2020年度

慶應義塾大学入学試験問題

理工学部

理　科

注　意　1. 氏名と受験番号は，解答用紙（2枚）の所定の欄にそれぞれ記入しなさい。

2. 解答は，理科（物理）解答用紙（白色）および理科（化学）解答用紙（アイボリー色）の所定の欄に記入しなさい。

3. 解答用紙の余白および裏面には，何も書いてはいけません。

4. 問題冊子は12ページからなります。

   物理の問題は2ページから4ページにあります。

   化学の問題は9ページから11ページにあります。

   5～8ページおよび12ページは余白です。

5. 問題冊子の余白は，計算および下書きに使用してもかまいません。

6. 問題冊子は必ず持ち帰ってください。

物　理

1. 以下の文章中の $\boxed{(ア_1)}$ ～ $\boxed{(ケ)}$ に適切な式を記入しなさい。円周率が必要な場合は π を用いなさい。

質量 M の小物体Aと質量 $2M$ の小物体Bが水平な床の上に置かれている。小物体Aは，ばね定数 K の軽いばねで床に垂直に立てられた壁につながれ，床の上を x 軸方向に運動する。最初，小物体Aと小物体Bは隣接して静止している。各小物体の運動は壁から離れる向きを正とし，小物体Aの x 座標を X で表す。

(1) 床がなめらかで，2つの小物体との間に摩擦力がはたらかない場合を考える。壁の位置を固定し，ばねが自然長のときに $X=0$ となるように x 座標の原点Oを定める。図1のように，小物体Bに手で力を加え，ばねを自然長から長さ L だけ縮める。時刻 $t=0$ で静かに手を離したところ，2つの小物体は一緒に運動を始め，時刻 $t=T_1$ で互いに離れた。$0<t<T_1$ のとき，2つの小物体の加速度を a，小物体AがBを押す力を f とすると，小物体Aの運動方程式は $Ma=\boxed{(ア_1)}$，小物体Bの運動方程式は $2Ma=\boxed{(ア_2)}$ である。この2つの式を a および f について解く。f は X と K を用いて $f=\boxed{(イ)}$ と表されるので，2つの小物体は $X=0$ で離れることがわかる。一方，a の式から，$0<t<T_1$ で2つの小物体の運動は単振動の式に従うことがわかるので，$T_1=\boxed{(ウ)}$ となる。$t \geqq T_1$ での小物体Bの運動エネルギーは $\boxed{(エ)}$ である。

(2) 2つの小物体と床の間に摩擦力がはたらく場合を考える。静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を $\frac{1}{3}\mu$，重力加速度の大きさを g とする。図2のように，壁の位置をゆっくりと右に動かすと，ばねが自然長から長さ $\boxed{(オ)}$ だけ縮んだ瞬間に2つの小物体は運動を始める。その時刻を $t=0$ として，それ以降壁の位置を固定し，ばねが自然長のときに $X=0$ となるように x 座標の原点Oを定める。時刻 $t=0$ で2つの小物体は一緒に運動を始め，時刻 $t=T_2$ で互いに離れた。$0<t<T_2$ のとき，小物体AがBを押す力 f を X と K を用いて表すと $f=\boxed{(カ)}$ となる。時刻 $t=0$ から時刻 $t=T_2$ までの間に摩擦力が2つの小物体にする仕事を考慮すると，時刻 $t=T_2$ での小物体Bの運動エネルギーは $\boxed{(キ)}$ となる。$0<t<T_2$ で，2つの小物体は中心が $\boxed{(ク_1)}$，振幅が $\boxed{(ク_2)}$ の単振動の式に従って運動する。また，$T_2=\boxed{(ケ)}$ である。

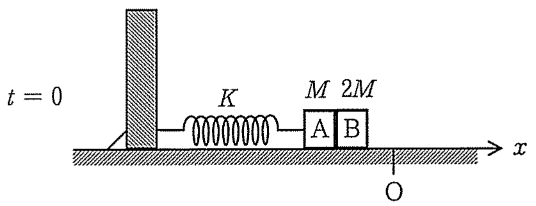

図1

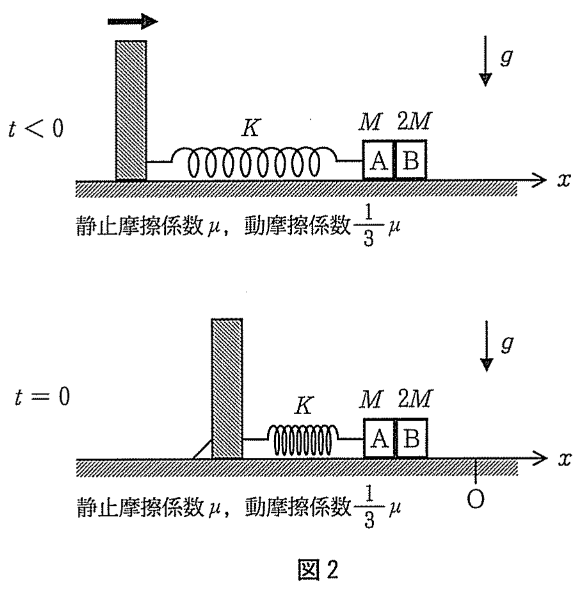

図2

2. 以下の文章中の $\boxed{（ア）}$ ～ $\boxed{（ク）}$ に適切な式を記入しなさい。円周率が必要な場合は π を用いなさい。

導線を円筒状に密に巻いた十分に長いコイル（ソレノイド）を含む電気回路が真空中にある。μ_0を真空の透磁率（磁気定数）とし，電池の内部抵抗は無視できるとする。

(1) 図１のように，単位長さ当たりの巻数が n，断面積が S，長さが ℓ のコイルを，起電力 E の電池，抵抗値 R の抵抗，スイッチ SW につなぐ。SW を閉じて十分長い時間が経ったとき，コイルを貫く磁束は，μ_0，n，S，E，R を用いると $\boxed{（ア）}$ と表される。その後，SW を開く。微小時間 Δt の間に回路を流れる電流 I が ΔI 変化したとき，コイルの両端に発生する誘導起電力は $\boxed{（イ）} \times \dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ である。$\boxed{（イ）}$ の大きさを自己インダクタンスと呼ぶ。

(2) 図２のように，起電力 E の電池，抵抗値 R の抵抗に，コンデンサーと２つのコイルが接続された電気回路を考える。コンデンサーの電気容量を C とし，コイル１，コイル２の自己インダクタンスをそれぞれ L_1，L_2とする。この設問では，２つのコイルが十分離れているとして，一方のコイルの作る磁束が他方のコイルを貫く効果を無視する。

最初，２つのスイッチ SW_1，SW_2はどちらも開いていて，コンデンサーには電荷はなく，コイルには電流が流れていなかった。まず，SW_1を閉じる。十分長い時間が経ったとき，コンデンサーに蓄えられる電荷は $\boxed{（ウ_1）}$ であり，静電エネルギーは $\boxed{（ウ_2）}$ である。次に SW_1を開き，SW_2を閉じたところ，コンデンサーは放電を始め，矢印の向きに電流 I が流れ始めた。コイル１，コイル２に，矢印の向きに流れる電流をそれぞれ I_1，I_2とする。微小時間 Δt の間に，I が ΔI，I_1が ΔI_1，I_2が ΔI_2変化したとき，２つのコイルに発生する誘導起電力が互いに等しいこと，および $\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2$ が成立することを用いて ΔI_2を消去すると，$\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t} = \boxed{（エ）} \times \dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ となる。したがって，点 P_1の点 P_2に対する電位は $\boxed{（オ）} \times \dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ となり，２つの並列に接続されたコイルを $\boxed{（オ）}$ の大きさの自己インダクタンスを持つ１つのコイルと見なすことができる。電流 I は時間と共に振動し，この電気振動の周期は $\boxed{（カ）}$ である。

(3) 設問（２）において，２つのコイルを近づけて，一方のコイルが作る磁束の一部が他方のコイルを貫く効果を取り入れる。２つのコイルの間の相互インダクタンスを M とする。ただし，$L_1L_2 > M^2$である。

SW_1を閉じてコンデンサーを充電させたのち，SW_1を開き，SW_2を閉じる。微小時間 Δt の間に I_1が ΔI_1，I_2が ΔI_2変化したとき，コイル１に発生する誘導起電力は $-L_1\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t} - M\dfrac{\Delta I_2}{\Delta t}$，コイル２に発生する誘導起電力は $-L_2\dfrac{\Delta I_2}{\Delta t} - M\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t}$ と表される。両者が等しいこと，および $\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2$ が成立することを用いると，$\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t} = \boxed{（キ_1）} \times \dfrac{\Delta I}{\Delta t}$，$\dfrac{\Delta I_2}{\Delta t} = \boxed{（キ_2）} \times \dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ となる。このとき，電気振動の周期は $\boxed{（ク）}$ である。

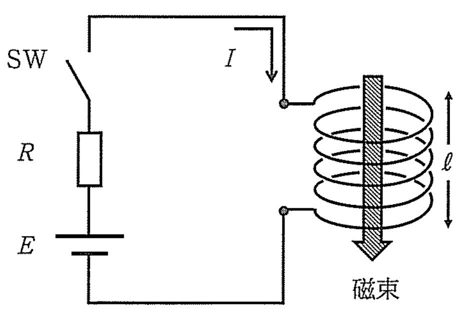

図１

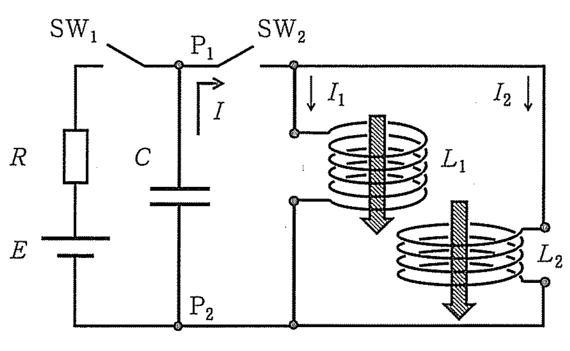

図２

3. 以下の文章中の $\boxed{(ア)}$，$\boxed{(ウ)}$ ～ $\boxed{(ク)}$ に適切な式を記入しなさい。$\boxed{(イ)}$ には指数を書きなさい。

古典的な波の概念を量子の世界へ応用することを考える。

(1) 電子は粒子としての性質と波動としての性質をあわせもつ。波動としてふるまうときの波を電子波と呼び，その波長（ド・ブロイ波長）λ は，プランク定数 h，電子の運動量の大きさ p を用いて $\lambda = \dfrac{h}{p}$ と表される。最初，静止していた電子を電圧 V で加速させたとき，電子の質量を M，電気素量を e とすると，$\lambda = \boxed{(ア)}$ となる。λ の値を計算してみよう。物理定数に以下の近似値を用いると，加速電圧 $V = 10$ kV では，$\lambda = 1.2 \times 10^{\boxed{(イ)}}$ m（メートル）となる。

電気素量：$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C，電子の質量：$M = 9.1 \times 10^{-31}$ kg，プランク定数：$h = 6.6 \times 10^{-34}$ J・s

(2) 図1（a）のように，電子線を結晶内部に入射させる。規則正しく配列した原子の作る面（結晶面）の面間距離を d，入射する電子線と結晶面のなす角度を θ とする。反射の法則を満たす方向で観測すると，散乱された電子線が干渉して強め合うのは，隣り合う2つの結晶面で反射された電子線が同位相になる場合である。その条件は，結晶内部での電子のド・ブロイ波長を λ とすると $\boxed{(ウ)} = n\lambda$（$n = 1, 2, 3, \cdots$）と表される。

電子の加速電圧が低くなると，電子線は結晶に深く侵入せず，表面の原子によって散乱される効果が大きくなる。図1（b）のように，原子が規則正しく配列した表面に，電子線を入射させた場合を考えよう。図1（b）の紙面内で電子線が入射，散乱されると仮定する。表面内の原子間距離を a，入射する電子線と表面のなす角を ϕ_1，表面で散乱された電子線が表面となす角を ϕ_2 とする。干渉して強め合うのは，隣り合う原子によって散乱された電子線が同位相になる場合である。その条件は，電子のド・ブロイ波長を λ とすると $\boxed{(エ)} = n\lambda$（$n = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \cdots$）となる。

(3) ボーアの理論では，原子には定常状態があり，電子の軌道1周の長さが電子波の波長の整数倍になると考える。同様の考え方で，x 方向にのみ運動する1つの電子が，長さ L の空間に閉じ込められた場合に定常状態になる条件を導こう。閉じ込められた電子を粒子と考えた場合，図2（a）のように，電子は両端の壁で弾性衝突して往復運動する。このとき，電子の運動エネルギーは，運動量の大きさ p と質量 M を用いて $\boxed{(オ)}$ と表される。一方，電子を波と考えた場合，図2（b）のように，電子は両壁を固定端とした弦の振動のように振る舞う。エネルギーの低い方から数えて n 番目の定常状態にある電子のド・ブロイ波長は，L と n を用いて $\boxed{(カ)}$（$n = 1, 2, 3, \cdots$）となり，その運動エネルギー $\boxed{(オ)}$ は，h，M，L，n を用いて $\boxed{(キ)}$ と表される。n 番目のエネルギー準位 E_n が，W を定数として $\boxed{(キ)} - W$ であると仮定すると，電子が E_{n+1} から E_n に移るときに放出される光の振動数は，h，M，L，n を用いて $\boxed{(ク)}$ と表される。

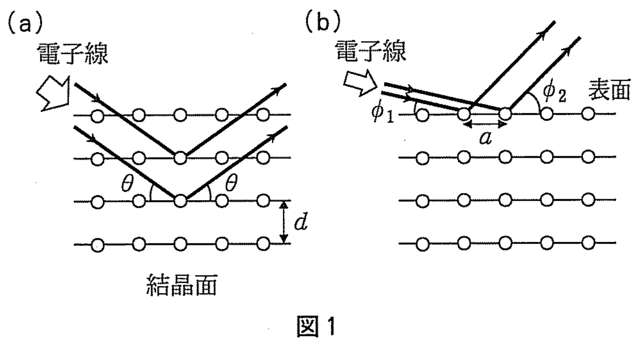

図1

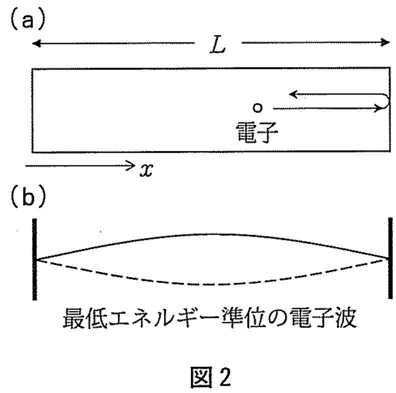

図2

このページは余白です。計算および下書きに使用してもかまいません。

このページは余白です。計算および下書きに使用してもかまいません。

このページは余白です。計算および下書きに使用してもかまいません。

このページは余白です。計算および下書きに使用してもかまいません。