

平成 24 年度入学者選抜学力検査問題

理 科

(医 学 部)

科	目	頁	数
物	理 I・II	2 頁	～ 7 頁
化	学 I・II	8 頁	～ 11 頁
生	物 I・II	12 頁	～ 18 頁

注 意 事 項 I

この冊子には物理、化学、生物の問題がのっているが、そこから二つを選択し、解答すること。

注 意 事 項 II

- 1 試験開始の合図があるまでこの冊子を開いてはいけない。
- 2 試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
- 3 解答にかかる前に必ず受験番号を記入すること。
- 4 解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。
所定の欄以外に記入したものは無効である。
- 5 問題冊子は持ち帰ってよい。

物 理 I・II

1 電気自動車(図1)は大変静かに動くので、歩行者が接近に気付かないという問題が指摘されている。この問題を解決するために、図2のような「発音装置」が考案されている。この装置をタイヤの中心部に装着すると、装置はタイヤとともに回転して、自動車がある速度以下で走行しているときは「カチ、カチ、…」という音を発する。

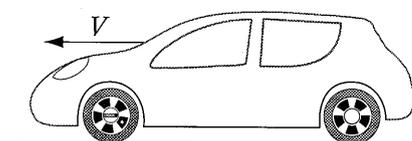


図1

図3は装置の概略である。質量 m [kg] の円板状の一樣な物体が、容器に設けられた溝の中を、自由に行き来できるようになっている。装置は中央がタイヤの回転軸と一致するように固定されており、物体が溝の端から他端へ移動して溝の端に衝突すると音を発する。物体が移動できる距離は $2L$ [m] で、円板状の物体は溝の端とすき間なく接する。

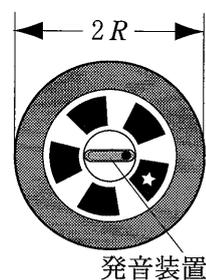


図2

電気自動車(図1)が速さ V [m/s] で直進しており、半径 R [m] のタイヤは地面を滑らずに角速度 ω [rad/s] で回転しているとして、装置内の物体の運動を考える。このため、タイヤの回転軸を原点として、タイヤとともに回転する座標を図4のように設定する。時刻0において「発音装置」は水平で、物体は溝の右端にあるとする。

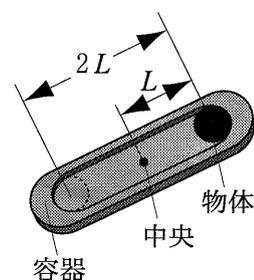


図3

なお、物体自身の回転や、物体と溝の間の摩擦は考えなくてよいものとする。重力加速度の大きさを $g = 9.8$ [m/s²] として、以下の問1～問4に答えよ。

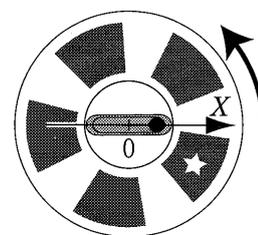


図4

問1 自動車の速さ V とタイヤの角速度 ω の間にはどのような関係が成り立つか。

問2 自動車の速さが大きく、物体が溝の端から離れないとき、タイヤとともに回転する観測者から見ると、物体にはどのような力が働いているか。

物体と溝が解答用紙の図のようなとき、物体に働く「重力」、「遠心力」、溝の壁からの「垂直抗力」を矢印で名称とともに、解答用紙の図に記入せよ。カベクトルの関係が分かるように説明を加え、力の作用点を明確にしておくこと。同じ種類の力が分布して働くときは、その合力を記入せよ。

問 3 半径 40 cm のタイヤを装着している自動車の速さが $V \geq 20$ km/h であるとき「発音装置」は音を発しなくなるとする。長さ L はどのような値であればよいか。数値を求めよ。

問 4 自動車の速さが小さく、「発音装置」が音を発している場合を考える。

タイヤの回転角度が θ_1 ($0 < \theta_1 < 90^\circ$) となった時刻 t_1 [s] に、溝の端にあった物体は溝に沿って動き始め、タイヤの回転角度が θ_2 ($\theta_1 < \theta_2 < 180^\circ$) となったとき、物体は溝の他端に衝突した(図 5)。ただし、溝の端と物体の衝突は反発係数 0 の非弾性衝突であるとする。

- (1) $\sin(\omega t_1)$ が満たす条件を ω , L , g を用いて書け。
- (2) 物体が溝に沿って運動しているとき、運動方程式は、どのように表すことができるか。タイヤとともに回転する座標である X 軸方向について、時刻 t [s] における物体の位置を x [m]、加速度を a [m/s²] と表して、運動方程式を書け。 X 軸方向の運動については「重力」と「遠心力」の影響のみを考えればよい。
- (3) 物体が溝に沿って動き始めた直後の時刻 t [s] において、近似式

$$\begin{aligned}
 x &\doteq L, \\
 \sin(\omega t) &= \sin\{\omega(t - t_1)\} \cos(\omega t_1) + \cos\{\omega(t - t_1)\} \sin(\omega t_1) \\
 &\doteq \omega \times (t - t_1) \times \cos(\omega t_1) + \sin(\omega t_1)
 \end{aligned}$$

を用いると、運動方程式から、物体が動き始めた直後の時刻 t における速度 v [m/s] は

$$v \doteq \boxed{1} \times (t - t_1)^2$$

となることが分かる。 $\boxed{1}$ に入る式を ω , L , g を用いて表せ。

- (4) 自動車の速さがある値のとき、 $\theta_1 = 15^\circ$, $\theta_2 = 100^\circ$ となる。この場合について、物体の速度と位置の変化を、タイヤとともに回転する座標である X 軸方向について調べる。

タイヤの回転角度が 0 から θ_2 までについて、物体の速度は、解答用紙に示したグラフのように変化する。この結果にしたがって、物体の速度と位置の変化の概略を、タイヤの回転角度が 360° となるまでについて、解答用紙のグラフに描け。なお、物体が溝の端から動き出して、他端に衝突する瞬間の速度の大きさを v_{\max} [m/s] と表す。

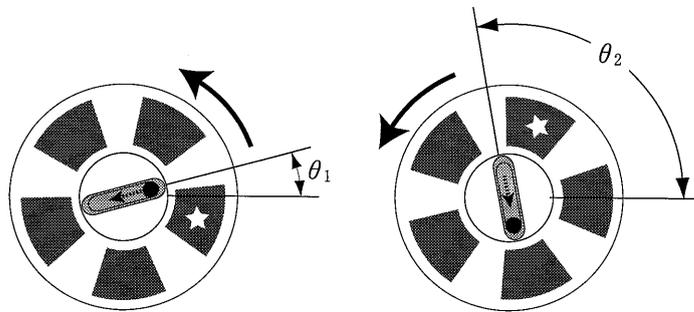


図 5

2 図1は放射線を計測する装置の概略を表している。放射線がシンチレータとよばれる物質に入射すると光を発し、この光が金網Aにあると、光電効果によって電子の集団が一定時間放出され、装置内に電子の流れが生じる。装置には、電子の数を増やすための9個の電極が設置されていて、10番目の電極内には金属板Bがある。図2は電極1の構造を示しており、円筒を1/4に割ったような形状である。電極1の左側面には金属線が張られていて電子はすき間を通過することができる。1個の電子が電極1の歪曲した面に吸収されると、2個の電子が電極から放出されるものとする。これらの電子は、開放されている電極の上部から電極2へ向かって移動することができる。電極2～9は電極1と同じ構造をしていて、向きが異なっている。金網Aと電極および金属板Bは図3の電気回路に接続されていて、電子は

金網Aから電極1、電極1から電極2、電極2から電極3、電極3から電極4、
電極4から電極5、電極5から電極6、電極6から電極7、電極7から電極8、
電極8から電極9、電極9から電極10

に向かって加速される。金網Aや電極から放出される電子の運動エネルギーは極めて小さいもので、ゼロであると考えてよい。次の問1～問8に答えよ。

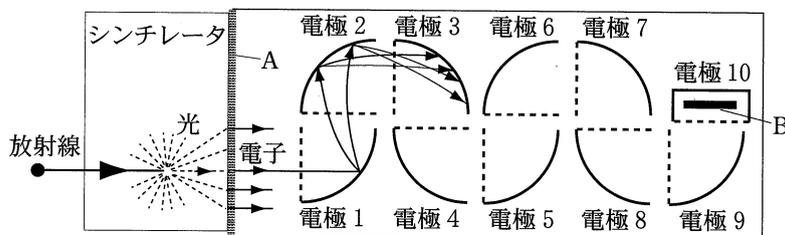


図1

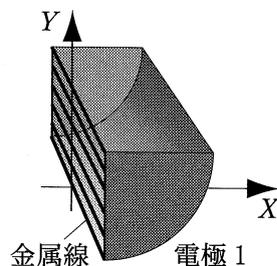


図2

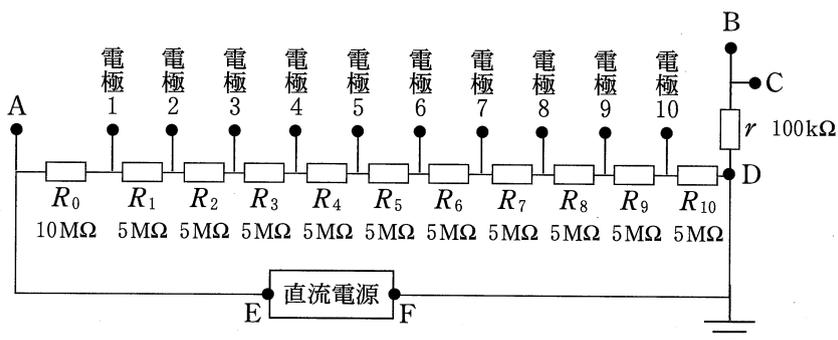


図3

問 1 電極から出た電子が加速されるには、図 3 の電気回路において直流電源をどのように接続すればよいか。解答用紙の図中に、接続する直流電源の向きを、電池の記号を用いて記入せよ。

以下の設問において、直流電源は問 1 のように電子が加速される向きに接続されているものとする。

問 2 電極 1 の内部および電極 2 の近傍での電位はどのようにになっているか。図 2 に示した XY 面上での等電位線の概略を解答用紙の図に描きなさい。

解答用紙の図には、等電位線のおおまかな形状を表す曲線を 5 本記入すること。また、金属線は稠密に張られていて金属面と同等であると考えてよい。

問 3 電場中を運動する電子の軌道を簡単な場合について調べる。

図 4 のような、長さが L [m] の極板 P と極板 Q からなる平行板について考える。極板間には電位差が与えられていて、灰色の領域には一様な電場が生じており、電場は極板に対して垂直である。極板と平行な方向に X 軸、垂直な方向に Y 軸を設定する。

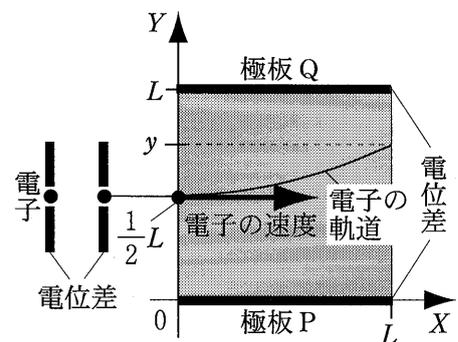


図 4

初速度ゼロの電子が、極板間の電位差と同じ大きさの電位差で加速され、極板間の中央(座標 $(0, L/2)$)に極板と平行な速度を持って入射する。電子は極板間の電場から力を受けて、図 4 に示したような軌道を進むとする。

電子が極板の端 (L, y) まで飛んだとき、 y はどのような式で表すことができるか。必要があれば、電子の質量を表す記号として m [kg]、電子の電荷の大きさを表す記号として e [C] を用いてもよい。

図 3 の電気回路において電気抵抗は $R_0 = 10 \text{ M}\Omega$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = 5 \text{ M}\Omega$, $r = 100 \text{ k}\Omega$ で、直流電源の電圧は 1050 V であるとする。直流電源の内部抵抗は無視できるものとする。

問 4 シンチレータに放射線が入射していない場合、電極間における電子の移動はない。このとき、回路にどのような電流が流れるか説明して、電流の大きさを数値で求めよ。

電子の数は、電極1から電極9へと飛んでいくにしたがって、ちょうど2倍ずつ増え、電極10に向かって飛んでくる電子は、すべて金属板Bに到達するものとする。したがって、電極10に接続された電気回路の導線には電流が流れない。また、電極間を飛ぶ電子の集団も、軌道の違いなどを平均化して、電流と考えることができる。

電極9と金属板B間の電子の流れを大きさ J [A]の電流で表すと、電極8と電極9間の電子の流れは大きさ $J/2$ の電流、電極7と電極8間の電子の流れは大きさ $J/4$ の電流などに相当する。

放射線の有無や放射線のエネルギーなどの情報は、回路内Cの電位変化を調べることで得られる。ある放射線がシンチレータに入射したとき、図5のようにCの電位が1V変化したとする。

問5 放射線が入射しているとき、電気抵抗 r に流れる電流はどのような向きで、どのような大きさとなるか。大きさは数値で答えよ。

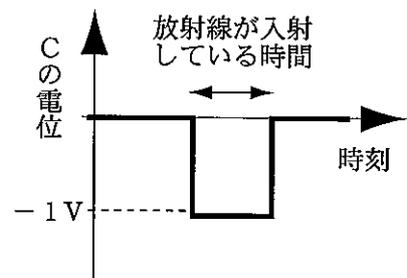


図5

問6 回路の直流電源の部分を通る電流の大きさを表す記号を I [A]とする。電気抵抗 $R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}$ に流れる電流の大きさを I と J を用いた式で表せ。ただし、 $I > J$ の条件が成立しているものとする。

問7 放射線が入射しているとき、電流の大きさ I と J はどのような値となるか。数値で答えよ。

問8 シンチレータに「放射線が入射している場合」と「放射線が入射していない場合」について、回路中の

A, 電極1, 電極2, 電極3, 電極4, 電極5,
電極6, 電極7, 電極8, 電極9, 電極10, D

での電位はどのようなになるか。

電位と回路内の位置の関係を表すグラフとして適切なものを図6の中から選びA~Lの記号で答えよ。また、選択したグラフ中の線①と②が、「放射線が入射している場合」と「放射線が入射していない場合」のどちらに対応するか答えよ。

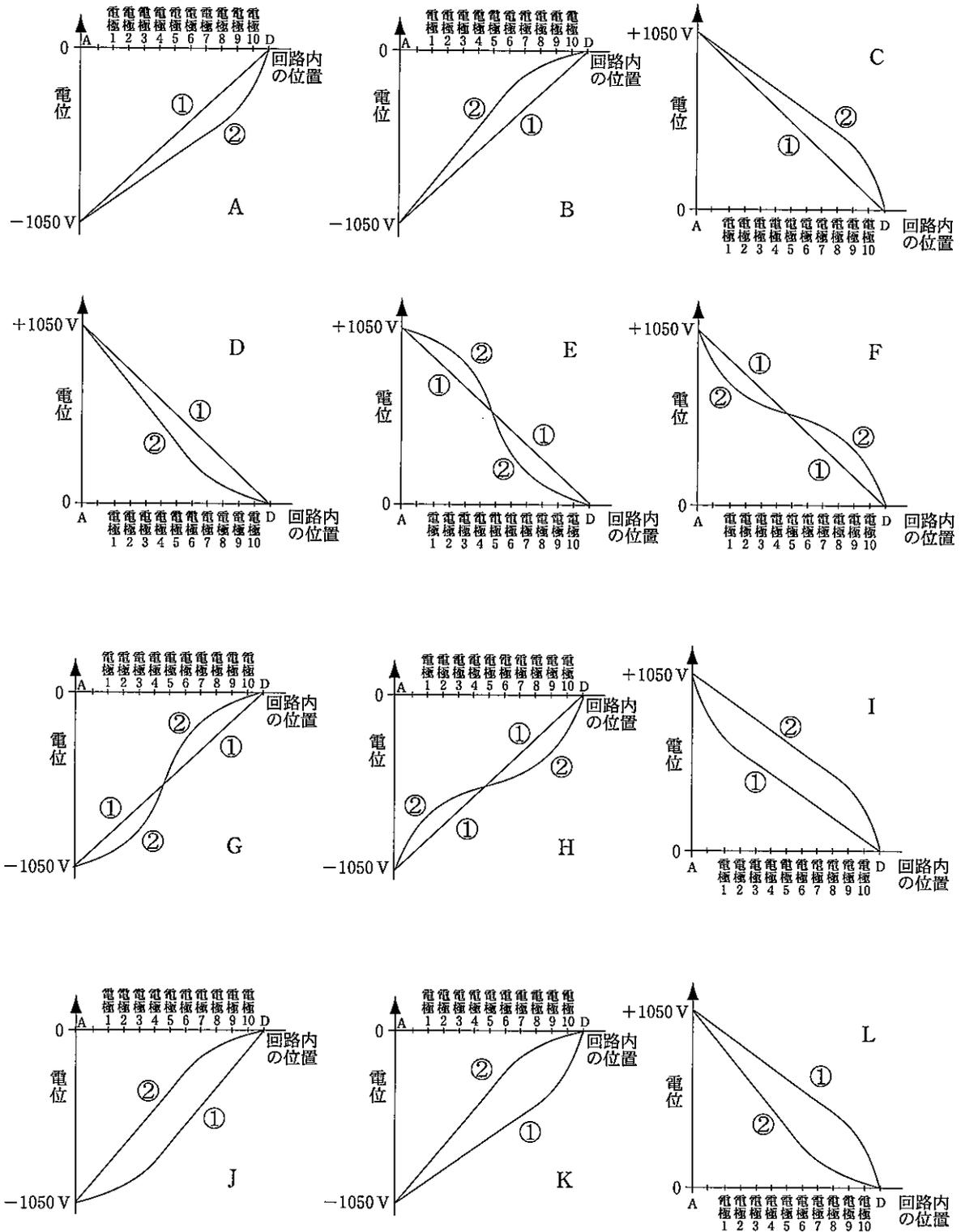


図 6