

# 日大 2014 物理

## 略解

1 1:0 2:1 3:7 (0.17m) 4:0 5:6 6:8 (0.68m/s)

2 問1 7:1 8:4 (1/4R) 問2 9:② 問3 10:⑤

### 3 I

問1 11:4 12:3 (43°C)

### II

問2 13:2 14:0 (20°C) 問3 15:3 16:6 (36°C) 問4 17:4 18:7 (47°C)

### 4 I

問1 19:8 問2 20:6 21:4 (6.4J) 問3 22:2 23:5 (2.5Ω)

問4 24:1 25:5 (15Ω)

### II

問5 26:2 27:4 (2.3) 問6 28:3 29:5 (3.5V)

### 5 I

問1 30:⑥ 31:① 問2 32:② 問3 33:⑥

### II

問4 34:3 35:6 ( $\frac{R}{W} = \frac{\sqrt{3}}{6}$ ) 問5 36:2 37:1 38:6 ( $\frac{T}{W} = \frac{\sqrt{21}}{6}$ )

## 配点 合計 100 点

1 合計 12 点

一問 6 点×2 問

2 合計 18 点

一問 6 点×3 問

3 合計 20 点

一問 5 点×4 問

4 合計 24 点

一問 4 点×6 問

5 合計 26 点

問1～問3 4 点×4 問

問5、6 5 点×2 問

## 1. 光学

### ○ 原則

**屈折の法則(スネルの法則)** 媒質 A と B における絶対屈折率が、それぞれ  $n_A$ 、 $n_B$  で、媒

質 A から媒質 B への入射角と屈折角が、それぞれ  $\theta_A$ 、 $\theta_B$  のとき、 $\frac{n_A}{n_B} = \frac{\sin\theta_B}{\sin\theta_A}$  の関係が成り立つ。

### ○ 解答

1~3

#### 【方針】

媒質の異なる二種類の材料に、平面波が伝わるという問題である。屈折率の違いにより、それぞれの媒質における波の速さが異なることに注意する。屈折の法則を用いて解く。

#### 【解説】

媒質 I と II の屈折率をそれぞれ  $n_I$ 、 $n_{II}$ 、波の速さを  $v_I$ 、 $v_{II}$ 、波長を  $\lambda_I$ 、 $\lambda_{II}$  とする。屈折の法則より、

$$\frac{n_{II}}{n_I} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{\lambda_I}{\lambda_{II}} = \frac{v_I}{v_{II}} \quad (1-1)$$

が成り立つ。よって、 $\lambda_{II} = \frac{0.423}{0.500} \times 0.20 \cong \underline{0.17}$  (m) となる。

4~6

#### 【方針】

式(1-1)を用いる。

#### 【解説】

$$v_I = \frac{0.20}{0.25} = 0.8 \text{ (m/s)} \text{ より、 } v_{II} = \frac{0.423}{0.500} \times v_I \cong \underline{0.68} \text{ (m/s)} \text{ である。}$$

## 2. 惑星

### ○ 原則

**万有引力の法則** 二つの物体の間の引力は、物体の質量  $m$  に比例し、物体間の距離  $R$  の

二乗に反比例する。万有引力定数を  $G$  とすると、万有引力は  $F = G \frac{mM}{R^2}$  と表わされる。

### ○ 解答

問 1 (7, 8)

#### 【方針】

地球と月の質量が相互に作用することから、万有引力の法則を用いればよい。求めるものは、月と地球の半径の比であるので、月と地球のそれぞれについて万有引力の法則に関する式をたてる。

**【解説】**

万有引力定数を  $G$ 、地球と月の質量をそれぞれ  $M$ 、 $M'$  とする。地球の表面にある物体の質量を  $m$  とすると、万有引力の法則より、

$$mg = G \frac{mM}{R^2} \quad (7-1)$$

が成り立つ。月の表面では、同様にして

$$m \frac{g}{6} = G \frac{mM'}{R'^2} \quad (7-2)$$

となる。式(7-1)と(7-2)より、重力  $g = G \frac{M}{R^2} = G \frac{6m'}{R'^2}$  が得られる。

ここで、地球の質量  $M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho$  と月の質量  $M' = \frac{4}{3} \pi R'^3 \rho'$  を代入して、

$$\frac{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}{R^2} = \frac{6 \frac{4}{3} \pi R'^3 \rho'}{R'^2} \leftrightarrow R\rho = 6R'\rho'$$

となり、月の半径は  $R' = \frac{1}{6} \frac{\rho}{\rho'} R = \frac{1}{6} \times \frac{3}{2} \times R = \frac{1}{4} R$  である。

**問 2 (9)****【方針】**

距離を求める問題であり、速度を用いて運動方程式をたてる。速度は、月の公転周期から導出する。

**【解説】**

月の速度は  $2\pi/L$  と書ける。月の円運動の運動方程式は、

$$M'L \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 = G \frac{MM'}{L^2} = \frac{gR^2}{M} \times \frac{MM'}{L^2}$$

である。式変形をして、 $L^3 = g \left( \frac{RT}{2\pi} \right)^2$  の関係が得られるので、解は②である。

**問 3 (10)****【方針】**

万有引力は保存力であり、位置エネルギーを持つ。便宜的に、無限遠を基準 ( $R \rightarrow \infty$  における位置エネルギーが 0) とおいて計算するとよい。物体が無限遠まで飛び去るのに必要なエネルギーは、無限遠での運動エネルギーとポテンシャルの和が 0 以上となるときである。

**【解説】**

力学的エネルギー保存則から、

$$E + \left( -G \frac{mM}{R} \right) \geq 0 + 0$$

が成り立てばよい。よって、打ち上げ時の運動エネルギーの最小値は、 $E \geq G \cdot \frac{mM}{R} = mgR$  となり、解は⑤である。

### 3. 熱力学

#### ○原則

**熱力学第一法則** 熱力学におけるエネルギー保存則を熱力学第一法則といい、 $\Delta U = \delta Q - \delta W$ の関係がある。ここで、 $\Delta U$ は系の内部エネルギーの変化量、 $\delta Q$ は系に与えられた熱量、 $-\delta W$ は系から取り出された仕事である。

**熱量保存則** 比熱  $c$  [J/g/K]は、単位質量の物質の熱容量であり、 $Q = mc\Delta T$ の関係がある。温度差のある物質どうし間では、熱伝導が生じ、両物質が熱平衡に達する。

#### ○解答

##### 問 1 (11, 12)

###### 【方針】

熱量保存側に当てはめるだけである。液体の熱量変化は三物体の熱量変化に等しい。

###### 【解説】

熱量保存則より、

$$3 \times 200 \times 2.0 \times (100 - T) = 400 \times 4.0 \times (T - 0)$$

が成り立つので、 $T \approx \underline{43}$  (°C)となる。

##### 問 2 (13, 14)

###### 【方針】

問 1 と同様。液体の熱量変化は、物体 A の熱量変化に等しい。

###### 【解説】

熱量保存則より、

$$200 \times 2.0 \times (100 - T_A) = 400 \times 4.0 \times (T_A - 0)$$

が成り立つ。よって  $T_A \approx \underline{20}$  (°C)である。

##### 問 3 (15, 16)

###### 【方針】

熱量保存側に当てはめるだけである。液体の熱量変化は、物体 B の熱量変化に等しい。物体 B を入れる前の液体の温度は  $T_A$  となっていることに注意する。

###### 【解説】

熱量保存則より、

$$200 \times 2.0 \times (100 - T_B) = 400 \times 4.0 \times (T_B - T_A)$$

よって、 $T_B \approx \underline{36}$  (°C)である。

#### 問 4 (17, 18)

##### 【方針】

問 2 と同様。

##### 【解説】

熱量保存則より、

$$200 \times 2.0 \times (100 - T_C) = (400 \times 4.0 + 200 \times 2.0)(T_C - T_B)$$

よって  $T_C = 47$  (°C) が得られる。

#### 4. 電磁気

##### ○原則

**オームの法則** 電位は  $V=RI$  と表される。 $R$  [ $\Omega$ ] は抵抗である。電荷  $Q$  [C] とコンデンサー容量  $C$  [F] の間には、 $Q=CV$  の関係が成り立つ。

**キルヒホッフの第二法則** 電気回路の任意の閉じた経路において、電位差の和は 0 となる。

##### ○ 解答

##### 問 1 (19)

##### 【方針】

接地点 C の電位が 0 V、電源の正側が 24 V は、どのような状況でも変わらない。難しく考えすぎずに、自分なりの基準点と閉回路を設定し、キルヒホッフの第二法則をたてればよい。例えば、B 点は、24V から抵抗  $R_1$  により低下した電位  $(24 - R_1 I_1)$  V と表せるし、0V から抵抗  $R_3$  分だけ上昇した電位  $(0 + R_3 I_3)$  V でも表せる。解きやすい方法を用いればよい。

##### 【解説】

コンデンサー  $C_1$ 、 $C_2$  に蓄えられる電荷量を  $Q_1$ 、 $Q_2$  とする。電源と  $C_1$ 、 $C_2$  を含む閉回路でキルヒホッフの第二法則をたてると、

$$24 - \frac{Q_1}{C_1} - \frac{Q_2}{C_2} = 0$$

となる。はじめ、全てのコンデンサーに電荷がなかったため、電荷量保存則より  $Q_1 = Q_2$  である。よって、 $Q_1 = Q_2 = 16$  ( $\mu$  C) となり、D 点の電位は、 $V_D = \frac{Q_2}{C_2} = 8$  (V) となる。

##### 問 2 (20, 21)

##### 【方針】

問 1 の  $V_D$  を用いる。

##### 【解説】

$C_2$  に蓄えられた静電エネルギーは、 $W = \frac{1}{2} C_2 V_D^2 = 6.4 \times 10^{-5}$  (J) である。

##### 問 3 (22, 23)

**【方針】**

各抵抗に流れる電流を求めればよい。

**【解説】**

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ に流れる電流をそれぞれ  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  とする。 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  をまとめて一つの抵抗  $R$  とすると、

$$R = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (22-1)$$

である。電源と  $R$  を含む閉回路において、キルヒホッフの第二法則より、

$$24 - I_1 R = 0 \quad (22-2)$$

が成り立つ。 $R_2$ 、 $R_3$  を含む閉回路において、キルヒホッフの第二法則より、

$$R_2 I_2 = R_3 I_3 \quad (22-3)$$

となる。また、 $I_1 = I_2 + I_3$  の関係より、式(22-1)、(22-2)、(22-3)から、

$$R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{24}{I_1} = \frac{24}{I_2 + I_3} = \frac{24}{\frac{R_3}{R_2} I_3 + I_3}$$

が成り立つ。したがって  $R_1 = \underline{2.5} (\Omega)$  が得られる。

**問 4 (24, 25)****【方針】**

問 1 から  $V_D$  の値が得られるので、問 3 から得られる  $V_B$  の式に代入すればよい。

**【解説】**

式(22-1)、(22-2)を用いてキルヒホッフの第二法則より、

$$V_B = 24 - R_1 I_1 = 24 - R_1 \times \frac{24}{R} = 24 - \frac{R_1}{R_1 + 7.5} \times 24$$

ここで、 $V_B = V_D$  となるには

$$8 = 24 \left( 1 - \frac{R_1}{R_1 + 7.5} \right)$$

が成り立てばよい。よって  $R_1 = \underline{15} (\Omega)$  となる。

**問 5 (26, 27)****【方針】**

十分時間が経つと、コンデンサーに電荷が蓄積され、電位が生じる。このとき、コンデンサーには電流が流れない。様々な解き方があるが、ここでは、 $V_{BD}$  がコンデンサー  $C_3$  の電位に等しいことを利用する。

**【解説】**

式(22-1)、(22-2)より  $I_1 = 2(\text{A})$  であるので、点 B の電位は、 $V_B = 24 - 4.5 \times 2 = 15 (\text{V})$  である。電源と  $C_1$ 、 $C_2$  を含む閉回路におけるキルヒホッフの第二法則から、

$$24 - \frac{Q_1}{C_1} - \frac{Q_2}{C_2} = 0 \quad (26-1)$$

よって、 $Q_1 = \frac{1}{2}(4.8 \times 10^{-5} - Q_2)$ である。また、B-D間の電位差は、

$$V_{BD} = V_B - V_D = 15 - \frac{Q_2}{C_2} \quad (26-2)$$

これが、 $-\frac{Q_3}{C_3}$ に等しいので、 $Q_3 = \frac{1}{4}(2.7 \times 10^{-5} - 3Q_2)$ である。D点における電荷量保存

則より、 $Q_1 = Q_2 + Q_3$ であるので、

$$(2.4 \times 10^{-5} - \frac{1}{2}Q_2) = Q_2 + (\frac{2.7}{4} \times 10^{-5} - \frac{3}{4}Q_2)$$

となり、 $Q_2 = 2.3 \times 10^{-5}(\text{C})$ が得られる。

#### 問 6 (28, 29)

##### 【方針】

問5ですすでに求められている。

##### 【解説】

式(26-2)より、 $V_{BD} = 3.5$  (V)である。

## 5. 力学

### ○原則

**力のモーメント** 物体に回転を生じさせる力の量を、力のモーメント (回転力) [Nm]と  
言う。力を  $\mathbf{F}$ 、力の作用点の位置を  $\mathbf{r}$  とすると、力のモーメントは、 $\mathbf{N} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$  で表される。  
回転には、力の垂直成分だけが寄与する。

**力のつりあい** 2つの力が同一直線上にあって、且つ同じ大きさを反対方向を向いている  
とき、物体は等速度運動する (力がつりあう)。力のつりあいの式を求める場合、力の方向  
を分解する必要がある。その分解方向は自由である。

**摩擦力** 静止している間の摩擦力が静止摩擦力であり、動き始めの静止摩擦力が最大静  
止摩擦力 (=  $\mu$  (静止摩擦係数)  $\times N$  (垂直抗力)) である。滑り出した後は、動摩擦力と言  
う。

### ○ 解答

#### 問 1 (30, 31)

##### 【方針】

点A、点Bで棒にはたらく力を全て書き出す。点Aには、垂直抗力  $R_A$  と摩擦力  $f_A$ 、点B  
には垂直抗力  $R_B$  と摩擦力  $f_B$  がかかる。棒には他に重力  $W$  がはたらく。

##### 【解答】

滑り出す直前では、 $f_A = \mu R_A$ 、 $f_B = \mu R_B$  の関係が成り立つ。水平方向の力のつりあいより、

$$R_B \sin \theta = f_B \cos \theta + \mu R_A \quad (30-1)$$

が成り立つ。垂直方向の力のつりあいより、

$$W = R_B \cos \theta + f_B \sin \theta + R_A \quad (30-2)$$

が成り立つ。式(30-1)、(30-2)より

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\sin \theta - \mu \cos \theta}{\mu}$$

より、解は⑥となる。

$$\frac{W}{R_B} = \frac{1 + \mu^2}{\mu} \sin \theta$$

となり、解は①となる。

## 問 2 (32)

### 【方針】

物体が動かないので、運動方程式や力学的エネルギー保存則を用いることができない。速度や加速度を使わない、力のつりあいとモーメントを駆使して解けばよい。

### 【解答】

AB の長さは  $\frac{h}{\sin \theta}$  である。点 A の周りの力のモーメントより、

$$(W \cos \theta) \times \frac{L}{2} = R_B \times \frac{h}{\sin \theta} \quad (32-1)$$

と書ける。よって、 $R_B = \frac{LW \sin 2\theta}{4h}$  となり、解は②である。

## 問 3 (33)

### 【方針】

問 1 と問 2 を利用して、解答欄に合うように、数式をいじる。

### 【解答】

式(30-2)、(32-1)より

$$\frac{\mu W}{(1 + \mu^2) \sin \theta} = \frac{LW \sin \theta \cos \theta}{2h}$$

よって、 $\cos \theta - \cos 3\theta = \frac{2\mu h}{L(1 + \mu^2)}$  となり、解は⑥である。

## 問 4 (34, 35)

### 【方針】

棒にかかる力を全て全て書き出す。棒には、糸の張力  $T$ 、重力  $W$ 、斜面からの垂直抗力  $R$  がはたらく。

### 【解答】

棒状の上端を中心とした力のモーメントより、



$$W \cos \theta \times \frac{L}{2} = R \sin \theta \times L$$

よって、 $\frac{R}{W} = \frac{\sqrt{3}}{6}$ となる。

#### 問 5 (36~38)

##### 【方針】

解答欄に合うように、三角関数をいじる。

##### 【解答】

水平方向の力のつりあいより、

$$T \sin \alpha = R \sin 30^\circ \quad (36-1)$$

垂直方向の力のつりあいより、

$$T \cos \alpha + R \sin 30^\circ = W \quad (36-2)$$

式(36-1)、(36-2)を用いて  $\frac{R}{W} = \frac{\sqrt{3}}{6}$  から、 $T \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{12}W$ 、 $T \cos \alpha = \frac{3}{4}W$  が得られる。そ

れぞれを 2 乗して足し合わせると、 $(T \sin \alpha)^2 + (T \cos \alpha)^2 = T^2 = \frac{7}{12}W^2$  となる。よって、

$$\frac{T}{W} = \frac{\sqrt{21}}{6} \text{ となる。}$$