

V 惑星科学

以下の3問(V-1, V-2, V-3)のうち2問を選択して解答せよ。

V-1 (選択) 天王星の表面温度に関する以下の問に答えよ。ただし、ここで表面温度とは宇宙空間から見た黒体放射輝度温度のことを言うものとする。

問題1 地球軌道における太陽定数(単位面積あたりの太陽放射熱量)を 1400 W/m^2 とすると、天王星軌道(簡単のため 20AU としよう)での太陽定数はいくらになるか。

問題2 天王星の表面温度を一様な温度 T_e であるとし、宇宙空間への惑星放射はこの温度 T_e による黒体放射によるものであるとする。天王星内部からの熱供給は無視できるものとし、太陽からの入射放射が惑星放射とつりあっているものとするれば、 T_e の値はいくらになるか。ステファン・ボルツマン定数は $\sigma = 6 \times 10^{-8} \text{ Js}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ 、天王星の惑星アルベドは 0.7 とする。

問題3 天王星大気は2原子の理想気体(分子量2)からなるものとするとその質量あたりの定圧比熱はいくつになるか。

問題4 天王星大気のうち、太陽および宇宙空間と熱のやりとりを行うことができる部分は雲層 $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$ より上部のみであるとする。天王星への太陽放射加熱を遮断したときにその温度が1%減少するまでの時間を求めよ。天王星の表面重力加速度は 10 ms^{-2} としてよい。

問題5 天王星は赤道傾斜角が 98 度、公転周期 84 地球年であるが、惑星表面温度差は全球で 2 度程度しかない。これまでの問題の答えをもとにこの理由を考察せよ。

V-2 (選択) 太陽系起源論において、惑星の形成母体である原始太陽系円盤は太陽と同じ化学組成を持っていたと考えられる。しかし惑星は円盤内に存在していた元素をそのまま集積して形成されたわけではない。現在の太陽系には大別して、ガス惑星(木星・土星)、氷惑星(天王星・海王星)、そして岩石金属惑星(地球・金星)が存在する。これらの異なるタイプの惑星が形成されるとき、どの元素がどのような状態で惑星に集積したかを 300 字程度で論述せよ。以下に考える際の資料として、太陽大気中で多い順に 10 元素の存在度を与える。これらの元素の範囲で議論しても構わない。

太陽大気中の元素存在度
(Si を 10^6 個としたときの相対数で与える)

元素	存在度	元素	存在度
H	3×10^{10}	N	3×10^6
He	3×10^9	Mg	1×10^6
O	2.5×10^7	Si	1×10^6
C	1×10^7	Fe	1×10^6
Ne	3×10^6	S	5×10^5

V-3 (選択) 自己重力と圧力勾配が釣り合った力学平衡状態にある質量 M , 半径 R の一定化学組成の理想気体からなる電離していない等温ガス球を考える. ガス球の外圧を P_0 , ガスの温度を T , 球の中心から距離 r での圧力と密度をそれぞれ $P(r)$, $\rho(r)$, 重力定数を G として, 以下の設問に答えよ.

問題 1 力学平衡状態を記述する式 (静水力学平衡の式) をかけ.

問題 2 静水力学平衡の式を用いて, 外圧が P_0 であるとき,

$$3(\gamma - 1)C_V MT + E_g = 4\pi R^3 P_0$$

が成り立つことを示せ. ここで, C_V は単位質量あたりの定積比熱, γ は定圧比熱と定積比熱の比, E_g はガス球の重力エネルギーである.

問題 3 比熱比 γ が $5/3$ の場合, ガス球の重力エネルギーを $E_g \sim -\theta GM^2/R$ (θ は ~ 1 程度の定数) と見積ると, 力学平衡状態にある質量 M , 温度 T の等温ガス球の外圧は,

$$P_0 = f(R) = \frac{C_V MT}{2\pi R^3} - \frac{\theta GM^2}{4\pi R^4}$$

で与えられる. $f(R)$ のグラフを描き, ガス球の安定性について述べよ.