

## 解答上の注意

- 答案用紙 2 枚, 下書用紙 1 枚
- 問題用紙末尾に基礎物理定数の数値表がある .
- 解答には問題番号を明記すること . 並びは設問順と違っていてもよい .
- 解答に答案用紙の裏面を用いても良い . その場合は裏へと明記すること .
- 答案には導出過程も簡潔平明に記述すること .
- 筆記用具と電卓以外の持ち込み不可 .

### 1. 以下の問に答えなさい .

#### (1) プランク関数

$$B_{\nu}(T) = \frac{2}{c^2} \frac{h\nu^3}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

について簡潔に説明せよ . また , この式に現れる物理定数  $c, h, k$  について , 名称と単位をそれぞれ記しなさい .

- (2) 基底状態にある水素原子を光解離させるのに必要な電磁波の波長を求めよ . ただし電離エネルギーは 1 原子当たり 13.60 eV である .
- (3) 40 億年前の太陽の光度は現在の 70% だったと推定されている . アルベドなど他の条件が変わらなかったとして , このときの地球の平衡温度を求めよ . なお現在の地球の平衡温度は 256 K である .
- (4) スケールハイトについて簡潔に説明せよ . また地球大気的地表面における局所スケールハイトを km 単位で求めよ . 温度  $T=288.15$  K , 重力加速度  $g=9.80$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  , 平均分子量  $\mu=29.0$   $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  である .

### 2. $\text{H}_2\text{O}$ の蒸気圧平衡について以下の問に答えなさい .

- (1) 温度  $T$  における蒸気圧  $P$  の圧力依存性は 1mol あたりの気化熱  $\Delta h$  と体積変化  $\Delta v$  を用いて以下のように書ける

$$\left. \frac{dP}{dT} \right|_{eq} = \frac{\Delta h}{T\Delta v}$$

この式を何と云うか .

(2) (1) に示した式から蒸気圧方程式を導出せよ。

(3) 100 °C における  $\text{H}_2\text{O}$  の蒸発潜熱は  $2260 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$  である。ここから 0 °C での蒸気圧を推算せよ。なお 1 atm は 1013 hPa である (自然対数の巾乗の計算には問題末尾の方法を参考にせよ)。

(4) 火星表面に液体の  $\text{H}_2\text{O}$  が存在するには、少なくとも何 kg の  $\text{H}_2\text{O}$  がなくてはならないか推算せよ。火星の半径は 3397km, 表面の重力加速度は  $3.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  である。

**3.** 温室効果の簡単なモデルとして一様温度の気層が地表を覆っている場合を考える。この気層は太陽放射は完全に透過するが、その他の電磁波に対しては黒体として振舞うものとする。また惑星内部からの熱流は無視できるものとする。

(1) 地表面で吸収される太陽放射エネルギーフラックスを  $F$  とする。気層が存在しないときの地表面のエネルギー平衡の式を書き下し、これを解いて地表面温度を  $F$  を用いて表せ。ただし地表面は黒体として振舞うものとせよ。必要な記号や定数は必要に応じて導入してよい。

(2) 気層が存在する場合、地表面のエネルギー平衡の式は以下のように書けることを示しなさい。

$$\sigma T_0^4 = \sigma T_1^4 + F$$

ここで  $T_0$  は地表面温度,  $T_1$  は気層温度である。

(3) 気層のエネルギー平衡の式を導出せよ。

(4) 気層が存在する場合、地表面温度は (1) で求めた温度の何倍になるか。

(5) 世間一般では「地球温暖化は大気中の  $\text{CO}_2$  が増加すると赤外線が宇宙空間へ逃げなくなり、大気に熱が蓄積するために起こる」と説明されている。この説明が適切かどうかエネルギー平衡の観点から論じよ。

#### 自然対数の底の巾乗の計算法

自然対数の底  $e = 2.71828\dots$  の巾乗  $e^x$  の値は、 $0 \leq x \leq 1$  の範囲で  $e^x \approx 1 + x + x^2/2 + x^3/6$  で誤差 2% 以内で正確に求められる。

$x$  が上記範囲にない場合、例えば  $e^{-5.3}$  は  $e^{-5.3} = e^{-6}e^{0.7} \approx e^{-6}(1 + 0.7 + 0.7^2/2 + 0.7^3/6)$  として  $e$  の整数巾と小数巾に分けて考えると、加減乗除しかできない電卓でも  $e$  の巾乗の近似値が計算できる。

名称	記号	数値	単位
万有引力定数	$G$	$6.673 \times 10^{-11}$	$\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$
素電荷	$e$	$1.602 \times 10^{-19}$	C
アボガドロ数	$N_A$	$6.022 \times 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$
ステファンボルツマン定数	$\sigma$	$5.670 \times 10^{-8}$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$
(設問参照)	$c$	$2.998 \times 10^8$	(設問参照)
(設問参照)	$h$	$6.626 \times 10^{-34}$	(設問参照)
(設問参照)	$k$	$1.381 \times 10^{-23}$	(設問参照)