

物 理

学 部	学 科(コース)	配 点
理工学部	化学・生命理工学科(化学コース)	300 点
	化学・生命理工学科(生命コース), 物理・材料理工学科, システム創成工学科	200 点

注 意 事 項

1. 問題は、**1** から **2** までの計 2 問です。
2. **1** から **2** までのすべてを解答しなさい。
3. 解答用紙は、(2 の 1) から (2 の 2) の計 2 枚です。解答は、すべて解答用紙の指定欄に記入しなさい。
4. 導出過程を記す設問では、基礎となる法則や根拠となる事項と、結果(式・数値)との関係を簡潔に説明し、解答欄に記しなさい。
5. 必ず解答用紙のすべてに、本学の受験番号を記入しなさい。
6. 印刷不鮮明およびページの落丁・乱丁等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
7. 問題冊子の余白等は適宜利用してよい。
8. 試験終了後、問題冊子および計算用紙は持ち帰りなさい。

1

(I) 大気が無く、自転をしていない質量 M [kg]、半径 R [m] の球形の惑星 P がある。図 1 のように、 P の表面の点 Q から、水平方向に質量 m [kg] の人工衛星 A を速さ v_0 [m/s] で発射した。 m は M に比べて非常に小さい。また A の大きさも P に比べて非常に小さいので点と考えて良い。 P と他の物体との間の万有引力を求める場合には、 P の全ての質量がその中心点 O にあると見なすことができる。万有引力定数を G [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$] とし、他の天体からの影響は無視することができることとする。

(1) 発射直後の A の運動エネルギー K [J] を答えよ。

発射後、 A はだ円軌道を描いて運動した。点 O から見て点 Q のちょうど反対側の上空の点 Q' に A が達したとき、 A は点 O から最も離れ、その距離は $2R$ [m]、速さは v_1 [m/s] となった。

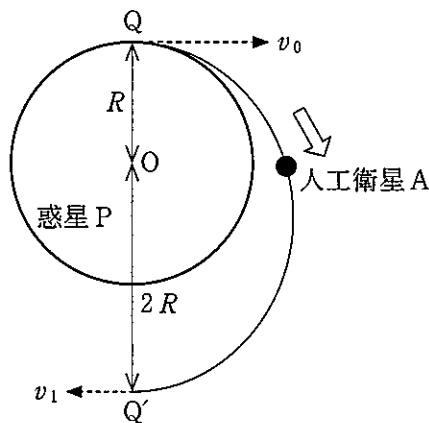


図 1

(2) 無限に遠い点を基準とした、点 Q' での A の万有引力による位置エネルギー U [J] を答えよ。

(3) 発射後の A に関して、二つの点 Q 、 Q' の間で成り立つ、(ア)力学的エネルギー保存の法則から得られる式を M 、 m 、 R 、 v_0 、 v_1 を用いて答えよ。また、(イ)面積速度一定の法則(この場合は、点 Q 、 Q' それぞれの点での、 A の速さと点 O からの距離の積の $\frac{1}{2}$ が等しいこと)から得られる式を R 、 v_0 、 v_1 を用いて答えよ。この 2 つの式から得られる v_1 を M 、 R 、 G を用いて答えよ。

- (4) 点 Q' での A の加速度の大きさ a [m/s^2] を M , R , G を用いて答えよ。
 また、その加速度の運動方向の成分は 0 となる。その理由を説明せよ。

A は点 Q' に到達した直後、質量 m' [kg] のおもり B を、ばねの力で運動方向と逆向きに、非常に短い時間で放出した(図 2)。 B は放出された直後には、 P の表面から見て静止していた。一方、質量 $m - m'$ の人工衛星本体 A' の速さは、放出直前の速さ v_1 から放出直後の速さ v_2 [m/s] に変化した。

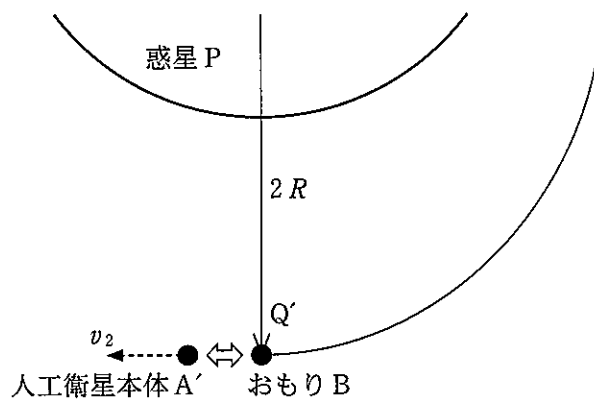


図 2

- (5) v_2 を m , m' , v_1 を用いて答えよ。

B を放出後、 A' は速さ v_2 を保ったまま、 P の周りで半径 $2R$ の円運動をするようになった。

- (6) このときの A' の円運動の向心力の大きさ F_c [N] を m , m' , R , v_2 を用いて答えよ。また、 A' と P の間にはたらく万有引力の大きさ F_G [N] を M , m , m' , R , G を用いて答えよ。この 2 つの力の大きさが等しいと置いて v_2 を M , R , G を用いて答えよ。

- (7) (5) で得られた関係式に (3), (6) で得られた v_1 , v_2 を代入し、 m' を m を用いて答えよ。

〔Ⅱ〕 質量 m' のおもり B を放出する実験を行った。図 3 のように惑星 P の表面に高さ h [m] の台を固定し、その上に円筒形をした放出装置を水平にして固定した。装置の底には、ばね定数 k [N/m] のばねの一端が固定されている。ばねのもう一端を B で押せばねを縮め、ばねを自然の長さから d [m] だけ縮めたところで、装置の底と B を丈夫なひもでつないで静止させた。その後ひもを静かに切断し、ばねが伸びて自然の長さになったところで、B はばねと装置から離れて水平に放出され、その後 P の表面に衝突した。B と装置との間の摩擦、ひもとばねの質量は無視でき、B は小球と見なせるとする。また、P の表面での、万有引力による加速度の大きさを g' [m/s²] とする。 g' はこの実験の範囲内では一定であり、P の表面は平面と見なせる。

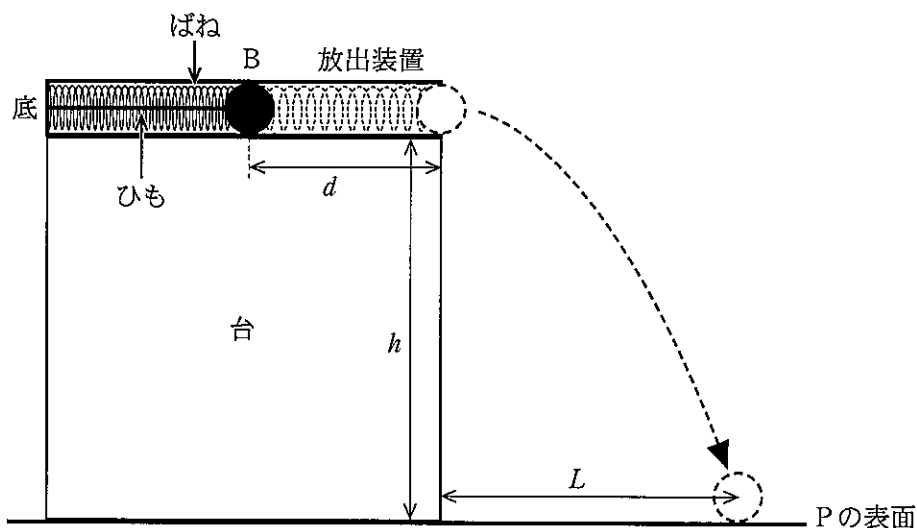


図 3

- (8) ひもでつないで B を静止させたときの、ひもの張力の大きさ T [N] を答えよ。
- (9) ひもを切断し、B が運動を始めた瞬間の B の加速度の大きさ a' [m/s²] を答えよ。

- (10) Bが装置から放出された瞬間のBの運動エネルギー K' 〔J〕と速さ v' 〔m/s〕を h , d , m' から必要なものを用いて答えよ。
- (11) Bが放出されてからPの表面に衝突するまでにかかった時間 t 〔s〕と、その間にBが移動する水平距離 L 〔m〕を h , k , d , m' , g' から必要なものを用いて答えよ。
- (12) Bは衝突してPの表面に衝撃を与え、そこで静止した。このときに失われたBの運動エネルギー K'' 〔J〕を h , k , d , m' , g' を用いて答えよ。

2 次の説明を読みながら、問い(1)~(11)に答えよ。

図4のように交流電源、半導体ダイオード、抵抗値 $R[\Omega]$ の抵抗、極板間が真空で電気容量 $C[F]$ のコンデンサー、自己インダクタンス $L[H]$ のコイル、スイッチ S_1 、 S_2 からなる回路がある。電源電圧 V は時刻 $t[s]$ に対して変動する正弦波であり、交流電圧の最大値 $V_0[V]$ と角周波数 $\omega[\text{rad/s}]$ を用いて $V = V_0 \cos \omega t [V]$ で表される。半導体ダイオードの順方向の抵抗は0、逆方向の抵抗は無限大とみなせるとし、コンデンサーの初期の電気量を0として、以下の問いに答えよ。ただし、円周率を π とする。

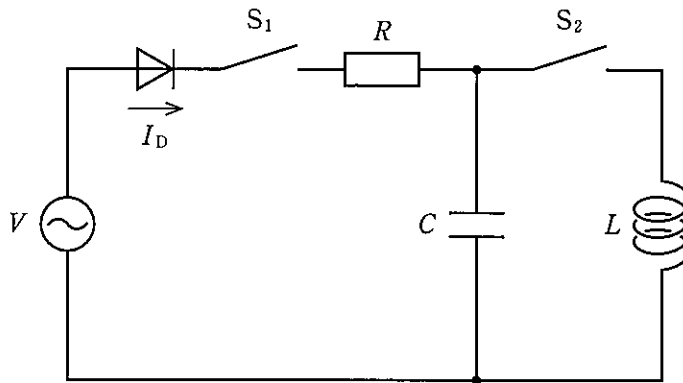


図4

(1) 半導体ダイオードに関する以下の説明文の空欄 (ア) ~ (コ) にはあてはまる適切な語句または値を答えよ。

Si(ケイ素)とGe(ゲルマニウム)は最も外側の電子殻に (ア) 個の価電子を有する。これらの結晶は低温では抵抗率が大きく電気を通しにくい、温度が上がると固体中を移動できる電子が増加して抵抗率が下がる特徴があり、真性半導体と呼ばれている。これらにP(リン)など (イ) 個の価電子をもつ原子を不純物として添加すると、(ウ) 個の価電子が共有結合に加わり、残り (エ) 個の価電子は電流の担い手(キャリア)となる。この半導体

を 型半導体という。また、SiやGeにAl(アルミニウム)など 個の価電子をもつ原子を不純物として添加することによりできる半導体を 型半導体という。この半導体におけるキャリアは と呼ばれている。

これら2種類の不純物半導体を接合したものが半導体ダイオードであり、 型半導体から 型半導体の向きに電流が流れるように電圧をかけると、接合面付近で双方のキャリアが1対ずつ結合して消える。この方向を順方向という。

- (2) はじめに、 S_1 、 S_2 の両方を開いた状態にしておき、 $t = 0\text{ s}$ に S_1 のみ閉じた。このとき、半導体ダイオードを流れる電流 $I_D[\text{A}]$ を時刻 t に対して観測したところ、図5のようになった。半導体ダイオードにおいてこのように一方向にのみ電流を流す作用を何というか。

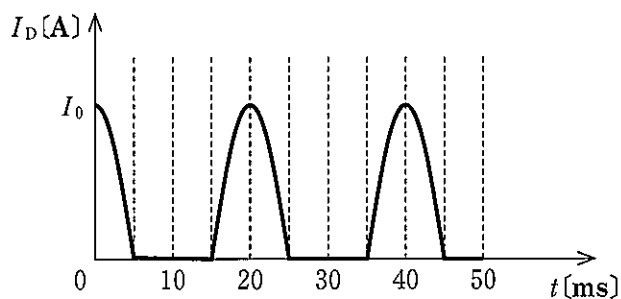


図 5

- (3) 図5にある $t = 0\text{ s}$ のときの電流 I_0 の大きさを求めよ。
- (4) この交流電源電圧の角周波数 ω を求めよ。

- (5) この回路のコンデンサーの充電に関する以下の説明文の空欄 (サ) ~ (ス) にあてはまる適切な語句または式を答えよ。空欄 (ズ) には「長く」、「短く」のいずれかの語句を選択せよ。

図5で観察された一周期おきの正の電流波形の最大値は時間経過とともに徐々に小さくなっていった。これは電流が流れるごとにコンデンサーが少しずつ充電されるためである。微小時間 Δt [s] の間にコンデンサーに流れ込む電流 I [A] によって電気量が ΔQ [C] 増加したとすると、この3つの量の間になり立つ式は (サ) であり、図5のグラフにおける I_D の時間変化の曲線と横軸 t の (シ) がコンデンサーに蓄積された総電気量に相当する。

この回路において交流電源とダイオードの代わりに V_0 の直流電源を用いると、連続的に電流が流れるようになる。そのため、充電に必要な時間は前の回路に比べて (ズ) 長く、短く なる。

- (6) (2)から十分に時間が経過してコンデンサーが充電された後、 S_1 を開けて S_2 を閉じたところ、一定の周波数で向きが変わる電流が流れ続けた。この現象を何というか。
- (7) (6)のときの固有周波数を C , L を用いて表せ。
- (8) (6)のときの回路に流れる電流の大きさの最大値を V_0 , C , L を用いて表せ。
- (9) (6)のとき、図6のようにコンデンサー極板の断面積が同一で極板間距離の半分の厚さの物質(比誘電率 ϵ_r)をコンデンサー内に挿入した。固有周波数はコンデンサーを挿入していない状態から何倍に変化するかを ϵ_r を用いて表せ。

- (10) (6)のとき，図7のようにコイルの上に別のコイルを配置し，共通の鉄心にとりつけたところ，別のコイルに起電力 V_2 [V]が生じた。この現象を何というか。

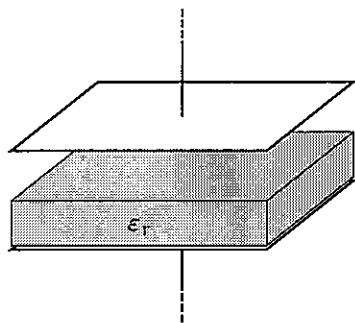


図 6

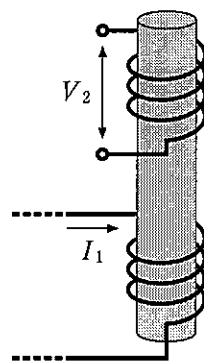


図 7

- (11) (10)において，元のコイルには微小時間 Δt [s]の間に電流 I_1 [A]から $I_1 + \Delta I_1$ [A]へと時間的に変化する電流が流れた。2つのコイルの相互インダクタンスを M [H]とするとき，起電力 V_2 を求めよ。