

第4回 天文学の基礎の基礎

2021年8月2日 7:00

天文学でよく使われる以下の値を導くか、覚えておくこと

1. 1 A.U. (astronomical unit; 天文単位)の定義と値

地球と太陽との間の平均距離

1億5000万km

$1.5 \times 10^8 \times 10^3 \text{ (m)}$

2. 1 A.U. を光秒 (light-second) で

500 光秒 ← 覚えておけ!

$$500 \text{ (sec)} \times 3 \times 10^8 \text{ (m/s)}$$

$$\approx 5 \times 3 \times 10^{10} \text{ (m)}$$

$$= 1.5 \times 10^{11} \text{ (m)}$$

3. 1年を秒で表すと?

$$365 \times 24 \times 3600 = 3.1536 \times 10^7 \text{ (s)}$$

= π 地球年

4. 宇宙の年齢を年で表すと?

138 億年 ← 覚えておけ!

CMB の観測の
温度降下

5. 宇宙の年齢を秒で表すと?

$$138 \times 10^8 \times \pi \times 10^7 \text{ (s)} \approx 4.3 \times 10^{16} \text{ (sec)}$$

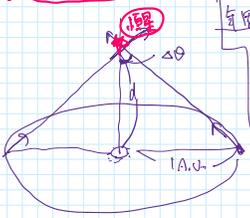
。宇宙年齢で、精度が1秒以下の時計は存在するか?

[Link to Prof. Katori's lab page](#)

6. 宇宙で最も長いスケールと短いスケールの比 (=最も長い時間と短い時間の比)は?

$$\frac{4 \times 10^{17} \text{ (sec)}}{5 \times 10^{-4} \text{ (sec)}} \approx 10^{21} \quad 61 \text{ 桁}$$

7. 1 pc (パーセク)の定義と値



年周視差 (parallax)
 $d \cdot \Delta\theta \approx 1 \text{ A.U.}$
 $\Delta\theta = \frac{1 \text{ A.U.}}{d}$
 $\Delta\theta = 1''$ とき $d \equiv 1 \text{ pc}$

$\pi = 180^\circ = 60'$ 分角
 $1' = 60''$ 秒角
 $1''$ を rad で表すと
 $180^\circ = \pi \text{ rad}$
 $1^\circ = \frac{\pi}{180}$
 $(3600)''$
 $1'' = \frac{\pi}{180 \times 3600}$

$$1 \text{ pc} = \frac{1.5 \times 10^8 \text{ (cm)}}{\left(\frac{\pi}{180 \times 3600}\right)} \approx 3.09 \times 10^{18} \text{ (cm)}$$

$1 \text{ pc} \approx 3 \times 10^{18} \text{ (cm)}$ ← 覚えておけ!

コンパクト天体 (ブラックホール、中性子星、白色矮星)について

1. 質量 M の天体のシュバルツシルト半径は?

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} \quad \leftarrow \text{覚えておけ!}$$

2. 太陽のシュバルツシルト半径、地球のシュバルツシルト半径は?

$$\frac{2GM_\odot}{c^2} \approx 2.95 \text{ km} \approx 3 \text{ km}$$

$$\frac{2GM_\oplus}{c^2} \approx 9 \text{ mm}$$

3. 白色矮星の最大質量 (チャンドラセカール限界質量)は?

$\sim 1.4 M_\odot$ ← 覚えておけ!

Nobel prize in 1983

4. 白色矮星の典型的な質量と半径は?

太陽 (Sun) $\sim 1 M_\odot$
 $\sim 2 \times 10^3 \text{ (km)}$

地球 (Earth) $\sim 6000 \text{ (km)}$

白色矮星 (White Dwarf) $\sim 1 M_\odot$
 $\sim 1 \text{ (km)}$

計算: $4\pi \text{ km} = 2\pi r$
 $r = \frac{2\pi}{2\pi} \text{ km} = 6366 \text{ km}$

5. 中性子星の理論的な最大質量 (~ブラックホールの最小質量)は?

$\sim 2.5 M_\odot$

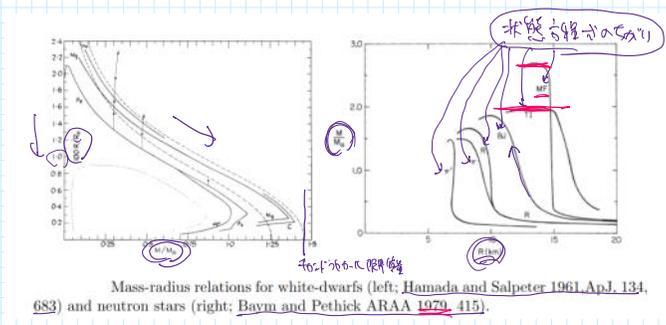
$\sim 2 \times 10^3 [g]$

$r = \frac{c}{\omega} \approx 1 \text{ km}$
 $= 6366 \text{ km}$

5. 中性子星の理論的な最大質量 (ブラックホールの最小質量) は?
 $\sim 3 M_{\odot}$ ← 代入!

6. 中性子星の典型的な質量と半径は?
 $M \sim 1.4 M_{\odot}$
 $R \sim 10 \text{ km}$

7. 白色矮星は、重い方が半径が大きい、小さいか? 中性子星ではどうか?
 ↓ 成



8. 中性子星の中心の典型的な密度は?
 $\sim 10^{15} \text{ g/cm}^3$

9. パルサー(回転している中性子星)の典型的な磁場の強さは (ガウスで)? $\sim 10^{12} \text{ gauss}$
 特に磁場の強い、マグネターの磁場の強さは?
 $\sim 10^{15} \text{ gauss}$

10. どうやって、X線観測から、中性子星の内部構造や超高密度の物質の状態方程式に制限を付けることができるのか?

[NICER page at NASA](#)

エディントン限界光度 $m_H \approx m_p$ $\sigma_T = \frac{8}{3} \pi r_0^2 = 6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$

1. 水素原子のみからなるプラズマにおいて、トムソン散乱によるopacity, k_T を $[\text{cm}^2/\text{g}]$ で表すと?

$$k_T = \frac{6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^2}{m_p}$$

$$= \frac{6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^2}{1.8 \times 10^{-24} \text{ g}} \approx 0.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

2. 質量Mの天体のエディントン限界光度の式と値を示せ (太陽質量で規格化すること).

$$\frac{GMm_H}{r^2} = \frac{Flux \cdot \sigma_T \text{ cm}^2}{4\pi r^2}$$

$m_H \approx m_p$

$m_p c^2 = 1 \text{ GeV}$
 $= 10^9 \cdot 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$
 $m_p = \frac{1.6 \times 10^9 \times 10^9 \text{ (erg)}^2}{(3 \times 10^{10} \text{ cm/s})^2}$

$$\frac{GM_{\text{MH}}}{r^2} = \frac{Fl_{\text{X}} \cdot \sigma_T [\text{cm}^2]}{c [\text{cm/s}]}$$

$$m_p = \frac{1.6 \times 10^{-19} [\text{erg}]}{(3 \times 10^8 \text{ cm/s})^2} = 1.8 \times 10^{-24} \text{ g}$$

3. エディントン限界光度、黒体輻射で光っている半径10 kmの中性子星の温度は？半径5000 kmの白色矮星の場合は？

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

$$\left(\frac{L}{4\pi R^2 \cdot \sigma}\right)^{1/4} = T$$

中性子星

$$M = 1.4 M_{\odot}$$

$$T = \left(\frac{10^{38} \cdot 1.4 [\text{erg/s}]}{4\pi \times (10 \text{ km})^2 \cdot 10^{24} [\text{cm}^2/\text{cm}^2/\text{cm}^4]} \right)^{1/4} = \left(\frac{1.4 \times 10^{38}}{12 \times 10^{12} \times 10^{24}} \right)^{1/4} [\text{keV}] = (1.16)^{1/4} [\text{keV}] \approx 1.8 [\text{keV}]$$

$$= \frac{L_{\text{Edd}}}{4\pi r^2} \cdot \frac{\sigma_T}{c}$$

$$L_{\text{Edd}} = \frac{GM_{\text{MH}} 4\pi c}{\sigma_T}$$

$$\left(\frac{L_{\text{Edd}}}{4\pi R^2 \cdot \sigma}\right)^{1/4} = \left(\frac{GM}{\sigma_T R^2}\right)^{1/4} = \left(\frac{4\pi c GM}{kT}\right)^{1/4}$$

$$= \left(\frac{2\pi}{kT} \cdot \frac{2cM_{\odot}}{c^2} \cdot c^3 \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)\right)^{1/4}$$

$$= \frac{2\pi}{0.4 [\text{cm}^2/\text{g}]} \cdot 3 [\text{km}] \cdot (3 \times 10^8 \text{ cm/s})^3 \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)$$

$$= \frac{6}{0.4} \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 27 \times 10^{30} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) [\text{erg/s}]$$

$$\approx 1.2 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) \approx 1 \times 10^{38} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) [\text{erg/s}]$$

2.5倍は3.5倍!!

白色矮星の場合

$$M = 1 M_{\odot}$$

$$R = 5000 \text{ km}$$

$$T = \left(\frac{10^{38} \text{ erg/s}}{4\pi \times (5000 \text{ km})^2 \cdot 10^{24}} \right)^{1/4} [\text{keV}]$$

$$= \left(\frac{10^{38}}{10 \cdot (5 \times 10^3 \times 10^5)^2 \cdot 10^{24}} \right)^{1/4} [\text{keV}] = \left(\frac{10^{38}}{10 \cdot 25 \cdot 10^{16} \cdot 10^{24}} \right)^{1/4} [\text{keV}]$$

$$= \left(\frac{1}{10 \cdot 25 \cdot 10^2} \right)^{1/4} [\text{keV}]$$

$$= \left(\frac{1}{2500} \right)^{1/4} [\text{keV}] = 0.08 [\text{keV}] = 80 \text{ eV}$$

4. これらの天体(エディントン限界光度、黒体輻射で光っている中性子星または白色矮星)は何か？

X線源

Discovery of intense X-ray bursts from the globular cluster NGC6624

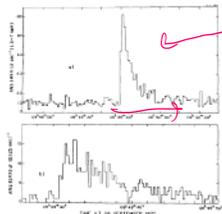


Fig. 2.—Burst of 09:49 September 28. Upper histogram is intensity profile as seen by HEXE with 1 s integration intervals. Lower histogram is the event as seen by SXX with 0.125 s integration intervals.

X-ray burst and neutron-star thermonuclear flashes

Some of the properties of thermonuclear flashes that should occur in the surface layers of accreting neutron stars are investigated. Such flashes may account for many of the observed properties of X-ray burst sources. Helium seems to be the most promising type of nuclear fuel for producing flashes that result in X-ray bursts.

Super-soft X-ray sources in the fields of the Magellanic Clouds (by ROSAT)

星体輻射

熱い

be the most promising type of nuclear fuel for producing flashes that result in X-ray bursts.

Super-soft X-ray sources in the fields of the Magellanic Clouds (by ROSAT)

The high luminosities deduced from the X-ray observations by ROSAT favor WDs accreting at high rates ($\geq 10^{-7} M_{\odot} yr^{-1}$) and stable burning hydrogen or helium.

厚い

光学的に厚い (不透明)

↓
薄い (透明)

5. エディントン限界光度よりも明るく光っている超エディントン限界光度天体 "Super Eddington sources" は存在するか?

yes

VLX pulsar

An ultraluminous X-ray source powered by an accretion neutron star

Editorial Summary

What drives ultraluminous X-ray sources?

Ultraluminous X-ray sources (ULXs) are non-nuclear point sources that are widely believed to contain either intermediate mass black holes or smaller, stellar mass black holes accreting from a binary companion. The study of ULXs provides information about black hole formation and/or modes of high Eddington rate accretion.