

令和3年度一般選抜試験(後期)

理 科 (問 題)

注 意

- 1) 理科の問題冊子は全部で36ページあり、問題数は、物理4問、化学4問、生物4問である。白紙・余白の部分は計算・下書きに使用してよい。
- 2) 別に解答用紙が3枚ある。解答はすべてこの解答用紙の指定欄に記入すること。指定欄以外への記入はすべて無効である。
- 3) 3枚の解答用紙のすべての所定欄に、それぞれ受験番号を記入すること。氏名を記入してはならない。なお、記入した受験番号が誤っている場合や無記入の場合は、当該科目の試験が無効となる。また、※印の欄には何も記入してはならない。
- 4) 理科は物理・化学・生物のうち2科目を選択して解答すること。選択しない科目の解答用紙には(受験番号は忘れず記入の上)用紙全体に大きく×印をつけて、選択しなかったことがはっきりと分かるようにすること。
- 5) 3科目全部にわたって解答したものを、および解答用紙3枚のうち1枚に×印のないものは、理科の試験全部が無効となる。
- 6) 問題冊子は持ち帰ること。
- 7) 解答用紙は持ち出してはならない。
- 8) 試験終了時には、解答用紙を裏返して、下から順に物理、化学、生物の解答用紙を重ねて置くこと。解答用紙の回収後、監督者の指示に従い退出すること。

物 理 (後期)

I 図1のように、地球上の点Pから水平方向にある速さで、質量 m の物体Xを打ち出した。このときXは地表面に沿って円運動を行い、地球の中心Oに対してPの反対側の点Qに到達した。地球の質量を M 、半径を R 、万有引力定数を G として、次の問に答えよ。途中の考え方も記せ。ただし大気・地表などによる摩擦、地球の自転は考えなくてよいものとし、地球は一様な球体とする。円周率は π とする。

問 1 打ち出した直後のXにかかる向心力の大きさを求めよ。

問 2 Xが打ち出された速さを求めよ。

問 3 XがQに到達するまでの時間を求めよ。

次に図2のようにPとQをつなぐトンネルを地球に掘った。もう一つ物体Y(質量 m')を用意し、PでXの打ち出しと同時にトンネルへ静かに手をはなした。

ただし、地球内部の任意の点A($OA = a$)に物体があるとき、その物体にかかる重力は、Oを中心とした半径 a の球面内の質量がOに集まったとして、それが物体におよぼす万有引力と等しく、その球面外の地球の質量とは無関係であるとしてよい。

問 4 YがAにあるとき、Yにかかる力の大きさを求めよ。

問 5 m は m' の5倍である。YがQに到達するまでの時間は、XがQに到達するまでの時間の何倍か。

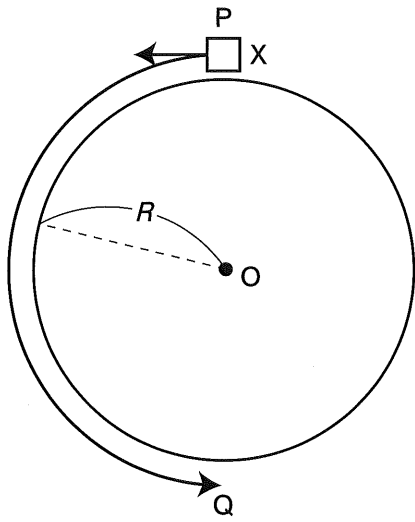


图 1

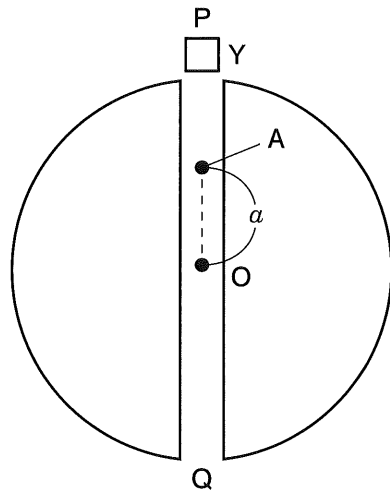


图 2

II 抵抗(抵抗値 R)、コンデンサー(電気容量 C)、コイル(自己インダクタンス L)、スイッチ S 、および交流電源からなる、図1のような回路がある。電源の電圧は $V_0 \sin \omega t (V_0 > 0)$ で表される。最初、スイッチ S は開いており、コンデンサーに電荷はない。次の問に答えよ。問1以外は途中の考え方も記せ。

問1 回路を流れる電流を測定すると $I = I_0 \sin(\omega t - \phi) (I_0 > 0)$ であった。この電流を図2のように、 xy 座標上のベクトル \vec{I} の y 成分として表示することを考える。 \vec{I} は原点 O を始点として、その大きさが I_0 に等しく、 \vec{I} と x 軸のなす角が電流の位相に等しい。この方法で、抵抗にかかる電圧 \vec{V}_R 、およびコイルにかかる電圧 \vec{V}_L を、ベクトルとして解答用紙に図示せよ。また、これらのベクトルの大きさ、ベクトルが x 軸となす角を答えよ。

問2 $\tan \phi$ および I_0 を求めよ。

次にスイッチ S を閉じた。このとき ab 間の電圧が $V_1 \sin(\omega t - \theta)$ であった。

問3 a を流れる電流の最大値を求めよ。

問4 $\tan \theta$ と V_1 を求めよ。

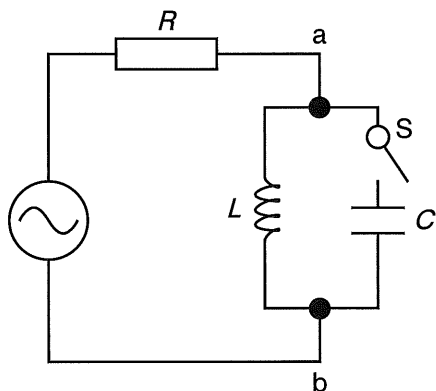


図1

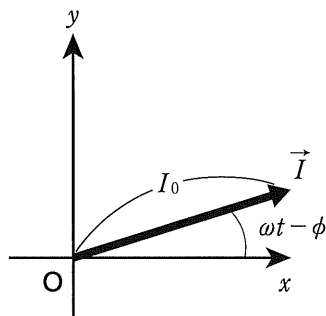


図2

III 断面が図1のような直角二等辺三角形ABCである透明な三角柱(屈折率 n)が大気中(屈折率1)にある。光源からABの中点へ、 $\triangle ABC$ を含む面に平行に入射角 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)で光が入射する。光源は360 nm から720 nm の波長の光を出す。波長と n の関係は図2の通りである。以下の間に答えよ。問3から問5は、途中の考え方も記せ。角度の単位は弧度法によるものである。三角柱はじゅうぶん大きい。必要があれば図3を用いてもよい。その場合、角度の単位は度($^{\circ}$)のままでもよい。

問1 ABでの屈折角を ϕ として、BCへの入射角を求めよ。

問2 θ を $\frac{\pi}{2}$ から小さくしながらBCからの出射光を観察したところ、ある角度に達したとき出射光が観察できなくなった。この時 ϕ が満たす条件式を求めよ。

問3 θ を $\frac{\pi}{2}$ から小さくしながらAB, BC, CAからの出射光を観察したところ、ある角度に達したときABからの出射光だけが観察できた。この時 ϕ が満たす条件式を求めよ。

問4 360 nm と720 nm の光がそれぞれ入射したとき、ABからの出射光だけが観察できる ϕ の条件をそれぞれ求めよ。

問5 光源から全ての波長の光が一度に入射した。全ての波長に対しABからの出射光だけが観察できる θ の条件を求めよ。

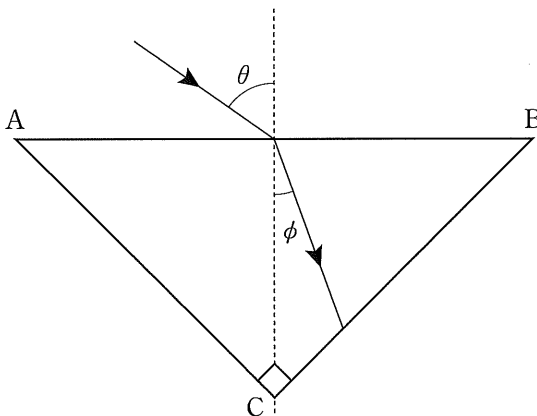


図1

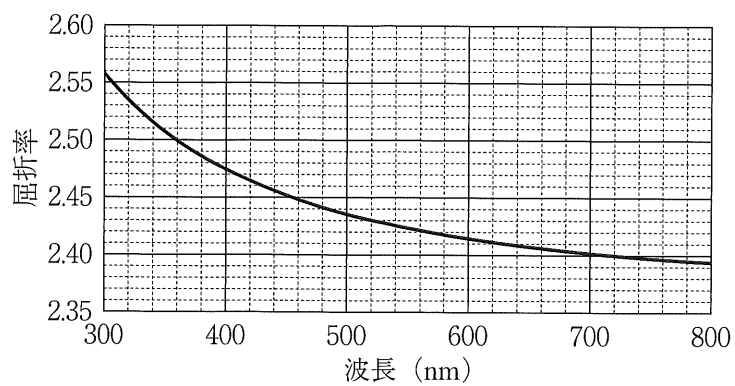


图 2

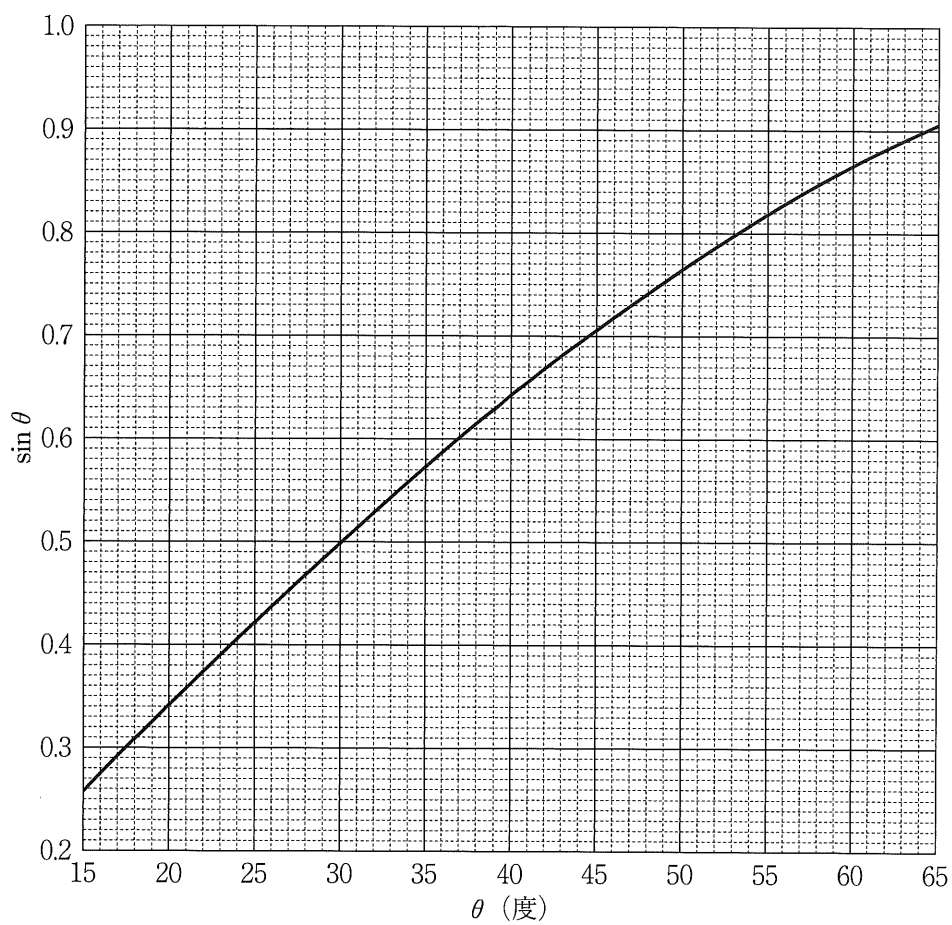


图 3

IV ある種の分子にある波長の光を励起光として照射すると、図1のように、分子の中の基底状態にある電子が、励起光の光子を吸収して準位2に励起される。多くの場合、この電子は、分子の中でエネルギーの一部を失って準位1に移った後に、準位1と基底状態とのエネルギー差に相当する光子を放出して基底状態に戻る。このようにして放出される光は蛍光と呼ばれ、生物学の研究などに利用される。真空中の光速を c 、プランク定数を h 、電気素量を e とする。以下の間に答えよ。途中の考え方も記せ。

問1 観測された蛍光の波長 λ_1 が、励起光の波長より $\Delta\lambda$ だけ長かった。準位1と準位2の間のエネルギー差 ΔE はいくらか。

微弱な蛍光を検出する際に用いられる、光電子増倍管と呼ばれる装置の模式図を図2に示す。光電陰極に蛍光が入射すると、発生した光電子が、複数のダイノードと呼ばれる湾曲した電極の列に向かって加速される。1枚のダイノードに1個の電子が衝突するごとに複数の電子がダイノードから放出され、ダイノード間の電位差によって加速され次のダイノードに衝突する。これを繰り返して発生した大量の電子が陽極で集められ、検出用コンデンサーに蓄積される。光電陰極の仕事関数は W であるとする。

簡単のため、以下の仮定をおく。

- ① 光電子は光電陰極から必ずダイノード側に向けて放出され、最初のダイノードに入射する。
- ② 1つのダイノードから放出された電子はすべて次のダイノードに入射する。
- ③ 最後のダイノードから放出された電子はすべて陽極に集められて検出用コンデンサーの極板に移動する。

問2 光電陰極に入射した波長 λ_1 の光子1個を吸収して光電子1個が放出されるとすると、この光電子の運動エネルギーはいくらか。

光電子増倍管が $W=2.0\text{ eV}$ の光電陰極と10枚のダイノードを持ち、1枚のダ

イノードに入射する電子1個ごとに5個の電子が次のダイノードに入射するとする。
 検出用コンデンサーの電気容量は $1.0\ \mu\text{F}$ とする。必要なら次の値を用いよ。
 $c=3.0\times 10^8\ \text{m/s}$, $e=1.6\times 10^{-19}\ \text{C}$, $h=6.6\times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$, $5^{10}\doteq 10^7$

問 3 この光電子増倍管で検出できる光の最大の波長はいくらか。

問 4 波長が $450\ \text{nm}$ で、 $1.0\times 10^{-12}\ \text{W}$ の励起光を、蛍光分子に照射する。励起光の光子100個ごとに蛍光の光子1個が光電子増倍管に入射するとする。1秒間に光電陰極から放出される光電子は何個か。

問 5 問4の条件で励起光を1秒間照射したとき、検出用コンデンサーの極板間の電位差はどれだけ変化するか。

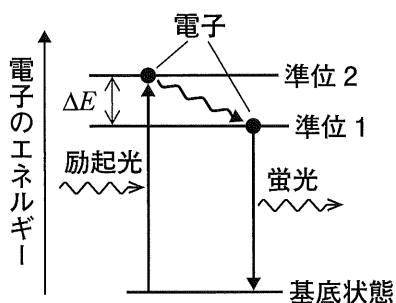


図 1

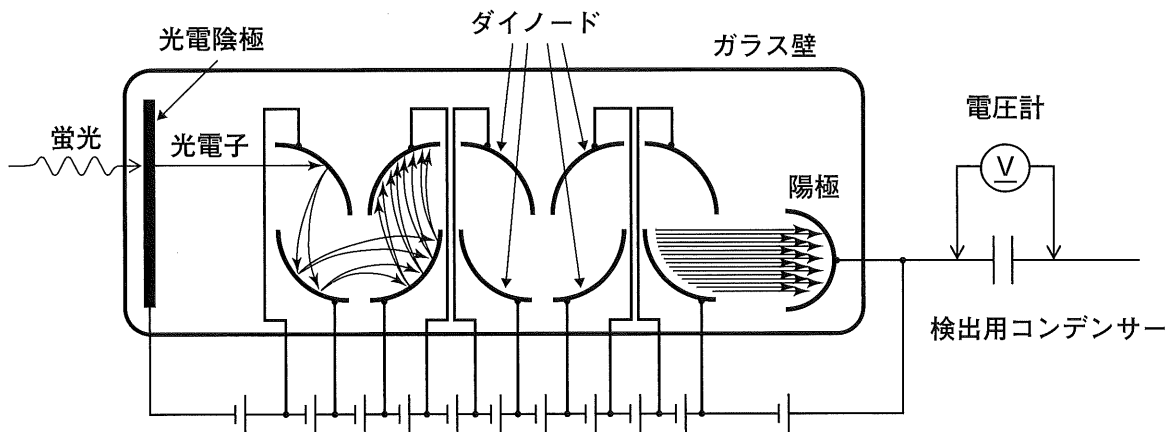


図 2