

# 令和 3 年 度

## 試 験 問 題 ②

# 学 科 試 験

(9時～12時)

### 【注 意】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中をみてはならない。
2. 試験教科、試験科目、ページ、解答用紙および選択方法は下表のとおりである。

教 科	科 目	ページ	解答用紙数	選 択 方 法
数 学	数 学	1～10	2 枚	数学、英語は必須解答とする。 理科は左の3科目のうちから1科目を選択せよ。
英 語	英 語	11～14	3 枚	
理 科	化 学	15～26	2 枚	
	生 物	27～44	2 枚	
	物 理	45～52	1 枚	

3. 監督者の指示に従って、選択しない理科科目を含む全解答用紙(10枚)に受験番号と選択科目(理科のみ)を記入せよ。
  - ① すべての受験番号欄に受験番号を記入せよ。
  - ② 理科は選択科目記入欄に選択する1科目を○印で示せ。  
上記①、②の記入がないもの、および理科2科目または理科3科目選択した場合は答案全部を無効とする。
4. 解答はすべて解答用紙の対応する場所に記入せよ。
5. 問題冊子の余白を使って、計算等を行ってもよい。
6. 試験開始後、問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせよ。
7. 解答用紙はいずれのページも切り離してはならない。
8. 解答用紙は持ち帰ってはならない。問題冊子は持ち帰ってよい。

## 物 理

【1】 以下の  の中に適切な式または記号を記入せよ。

地球は半径  $R$  [m] の密度が一様な球であると仮定する。地球による万有引力は地球の質量  $M$  [kg] がその中心に集中したものとして計算できる。

I) 物体と地球の間にはたらく万有引力が重力であると考えてよい。地表での重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とすると、万有引力定数を  $G$  [N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>] として、

$$g = \text{$$

である。

人工衛星 A が地表すれすれの等速円運動をしている（空気抵抗の影響は考えなくてよい）。人工衛星 A の速さ（第一宇宙速度）は、 $g$  を用いて、

$$\text{} \quad [\text{m/s}]$$

と表される。

地球の半径は  $R \doteq 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ ，円周率は  $\pi \doteq 3.14$  とする。第一宇宙速度はおよそ  $7.9 \times 10^3 \text{ m/s}$  であることが知られており、人工衛星 A の周期は、

(イ) 1.4 時間      (ロ) 5.4 時間      (ハ) 10 時間      (ニ) 17 時間

のうち、およそ

$$\text{$$

になることがわかる（最も適切な選択肢の記号を答えよ）。

II) 静止衛星 B が赤道上空，地表からの高さが  $r$  [m] の等速円運動をしている。  
地表からの高さ  $r$  [m] の位置での重力加速度の大きさは

$(1 \cdot 4)$	[m/s <sup>2</sup> ]
---------------	---------------------

で与えられる。静止衛星 B の速さは

$(1 \cdot 5)$	[m/s]
---------------	-------

である ((1・4), (1・5) は,  $g, r, R$  を用いて答えよ)。

衛星の軌道半径と周期に関して，ケプラーの第三法則と同様の関係が成り立つ。  
このことより，静止衛星 B の地表からの高さは

(イ)  $2.5 \times 10^7$  m      (ロ)  $3.6 \times 10^7$  m      (ハ)  $4.2 \times 10^7$  m

のうち，およそ

$(1 \cdot 6)$
---------------

であることがわかる (最も適切な選択肢の記号を答えよ)。

【2】以下の  の中に適切な数，式または記号を記入せよ。

I) 起電力が  $E$  [V] の電池，電気容量が  $C$  [F]， $\frac{1}{2}C$  [F]， $\frac{1}{3}C$  [F] の 3 つのコンデンサー，2 つのスイッチ  $S_1$ ， $S_2$  からなる図 1 のような回路がある。最初，スイッチ  $S_1$ ， $S_2$  は切れており，全てのコンデンサーは電荷を蓄えていなかった。

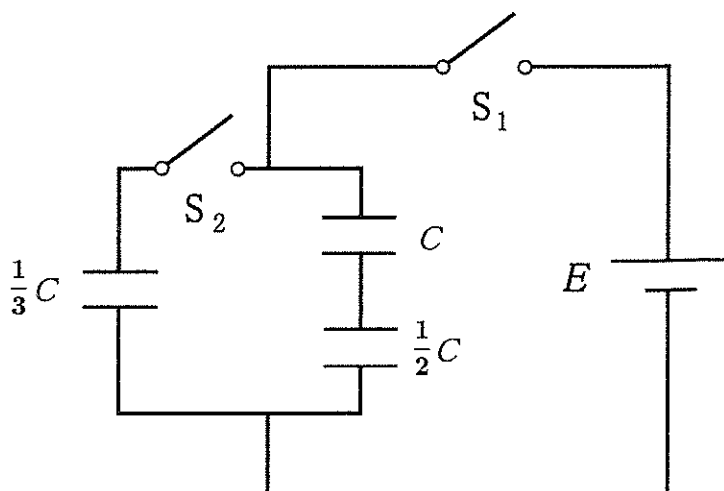


図 1

スイッチ  $S_2$  を切ったまま，スイッチ  $S_1$  を入れた。十分に時間が経過した後で，電気容量  $C$  のコンデンサーに蓄えられる電荷は

[C]

である。電気容量  $\frac{1}{2}C$  のコンデンサーの両極の電位差は，電気容量  $C$  のコンデンサーの両極の電位差の

倍

である。

次に、スイッチ  $S_1$  を切った後、スイッチ  $S_2$  を入れた。十分に時間が経過した後で、電気容量  $C$  のコンデンサーに蓄えられる電荷は

$$\boxed{(2 \cdot 3)} \quad [C]$$

であり、電気容量  $\frac{1}{3}C$  のコンデンサーに蓄えられる電荷は

$$\boxed{(2 \cdot 4)} \quad [C]$$

である。電気容量  $C$  のコンデンサーの両極の電位差は、電気容量  $\frac{1}{3}C$  のコンデンサーの両極の電位差の

$$\boxed{(2 \cdot 5)} \quad \text{倍}$$

である。

その後、スイッチ  $S_2$  を入れたまま、スイッチ  $S_1$  を入れた。十分に時間が経過した後で、電気容量  $\frac{1}{2}C$  のコンデンサーに蓄えられる電荷は

$$\boxed{(2 \cdot 6)} \quad [C]$$

である。3つのコンデンサーの合成容量は

$$\boxed{(2 \cdot 7)} \quad [F]$$

である。

II) 図2は、長さ  $l$  [m]、幅  $a$  [m] の長方形の2枚の金属板を間隔  $d$  [m] で向かい合わせに配置した平行板コンデンサーである。

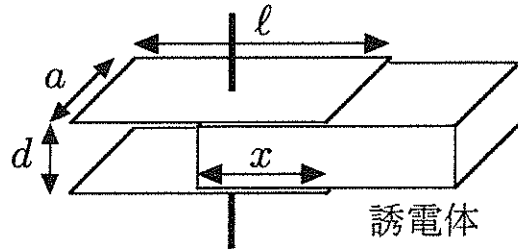


図2

空気の誘電率は真空の誘電率と同じであるとし、これを  $\epsilon_0$  [F/m] とする。比誘電率  $\epsilon_r$ 、長さ  $l$  [m]、幅  $a$  [m]、厚さ  $d$  [m] の誘電体を  $x$  [m] ( $0 \leq x \leq l$ ) だけコンデンサーに挿入したとき、コンデンサーの電気容量は

$$\boxed{(2 \cdot 8)} \quad [\text{F}]$$

である。

スイッチ S と図2のものと同一平行板コンデンサー2つで、図3のような回路を作った。ただし、コンデンサー1には誘電体が挿入されておらず ( $x = 0$  の状態)、コンデンサー2には、誘電体が半分の面積だけ挿入してある ( $x = l/2$  の状態)。

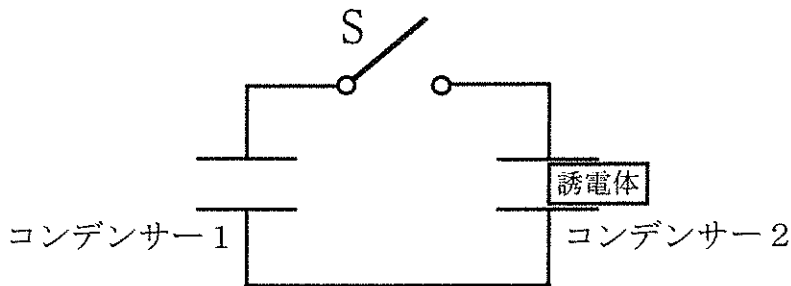


図3

最初、スイッチ S は切れていた。また、コンデンサー 1 は  $Q$  [C] の電荷を蓄えており、コンデンサー 2 は電荷を蓄えていなかった。  $x = 0$  の状態での電気容量を  $C_0$  [F] とする。

スイッチ S を入れ、十分に時間が経過した後で、コンデンサー 1 に蓄えられている電荷は

$$Q \times \boxed{(2 \cdot 9)} \quad [\text{C}]$$

になり、コンデンサー 2 に蓄えられる電荷は

$$Q \times \boxed{(2 \cdot 10)} \quad [\text{C}]$$

となる。2つのコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーの和は

$$\boxed{(2 \cdot 11)} \quad [\text{J}]$$

である ( $(2 \cdot 11)$ ,  $(2 \cdot 12)$  は  $C_0$ ,  $Q$  を用いて答えよ)。

次に、スイッチ S を入れたまま、コンデンサー 2 の極板間を誘電体で完全に満たし、 $x = \ell$  の状態にした。十分に時間が経過した後で、2つのコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーの和は

$$\boxed{(2 \cdot 12)} \quad [\text{J}]$$

になる。

$x = \ell/2$  の状態における静電気力は

- (イ) 誘電体にははたらかない
- (ロ) 誘電体をコンデンサーに引き込む向きにはたらく
- (ハ) 誘電体をコンデンサーから押し出す向きにはたらく

$$\boxed{(2 \cdot 13)}$$

(正しい選択肢を答えよ)。

【3】以下の  の中に適切な数，式または記号を記入せよ。

1) 図4のように，両端が固定端の長さ  $L$  [m] の弦と，長さがそれぞれ  $3L$ ,  $3L/2$ ,  $3L/2$  の管，(a), (b), (c) がある。(a), (c) は片側が開口，(b) は両端が開口の管である。開口端補正は無視できるものとする。

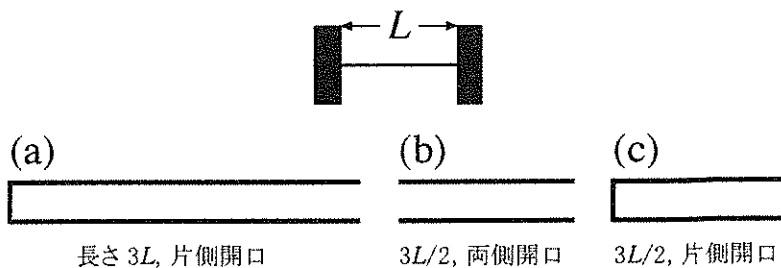


図4

弦の張力は弦を伝わる波の速さが空気中の音速と一致するように調整されている。弦に基本振動の定常波を発生させた。弦の振動と共鳴する管は

である ((a), (b), (c) の記号を答えよ)。

この管の基本振動の波長は

[m]

であるから，共鳴するのはこの管の

倍振動

である。



II) 振動数  $f_0$  [Hz] の音を発する音源 S がある。図 5 のように、音源 S をばねの一端にとりつけ、ばねの他端は  $x$  軸上の点 O に固定し、S を  $x$  軸上で単振動させる。音源 S の速さは音速より小さいものとする。



図 5

ばねの固定点 O から  $x$  軸上正の向きに十分はなれた位置 P で、(a)、(b)、(c) という 3 回の観測を行った。図 6 は、P で観測した音の振動数の時間変化である。

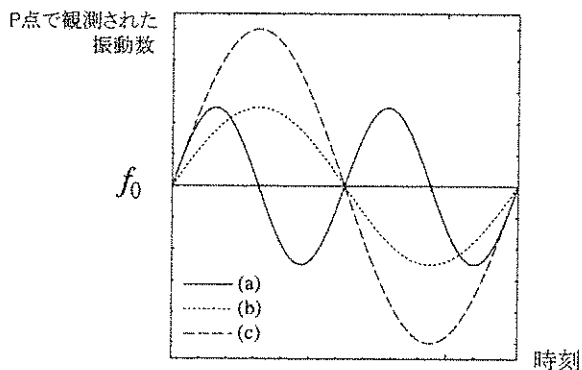


図 6

3 回の観測に用いた音源は同じものであるが、ばねのばね定数は全て同じではない。(a) で用いたばねのばね定数は、(b) で用いたものの

(3 · 4) 倍

である。音源 S の速さの最大値が最も大きいのは

(3 · 5)

であり、他の 2 つの観測における最大値は同じであった。単振動の振幅が最も小さいのは

(3 · 6)

であることがわかる ((3 · 5)、(3 · 6) は、(a)、(b)、(c) の記号を答えよ)。