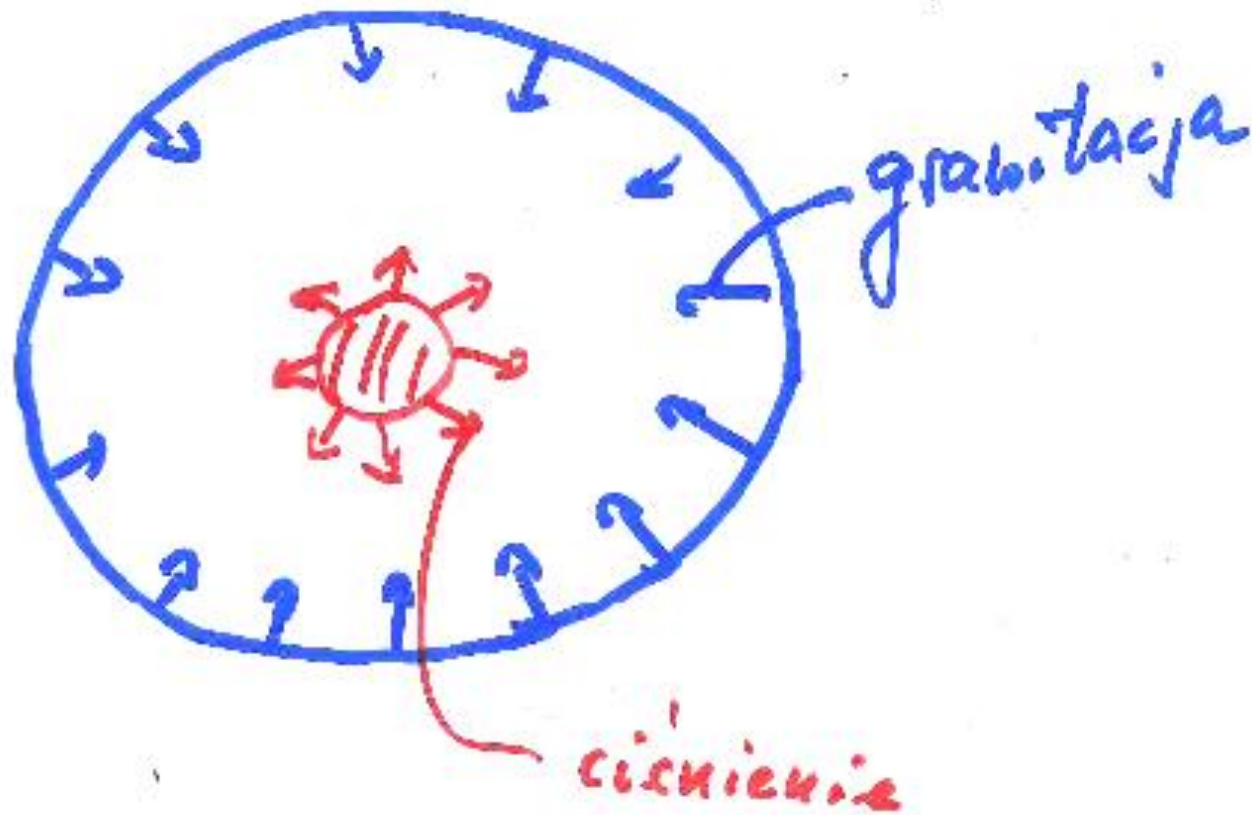
$$M = \text{const} \quad R \downarrow$$

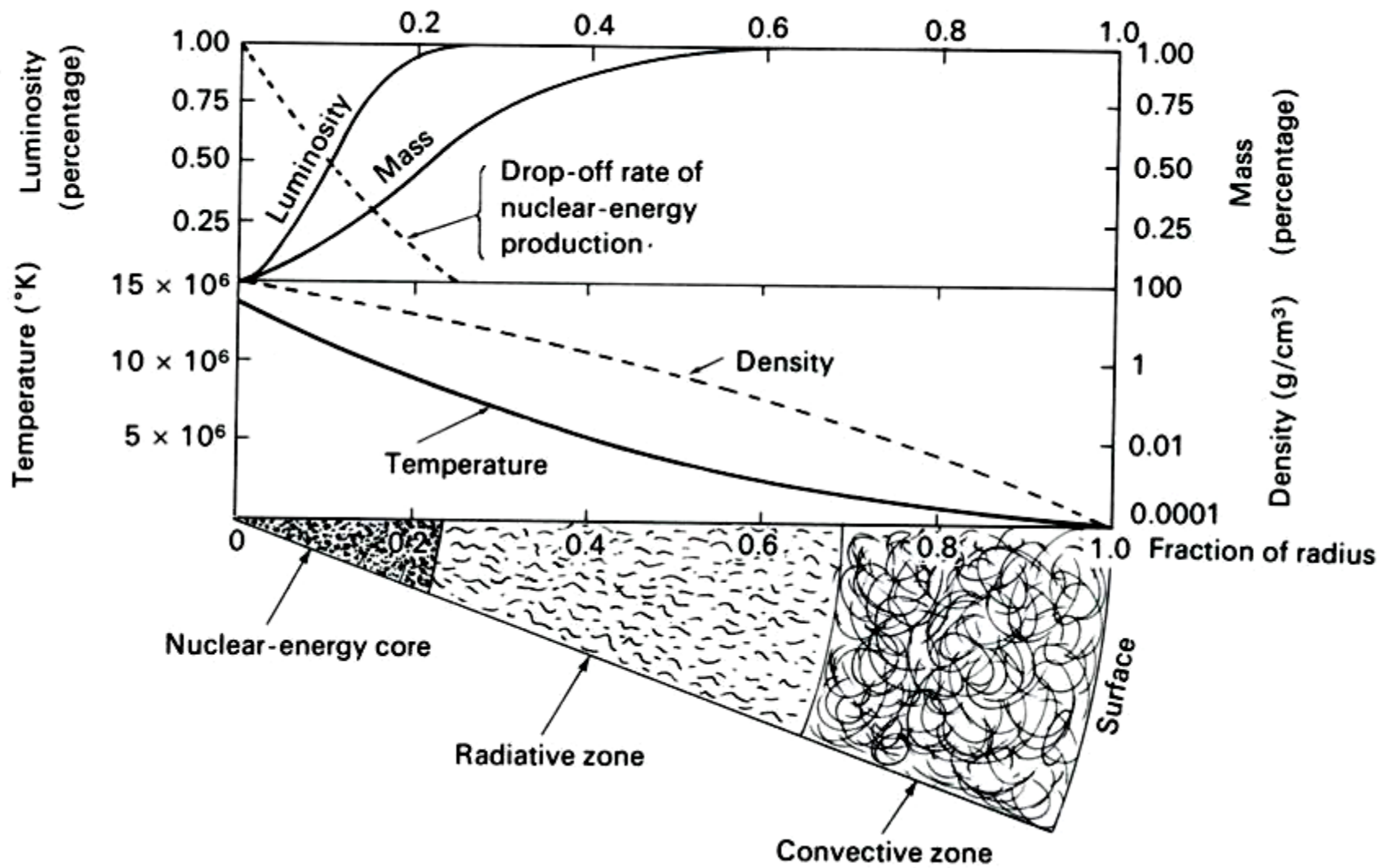
$$v \rightarrow c \quad r \rightarrow r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

$$r_{g\oplus} = 0.89 \text{ cm}$$

$$r_{g\odot} = 3 \text{ km}$$

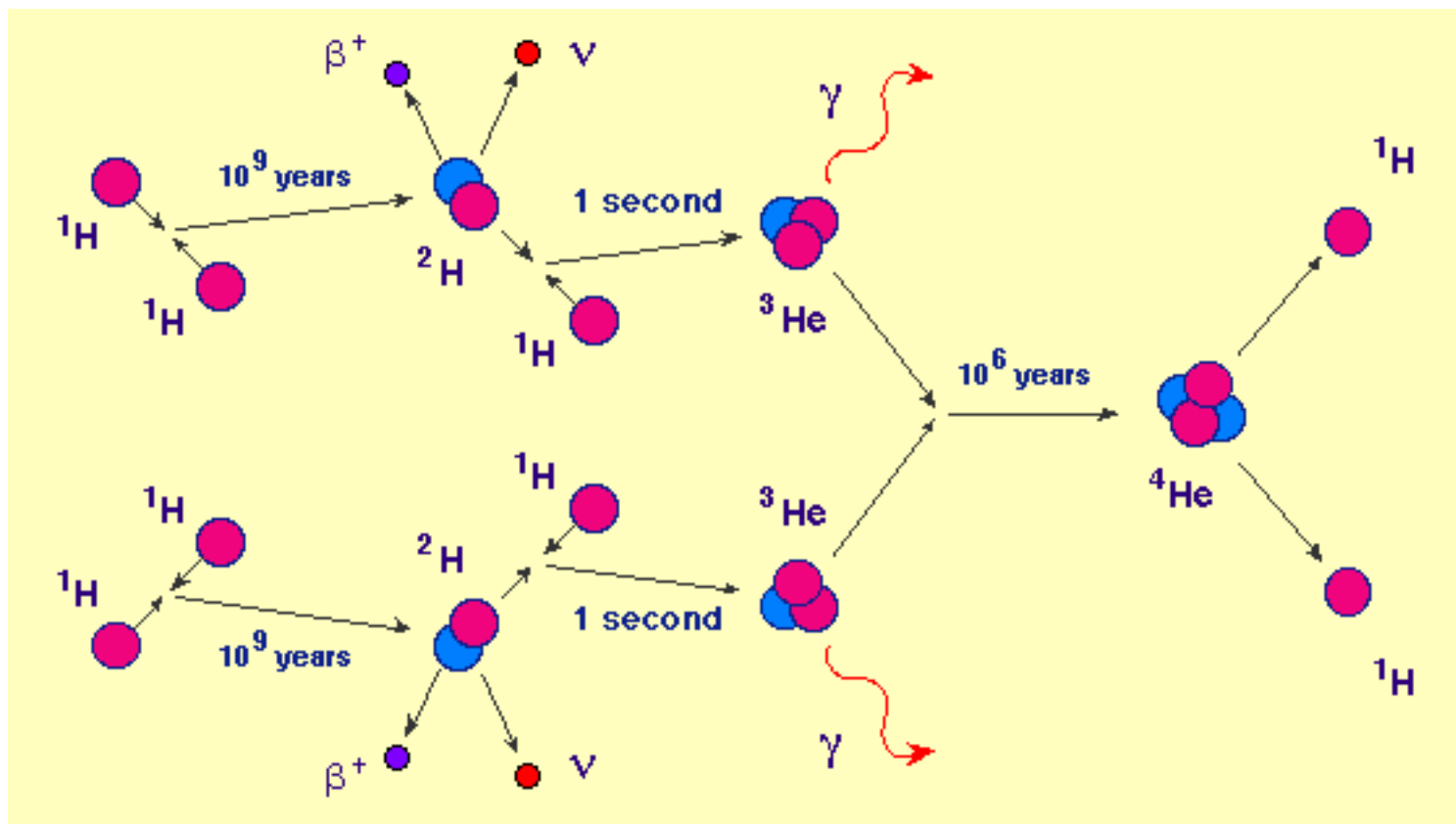
Prosty model gwiazdy

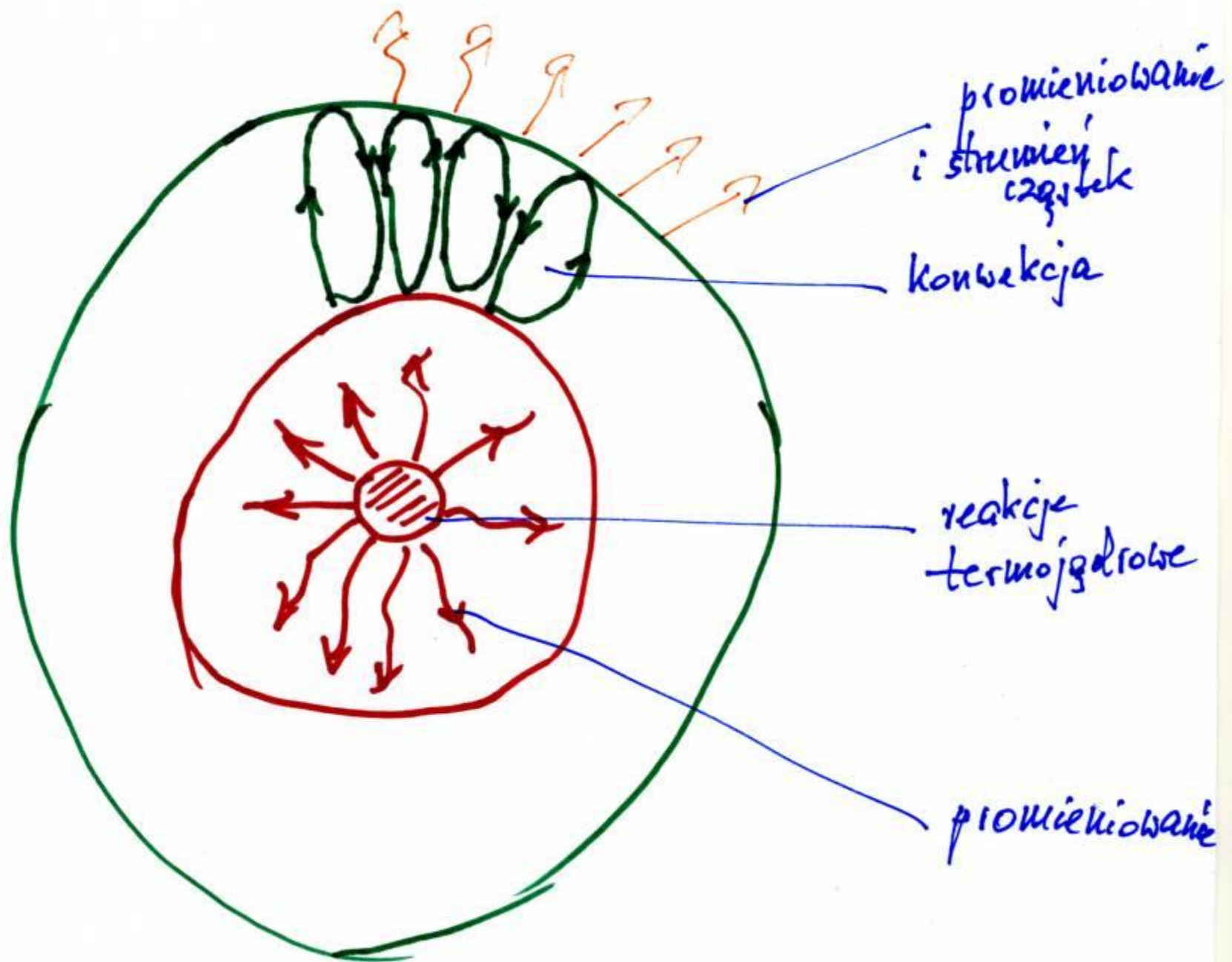




Cykl protonowo-protonowy

$T_{\min} \sim 5 \times 10^6 \text{ K}$



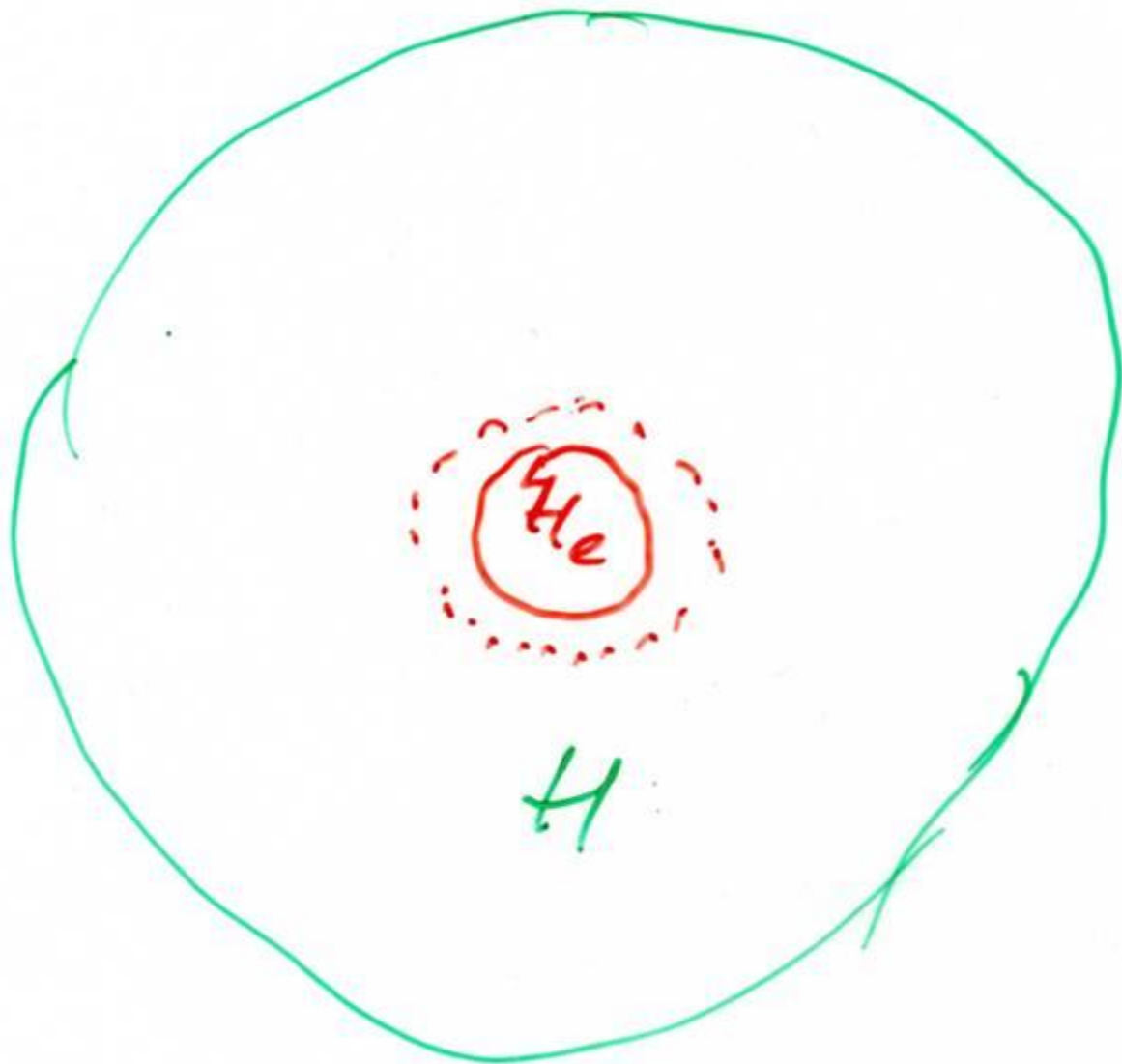


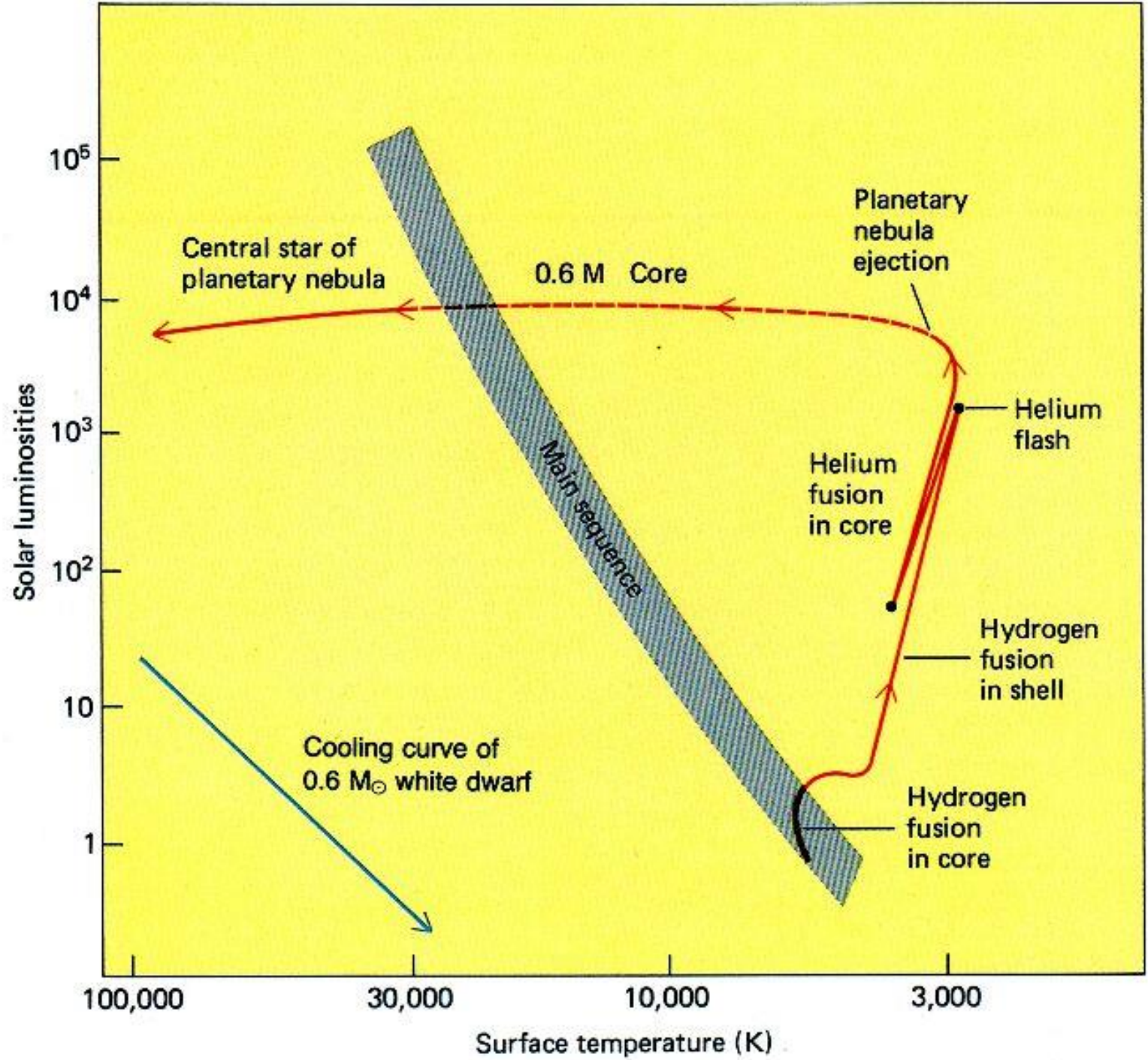
promieniowanie
i strumień
cząstek

konwekcja

reakcje
termojądrowe

promieniowanie





Surface of Sun

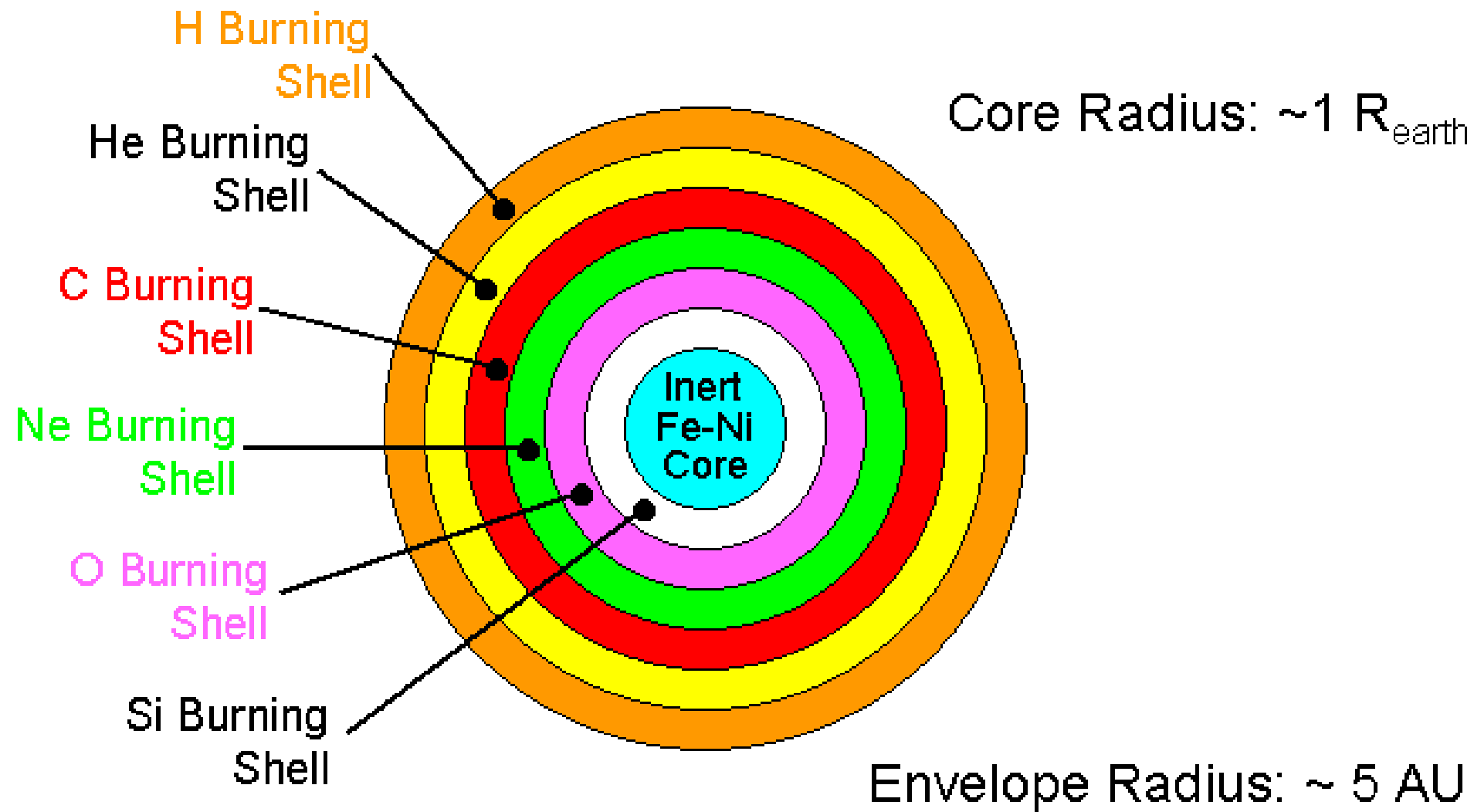


Earth



Sirius B
(white dwarf)





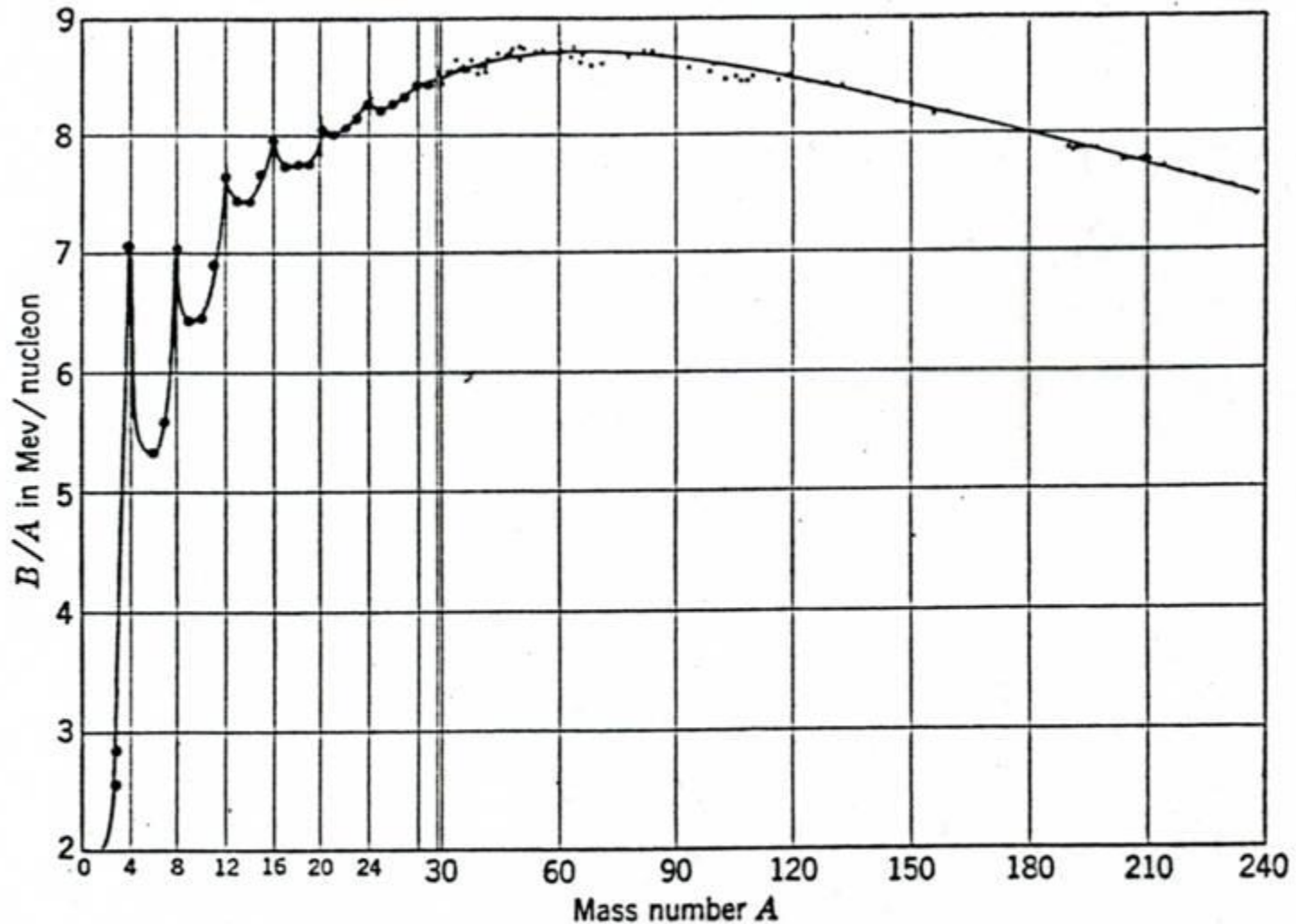
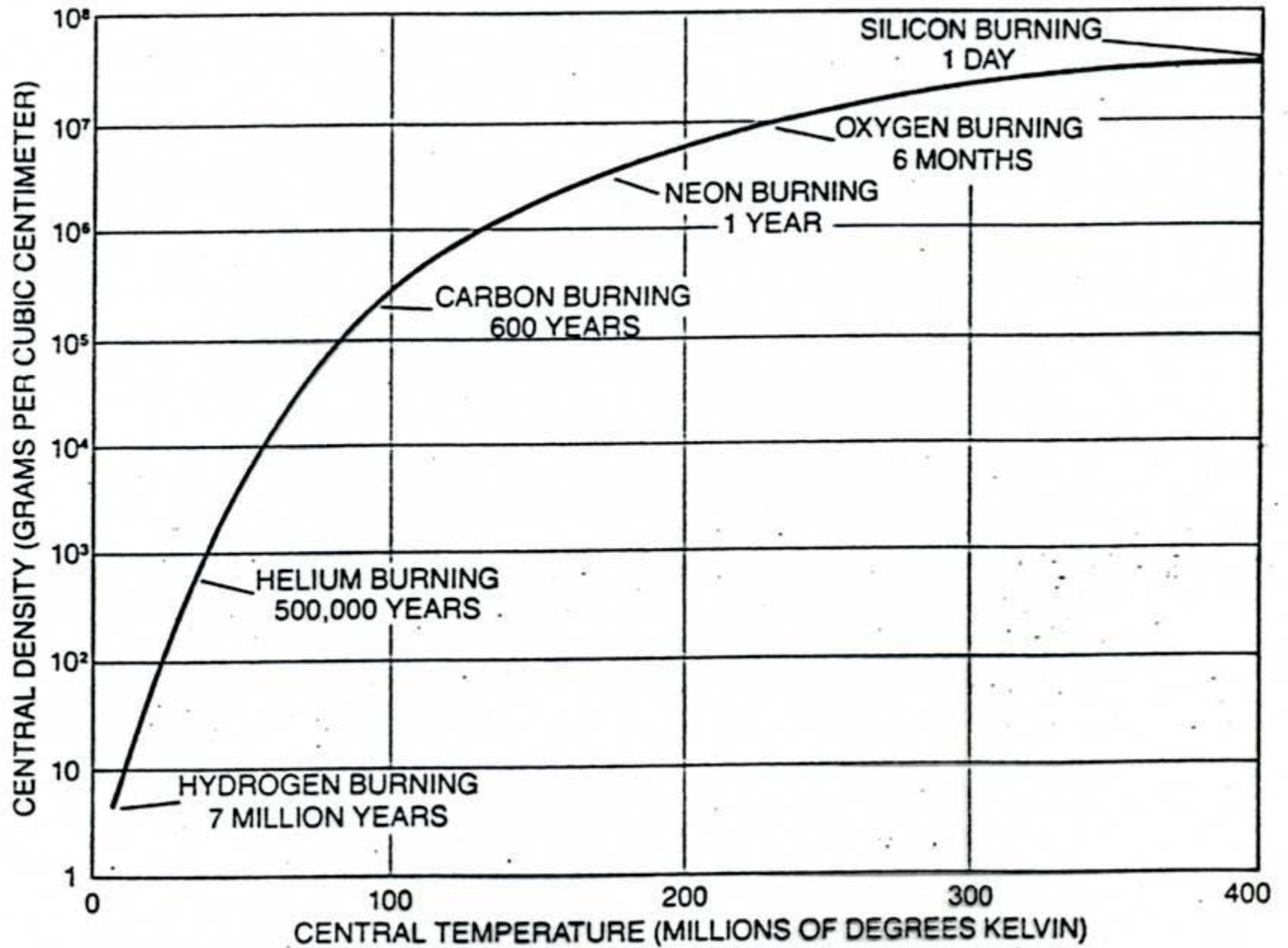
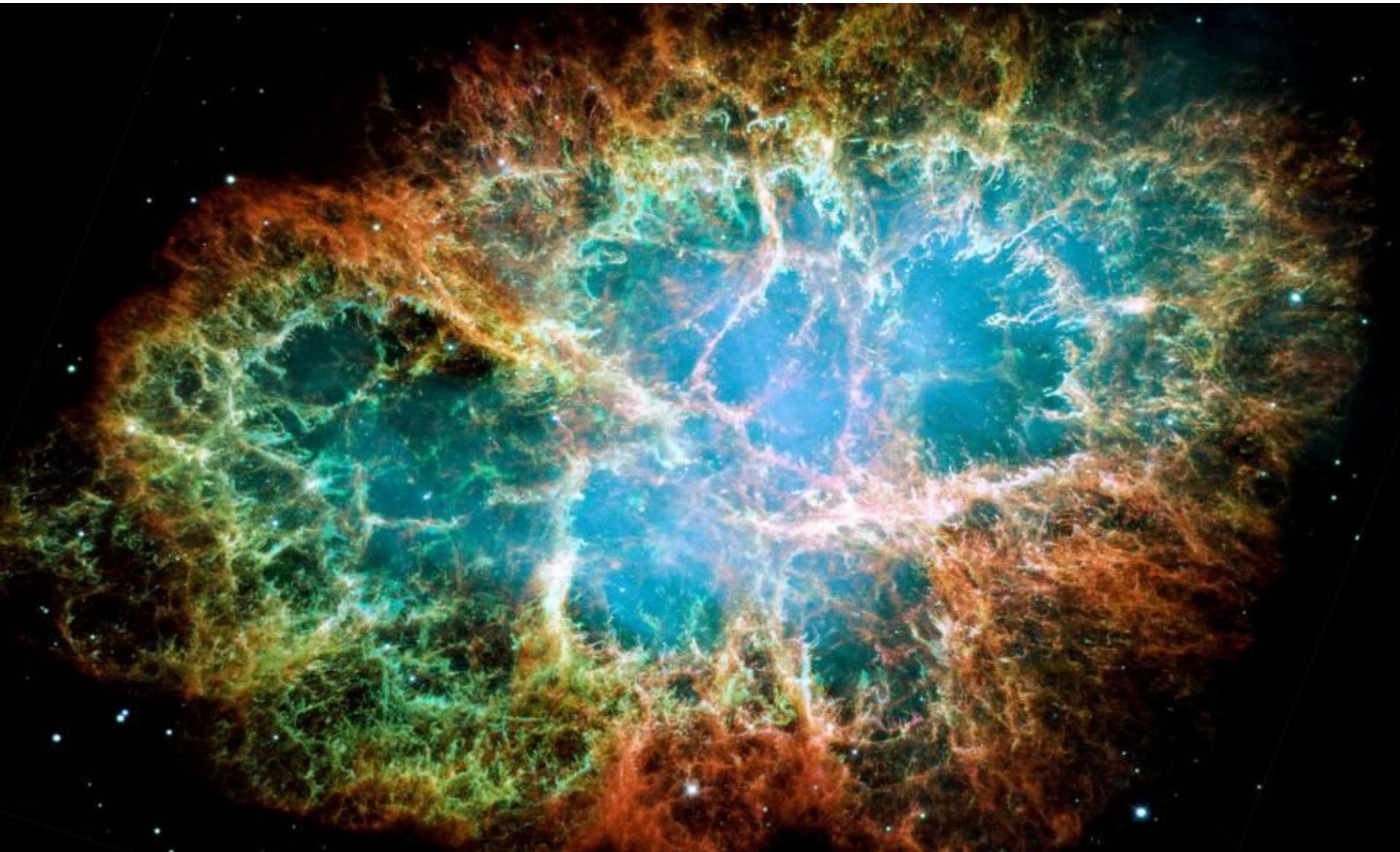
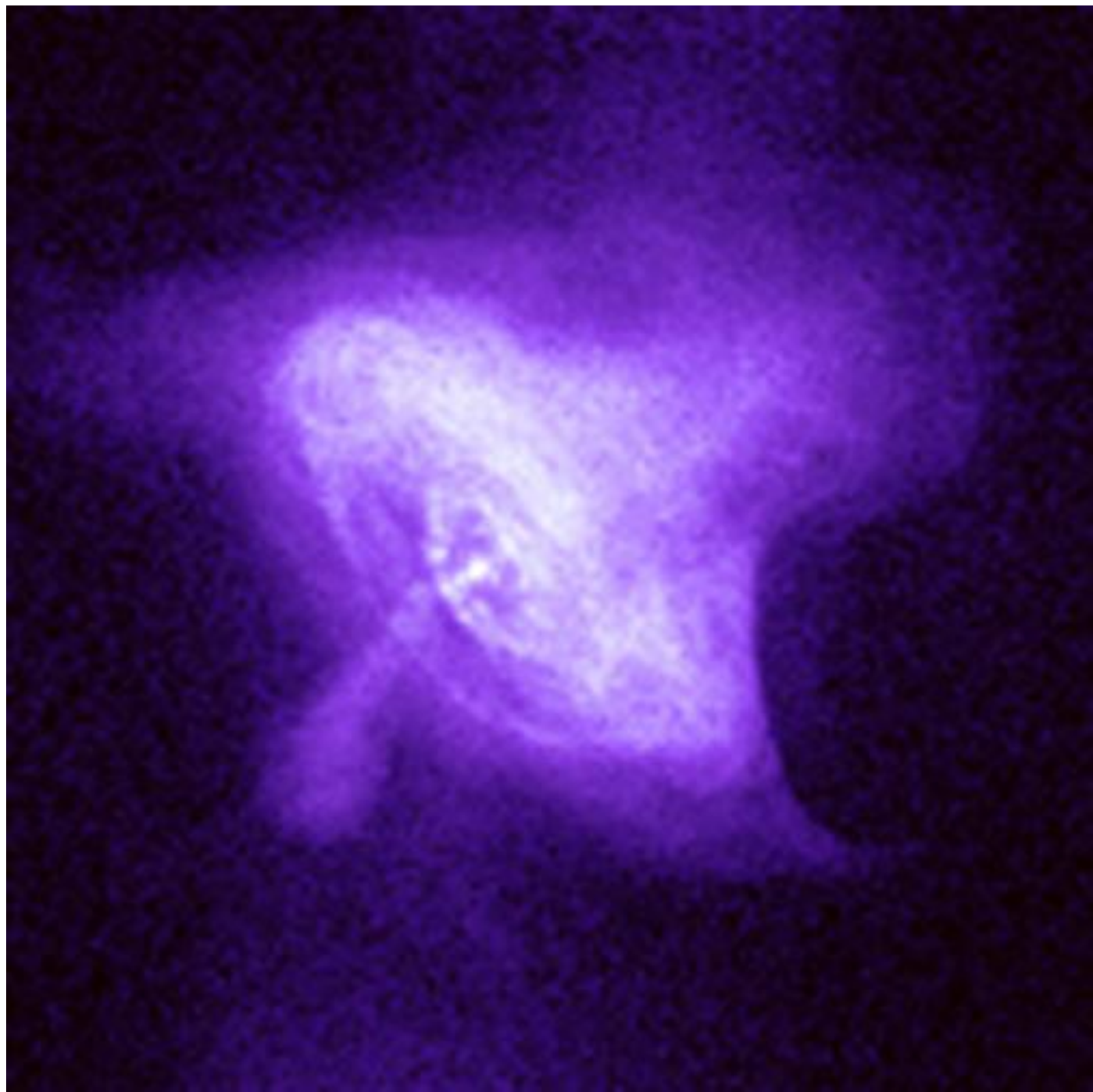


Fig. 3.1 Average binding energy B/A in Mev per nucleon for the naturally occurring nuclides (and Be^8), as a function of mass number A . Note the change of magnification in the A scale at $A = 30$. The Pauli four-shells in the lightest nuclei are evident. For $A \geq 16$, B/A is roughly constant; hence, to a first approximation, B is proportional to A .

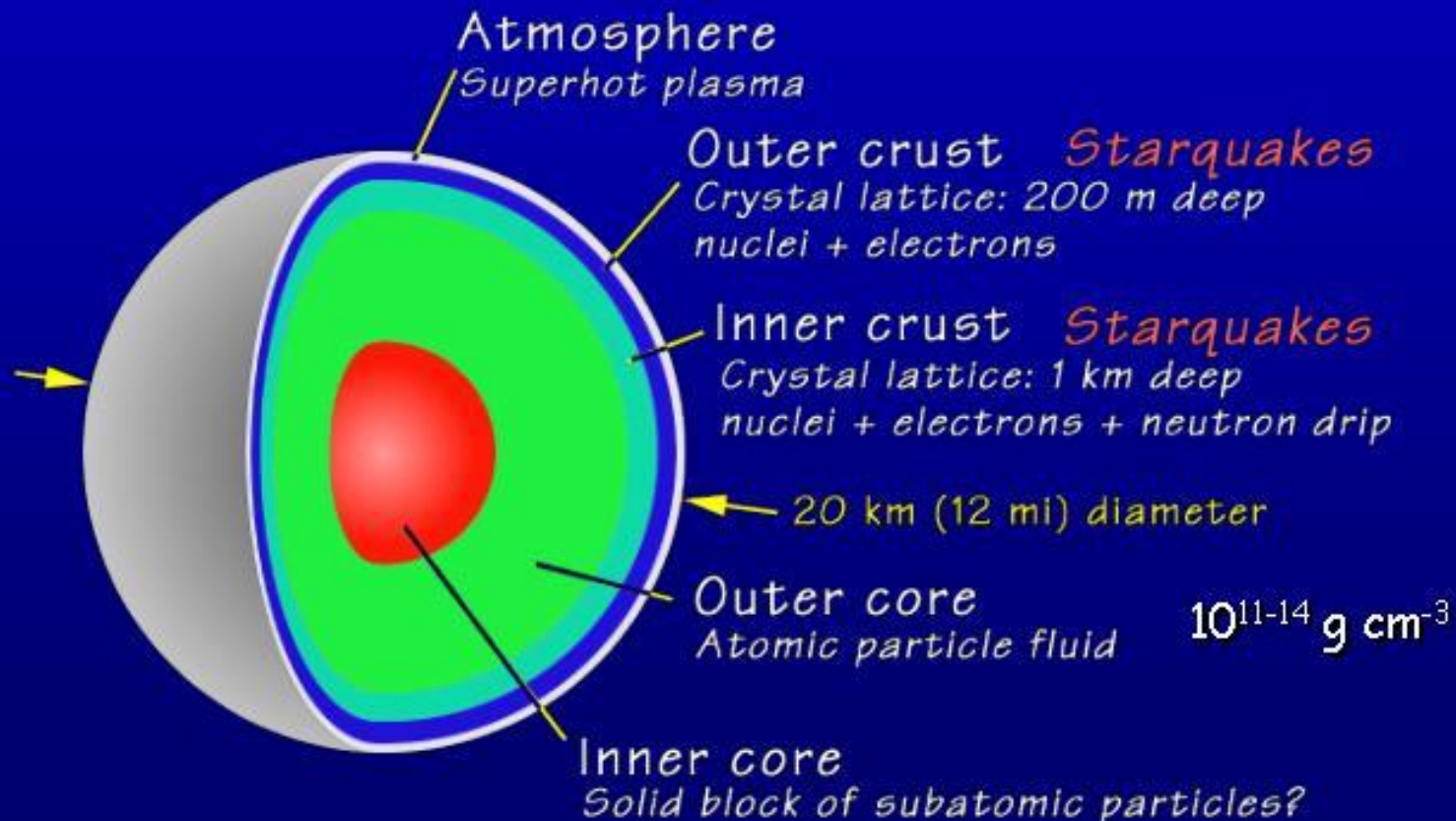






Size and Structure

- Very dependent on Equation-of-State (EOS)!
- Current research suggests:



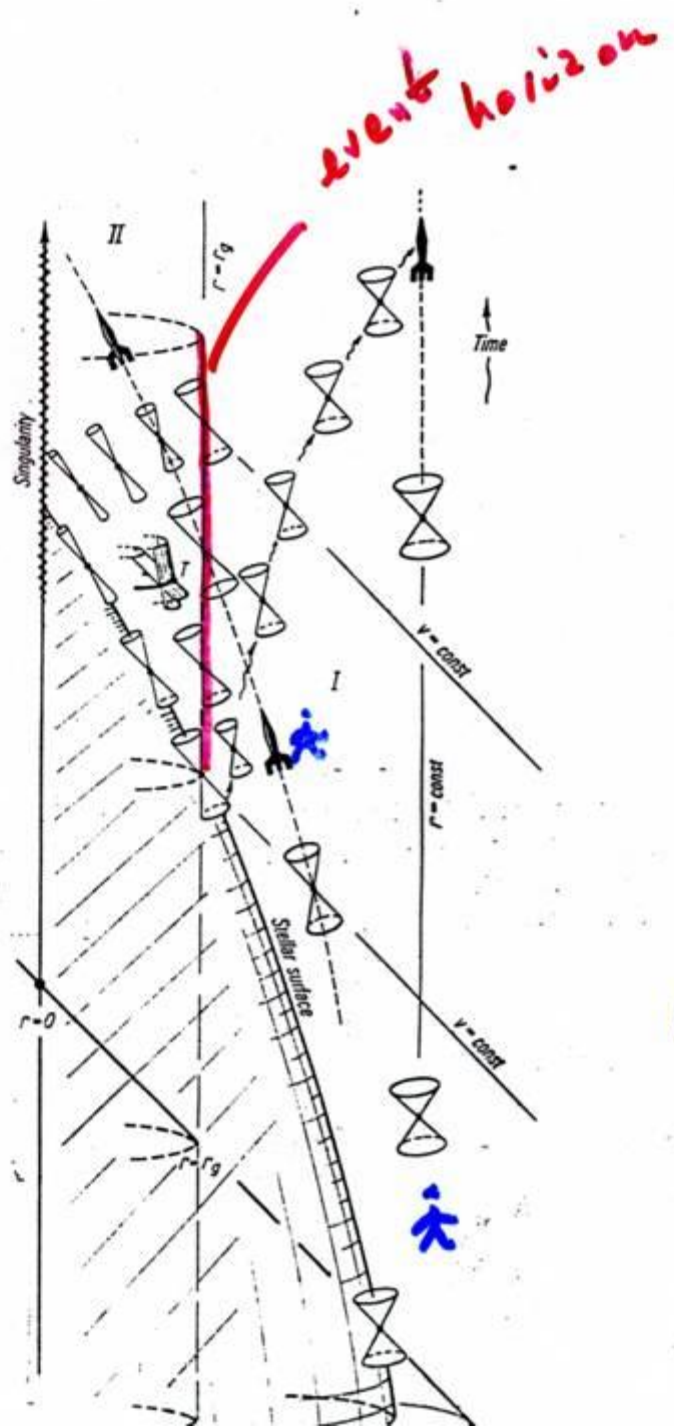
REMNANTS OF STELLAR EVOLUTION

$0.085 \leq \frac{M_{\text{in}}}{M_{\odot}} < (8 \sim 12)$ \longrightarrow white dwarf
 $M < 1.4 M_{\odot} =$ Chandrasekhar limit
 \dashrightarrow planetary nebula

$(8 \sim 12) \leq \frac{M_{\text{in}}}{M_{\odot}} < \sim 20$ \longrightarrow neutron star
supernova explosion
 $M \leq 3 M_{\odot}$

$\frac{M_{\text{in}}}{M_{\odot}} > \sim 20$ \longrightarrow black hole
supernova explosion
 $M > 3 M_{\odot}$

$\rho \rightarrow \infty$
 $R \rightarrow 0$



event horizon

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

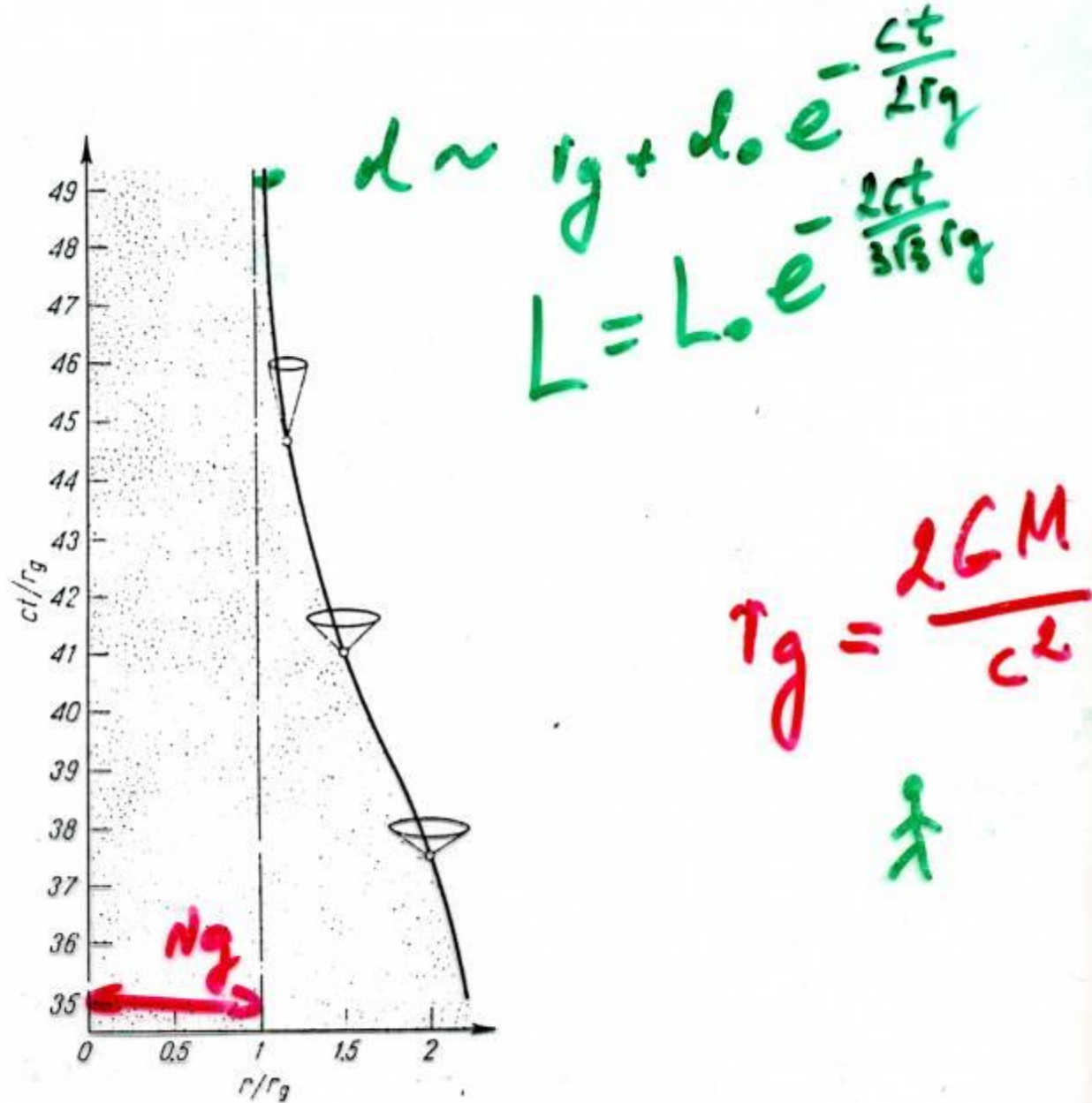
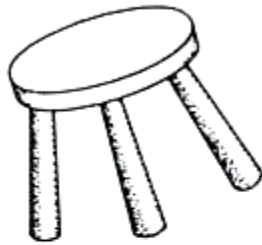


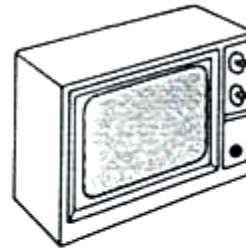
FIG. 7.1. Gravitational collapse of a star as seen by a distant observer. The stellar surface asymptotically contracts to the gravitational radius (adapted from Misner, Thorne and Wheeler, 1973).



Angular Momentum



Strangeness



Baryons

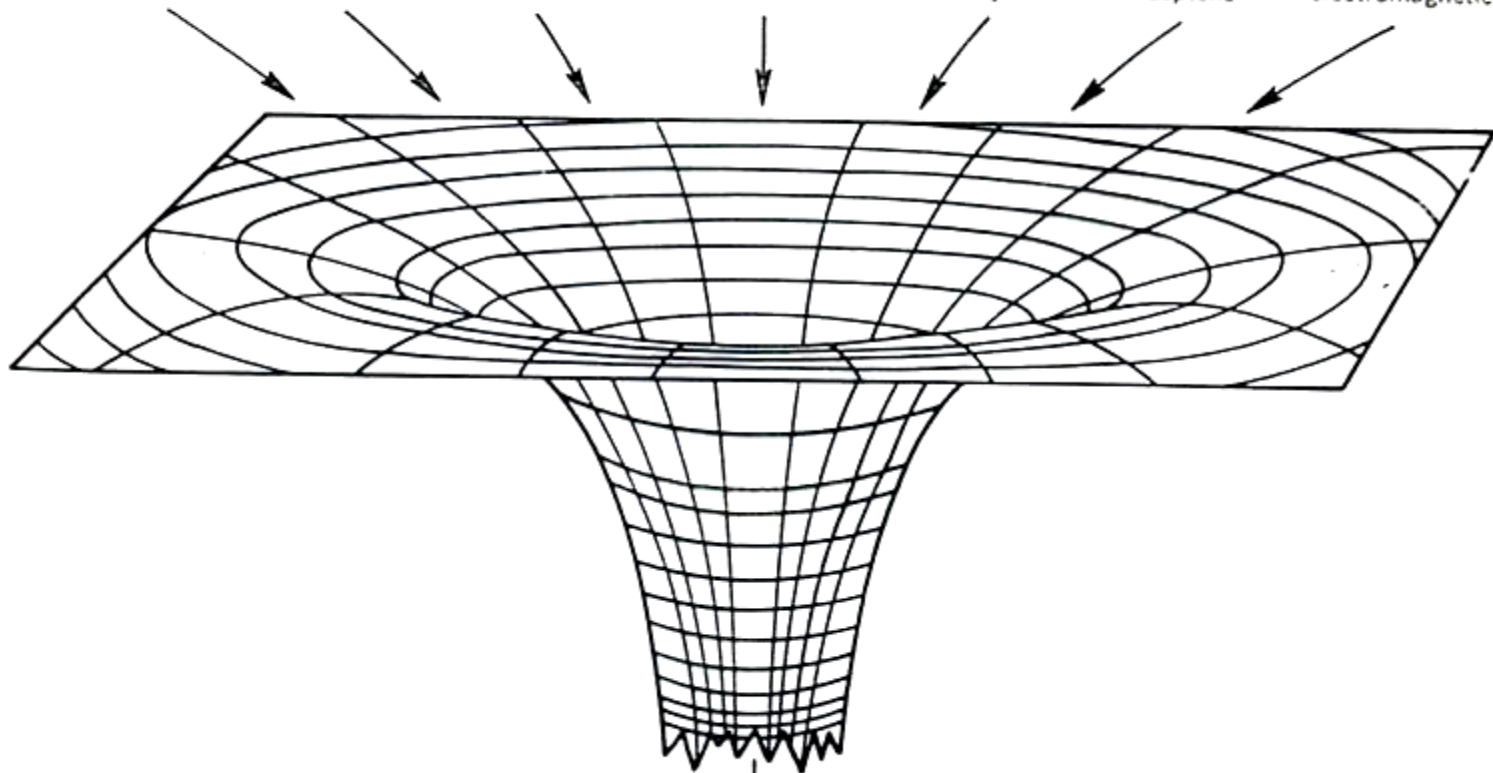


Gravitational and electromagnetic waves

Mass

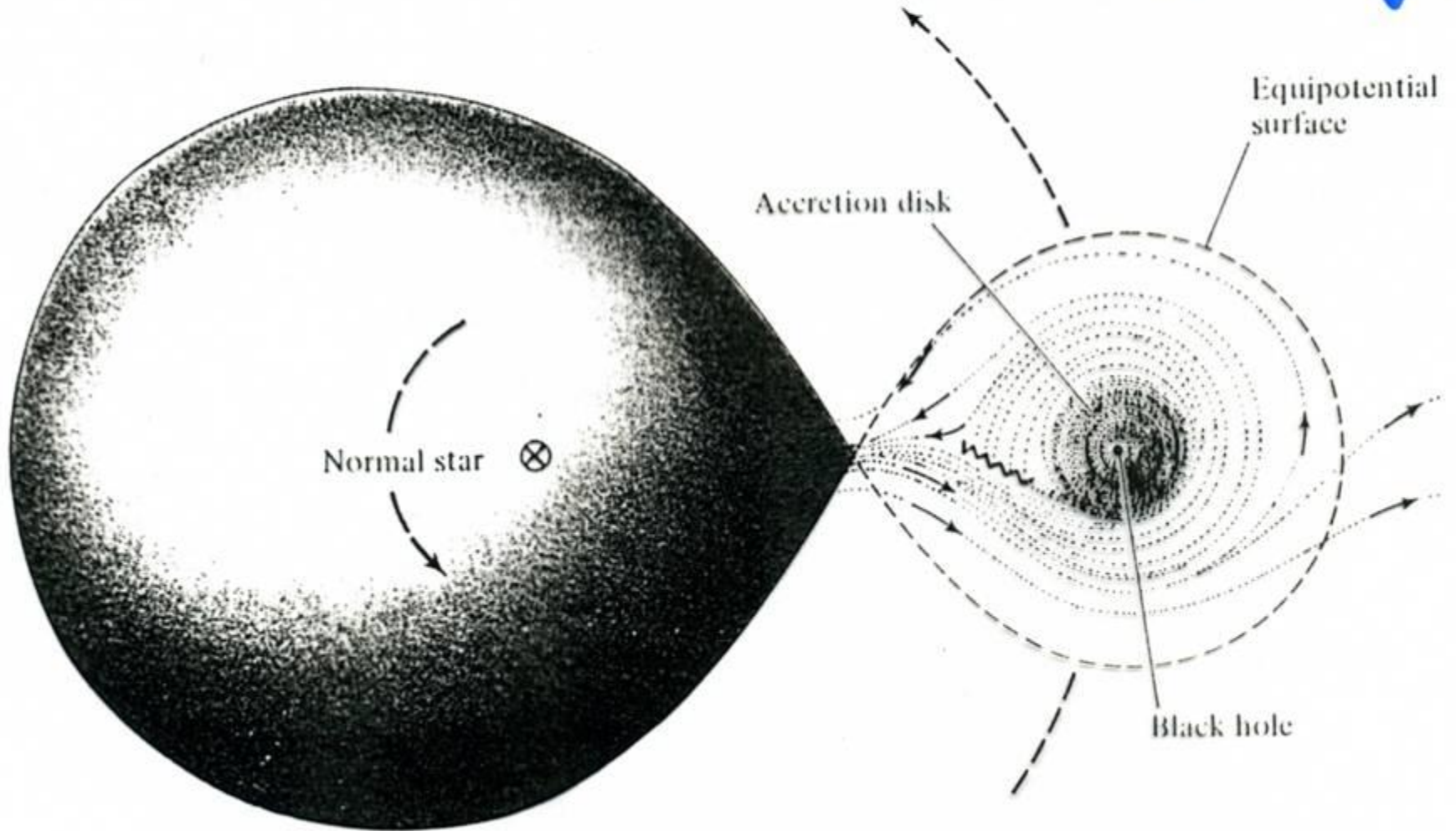
Charge

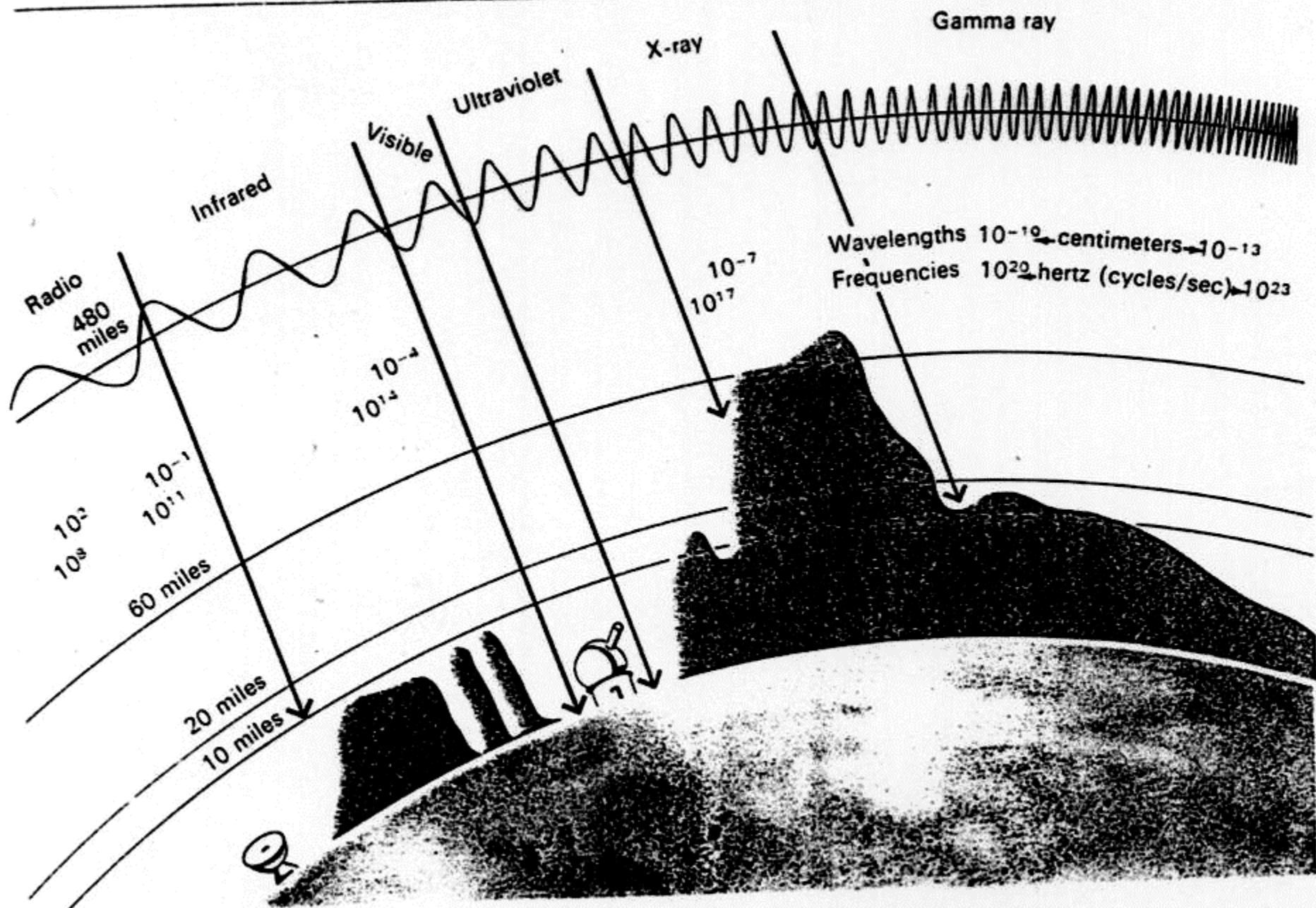
Leptons

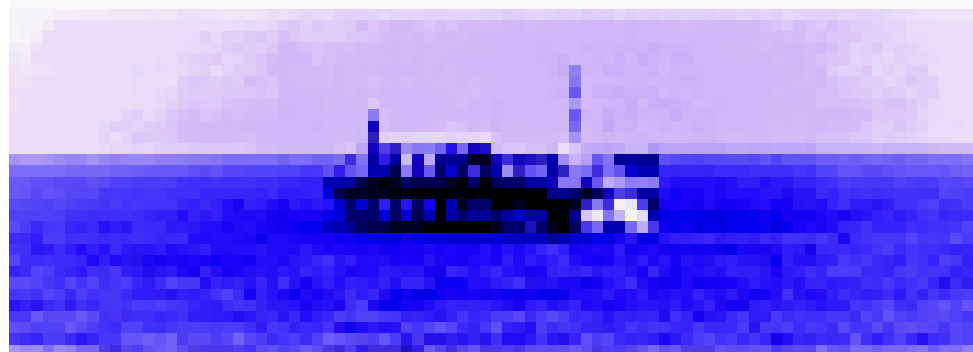
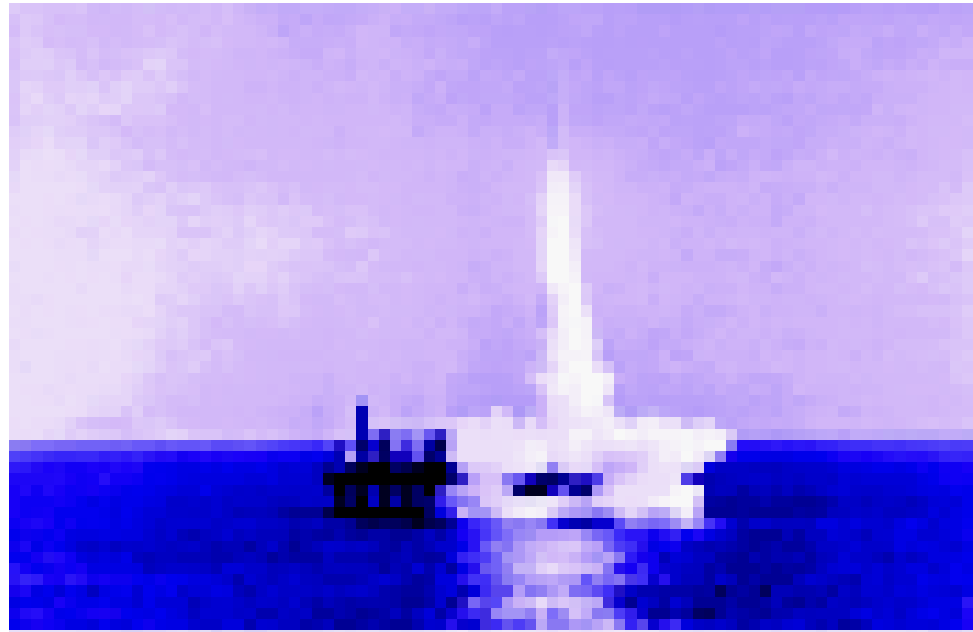


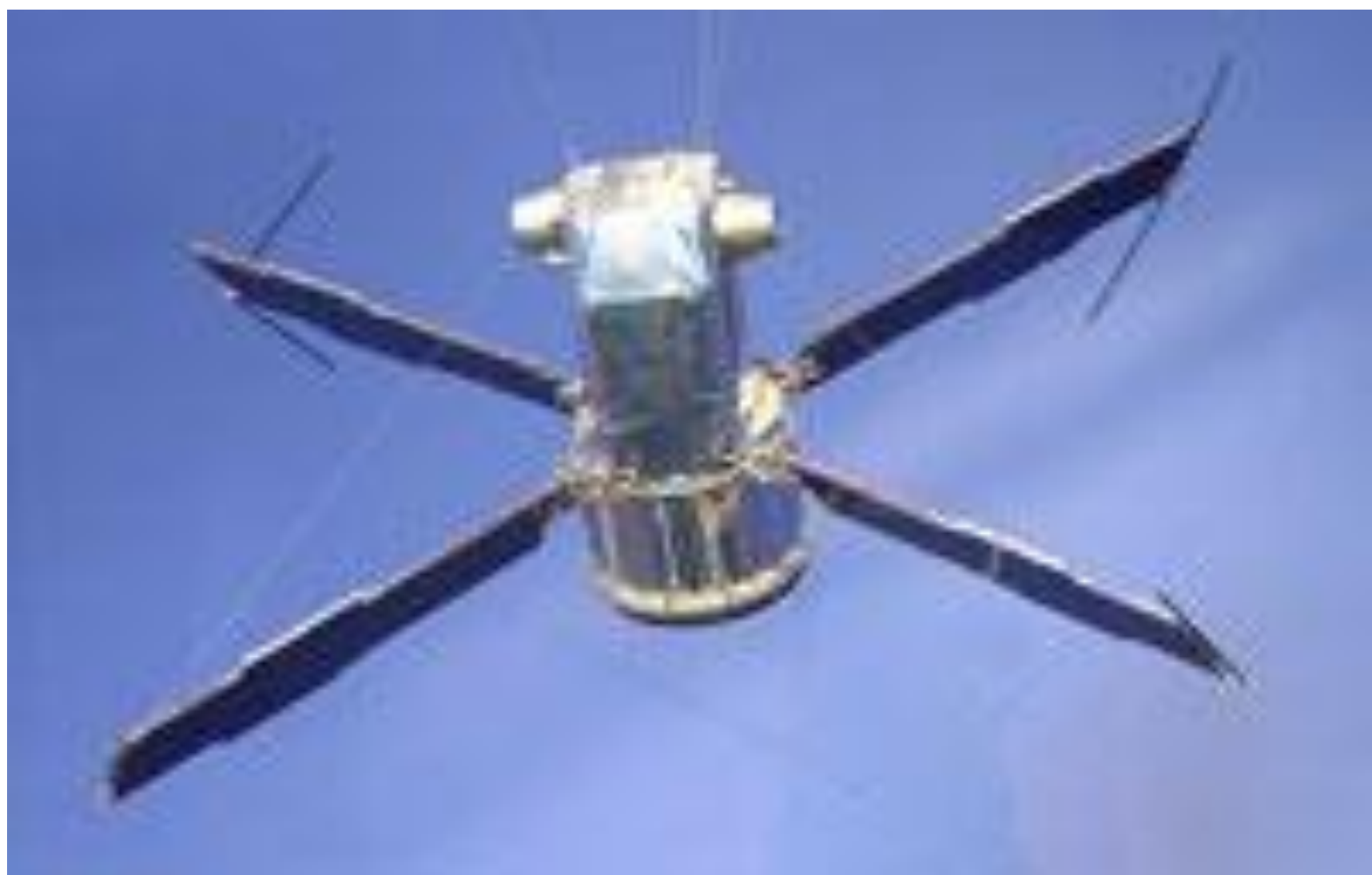
Mass
Charge
Angular Momentum

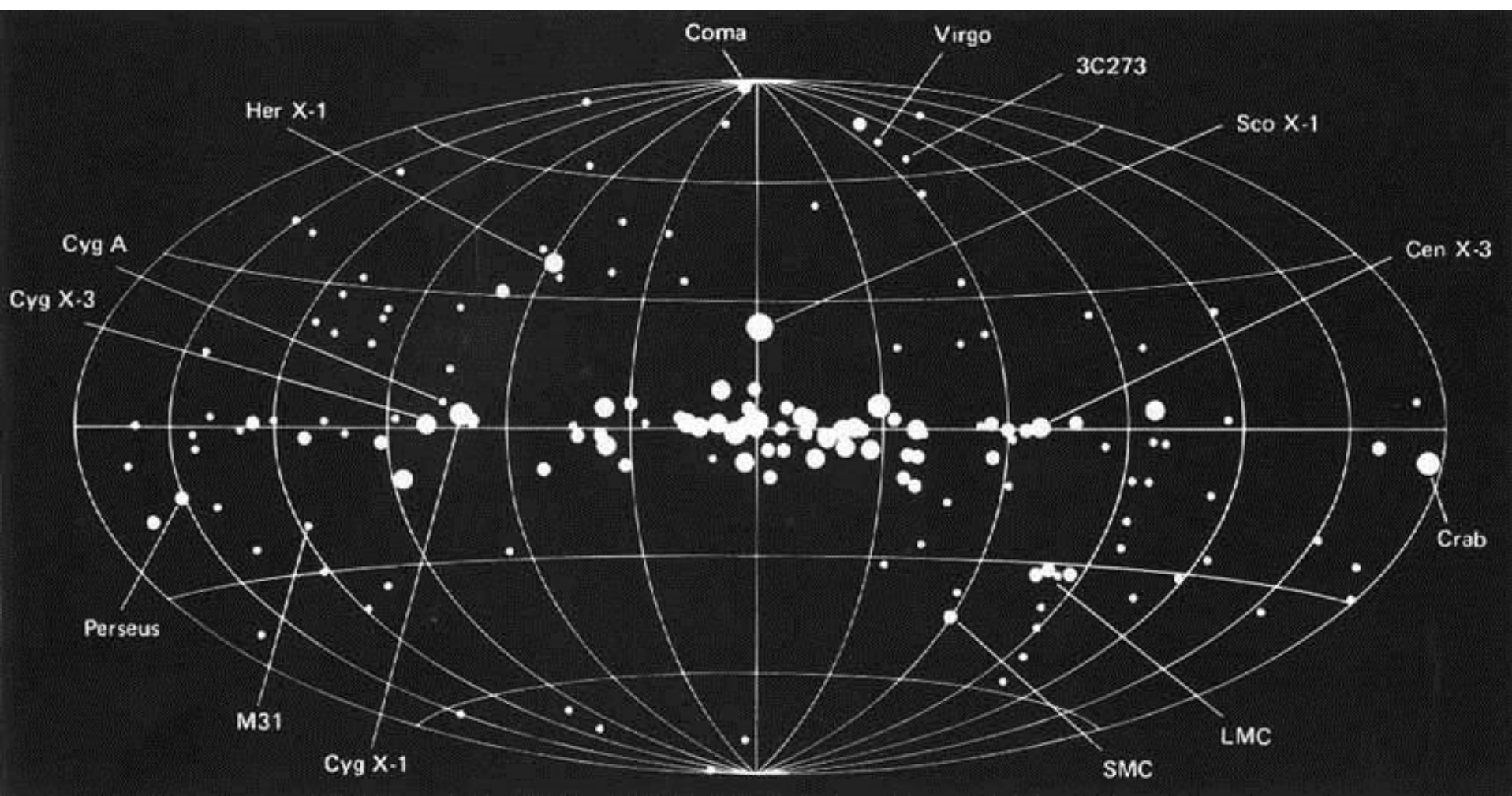
$T \sim 10^6 \text{ K}$
X-rays





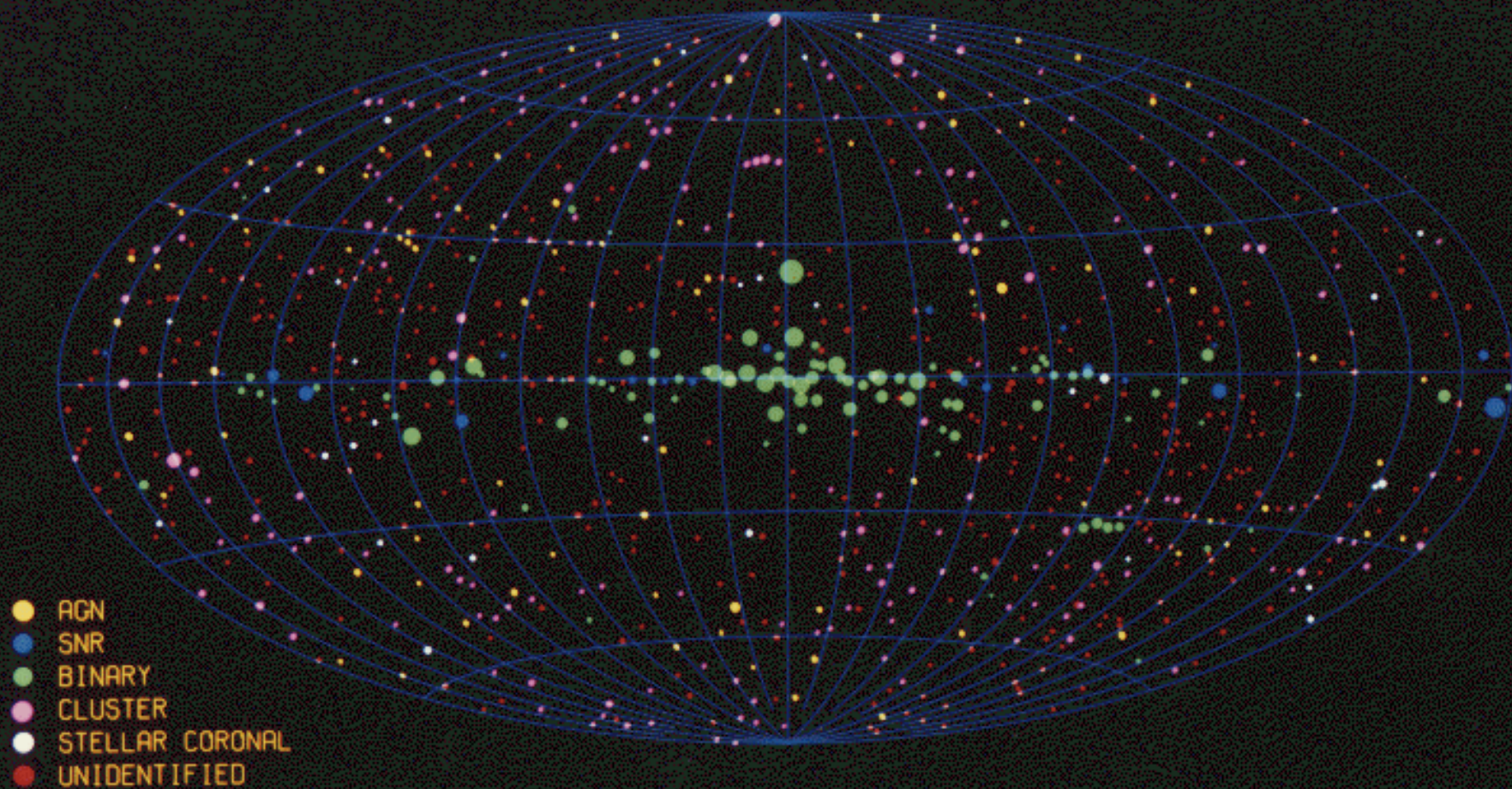


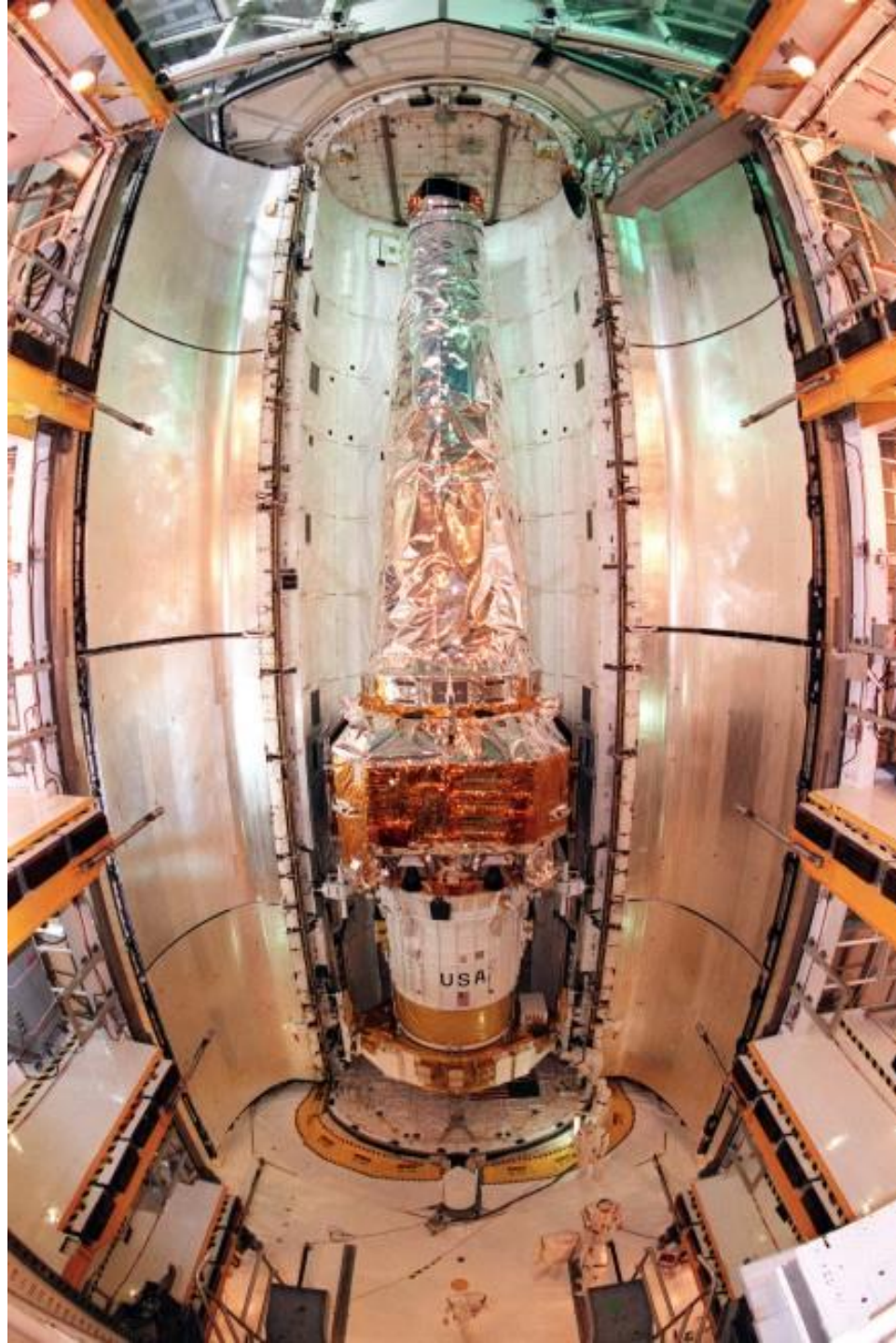


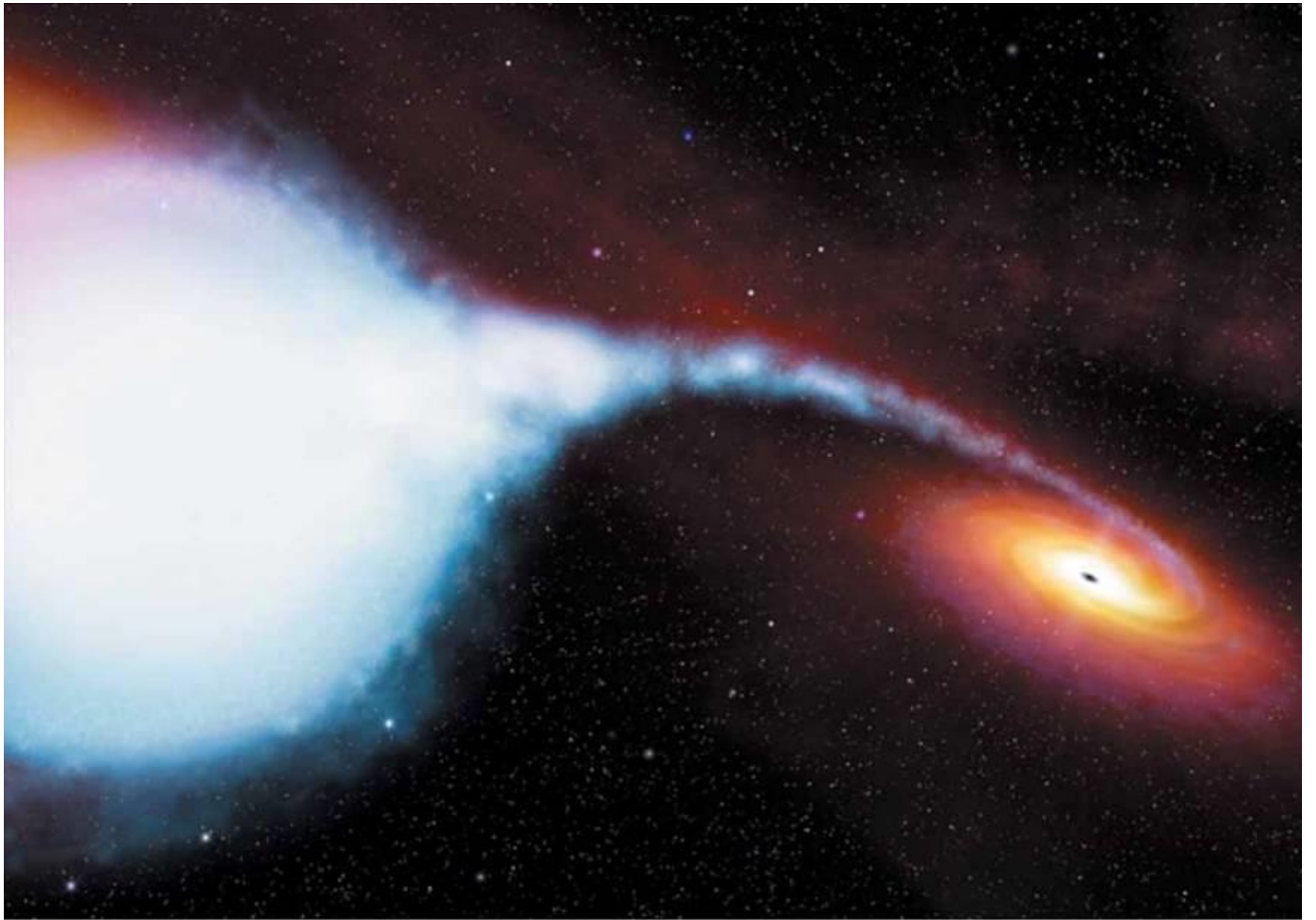


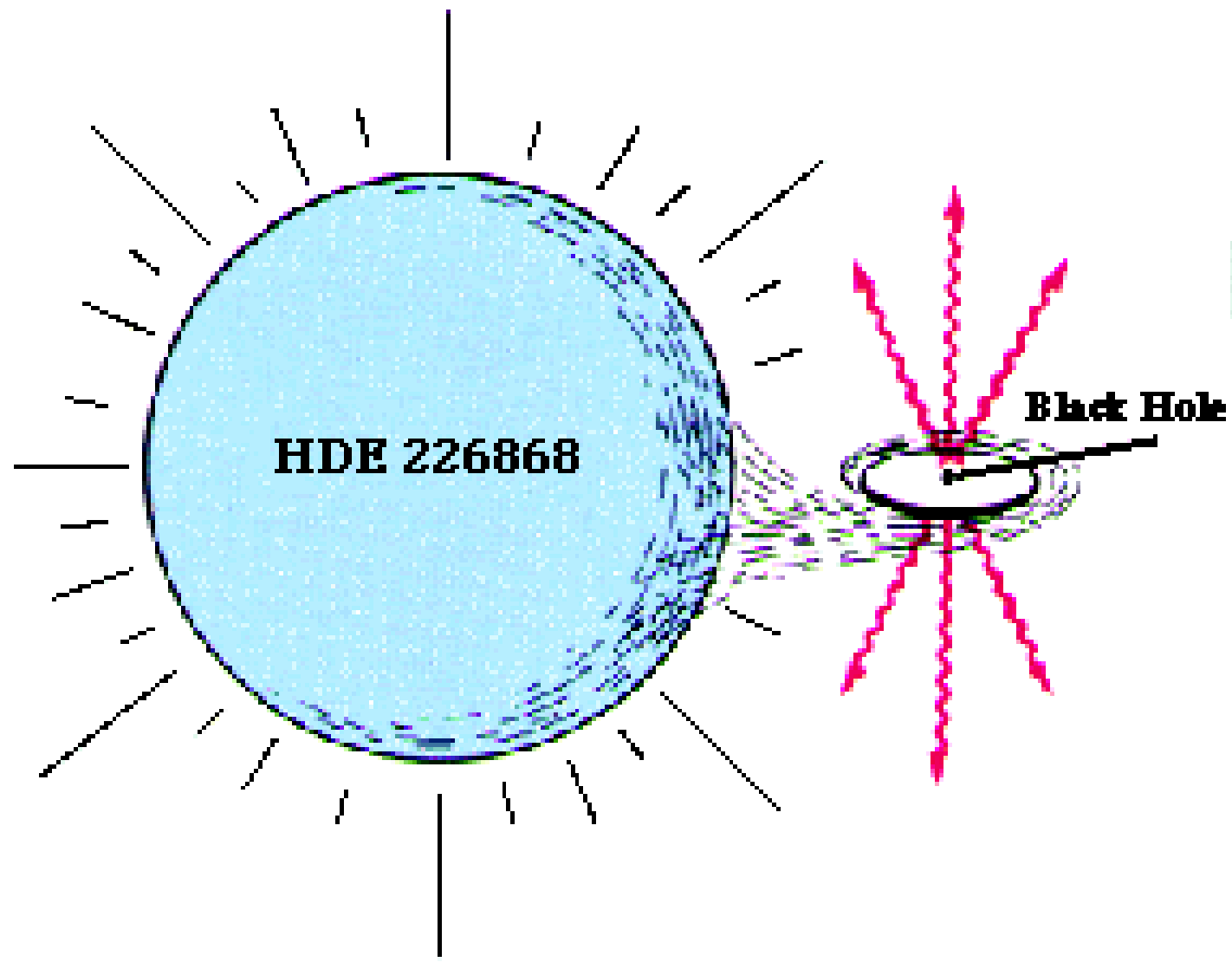
HEAO A-1 ALL-SKY X-RAY CATALOG

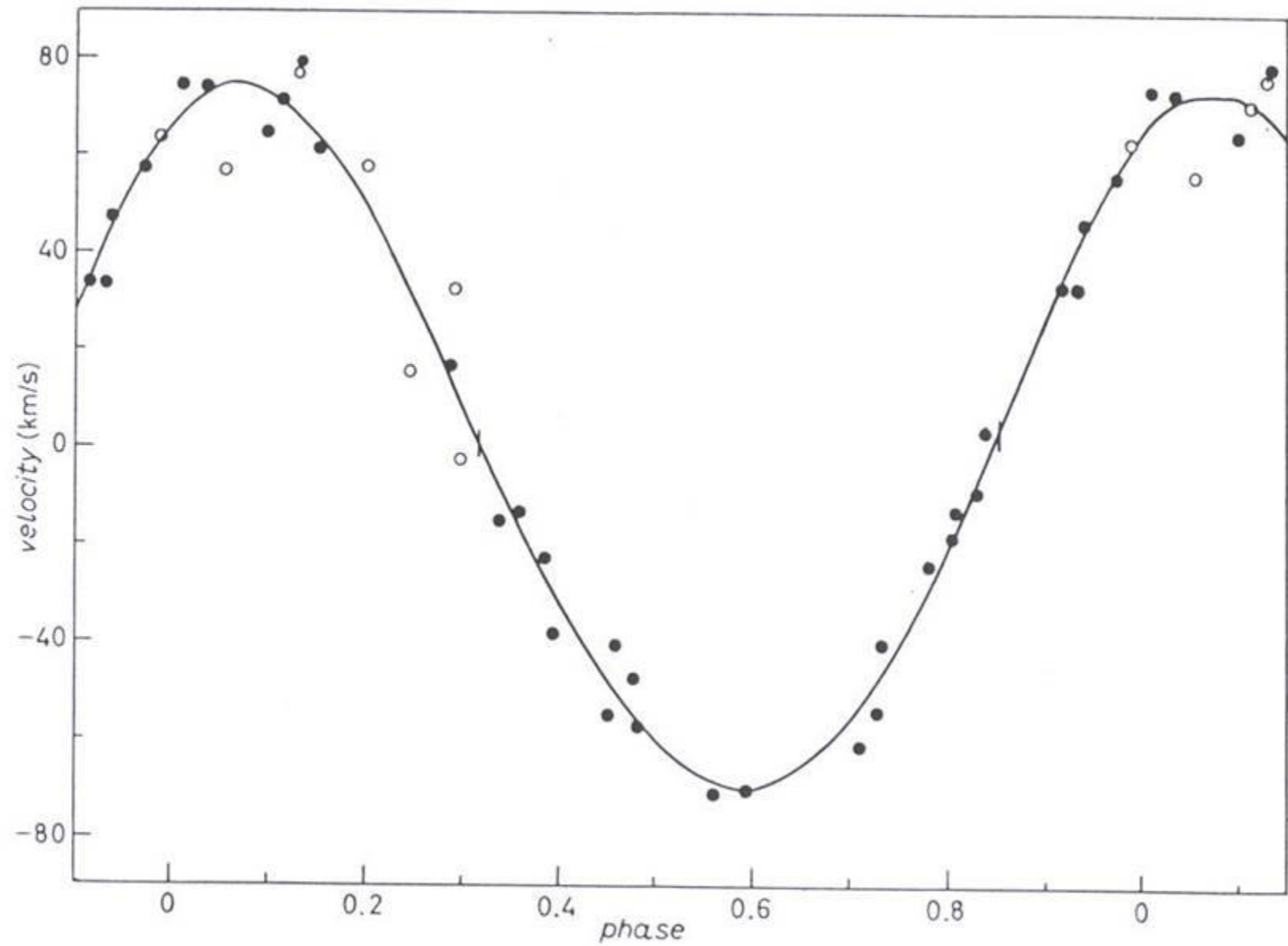
NAVAL RESEARCH LABORATORY

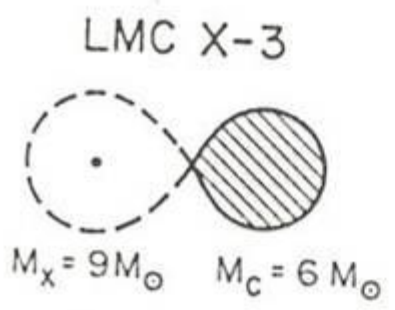
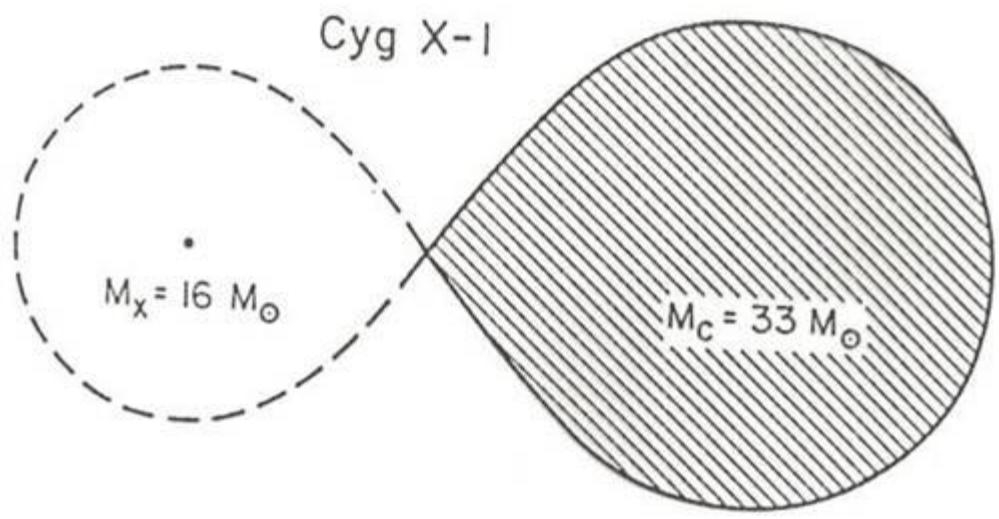




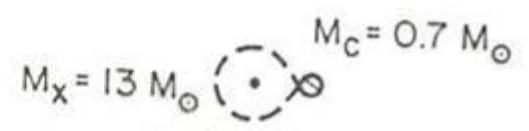








A0620-00



Neutron stars

1.4 M_{\odot}

- PSR2127+11C (C)
- PSR2127+11C (P)
- PSR2302+46 (C)
- PSR2302+46 (P)
- PSR1802-07 (P)
- PSR1855+09 (P)
- PSR1534+12 (C)
- PSR1534+12 (P)
- PSR1913+16 (C)
- PSR1913+16 (P)
- 4U1700-37
- 4U1538-52
- Her X-1
- Vela X-1
- SMC X-1
- LMC X-1
- Cen X-3
- Cen X-4

Black holes

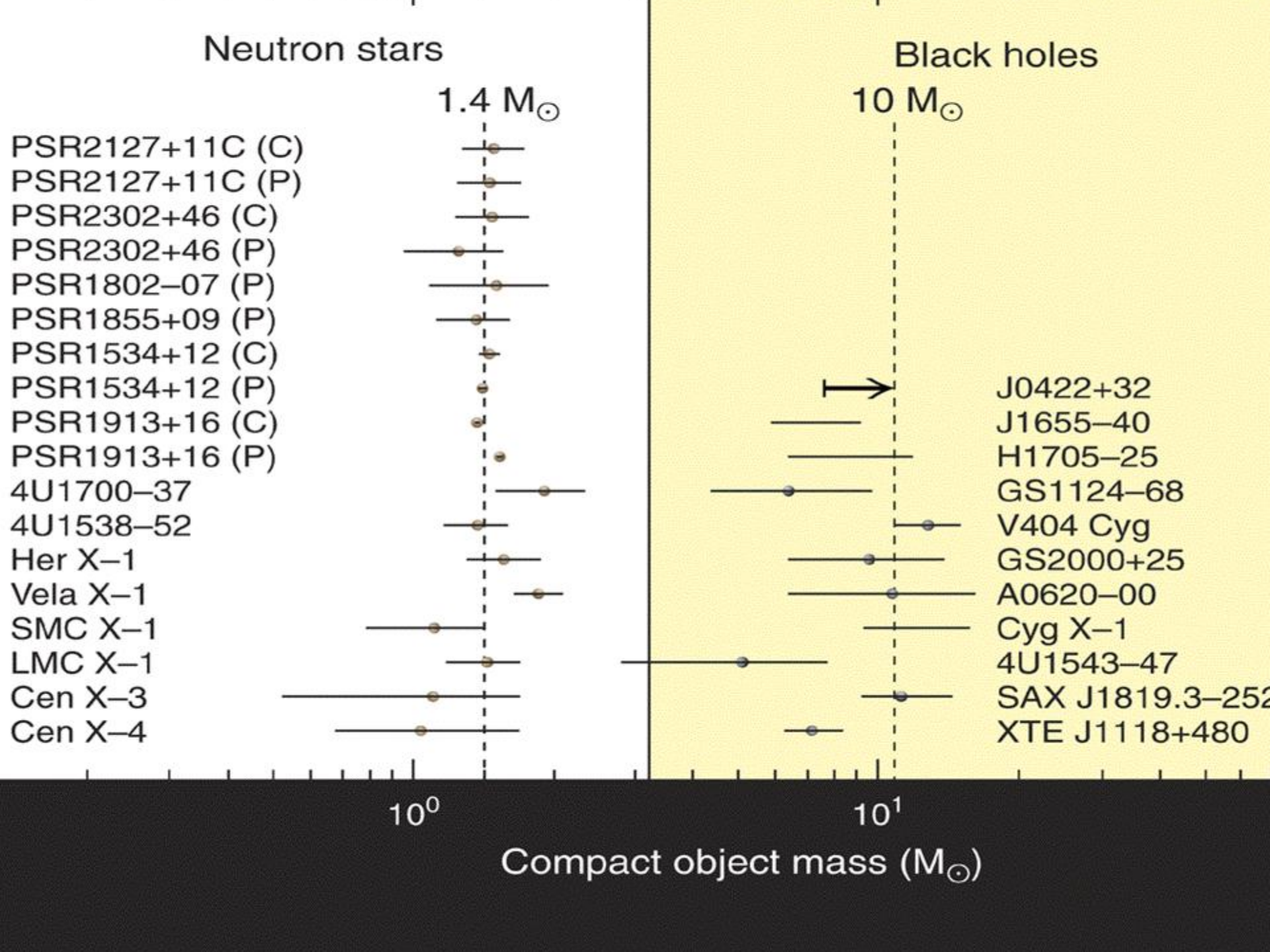
10 M_{\odot}

- J0422+32
- J1655-40
- H1705-25
- GS1124-68
- V404 Cyg
- GS2000+25
- A0620-00
- Cyg X-1
- 4U1543-47
- SAX J1819.3-252
- XTE J1118+480

10^0

10^1

Compact object mass (M_{\odot})

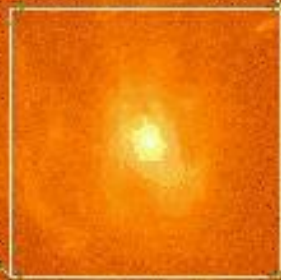
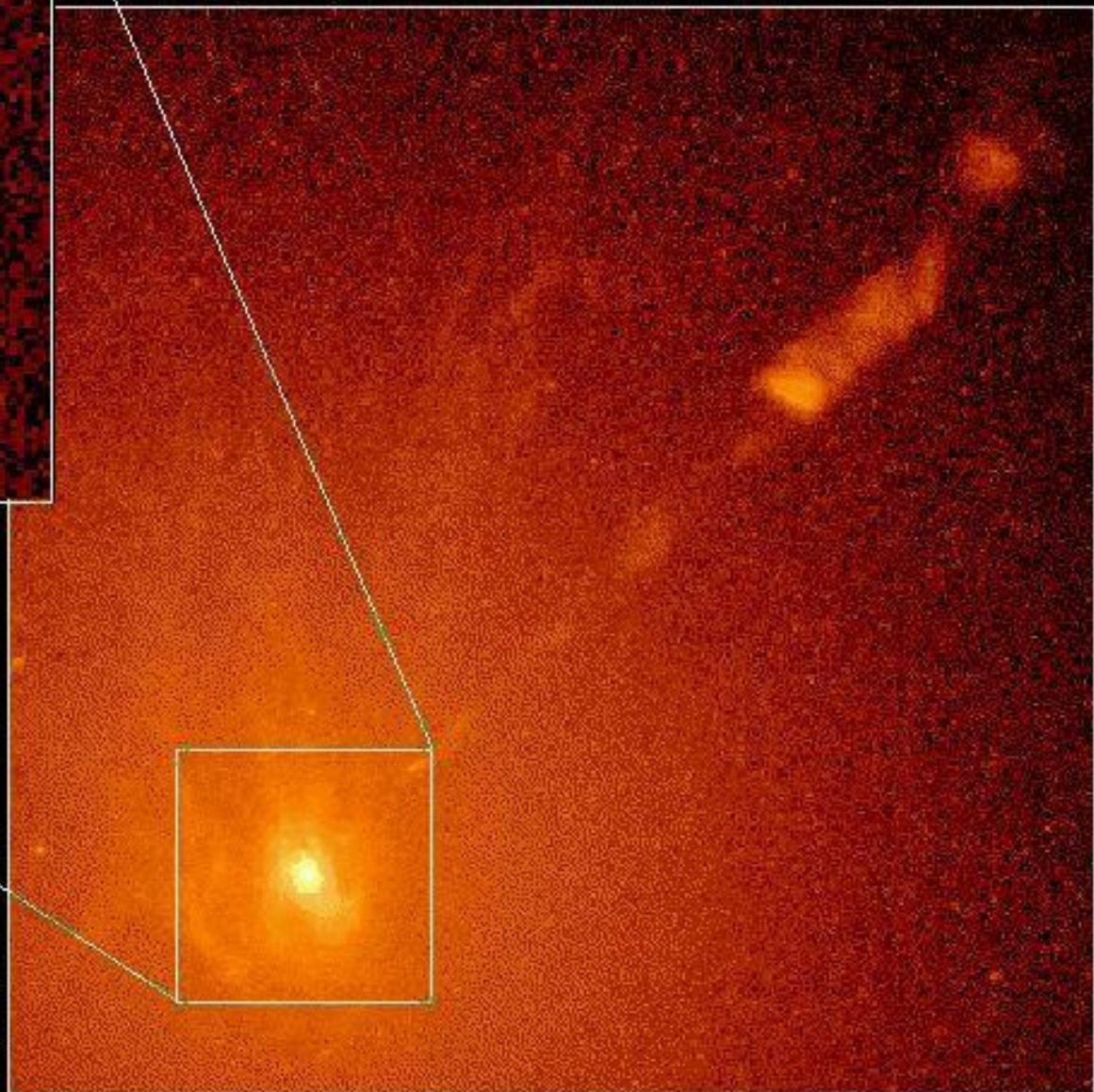
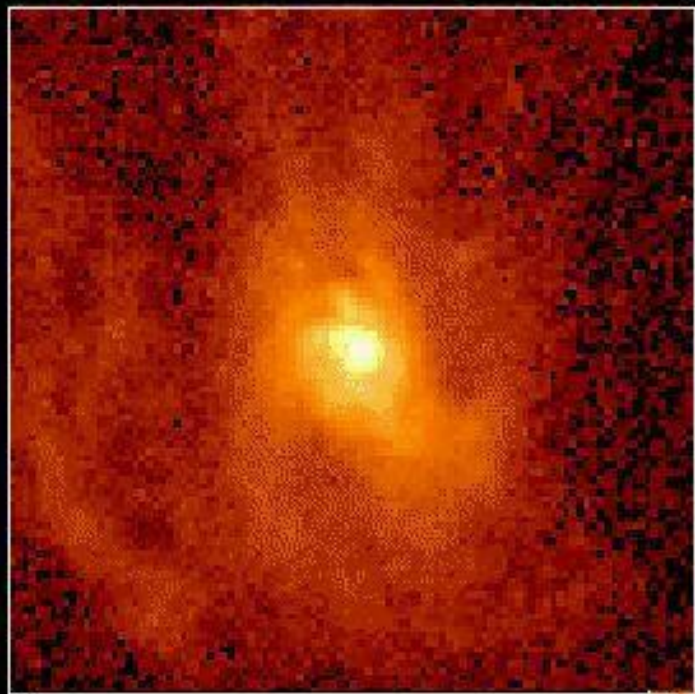


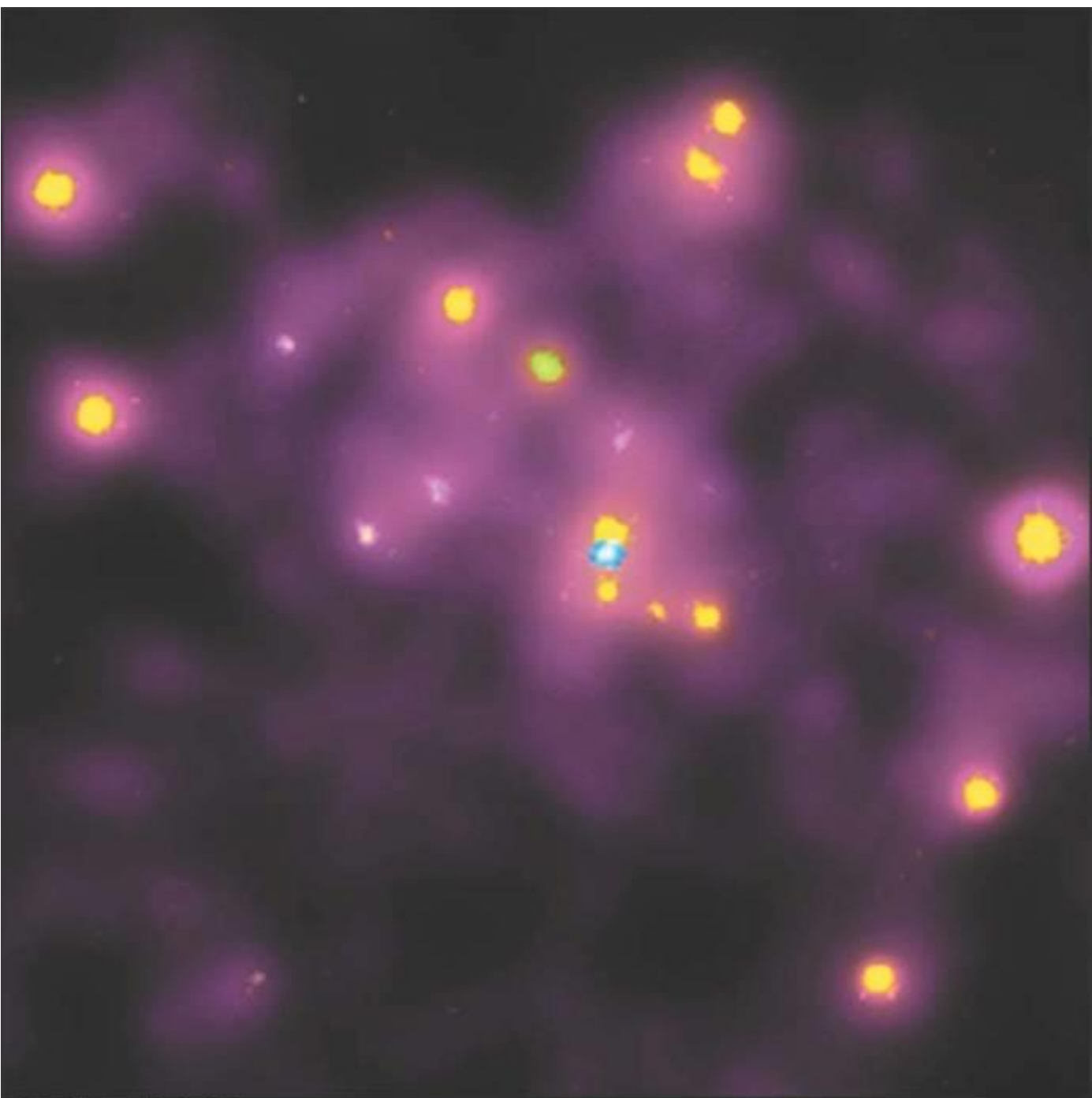




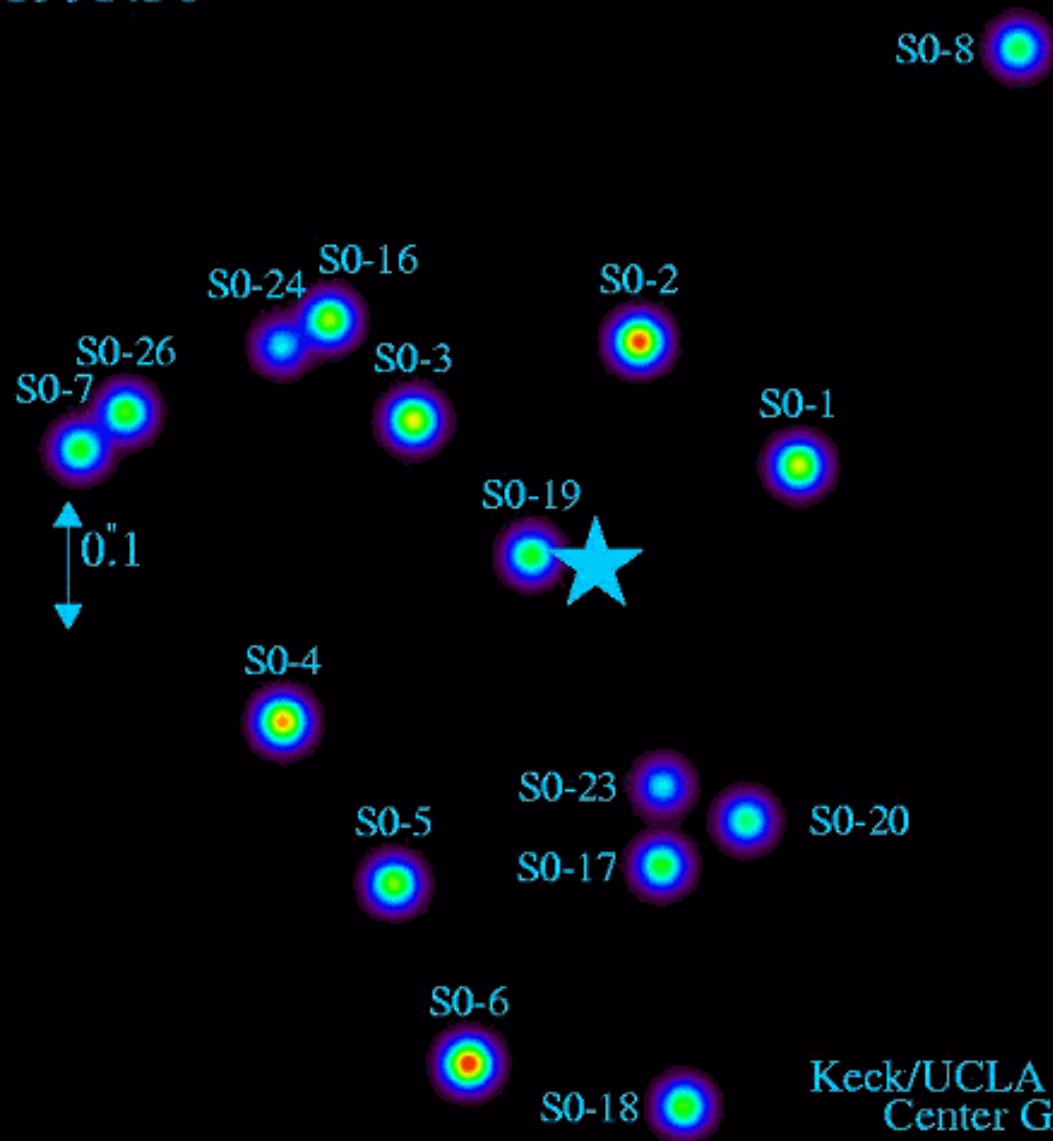
The Energetic Jet in Messier 87



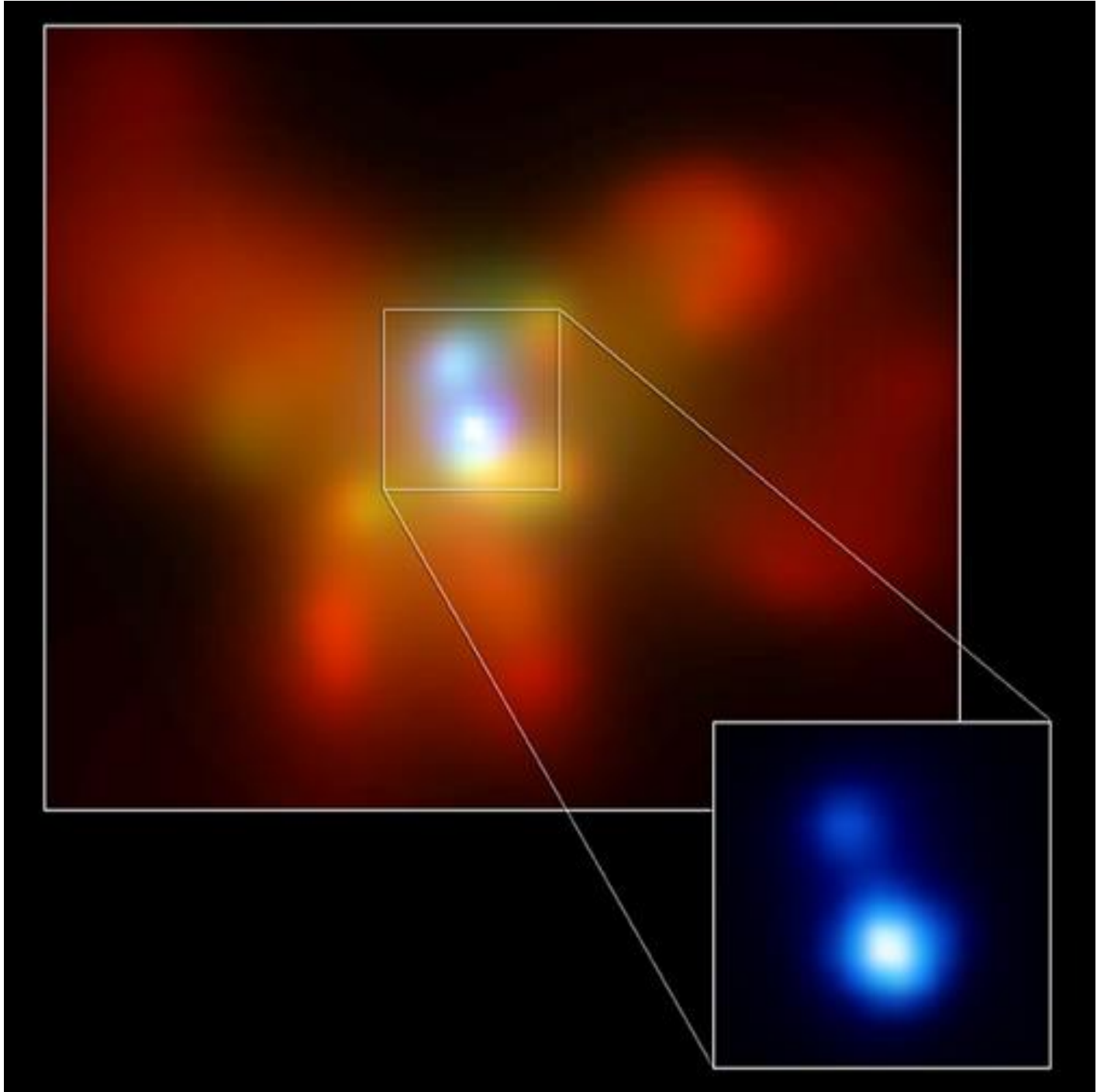




1995.50



Keck/UCLA Galactic
Center Group



W przyszłym roku będziemy obchodzili 100 rocznicę powstania ogólnej teorii względności. Z tej okazji Polskie Towarzystwo Relatywistyczne przygotowało serię wykładów dla szkół. Zainteresowanych nauczycieli i szkoły prosimy o kontakt

polskie-towarzystwo.relatywistyczne@fuw.edu.pl