

2019年度

慶應義塾大学入学試験問題

医 学 部

理 科

注意事項

1. 受験番号と氏名は解答用紙の所定の記入欄にそれぞれ記入してください。
2. 受験番号は所定欄の枠の中に1字1字記入してください。
3. 解答は、必ず解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. この問題冊子の余白を計算および下書きに用いてください。
5. この問題冊子の総ページ数は32ページです。試験開始の合図とともにすべてのページが揃っているかどうか確認してください。ページの脱落や重複があったら直ちに監督者に申し出てください。
6. この問題冊子は、試験終了後に持ち帰ってください。

# 物理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 以下の間に答えよ。

問1 ①, ②, ④は整数, ③は語句, ⑤, ⑥は有効数字2ケタで答えよ。

(1)  $^{235}_{92}\text{U}$ が $\alpha$ 線と $\beta$ 線の放出を繰り返すことにより $^{219}_{86}\text{Rn}$ に崩壊する際の $\alpha$ 崩壊,  $\beta$ 崩壊の回数はそれぞれ①回, ②回である。

(2) 原子核の質量は, 核を構成する陽子と中性子の質量の総和より小さく, この質量差を③という。

(3)  $^{235}_{92}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}^{139}_{39}\text{I} + {}^{95}_{39}\text{Y} + 2 {}_0^1\text{n}$  の核反応(Iの原子番号は④)において, 反応前後の質量差を統一原子質量単位uで表すと⑤uである。また, この反応で発生するエネルギーは⑥MeVである。

$^{235}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{139}_{39}\text{I}$ ,  ${}^{95}_{39}\text{Y}$ ,  ${}_0^1\text{n}$ の質量をそれぞれ235.04u, 138.93u, 94.91u, 1.00uとし,  $1\text{u} = 1.6 \times 10^{-27}\text{kg}$ , 真空中の光速  $3.0 \times 10^8\text{m/s}$ , 電気素量  $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ として求めよ。

問2 ⑦は語句, ⑧, ⑨は記号で答えよ。

(1) 光が屈折率の大きい媒質から小さい媒質へ入射するとき, 屈折角が90度になる入射角を⑦という。

(2) 以下の物質(a)～(d)の組み合わせにおいて, ⑦で答えた角度が最小になるのは, 光を媒質⑧から媒質⑨へ入射させるときである。ただし, 光の波長は589nm, 温度は20℃, 圧力は1気圧とする。

(a) 水, (b) 空気, (c) ダイヤモンド, (d) ガラス

——下書き計算用——

II 密度一定の球の外に置いた物体には、球の中心に全質量が集中しているとしたときの万有引力がはたらく。いっぽう、図1のように密度一定の球の内部から同一中心の球をくり抜いて得られる厚みが一定の中空の球体を球殻とよぶ。球殻の場合、内部の任意の位置で球殻からの万有引力の合成が0となる。

図2に示すように、半径 $R$ の球Sの中心を貫く直線状のトンネルABの上端Aで質量 $m$ の小球を離したところ、下端Bに向かって初速0で落下し始め、時間 $T_0$ の後にはじめてAに戻った。

以下の問において、小球 $m$ とトンネルとの間に摩擦はなく、またトンネルの直径は $R$ に比べて十分に小さい。万有引力定数を $G$ 、球の密度を一定値 $\rho$ 、球Sは地球程度の大きさで静止していて動かない。

### 問1

- ① 球Sの中心Oを原点とし、OからAの向きを $x$ 軸の正の向きとする。小球 $m$ が $x(-R \leq x \leq R)$ の位置にあるとき、小球 $m$ が球Sから受ける万有引力を求めよ。
- ②  $T_0$ を求めよ。
- ③ トンネルABと平行で、中心から距離 $\frac{R}{2}$ の位置にあるもう1つの細いトンネルA'B'の上端A'から初速0で下端B'に向かって落下し始めた小球 $m$ は、時間 $T_1$ の後、はじめてA'に戻った。 $T_1$ を求めよ。

### 問2

- ① 図3に示すように、小球 $m$ と等しい質量 $m$ の小さな物体Dを位置Aから球Sの接線方向に速さ $v_0$ で打ち出したところ、表面すれすれを球Sの万有引力を受けながら速さ $v_0$ で飛行を続けた。球Sの中心Oを通りトンネルと直交する直線が球の表面と交わる点をHとする。物体DがHを通過した瞬間に小球 $m$ をAからBに向け初速 $v_1$ で打ち出し、位置Bにおいて物体Dに衝突させた。物体Dの円軌道半径は $R$ に等しいとみなせる。

$v_0, v_1$ を $\rho, G, R$ を使って表せ。

- ② 図4に示すように、物体Dがある位置を通過した瞬間に、位置A'から初速 $2v_0$ で小球 $m$ をB'に向かって打ち出したところ、位置B'で物体Dと小球 $m$ が合体し、球Sに接触することなくB'から飛び出した。合体した物体が到達する球Sの中心からの最大距離を求めよ。

### 問3

$R = 5.0 \times 10^6 \text{ m}, \rho = 5.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3, G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ , 円周率=3.0として、物体Dの速さ $v_0$ 、および物体Dが球Sを一周する時間を求めよ。

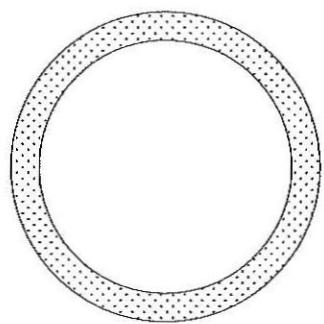


図 1

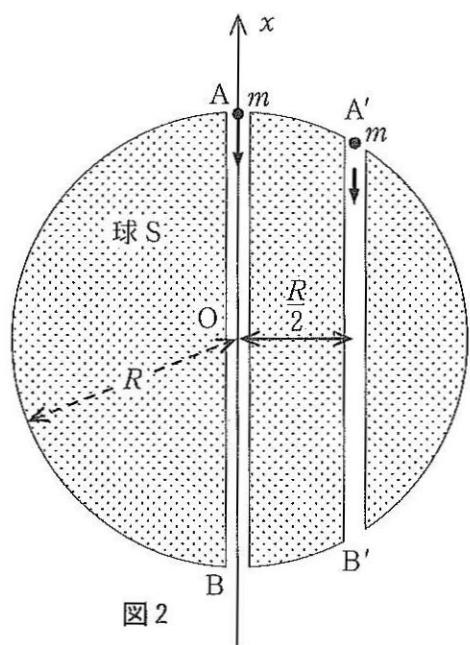


図 2

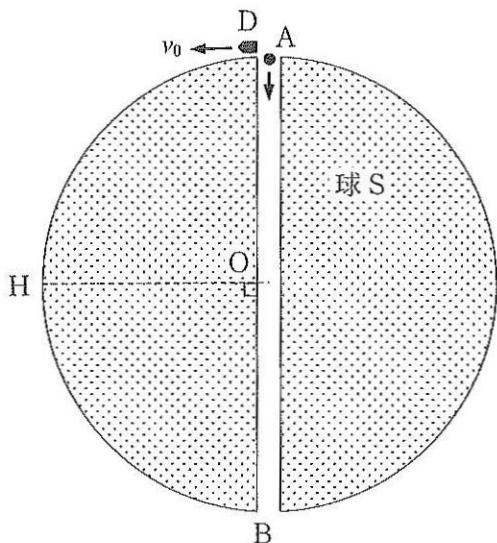


図 3

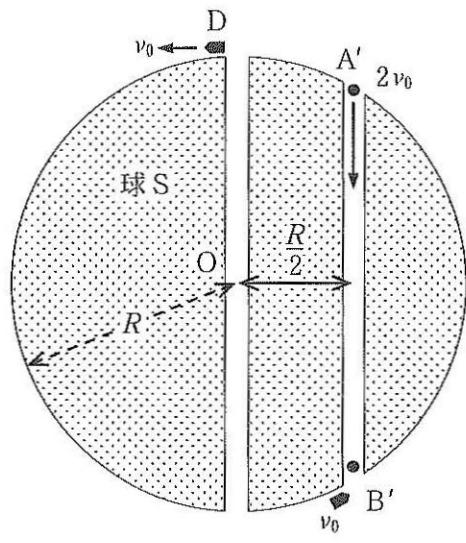


図 4

III 電池には、電位差を作り出す働きがある。図1(a) のように抵抗を起電力  $V$  の電池（内部抵抗ゼロ）に接続すると、抵抗  $R$  には電流  $\frac{V}{R}$  が流れる。また、図1(b) のように起電力  $V_1, V_2$  の電池を抵抗  $R$  に接続すると、 $V_1 > V_2 > 0$  の場合には  $\frac{V_1 - V_2}{R}$  の電流が抵抗に流れ、電池  $V_2$  のプラス極にはこの大きさの電流が流れ込む。電池  $V_2$  が充電に対応していないと発熱や爆発などの危険性があるが、充電可能な電池ならば、この電流により電池は充電され流入した電気エネルギーが蓄えられる。以下の直流電源は充電も可能な電池を想定し、電池から電流を取り出す場合も充電する場合も内部抵抗はゼロとする。また、 $L$  をコイルの自己インダクタンスとする。スイッチの切り替えは速やかに行い、抵抗以外での電気エネルギー損失は無い。

問1 [ア] には適切な語句、[イ]～[オ] には数式を答えよ。

- (a) 導線を円筒状に密に長く巻いたコイルを [ア] という。半径に対して十分に長く（長さ  $a$ ），密に  $N$  回（全体の巻き数）巻いたコイルに電流  $I$  を流すと、内部には強さが  $H = [イ]$  の一様な磁場が生じる。
- (b) 図2の回路において、時間を  $t$  とすると単位時間あたりの電流変化は、 $\frac{\Delta I}{\Delta t} = [\ウ]$  となる。なお、 $t = 0$  における電流  $I$  が  $I_0$ （初期条件）のとき、その後に流れる電流は  $I = \frac{V}{L}t + I_0$  である。
- (c) 図3の回路で、スイッチ S が n の側でコイル電流  $I$  が  $I_0 (< 0)$  の状態から、スイッチを p に切り替えた。スイッチを p に切り替えてからコイル電流がゼロになるまでの間に、p に接続された電池に充電されたエネルギーは [エ] である。
- (d) 図4のように、2つの電池（電圧  $V_1$  と  $V_2$ ）を直列につなぎ、電子機器に接続したところ、電子機器に電気エネルギーが  $P[J]$  供給された。この時、電圧  $V_1$  の電池が失ったエネルギーは [オ] [J] である。

問2 図5の回路でスイッチ S の開閉を周期  $T$  で繰り返したところ、図6のような電流がコイルに繰り返し流れた。ただし、 $V_C > V > 0$  であり、 $T > T_G + T_C$  である。ダイオードは順方向では抵抗がゼロで逆方向では抵抗が無限大である。この回路はスイッチ S を開いた状態で長時間放置すると、コイル電流はゼロになる。

- (a) 時刻ゼロにおいてコイル電流がゼロの状態で S を閉じた。S を閉じた時刻から  $T_G$  秒後において、コイルに流れている電流とコイルに蓄えられたエネルギーを求めよ。答えは、 $V, L, T_G$  を用いて表せ。
- (b) (a)において時刻  $T_G$  のとき S を開いた。S を開いてからコイルの電流がゼロになるまでの時間  $T_C$  を  $V, V_C, T_G$  を用いて表せ。
- (c) (b)において、 $T_C$  の間に電池  $V_C$  と抵抗  $R$  からなる回路にダイオードを通過して供給されたエネルギーもしくは電荷を求め、求め方を簡潔に説明せよ。解答は、エネルギーでも電荷でもよいが、どちらを答えたか明示し、答えは  $V, V_C, L, T_G$  を用いて表せ。

(d) 電池  $V_C$  はダイオード経由の電流で充電されると同時に抵抗  $R$  に電流を流している。両方の効果により、1周期  $T$  秒間に電池  $V_C$  に流入・流出した電荷もしくは電気エネルギーの和がゼロのとき、 $\frac{V_C}{V}$  を  $R$ ,  $L$ ,  $T$ ,  $T_G$  を用いて表せ。ここで、 $T > T_G + T_C$  であることに注意せよ。

(e) 電池  $V_C$  を大容量のコンデンサに置き換え、スイッチをトランジスタなどの半導体素子に置き換えて高速で開閉を繰り返し、定められた一定の電圧  $V_C$  を維持するように  $T_G$  を自動的に変化させる（制御する）回路は、現実に多く使われている。このような場合、 $R$  はこの回路で動かす機器を表している。ここで解析した回路には例えばどのような用途が考えられるか、この回路の特徴を述べ、例を用いて説明せよ。

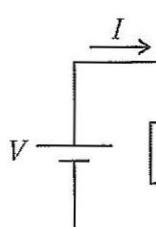


図 1 (a)

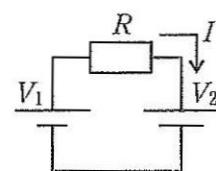


図 1 (b)

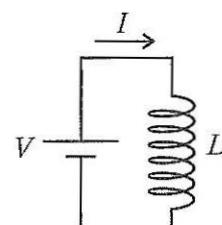


図 2

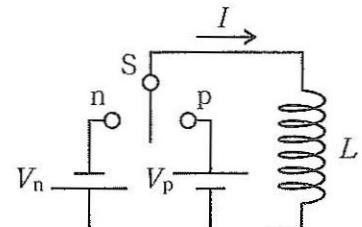


図 3

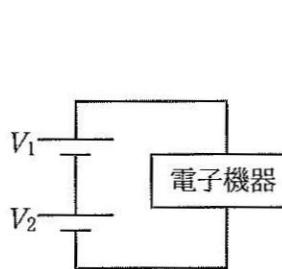


図 4

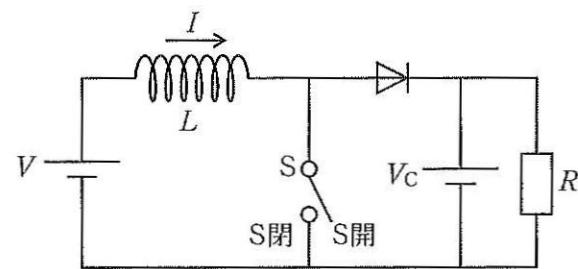


図 5

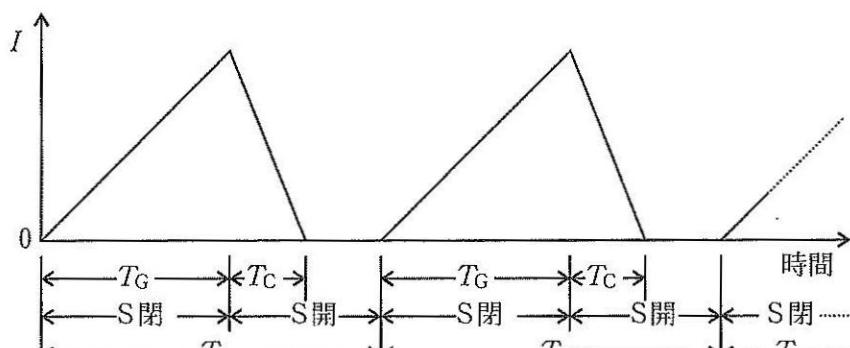


図 6