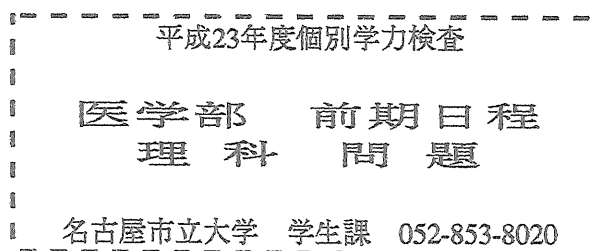


## 平成 23 年度・入学試験問題

# 理 科 (Z)

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は 37 ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 受験科目選択上の注意(重要)  
「物理」、 「化学」、 「生物」のうち 2 科目を選択して解答しなさい。  
選択しなかった科目の解答用紙は試験開始後、90 分で回収します。それ以後は  
選択の変更は認めません。  
全科目の解答用紙 3 枚ともに受験番号を記入しなさい。



## 理 科 問 題

物	理	問題 1	3 ページ
		" 2	5 "
		" 3	7 "
		" 4	9 "

化	学	問題 1	13 ページ
		" 2	15 "
		" 3	17 "
		" 4	19 "
		" 5	21 "

生	物	問題 1	25 ページ
		" 2	29 "
		" 3	31 "
		" 4	35 "

## 解 答 用 紙

理科	物理解答用紙	1 枚
理科	化学解答用紙	1 枚
理科	生物解答用紙	1 枚

# 物 理

## 物理問題 1

質量  $m$  の小球に伸縮しない長さ  $l$  の糸をつけ、 $O$  点で吊した振り子がある。点  $O$  を中心とする円軌道上の最下点を  $P$  とし、線分  $OP$  上で  $P$  点からの高さ  $r$  ( $0 < r < l/2$ ) の点  $O'$  に、充分細いなめらかな棒を水平に固定した。重力加速度の大きさを  $g$  とし、糸の質量および空気抵抗は無視できるものとする。

図 1 のように、糸を棒にふれさせ、左側の点  $A$  で小球を静かに離すと、小球は  $P$  点を通過して右端の点  $B$  に到達したのち、ふたたび  $P$  点を通過し  $A$  点に戻った。直線  $O'A$  と直線  $OP$  のなす小さい角を  $\theta_0$  とし、直線  $OP$  と直線  $OB$  のなす角を  $\theta_1$  とする。

- (1) 小球が  $A$  点に戻ってきた時に、糸にかかる張力の大きさ  $T_A$  を、 $\theta_0$  を用いて表せ。
- (2) 小球が  $B$  点に達した時に、糸にかかる張力の大きさ  $T_B$  を、 $\theta_1$  を用いて表せ。
- (3)  $\cos \theta_1$  を  $l$ ,  $r$ ,  $\theta_0$  を用いて表せ。
- (4) (3) で得られた  $\cos \theta_0$  と  $\cos \theta_1$  の関係式より、 $T_A$  と  $T_B$  のどちらが大きいと考えられるか。
- (5) 小球が  $A$  点から動き始めて  $A$  点に戻るまでの時間(周期)を  $g$ ,  $l$ ,  $r$  を用いて表せ。ただし、 $\theta_0$  および  $\theta_1$  は充分小さいとする。

次に、右側の点から小球を離す場合を考える。図 2 のように、点  $B'$  から質量  $m$  の小球を静かに離したところ、この小球は  $P$  点を通過したのち、 $O'$  点を中心とする半径  $r$  の円軌道を描き始めた。直線  $OP$  と直線  $OB'$  のなす角を  $\alpha$  ( $0 < \alpha < \pi/2$ ) とする。

- (6) 小球がP点を通過する時の速さ  $v_P$  を  $g, l, \alpha$  を用いて表せ。
- (7) 直線OPと糸のなす角が  $\beta$  である点をCとする。点Cにおける小球の速さ  $v_C$  を  $g, r, \beta$  および  $v_P$  を用いて表せ。
- (8) 点Cにおける糸の張力の大きさ  $T_C$  を  $m, g, r, \beta$  および  $v_P$  を用いて表せ。
- (9)  $r$  が一定の値  $r_1$  以下の場合、小球は点  $O'$  を中心に1回転することができる。  
 $r_1$  を  $g$  および  $v_P$  を用いて表せ。

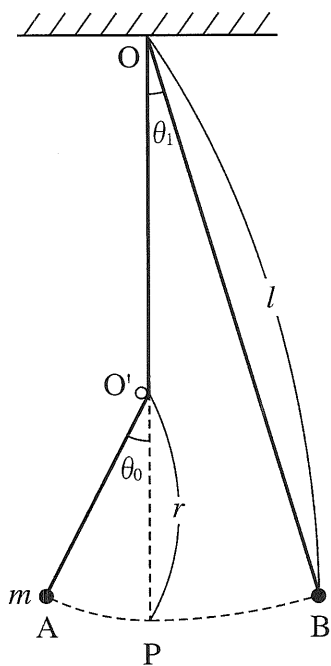


図 1

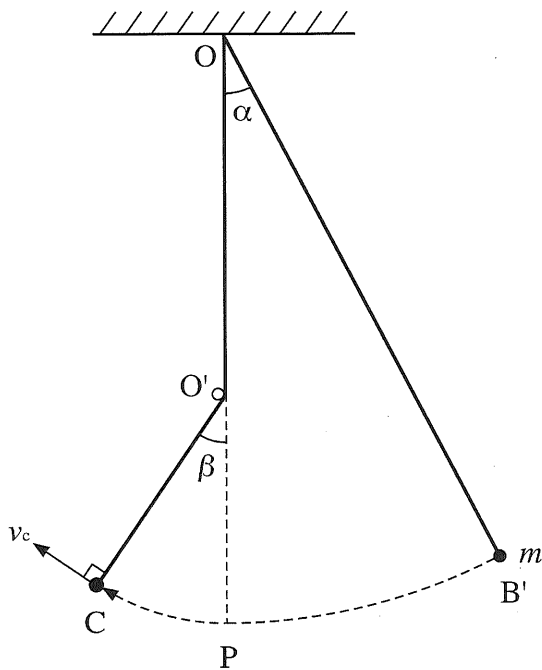


図 2

## 物理問題 2

位相の揃った光波が近接した二つのスリット(以降複スリットという)を通過した後、遠く離れたスクリーン上で干渉縞を作ることはヤングの実験として知られている。複スリットのみならず充分幅の狭い単一のスリット(以降単スリットという)も干渉縞を作ることは、ヤングの実験及びホイヘンスの原理「ある時刻における波面上の各点は波源となり、多くの素元波(二次元では円形波、三次元では球面波)を発生させる。素元波は、それぞれが独立性を保ちながら、波の進む速さで広がって、各素元波の波面に共通に接する曲面がそれ以後の新しい波面となる。(図1)」で説明することができる。複スリットの作る干渉縞を考察した後、単スリットがどのように干渉縞を作るか考えてみよう。 $L(>0)$ に比べて  $a, b$  の絶対値が充分小さいときには、

$$\sqrt{L^2 + (a+b)^2} \doteq L \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{a+b}{L} \right)^2 \right\}$$

という近似式が成立するものとして以下の問いに答えよ。

複スリットによる干渉縞について考察する。二つのスリット  $S_1$  と  $S_2$  の間隔は  $d$  で、スリット面と平行なスクリーンとの距離は  $L$  である。 $S_1$  と  $S_2$  の中点を  $M$ 、 $M$  を通りスリット面に垂直な直線がスクリーン上に到達する点を  $N$  とする(図2)。波長  $\lambda$  の平行光をスリット面に垂直に当てたところ、スクリーン上に明暗の干渉縞模様が現れた。 $N$  から上方の暗線の位置を  $N$  に近い方から順に  $D_1, D_2, D_3, \dots$ 、 $N$  との距離を  $x_1, x_2, x_3, \dots$  とする。

- (1)  $x_1$  及び  $x_2$  を  $d, L, \lambda$  で表せ。
- (2) 自然数  $m(m=1, 2, 3, \dots)$  を用いて  $x_m$  を表せ。

次に単スリットによる干渉縞について考察する。幅  $2d$  の単スリットで先の複スリット  $S_1, S_2$  を置き換える。単スリットの中心は  $M$  に一致させる(図3)。ホイヘンスの原理によれば、単スリットの幅  $2d$  全体に新たな波源が存在する。そのうち  $M$  から  $y$  だけ上方にある点から発した波と、この点から  $d$  だけ離れた点、即ち  $M$  から  $d-y$  だけ下方にある点から発した波がスクリーン上で干渉することを考える。

- (3) 二つの波が  $D_1$  に到達したときの経路の差を  $x_1$ ,  $y$ ,  $d$ ,  $L$  で表せ。
- (4)  $x_1 \gg d \geq y$  の条件が成立するとき, (3)の経路の差はどのように表されるか。
- (5) (4)の条件が成立する場合,  $d \geq y \geq 0$  である  $y$  のすべての範囲を考慮すると,  $D_1$  ではその周辺に比べて明るくなるか, 暗くなるか, 理由を付け 40 文字程度で記せ。
- (6) 波長  $\lambda$  のレーザー光を幅  $2d = 1.00 \times 10^{-1}$  mm の単スリットに垂直に当てたところ,  $L = 1.00$  m のスクリーン上に明暗の干渉縞模様が現れた。N を挟んで両側の暗い点どうしの間隔  $2x_1$  が 10.0 mm であった場合, レーザー光の波長  $\lambda$  を有効数字 3 桁で単位を付けて求めよ。

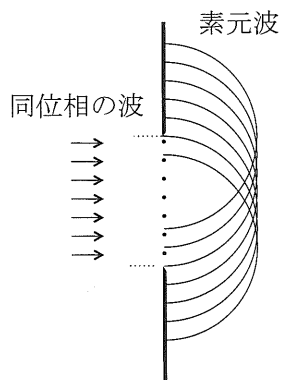


図 1

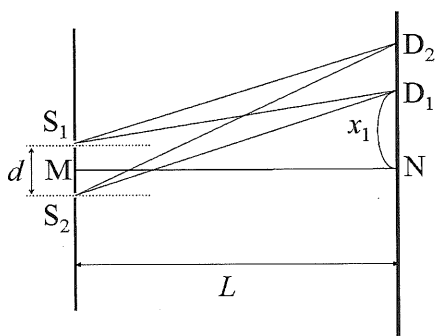


図 2

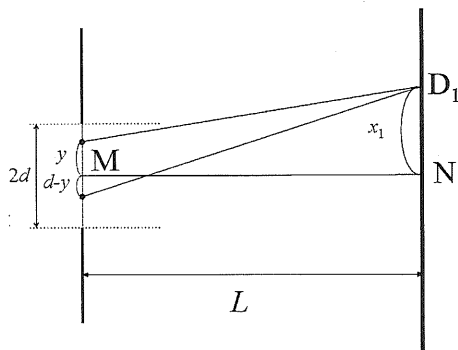


図 3

### 物理問題 3

図1は、ある熱機関に作業物質として使用されている1モルの理想気体(定圧モル比熱  $C_P$ )の状態変化のサイクルを表したものである。A→BとC→Dは等圧過程、B→CとD→Aは等温過程である。この熱サイクルをエリクソンサイクルという。

Aでの体積は  $V_0$ 、絶対温度は  $T_0$ 、Bでの絶対温度は  $T_1$ 、Cでの体積は  $V_2$  である。 $y = 1/x$  と  $x$  軸、 $x = a$ 、 $x = b$  で囲まれる部分の面積  $S$ (図2)は、 $x$  の自然対数を  $\log_e x$  として、

$$S = \int_a^b \frac{dx}{x} = \log_e b - \log_e a = \log_e(b/a)$$

で与えられることを使って以下の問いに答えよ。ただし、気体定数は  $R$  とする。

- (1) A, B, C, D, 各状態での圧力, 体積, 絶対温度を,  $V_0, V_2, T_0, T_1, R$  のうち必要なものを使用して表せ。解答の中には問題文中に与えられていて自明なものもあるが、すべて解答せよ。
- (2) 1サイクルの間に、この熱機関が外部から吸収する熱量、外部からなされる仕事を各過程毎に求めよ。熱機関が外部の物体に仕事をしたり、熱を与えたりする場合は負の量として表せ。

熱機関の熱効率とは、1サイクルの間に熱機関が外部へなした正味の仕事を  $W$ 、外部から吸収した正の熱量を  $Q$ (外部へ放出した熱量は考えない)とすると、 $W/Q$  で与えられる。エリクソンサイクルでは、ある過程で放出する熱量と他の過程で吸収する熱量の絶対値が等しいので、熱交換器という装置を用いて、放出された熱量を作業物質に戻して熱効率を向上させている。

- (3) この熱機関の熱効率を絶対温度  $T_0$  と  $T_1$  で表せ。

この熱機関は逆行運転が可能である。即ち、外部から仕事を与えて、低温熱源から高温熱源へ熱量を移動させることが出来る。このような仕組みをヒートポンプといい、エアコンに利用されている。以下、この熱機関を大型化し、理想的に動作するものをエアコンに利用することを考える。 $0^\circ\text{C} = 273\text{K}$  とする。

- (4) 冷房機として使用する場合、 $1\text{ kW}$  の電力を与えれば、 $27^\circ\text{C}$  の室内から  $37^\circ\text{C}$  の室外へ運び出すことのできる単位時間当たりの熱量は何  $\text{kW}$  相当か。
- (5) 暖房機として使用する場合、 $1\text{ kW}$  の電力を与えれば、 $-3^\circ\text{C}$  の室外からの熱量と電力を合わせて、 $17^\circ\text{C}$  の室内へ運び込まれる単位時間当たりの熱量は何  $\text{kW}$  相当か。

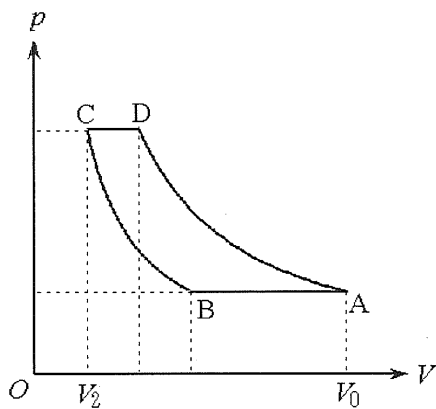


図 1

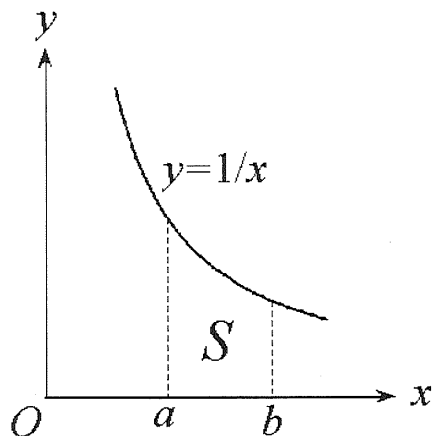


図 2



## 物理問題 4

磁束密度  $B$  の磁界の向きを  $z$  軸方向正の向きとし (図 1 の紙面手前向き),  $z$  軸に対し垂直 (かつ互いに垂直) に  $x$  軸,  $y$  軸をとる。磁界は  $0 \leq y \leq a$  の領域にのみ存在する。ここを, 抵抗  $r$  を持つ導線で作った閉回路を, 磁界に垂直に保ちながら  $y$  軸方向正の向きに一定の速さ  $v$  で移動させたときの様子を調べる。閉回路は一辺の長さが  $a$  の正方形で, 静電容量  $C$  の大きさの無視できるコンデンサが最初は電荷 0 の状態で埋め込まれている。閉回路の向かい合う辺の一组は  $x$  軸に常に平行 (したがって隣接するもう一组の辺は  $y$  軸に平行) である。時刻  $t = 0$  で閉回路は磁界の存在する領域に入り始めた。

$0 \leq t \leq a/v$  として以下の問いに答えよ。なおこの間に, コンデンサは十分に充電されたとする。

- (1) 時刻  $t$  において閉回路を貫く磁束を求めよ。
- (2) 閉回路が受ける力の向きを, 「 $z$  軸方向正の向き」のように答えよ。
- (3) 回路に電流  $I$  が流れているとき, コンデンサに蓄えられている電荷の大きさを求めよ。
- (4) 電流  $I$  が流れている時, 微小時間  $\Delta t$  の間に外力がする仕事を求めよ。
- (5) 電流  $I$  が流れている時, 微小時間  $\Delta t$  の間にコンデンサになされる仕事を求めよ。
- (6)  $t = a/v$  の時点でコンデンサに蓄えられた電荷の大きさを求めよ。
- (7) コンデンサに電流  $I$  が流入することでコンデンサの電荷が増えるので, 電流  $I$  が流れている微小時間  $\Delta t$  の間に増加するコンデンサの電荷量  $\Delta Q$  は  $\Delta Q = I \Delta t$  で与えられる。閉回路を磁界の存在する領域に挿入するのに必要な仕事を求めよ。

$0 \leq t \leq 2a/v$  の間の変化を考える。

- (8) 図 1 のコンデンサの  $+Q$  側の電荷の時間変化が図 2 で与えられるとき, 閉回路が磁界のある領域に入り始めてから出までの電流の時間変化の概形をグラフにせよ。ただし図 1 の電流  $I$  の向きを正とする。

- (9) 回路が磁界の存在する領域に入り始めてから出るまでの間に、回路を引く外力のした仕事を求めよ。

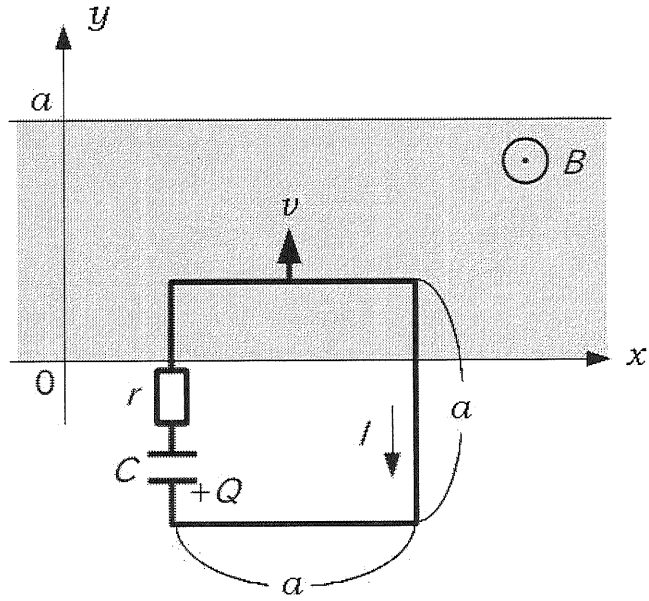


図 1

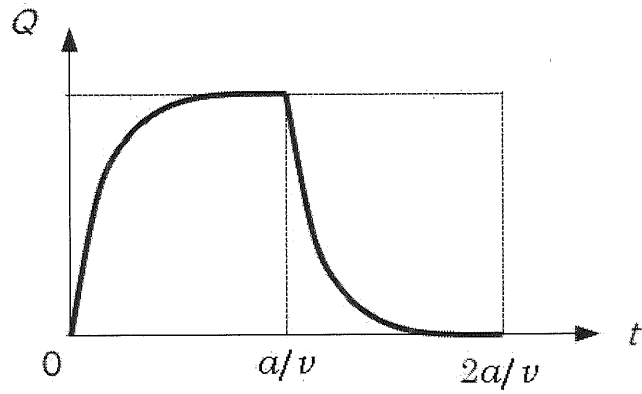


図 2

# 草 稿 用 紙

# 草 稿 用 紙