

## 問題 5 : 惑星の大気

太陽系は46億年前に星間ガス雲からできた。星間ガス雲は主に水素とヘリウムから成り、その他少量のガスや塵も含まれる。

- 5-1. 月の石のPb-206とU-238の存在比(質量比)を測定することによって太陽系の年齢を見積もることができる。U-238 が壊変してPb-206に至るまでの全体として核反応を書け。
- 5-2. この核反応の全体としての半減期は、U-238の最初の $\alpha$ 壊変( ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ )によって決まる。関係する全ての反応の中でこの $\alpha$ 壊変が最も遅いからである。この反応の半減期は $4.51 \times 10^9$ 年である。太陽系の年齢を導くための、月の石のPb-206とU-238の存在比(質量比)を求めよ。

水素とヘリウムは原始地球から抜け出してしまったため、地球では希な元素である。脱出速度は粒子や物体(例えば、気体分子やロケット)が惑星の重力を振り切るために必要な最小の速度である。質量 $m$ の物体の地球からの脱出速度は、物体の重力位置エネルギー $GMm/R$ と運動エネルギー $(1/2)mv^2$ が相等しいとして求めることができる。ここで、両辺の $m$ が相殺されるため、脱出速度は物体の質量に依存しないことがわかる。しかし、惑星の質量には依存する。

$$G: \text{万有引力定数} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

$$M: \text{地球の質量} = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$R: \text{地球の半径} = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$$

- 5-3. 地球に対する脱出速度を計算せよ。
- 5-4. 常温での水素原子と窒素分子の平均速度 $(8RT/\pi M)^{1/2}$ を計算せよ。これらを地球に対する脱出速度と比較せよ。ただし、気体が宇宙空間に脱出することができるような上層大気では温度が幾分異なる。また、紫外光による水蒸気の光分解によって水素原子を生じる。脱出速度が物体の質量に依存しないにもかかわらず、窒素分子に比べて水素原子の方が脱出しやすい理由を述べよ。

惑星大気の化学組成は、惑星大気の温度(つまり、太陽からの距離や内部温度など)、地殻変動についての活動度、生命の存在などに依存する。

水素からヘリウムへの核融合によって、太陽は熱、光、太陽風を作り出すので、誕生して間もない惑星(水星、金星、地球、火星)はその気体成分(水素、ヘリウム、メ

タン、窒素、水、一酸化炭素など)のほとんどを失った。鉄やニッケルなどの重い元素は重力によってコア(中心核)に濃縮され、放射壊変によって熱を発生したため、惑星の内部温度は上昇した。そして、二酸化炭素や水などの捕捉されていた気体は表面に移行して行った。その後、気体が、ある脱出速度をもって惑星から宇宙空間に徐々に脱出していくが、これは速度分布に依存する。脱出速度を上回る速度をもつ気体分子の分布が大きくなるほど、時間が経てばその気体は脱出しやすくなる。

5-5. 与えられた大気圧と組成のデータにふさわしい惑星の名前に丸をつけよ。

惑星の平均表面温度と半径は次の通りである。

金星: 730 K; 6,052 km 地球: 288 K; 6,378 km 火星: 218 K; 3,393 km  
木星: 165 K; 71,400 km 冥王星: 42 K; 1,160 km

圧力 (気圧)	組成 (%)	惑星
a. > 100	H <sub>2</sub> (82); He(17)	(金星、地球、火星、木星、冥王星)
b. 90	CO <sub>2</sub> (96.4); N <sub>2</sub> (3.4)	(金星、地球、火星、木星、冥王星)
c. 0.007	CO <sub>2</sub> (95.7); N <sub>2</sub> (2.7)	(金星、地球、火星、木星、冥王星)
d. 1	N <sub>2</sub> (78); O <sub>2</sub> (21)	(金星、地球、火星、木星、冥王星)
e. 10 <sup>-5</sup>	CH <sub>4</sub> (100)	(金星、地球、火星、木星、冥王星)

5-6. H<sub>2</sub>, He, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>のルイス構造式を書け。なお、全ての価電子を記すこと。

5-7. 上記の惑星大気の構成物質は、すべて低沸点の原子と分子である。沸点は主に分子全体の極性によって決まり、その分子全体の極性は結合の極性や分子構造によって決まる。無極性分子には分散力(ファンデルワールス力)だけしか働かず、従って、沸点は低くなる。しかし、無極性分子のなかにも沸点の違いがある。H<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>について沸点が大きくなる順に並べよ。その順序について説明せよ。