

# 平成 2 1 年度

## 問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	物 理	8

**試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。**

### 解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合は、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部および受験番号のほかはいっさい記入しないこと。
4. 問題[IV]、[V]は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。  
両方を解答してはいけない。選択問題[IV]、[V]のうち、選択した問題の番号を解答用紙3ページ目の所定の枠内に記入すること。

### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図の後、解答用紙1ページ目、3ページ目に志望学部および受験番号を必ず書くこと。
2. 選択科目は、願書に記載したものと違ったものについて答えてはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 問題の内容についての質問には、いっさい応じないが、その他の用事があるときは、だまって手をあげて、監督者の指示を受けること。
5. 試験終了時には、解答用紙を机上の右側に置くこと。
6. 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ること。

[I] 図1のようになめらかな水平面上に静止した質量  $M$  の物体 A と質量  $m$  の物体 B がある。物体 A と物体 B の接触面の位置は  $x=0$  とする。時刻  $t=0$  に、物体 A に取り付けられたロボットアームが伸び出し、物体 B を一定の力で押し始めた。  $s$  秒後にロボットアームが伸びきり、物体 B がロボットアームから離れた。ロボットアームの質量は無視でき、突き出したアームの長さを  $L$  として以下の問いに答えなさい。

- (1) 物体 B が前に押し出されると共に、物体 A は反動で後ろに動く。ロボットアームを伸ばしている  $s$  秒間に物体 B と物体 A が得た速さをそれぞれ  $v$  と  $V$  として、それらの大きさの比  $v/V$  を答えなさい。
- (2) 物体 A がロボットアームを通して物体 B を押した力を  $F$  とし、物体 A が物体 B と接触していた面の  $t=s$  での位置  $x_a$  を答えなさい。
- (3)  $F$  を  $m, M, s, L$  を用いて答えなさい。
- (4) (3) の結果をもとに、位置  $x_a$  を  $F$  を用いないで答えなさい。

次に、図2のように  $x < 0$  の範囲のみ摩擦がある面にした。面と物体との間の静止摩擦係数と動摩擦係数はともに  $\mu$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。このとき、以下の問いに答えなさい。

- (5) ロボットアームをゆっくり突き出したときは、物体 A が後ろに動かない場合がある。物体 A が静止したままである条件を、ロボットアームを伸ばす時間  $s$  に関する不等式として答えなさい。
- (6) 物体 A が後ろに動いた場合、物体 A がロボットアームを通して物体 B を押す力  $F'$  を  $m, M, s, L, \mu, g$  を用いて答えなさい。
- (7) 物体 A が動いた場合、物体 B が得る速さ  $v'$  を求め、図1における摩擦がない条件での物体 B が得る速さ  $v$  との差  $v' - v$  を答えなさい。
- (8) 次の文中  に入れる適当な文字を文末の解答群の中から選び、その記号を解答用紙に答えなさい。同じ記号を何度用いてもよい。

$x < 0$  の面に摩擦があると、ないときと比べ物体 B が得る速さは  (ア) なる。一方物体 B が得る速さはロボットアームの作動時間を  (イ) するほど大きい。ロボットアームの作動時間を小さくすると、物体 B が得る速さに与える摩擦の影響は  (ウ) なる。

解答群：①大きく ②小さく

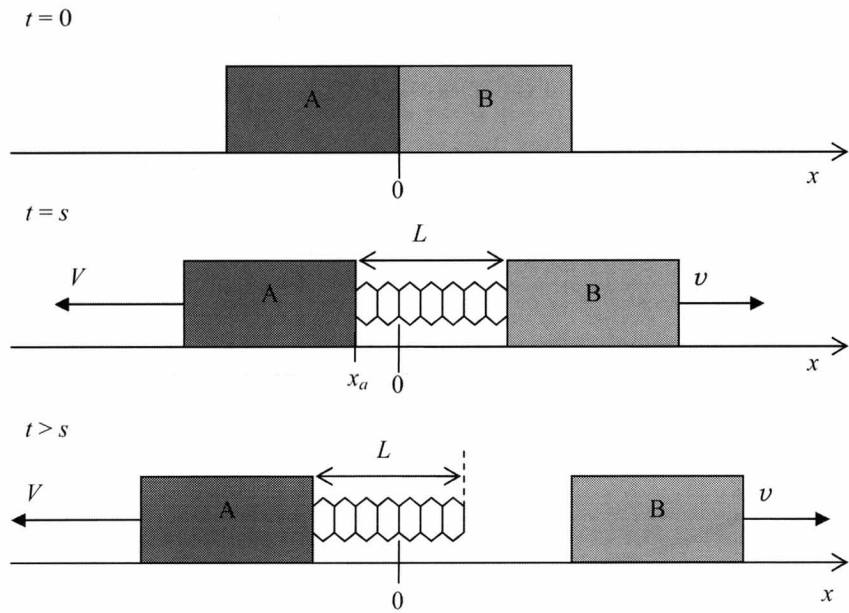


図 1

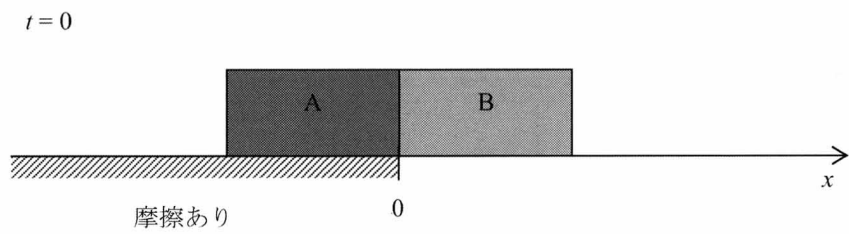


図 2

〔Ⅱ〕 図3のような半径  $R$  のガラス製の球面レンズが鏡の上に、図のように上面が平面で鏡に平行になるように置かれている。光の干渉により干渉縞ができる。球面レンズの場合、同心円状に縞ができる。干渉縞の暗い円を暗環、明るい円を明環という。

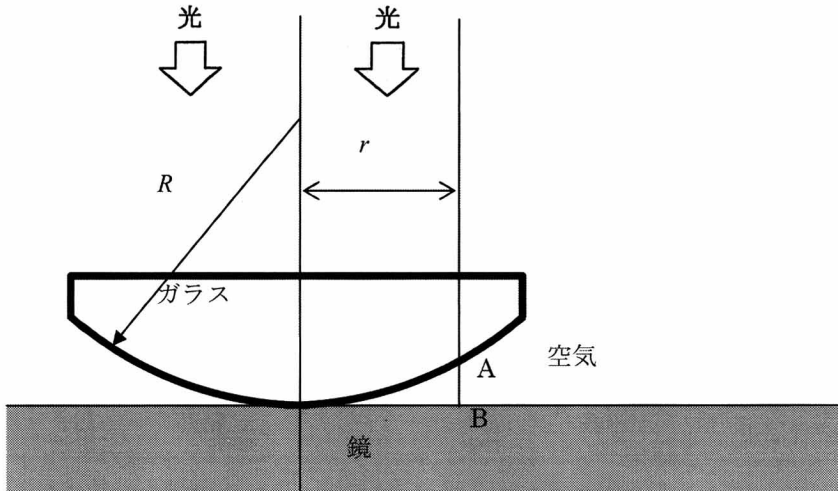


図3

- (1) このレンズの下面Aで反射した光と鏡面Bで反射した光の経路差  $2d$  を答えなさい。ただし、 $R$  は経路差に比べて十分に大きいものとする。
- (2) 空気とガラスでは、どちらの屈折率が小さいか答えなさい。
- (3) AとBのどちらで反射した光の波の位相が半波長分ずれるか答えなさい。
- (4) 経路差が光の波長  $\lambda$  の整数倍の時に光が干渉し、弱めあつて暗くなるという。 $m$  番目に小さい暗環の半径  $r_m$  を答えなさい。ただし、一番小さいものを  $m=0$  とする。
- (5)  $m$  番目に小さい暗環の半径  $r_m$  を2倍に大きくしたい。このとき、何をどのように変更すればよいかを答えなさい。

〔Ⅲ〕 図4に示した回路の動作について、(1)から(5)の問いに答えなさい。ただし、抵抗 $R_1, R_2, R_3, R_5$ の電気抵抗を $R[\Omega]$ 、コンデンサー $C_1$ および $C_2$ の電気容量を、それぞれ $C[F]$ および $2C[F]$ とする。電池の内部抵抗、回路の導線の電気抵抗はじゅうぶんに小さく無視できるものとする。また、コンデンサーは、抵抗成分を持たないものとする。はじめの段階では、すべてのスイッチは開いている。

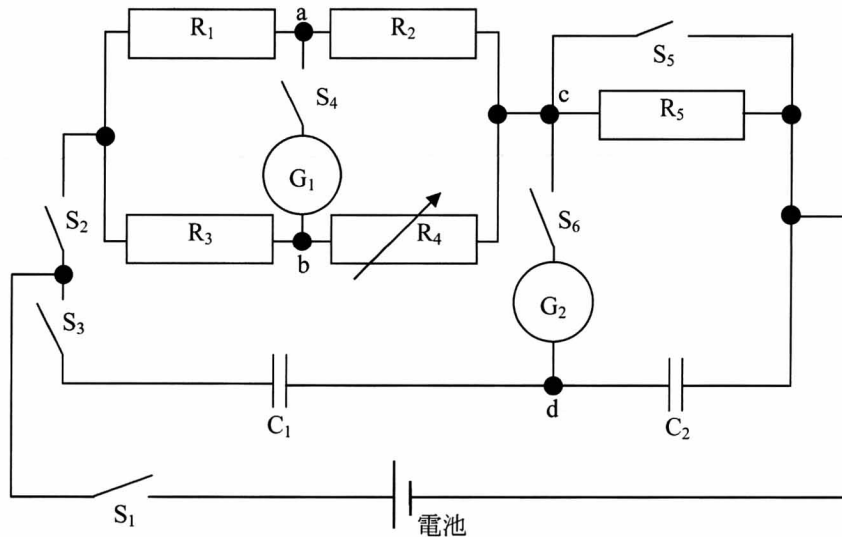


図4

- (1) スイッチ $S_5, S_2, S_1$ を順に閉じて、可変抵抗 $R_4$ の値を $0\Omega$ から $R_{max}[\Omega]$ まで連続的に変化させたとき、点 $b$ からみた点 $a$ の電位をグラフに描きなさい。ただし、 $R_{max} = 2R[\Omega]$ 、電池の電圧を $V[V]$ とする。
- (2) 次に、スイッチ $S_4$ を閉じ、検流計 $G_1$ の振れがゼロとなるように可変抵抗 $R_4$ を調整したのち、スイッチ $S_3$ を閉じる。じゅうぶんに時間が経過したときのコンデンサー $C_1$ および $C_2$ の極板間の電圧 $V_1[V]$ および $V_2[V]$ を、電池の電圧 $V[V]$ を用いて表しなさい。また、コンデンサー $C_1$ および $C_2$ に蓄えられた電気量 $Q_1[C]$ と $Q_2[C]$ をそれぞれ求めなさい。
- (3) (2)の状態のままにして、スイッチ $S_5$ を開いた後でスイッチ $S_6$ を閉じたとき、検流計 $G_2$ に流れる電流の向きを答えなさい。また、コンデンサー $C_2$ の電気量 $Q_2[C]$ の時間 $t$ に対する変化はどうなるかをグラフに示しなさい。ただし、 $S_6$ を閉じたときの時刻を $t=0$ とする。座標軸上の値は適宜記入すること。
- (4) (3)の状態で、じゅうぶんな時間が経過したときのコンデンサー $C_1$ の電気量 $Q_1[C]$ を求めなさい。このときのコンデンサー $C_1$ の静電エネルギーの変化量を求めなさい。ただし、時刻 $t=0$ のときの静電エネルギーを基準として、増加した場合はプラス(+), 減少した場合はマイナス(-)の符号を付けなさい。
- (5) 次に、 $S_2$ を開いたとき、検流計 $G_2$ に流れる電流の向きを答えなさい。また、コンデンサー $C_2$ の電気量 $Q_2[C]$ の時間に対する変化のようすをグラフに書きなさい。

[IV] 図5のように、床に固定されたシリンダーに  $n$  [mol] の単原子分子の理想気体 G を入れ、断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] のなめらかに動くピストンで封じ込めた。シリンダー内部には体積と熱容量が無視できるヒーターが取り付けられている。さらに、シリンダーには容積  $V_0$  [m<sup>3</sup>] の外部容器がバルブ A を持つ細管で連結されている。ピストン、シリンダー、外部容器、および細管はすべて断熱材でできている。ピストンにはばね定数  $k$  [N/m] のばねが付いており、ばねの他端は壁に固定されている。最初、バルブ A は閉じられていて、外部容器は真空になっている。そして、ピストンの左端はシリンダーの左端より距離  $L$  [m] の位置 B にあり、ピストンの右端は圧力  $P_0$  [N/m<sup>2</sup>] の大気に接している。このとき、ばねは自然の長さになっていた。

理想気体 G をヒーターで加熱すると、図の点線の位置 B' にピストンが移動し、その距離は  $d$  [m] であった。気体定数を  $R$  [J/mol · K] として、以下の問いに答えなさい。ただし、すべての解答は  $n, S, V_0, L, d, R, P_0, k$  のうち必要なものであわすこと。

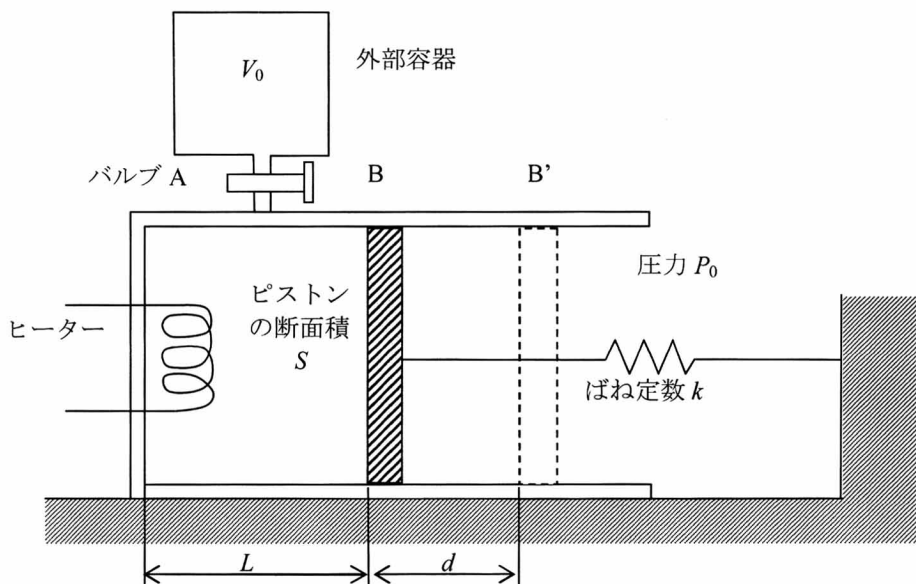


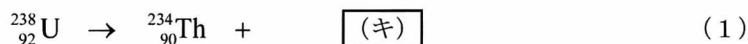
図 5

- (1) ピストンの位置が B のとき、理想気体 G の温度  $t_1$  [°C] を答えなさい。
- (2) 加熱後、ピストンの位置が B' のとき、理想気体の圧力  $P_1$  [N/m<sup>2</sup>] はいくらか答えなさい。また、加熱前後の理想気体の温度差  $\Delta T$  [°C] を答えなさい。
- (3) 理想気体 G が外部に対して行った仕事  $W_1$  [J] はいくらか答えなさい。また、ヒーターから受けた熱量  $Q_1$  [J] はいくらか答えなさい。  
この後、ピストンを位置 B' に固定し、バルブ A を開いた。じゅうぶんに時間が経過した後、理想気体 G は熱平衡状態になった。
- (4) この過程で理想気体 G のした仕事  $W_2$  [J] はいくらか答えなさい。また、気体の温度  $T_2$  [K] 及び圧力  $P_2$  [N/m<sup>2</sup>] を答えなさい。
- (5) この後、再びヒーターで理想気体 G を加熱した。ピストンの固定を解除してもピストンが位置 B' より動かないためには、加熱後の理想気体 G の温度  $T_3$  [K] はいくらか答えなさい。

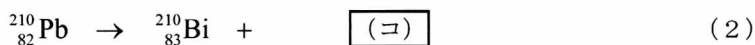


[V] 以下の文章中の空欄〔ア〕～〔ソ〕に適切な語句，式または数値をいれて文章を完成させて問いに答えなさい。

- (1) 物質が自然に放射線を出す性質を〔ア〕といい，この性質をもった物質を〔イ〕という。放射線には $\alpha$ 線， $\beta$ 線， $\gamma$ 線をはじめとしていくつかの種類がある。次式(1)の核反応式は〔ウ〕を示しており〔エ〕原子核を放出し〔オ〕が2少なく〔カ〕が4少ない別の原子に変化する現象である。



次式(2)の核反応式は〔ク〕を示しており原子核内の中性子が〔ケ〕を放出し陽子にかわるため〔オ〕が1多く〔カ〕が等しい別の原子に変化する現象である。



〔ウ〕や〔ク〕によってできた原子が余分なエネルギーを $\gamma$ 線として放出し安定な状態に変化する。

- (2)  $\alpha$ 線， $\beta$ 線， $\gamma$ 線を区別する方法をそれぞれの放射線の性質に着目して説明しなさい。
- (3) 1923年コンプトンは物質にX線をあてたとき，散乱するX線の中に入射中のX線より長波長のX線が含まれること，またそのとき電子が放出されていることを発見した。(図6参照)この現象を〔サ〕という。このとき光の速さを $c$  [m/s]，プランク定数を $h$  [J·s]，入射するX線の波長を $\lambda$  [m]とするとX線のエネルギーは $E=hc/\lambda$  [J]で，運動量は $P=h/\lambda$  [kg·m/s]であらわされる。放出された電子の質量を $m$  [kg]，速さを $v$  [m/s]とし散乱されたX線の波長を $\lambda'$  [m]とするとエネルギー保存の法則は以下の式(3)で表される。

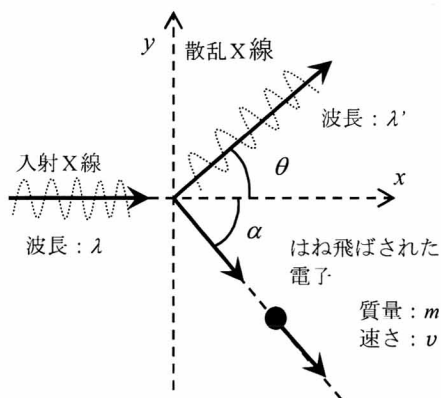


図6

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + \boxed{\text{(シ)}} \quad (3)$$

図中の  $x$  方向の運動量保存の法則から以下の式 (4) が導き出される。

$$\frac{h}{\lambda} = \boxed{\text{(ス)}} + mv \cos \alpha \quad (4)$$

図中の  $y$  方向の運動量保存の法則から以下の式 (5) が導き出される。

$$\boxed{\text{(セ)}} = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - mv \sin \alpha \quad (5)$$

式 (3), (4), (5) を用いて電子の速さ  $v$ , 放出角度  $\alpha$  を消去して  $\lambda' = \lambda$  とすると以下の式 (6) が導き出される。

$$\lambda' = \lambda + \boxed{\text{(ソ)}} \quad (6)$$

- (4) 物質に波長  $\lambda = 1.00 \times 10^{-10}$  m の X 線をあてたとき、散乱角度  $\theta = 60^\circ$  で観測される散乱 X 線の波長はいくらか答えなさい。このとき光の速さを  $c = 3.00 \times 10^8$  m/s, プランク定数を  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  J·s, 電子の質量を  $m = 9.11 \times 10^{-31}$  kg とする。