1 物理定数表

1.1 基礎定数

真空中の光速 †	c	$2.997\ 924\ 58 \times 10^8$ m s^{-1} (SI)
単位電荷 †	$e = q_e/\sqrt{4\pi\epsilon_0}$	4.80×10^{-10} esu (CGS)
	$q_e = e\sqrt{4\pi\epsilon_0}$	$1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ C (SI)
	$\left[e^2\right] = \left[(q_e/4\pi\epsilon_0)^2\right]$	$\left[\mathrm{ML^3T^{-2}}\right]$
真空の誘電率	$\epsilon_0 = \left(1/4\pi c^2\right) \times 10^7$	8.85×10^{-12} Fm^{-1} (SI)
	$1/4\pi\epsilon_0 = c^2 \times 10^{-7}$	8.99×10^9 kg m^3 s^{-2} C^{-2} (SI)
	$q_e^2/4\pi\epsilon_0$	2.31×10^{-28} kg m^3 s^{-2} (SI)
真空の透磁率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	1.26×10^{-6} Hm^{-1} (SI)
プランク定数 †	h	$6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J s$= 4.14 \times 10^{-15}$ eV s
	$\hbar = h/2\pi$	1.05×10^{-27} erg s $= 6.58 \times 10^{-16}$ eVs
	$[h]$	$\left[\mathrm{ML^2T^{-1}}\right]$
重力定数	G	6.67×10^{-8} dyn cm^2 g^{-2}
	$[G]$	$\left[\mathrm{M^{-1}L^3T^{-2}}\right]$
微細構造定数	$\alpha_\mathrm{e} = e^2/\hbar c(\mathrm{CGS}) = q_e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c(\mathrm{SI})$	$1/\left(1.37 \times 10^2\right) = 7.30 \times 10^{-3}$
重力微細構造定数	$\alpha_\mathrm{g} = Gm_\mathrm{p}^2/\hbar c$	5.90×10^{-39}
アボガドロ数 †	N_A	$6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ mol^{-1}
ボルツマン定数 †	k	$1.380\ 649 \times 10^{-23}$ J K^{-1} $=8.62 \times 10^{-5}$ eV K^{-1}
ボーア磁子	$\mu_\mathrm{B} = e\hbar/2m_\mathrm{e}$	9.27×10^{-21} gauss cm^3

(†: 2019 年からの新 SI 単位系で c, q_e, h, N_A,k は不確かさのない定義値として全桁を表示。それ以外は有効数字 2 桁で表記。)

1.2 長さと面積

	cm	pc	light year	AU
cm	1	3.24×10^{-19}	1.06×10^{-18}	6.69×10^{-14}
pc (パーセク)	3.09×10^{18}	1	3.26	2.06×10^5
light year (光年)	9.46×10^{17}	0.307	1	6.32×10^4
AU (天文単位)	1.50×10^{13}	4.85×10^{-6}	1.58×10^{-5}	1

電子のコンプトン波長	$\lambda_\mathrm{e} = h/m_\mathrm{e}c$	2.43×10^{-10} cm	$(\lambda_\mathrm{e}/2\pi = 3.84 \times 10^{-11}$ cm)
陽子のコンプトン波長	$\lambda_\mathrm{p} = h/m_\mathrm{p}c$	1.32×10^{-13} cm	$(\lambda_\mathrm{p}/2\pi = 2.10 \times 10^{-14}$ cm)
古典電子半径	$r_e = e^2/m_e c^2$	2.82×10^{-13} cm	
ボーア半径	$a_0 = \hbar^2/m_e e^2$	0.529×10^{-8} cm	$(\pi a_0^2 = 0.880 \times 10^{-16}$ cm$^2)$
リュードベリ定数	$R_\infty = 2\pi^2 m_\mathrm{e} e^4/ch^3$	1.10×10^5 cm^{-1}	
1 keV の光子の波長	$hc/1\mathrm{keV}$	12.4×10^{-8} cm	=12.4 Å
ラーモア半径	$r_g = p_\perp/qB$	$3.3 \times 10^2(\gamma mc^2/\mathrm{GeV})(v_\perp/c)(q/e)^{-1}(B/\mathrm{T})^{-1}$ cm	
地球半径	$R_\oplus$	6.38×10^8 cm	$(4\pi R_\oplus^2 = 5.11 \times 10^{18}$ cm$^2)$
太陽半径	$R_\odot$	6.96×10^{10} cm	$(4\pi R_\odot^2 = 6.09 \times 10^{22}$ cm$^2)$
シュバルツシルト半径	$R_\mathrm{s} = 2GM/c^2$	$2.95 \times 10^5(M/M_\odot)$ cm	~ 3 km
銀河系中心から太陽の距離		~ 10 kpc	(c.f., IAU 8.5 kpc)
銀河系の直径		$\sim$25 kpc	
銀河団の平均直径		$\sim$3 Mpc	
プランク長	$\left(G\hbar/c^3\right)^{1/2}$	1.62×10^{-33} cm	
トムソン散乱断面積	$\sigma_\mathrm{T} = 8\pi r_\mathrm{e}^2/3$	6.65×10^{-25} cm^2	
バーン (barn, 反応断面積)	b	10^{-24} cm$^2 = 10^{-28}$ m^2	

1.3 時間

1 ユリウス年		365.25 days（SI day）=31,557,600 s
1 日		24 h = 1,440 min = 86,400 s
光の伝搬時間		$3.33(r/1$ m) ns $=500(r/1$ AU) s
ハッブル時間	$1/H_0$	$9.8 \times 10^9 h^{-1}$ year $=3.09 \times 10^{17} h^{-1}$ s　(宇宙年齢の目安)
宇宙年齢		138 億年 [Planck Collaboration A&A (2016), Table 4]
プランク時間	$\left(G\hbar/c^5\right)^{1/2}$	5.39×10^{-44} s

1.4 質量とエネルギー

電子の質量	$m_{\rm e}$	9.11×10^{-28} g	電子の静止質量エネルギー	$m_{\rm e}c^2$	0.511 MeV
陽子の質量	$m_{\rm p}$	1.67×10^{-24} g	陽子の静止質量エネルギー	$m_{\rm p}c^2$	938 MeV
陽子電子質量比	m_n/m_e	1.84×10^{3}	水素の基底状態エネルギー	$m_{\rm e}c^2(\alpha_{\rm e}^2/2)$	13.6 eV
地球質量	$M_\oplus$	5.98×10^{27} g		=1Ry	912 Å
太陽質量	$M_\odot$	1.99×10^{33} g			
銀河系質量	$M_{\rm gal}$	$\sim 2\times10^{11}M_\odot$	$E\lambda = 12.39842$ keV Å		
宇宙の質量	$M_{\rm U}$	10^{54}–10^{56} g	$\hbar c = 1.973$ keV Å=197.3 MeV fm		
プランク質量	$(\hbar c/G)^{1/2}$	2.18×10^{-5} g	1 J $= 1\times10^7$ ergs, 1 cal=4.19 J		

	eV	erg	$\rm cm^{-1}$	Hz	K
eV	1	1.60×10^{-12}	8.07×10^{3}	2.42×10^{14}	1.16×10^{4}
erg	6.24×10^{11}	1	5.03×10^{15}	1.51×10^{26}	7.24×10^{15}
$\rm cm^{-1}$	1.24×10^{-4}	1.99×10^{-16}	1	3.00×10^{10}	1.44
Hz	4.14×10^{-15}	6.63×10^{-27}	3.34×10^{-11}	1	4.80×10^{-11}
K	8.62×10^{-5}	1.38×10^{-16}	6.95×10^{-1}	2.08×10^{10}	1

1.5 輻射

黒体放射の輻射密度定数	$a = \pi^2k^4/15c^3\hbar^3$	7.57×10^{-15} erg cm^{-3} K^{-4}
シュテファン-ボルツマン定数	$\sigma_{\rm sb} = ac/4$	5.67×10^{-5} erg cm^{-2} K^{-4} s^{-1}
黒体放射の最大強度波長	$T\lambda_{\rm max}$	0.290 cm K
黒体放射の光度	$L_{\rm x} = 4\pi R^2\sigma_{\rm sb}T^4 = 1.045\times10^{35}(R/10\ {\rm km})^2(kT/0.3\ {\rm keV})^4$ erg s^{-1}	
太陽光度	$L_\odot$	3.8×10^{33} erg s^{-1} $=3.8\times10^{26}$ W
絶対輻射等級	$M_{\rm bol} = 4.75 - 2.5\log(L/L_\odot)$	
絶対輻射等級 0 等星の輻射		3.0×10^{35} erg s^{-1}
輻射等級 0 等星の明るさ		2.5×10^{-5} erg cm^{-2} s^{-1}
見かけの等級	$m = M + 5\log(D/{\rm pc}) - 5+$ 空間吸収の大きさ	
X線光度	$L_{\rm x} = 4\pi d^2F_{\rm x} = 1.200\times10^{32}(d/1\ {\rm kpc})^2(F_{\rm x}/10^{-12}\ {\rm erg\ s\ cm^{-2}})$ erg s^{-1}	
エディントン光度	$L_{\rm Edd} \sim 1.3\times10^{38}(M/M_\odot)$ erg s^{-1}	
スピンダウン光度	$L_{\rm sd} = 3.94\times10^{35}$ erg s$^{-1}(P/1\ {\rm s})^{-3}(\dot P/10^{-11}\ {\rm s\ s^{-1}})$ (at $I = 10^{45}$ g cm^2)	
かに星雲のX線強度	1 Crab	$\sim 2.3\times10^{-8}$ erg s cm^{-2} (2-10 keV)

1.6 磁場

量子電磁力学の臨界磁場	$B_{\rm cr} = m_e^2c^3/\hbar e$	4.414×10^{13} G
パルサーの表面磁場強度	$B_{\rm d} = (3c^3IP\dot P/2\pi^2R_{\rm ns}^6)^{1/2}$	$1.0\times10^{14}(P/1\ {\rm s})^{1/2}(\dot P/10^{-11}\ {\rm s\ s^{-1}})^{1/2}$ G
電子サイクロトロン共鳴	$E_{\rm cyc} = m_ec^2(1 + B/B_{\rm cr})$	$11.6(B/10^{12}\ {\rm G})$ keV
磁気エネルギー密度	$U_{\rm mag} = B^2/8\pi$ (CGS)	$3.98\times10^{-2}(B/1\ {\rm G})^2$ erg cm^{-3} (1T=10^4 G)

1.7 宇宙論

ハッブル定数	H_0	$100h$ km s^{-1} Mpc^{-1} $=3.2h\times10^{-18}$ s^{-1} ($h\sim0.70$)
ハッブル距離	c/H_0	$3000h^{-1}$ Mpc$=9.26\times10^{27}h^{-1}$ cm
臨界密度	$\rho_c = \left(3H_0^2\right)/(8\pi G)$	$1.9\times10^{-29}h^2$ g cm^{-3} $= 2.8\times10^{11}h^2M_\odot$ Mpc^{-3}
宇宙黒体輻射密度	$\rho_{r0} = aT_{r0}^4$	$4.0\times10^{-13}\,[T_{r0}/2.7{\rm K}]^4$ erg cm^{-3}
宇宙黒体輻射光子数密度	n_{r0}	$4.0\times10^{2}\,[T_{r0}/2.7{\rm K}]^3$ cm^{-3}
宇宙論的赤方偏移 (近傍)	$z \sim (H_0/c)d$	$3.3\times10^{-4}h(d/{\rm Mpc})$ ($z < 0.05$)
運動学的赤方偏移	$1 + z = \sqrt{(1+\beta)/(1-\beta)}$	$E' = \gamma(1-\beta)E = \{(1-\beta)/(1+\beta)\}^{1/2}E$
重力赤方偏移	$1 + z = (1 - R_{\rm s}/R)^{-1/2}$	

1.8 その他

[力]= $\left[{\rm MLT^{-2}}\right]$, [エネルギー]= $\left[{\rm ML^2T^{-2}}\right]$, [圧力]= $\left[{\rm ML^{-1}T^{-2}}\right]$

1 g cm^{-3} $= 5.99\times10^{23}$ proton cm^{-3} $= 5.61\times10^{32}$ eV cm^{-3} $= 1.48\times10^{40}M_\odot$ Mpc^{-3}

1 Jy=10^{-23} erg cm^{-2} s^{-1} Hz^{-1} $=10^{-26}$ J m^{-2} s^{-1} Hz^{-1}

760 torr $=1.013\times10^6$ dyn cm^{-2} =1 atmos =1.013 bars $=1.013\times10^5$ Nm^{-2} (Pa)

1 radian =57.296 degrees, 1 arcsec $=4.848\times10^{-6}$ radians, 1 sr$\sim$3282.806 degrees^2

天体の赤経と赤緯を (α, δ) として、人工衛星のオイラー角は (α, 90° $-\,\delta$, 90°$-$[ロール角])

2 中性原子や高階電離イオンからの代表的な輝線

Table 1: 中性原子、ヘリウム様イオン、水素様イオンの輝線エネルギーと K 殻束縛エネルギー (単位 eV)

Neutral atom			ρ	Fluorescence						
Element	Z		(g cm^{-3})	Kα_1	Kα_2	Kβ_1	Lα_1	Lα_2	Lβ_1	K-edge
C	6	$1s^2 2s^2 2p^2$	2.27	277.						284.2
N	7	$1s^2 2s^2 2p^3$	1.25	392.4						409.9
O	8	$1s^2 2s^2 2p^4$	1.42	524.9						543.1
Ne	10	$1s^2 2s^2 2p^6$	0.90	848.6	848.6					870.2
Na	11	$[Ne]3s^1$	0.97	1,040.9	1,040.9	1,071.1				1,070.8
Mg	12	$[Ne]3s^2$	1.74	1,253.6	1,253.6	1,302.2				1,303.0
Al	13	$[Ne]3s^2 3p^1$	2.70	1,486.7	1,486.2	1,557.4				1,559.6
Si	14	$[Ne]3s^2 3p^2$	2.33	1,739.9	1,739.3	1,835.9				1,839.
S	16	$[Ne]3s^2 3p^4$	2.09	2,307.8	2,306.6	2,464.0				2,472.
Ar	18	$[Ne]3s^2 3p^6$	1.78	2,957.7	2,955.6	3,190.5				3,205.9
Ca	20	$[Ar]4s^2$	1.53	3,691.6	3,688.0	4,012.7	341.3	341.3	344.9	4,038.5
Fe	26	$[Ar]3d^6 4s^2$	7.87	6,403.8	6,390.8	7,057.9	705.0	705.0	718.5	7,112.
Ni	28	$[Ar]3d^8 4s^2$	8.91	7,478.1	7,460.8	8,264.6	851.5	851.5	868.8	8,333.

	He-like					H-like				
Ion	F or z	I1 or y	I2 or x	R or w	K-edge	Lyα_2	Lyα_1	Lyβ_2	Lyβ_1	K-edge
C	298.9	304.4	304.4	307.9	392.0	367.4	367.5	435.5	435.5	489.9
N	419.8	426.3	426.3	430.7	552.0	500.2	500.3	592.9	592.9	667.0
O	560.9	568.5	568.6	573.9	739.3	653.4	653.6	774.5	774.6	871.4
Ne	905.0	914.8	915.0	922.0	1,195.8	1,021.5	1,021.9	1,210.8	1,210.9	1,362.1
Na	1,107.8	1,118.7	1,119.0	1,126.8	1,465.1	1,236.3	1,236.9	1,465.4	1,465.6	1,648.7
Mg	1,331.1	1,343.1	1,343.5	1,352.2	1,761.8	1,471.6	1,472.6	1,744.5	1,744.8	1,962.6
Al	1,574.9	1,588.1	1,588.7	1,598.2	2,085.9	1,727.6	1,728.9	2,048.0	2,048.4	2,304.1
Si	1,839.4	1,853.7	1,854.6	1,864.9	2,437.6	2,004.3	2,006.0	2,376.1	2,376.6	2,673.1
S	2,430.3	2,447.1	2,448.7	2,460.6	3,223.7	2,619.7	2,622.7	3,105.8	3,106.7	3,494.1
Ar	3,104.1	3,123.5	3,126.2	3,139.5	4,120.6	3,318.1	3,322.9	3,934.2	3,935.7	4,426.2
Ca	3,861.1	3,883.3	3,887.7	3,902.2	5,128.8	4,100.1	4,107.5	4,861.9	4,864.1	5,469.8
Fe	6,636.6	6,667.5	6,682.3	6,700.4	8,828.1	6,951.9	6,973.1	8,246.3	8,252.6	9,277.6
Ni	7,731.6	7,765.7	7,786.4	7,805.5	10,288.8	8,073.1	8,101.7	9,577.5	9,586.0	10,775.3

X-ray Data Booklet (http://xdb.lbl.gov) are used for line and K-edge (ionization) energies of neutral elements, NIST Atomic Spectra Database version 5.6 (https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database) for K-edge (ionization) energies of He-like and H-like ions, and AtomDB v3.0.9 http://www.atomdb.org for emission line energies of He-like and H-like ions. The energies are shown to one place of decimal without rounding values. Note: Inner shell lines are denoted by Kα (n=1 to 2), Kβ (n=1 to 3) for Li-like or higher ions, but called Lyα and Lyβ for He-like and H-like ions.

Table 2: An incomplete list of astrophysically important X-ray spectral features (keV)

	Energy		Energy		Energy		Energy
Ne VII	0.127	O VII	0.574	Fe XX	0.996	Fe I Kα_1	6.404
Si XI	0.283	O VIII	0.654	Ne X	1.022	Fe XXV	6.64
C I K edge	0.284	O VII	0.666	Mg I K edge	1.305	Fe XXV	6.68
Si XII	0.303	O VII	0.698	Mg XI	1.340	Fe XXV	6.70
C V	0.308	Fe I LIII edge	0.707	Mg XI	1.352	Fe XXVI	6.93
N I K edge	0.402	Fe I LII edge	0.721	Si K edge	1.839	Fe I Kβ	7.058
N VI	0.431	Fe XVII	0.826	Si XIII	1.86	Fe I Kedge	7.111
N VII	0.500	Ne I K edge	0.867	S I K edge	2.472		
O I K edge	0.532	Ne IX	0.915	Ar I K edge	3.203		
O VII	0.569	Ne IX	0.922	Fe I Kα_2	6.391		

M.V. Zombeck "Handbook of Space Astronomy and Astrophysics", Third Edition, Cambridge University Press, pp.28
http://ads.harvard.edu/books/hsaa/

3 原子核からの代表的な輝線

Table 3: 放射線源 (較正用、環境放射線) からのガンマ線

	Decay	Half-life $T_{1/2}$	Energy (keV)	I_g (%)
^{22}Na	EC/β^+	2.6019 y	511.	181.4
			1274.5	99.94
^{40}K	EC/β^+	1.27×10^9 y	1460.83	11
^{55}Fe	EC	2.73 y	5.888	8.5
			5.899	16.9
			6.490	2.99
^{57}Co	EC	271.79 d	14.41	9.16
			122.06	85.60
			136.47	10.68
^{60}Co	β^-	5.27 y	1173.23	99.97
			1332.50	99.98
^{88}Y	EC/β^+	106.65 d	898.04	93.7
			1836.06	99.2
^{133}Ba	EC	10.51 y	53.16	2.19
			79.61	2.62
			80.99	34.06
			276.39	7.16
			302.85	18.33
			356.01	62.05
			383.85	8.94
^{137}Cs	β^-	30.07 y	661.65	85.1

	Decay	Half-life $T_{1/2}$	Energy (keV)	I_g (%)
^{152}Eu	EC/β^-	13.53 y	121.78	28.58
			244.69	7.58
			344.27	26.5
			778.90	12.94
			867.37	4.24
			964.07	14.60
			1085.86	10.20
			1112.07	13.64
			1408.00	21.00
^{241}Am	α	432.2 y	59.54	35.9
^{214}Bi	α/β^-	19.9 m	609.31	46.1
			768.35	4.94
			934.06	3.03
			1120.28	15.1
			1238.11	5.79
			1764.49	15.4
^{208}Tl	β^-	3.05 m	277.35	6.31
			510.77	22.6
			583.19	84.5
			860.56	12.42
			2614.53	99

Data from the Lund/LBNL Nuclear Data Search Version 2.0 (1999) http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/, shown for $I_g \gtrsim 5\%$. Lines from ^{55}Fe are Mn Kα2 (5.888 keV), Mn Kα1 (5.899 keV), and Mn Kβ1+Mn Kβ3 (6.490 keV).

4 周期表

Periodic Table of the Elements

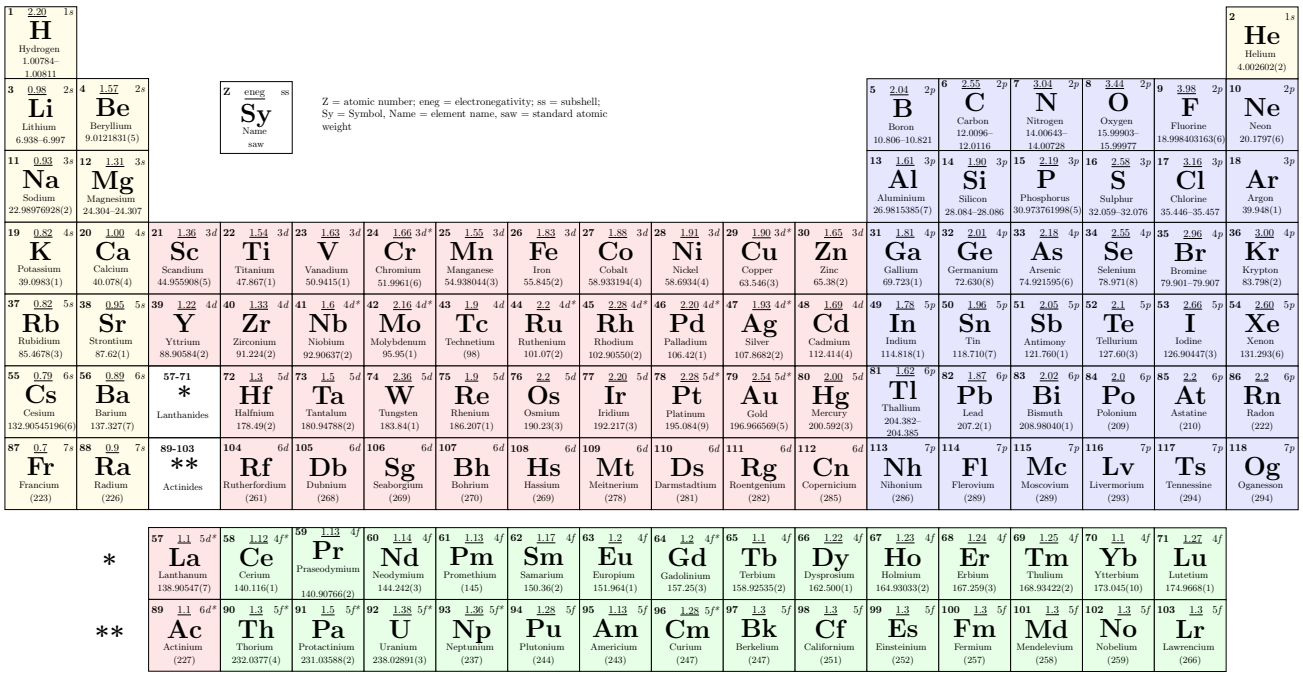

Table from https://github.com/PaNDanese/periodic-table

5 天文学の便利な TIPS

5.1 覚えておきたい数値

(距離)

pc $\approx 3 \times 10^{18}$ cm

AU $\approx$ 500 light-seconds

$R_{\rm earth} \approx R_{\rm jupiter}/10 \approx R_\odot/100$

$2GM_\odot/c^2 \approx 3$ km

(質量とエネルギー)

$m_{\rm p} \sim m_{\rm n} \sim 940$ MeV ≈ 1 GeV

$m_{\rm e} \approx 0.5$ MeV/c$^2 \approx m_{\rm p}/2000$

$\hbar c \approx 2000$ eV Å

$\alpha = e^2/(\hbar c) \approx 1/137$ ($\hbar c$ と微細構造定数 α から基本パラメータを導出できる)

1 Å$\rightarrow$ 12.4 keV

1 eV $\approx 1.6 \times 10^{-12}$ erg $\rightarrow$ 1,200 nm $\rightarrow$ 240 THz $\rightarrow 10^4$ K

(天文学では依然として CGS 単位系に揃えると便利なことも多い)

ボルツマン定数 $k \sim 1.38 \times 10^{-16}$ erg/K

ステファン-ボルツマン定数 $\sigma \sim 1.03 \times 10^{24}$ erg/s/cm^2/keV^4

典型的な星間密度 $\approx$ 1 Hydogen atom/cm^3

距離 d までの水素柱密度 (hydrogen column density) $N_{\rm H} \approx 3 \times 10^{21}(d/{\rm kpc})$ cm^{-2}

5.2 便利な近似

桁で議論する封筒の裏の精度である [確認が必要, 2022-04-21]

year $\approx 3.15 \times 10^7$ seconds $\approx \pi \cdot 10^7$ seconds

km/s $\approx$ pc/Myr

$G \approx 40$ AU$^3/(M_{\rm sun}$ year$^2)$

1" ≈ 5 μrad

sphere $\approx 60^6/(100\pi)$ arcmin^2