

令和5年度

理工学群物理学類  
個別学力検査等〔後期日程〕

小論文  
試験問題

注意事項

- ①問題Ⅰおよび問題Ⅱのすべてに解答すること。
- ②解答用紙は各問題に対して1枚使用し、それぞれの解答用紙の横長の箱内に「問題Ⅰ」のように問題番号を明記し、小問に分かれている場合は解答用紙に「問1」のように小問番号を記入した上で、小問ごとに解答すること。
- ③試験時間は90分です。

### 問題 I

図1に示すように、水平な床に長さ $l/2$ の支柱OCが鉛直に立っており、支柱の根元Oには、太さの無視できる棒OAが点Oを通り紙面に垂直な軸を回転軸として床と支柱の間で滑らかに回転できるように取り付けられている。一方、支柱の先端Cには大きさが無視でき滑らかに動く滑車Cが取り付けられており、この滑車Cを経由して棒OA上の点Bから点Oまでの間に自然長 $l/2$ のゴムひもが取り付けられている。ゴムひもには、自然長から $x$  ( $x > 0$ )だけ引き伸ばされたとき、大きさ $kx$ の復元力が働く。棒OAの先端の点Aには小さなカゴが取り付けられ、カゴにちょうど入る大きさの小物体が入れられている。点Oから点A、点Bまでの距離は、それぞれ $l$ 、 $l/2$ である。小物体は質量 $m$ の質点と見なすことができ、棒OAやカゴ、及びゴムひもの質量は無視できる。重力加速度を $g$ 、棒OAと床のなす角を $\theta$ として、以下の問いに答えよ。

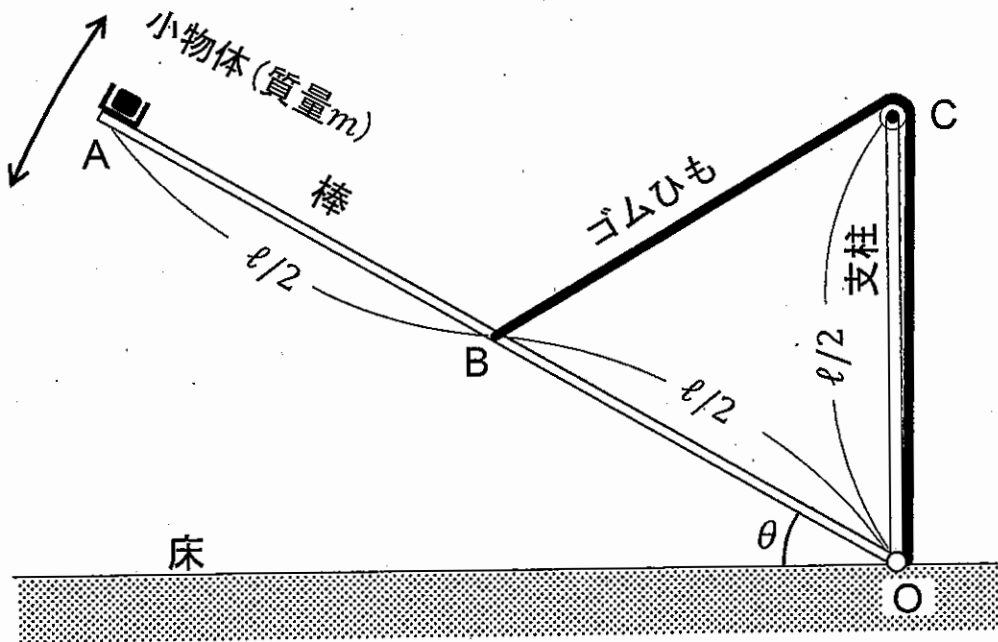


図1

問1 棒OAとゴムひものなす角 $\angle OBC$ を $\phi$ としたとき、 $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$ を $\phi$ で表せ。

問2 棒OAに働く回転軸まわりの力のモーメントが $0 \leq \theta < \pi/2$ において常に正であるために必要な $m$ に対する条件を求めよ。ただし力のモーメントは、 $\theta$ が増加する向きを正とする。

以下の問いでは、 $m$ は問2で得られた条件を満たすものとする。

まず棒OAを指で床に押さえつけ、 $\theta = 0$ の状態から静かに指を離した。棒OAはカゴの中に小物体を載せたまま回転軸まわりの回転を始め、 $\theta = \pi/2$ となった瞬間に、小物体がカゴから水平に飛び出した。小物体はやがて床に衝突した。小物体がカゴから飛び出す際には、小物体とカゴとの摩擦は無いものとする。

問3 棒OAと床とのなす角が $\theta$ になった瞬間における、ゴムひもの弾性力による位置エネルギー（弾性エネルギー）を $m$ 、 $k$ 、 $l$ 、 $g$ 、 $\theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

問4 棒OAと床のなす角が $\theta$ になった瞬間における、床を基準とした重力による小物体の位置エネルギーを $m$ 、 $k$ 、 $l$ 、 $g$ 、 $\theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

問5 棒OAと床のなす角が $\theta$ になった瞬間における、小物体の運動エネルギーを $m$ 、 $k$ 、 $l$ 、 $g$ 、 $\theta$ のうち必要なものを用いて表せ。

問6 小物体が床と衝突した点の点Oから距離を求めよ。

今度は、カゴを使わず、小物体を棒OA上の点Aの位置に直接置き、再び $\theta = 0$ の状態からの動作を繰り返した。棒OAの表面は滑らかであるとする。

問7  $\theta = 0$ の状態から $\theta = \pi/2$ までの間、小物体が棒OA上で滑ることなく棒OA上での位置を変えないまま運動を続けた。このときの $m$ を求めよ。

## 問題 II

電気回路に関する以下の問いに答えよ。ただし、電池の内部抵抗、抵抗の温度変化、および回路から放出される電磁波の影響は無視できるものとする。

[A]

問1. 半径3 cm、長さ1 km、抵抗率  $9.0 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  の一様な円柱形の電線の抵抗値を有効数字2桁で、単位は $[\Omega]$ を使って表せ。

問2. 問1のような電線の両端に電圧を印加したところジュール熱  $Q$  が発生した。この電線の長さを  $2/3$  に切断し、両端に印加する電圧を半分にしたときに発生するジュール熱を  $Q$  を用いて表せ。ただし電流は電線内を一樣に流れるものとする。

問3. 図1のように起電力  $E$  の電池に3つの抵抗  $2R$ 、2つの抵抗  $R$  が接続されている。抵抗  $2R$  を右向きに流れる電流を図1のように  $I_0$ 、 $I_1$ 、 $I_2$  とおく。 $I_1$  を  $I_0$  と  $I_2$  を用いて表せ。

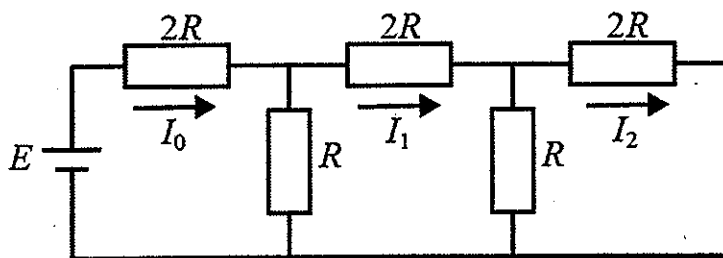


図1

問4. 図1の  $I_2$  を  $E$  と  $R$  を用いて表せ。

[B]

起電力  $E_1$  の電池、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  の抵抗と抵抗の無視できるスイッチ  $S$  から構成される図2のような回路を考える。はじめスイッチ  $S$  は切れているとする。以下の問いに答えよ。

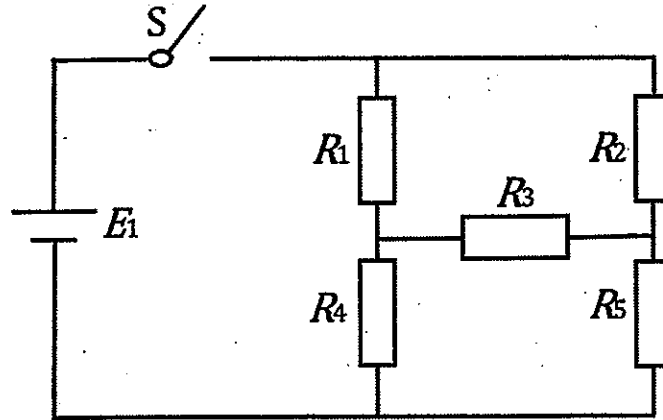


図2

問5.  $E_1 = 10\text{ V}$ 、 $R_1 = 2\ \Omega$ 、 $R_2 = 4\ \Omega$ 、 $R_3 = 6\ \Omega$ 、 $R_4 = 4\ \Omega$ 、 $R_5 = 8\ \Omega$  の場合、スイッチ  $S$  を閉じた後に  $S$  を流れる電流  $I_S$  の大きさを求めよ。

問6. 次に、図2の回路から  $R_2$ 、 $R_4$  の抵抗を取り除き、代わりに自己インダクタンス  $L$  の抵抗の無視できるコイル、電気容量  $C$  のコンデンサーをつないだ図3のような回路を考える。最初スイッチ  $S$  は切れており、コンデンサーに電荷は蓄えられておらず、回路に電流はないとする。スイッチ  $S$  を閉じた直後に、 $S$  を流れる電流  $I_S$  の大きさを  $E_1$ 、 $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_5$ 、 $L$ 、 $C$  のうち必要なものを用いて表せ。

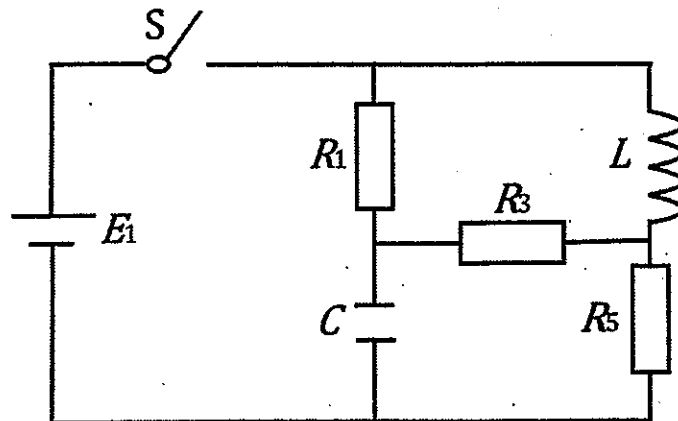


図3

問7. 図3の回路でスイッチSを閉じてから十分時間が経ったのちにスイッチSを切った。スイッチSを切った瞬間から回路に電流が流れなくなるまでの間に、回路全体で消費されるエネルギー $Q$ は次式で記述できる。この式の係数 $K$ を $R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_5$ 、 $L$ 、 $C$ のうち必要なものを用いて表せ。

$$Q = K \frac{E_1^2}{2}$$

問8. 次に、図3の回路からスイッチSと電池を取り除き、代わりに振幅 $E_2$ 、周波数 $f$ の交流電圧を発生させる電源をつないだ図4のような回路を考える。この回路で抵抗 $R_3$ に電流が流れない場合の $R_1$ を $R_3$ 、 $R_5$ 、 $L$ 、 $C$ 、 $E_2$ 、 $f$ のうち必要なものを用いて表せ。

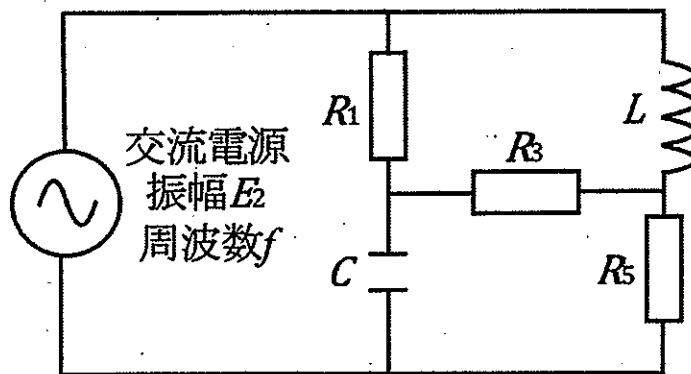


図4