

2021年度

理 科

R 1

【 物 理 】

2月25日(木) 【前期日程】	理 学 部 (数学科, 物理学科, 地球科学科, 創造理学コース)	
	農 学 部	
	地域創造学環 (選抜方法A)	13 : 40 ~ 15 : 00
	工 学 部	14 : 30 ~ 15 : 50

注 意 事 項

試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで、問題冊子、解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い、出願時に選択した科目の問題冊子、解答用紙であるかどうかを確かめ、全部の解答用紙（3枚）に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

- 4 この問題冊子は、6ページあります。はじめに、問題冊子、解答用紙を確かめ、枚数の不足や、印刷の不鮮明なもの、ページの落丁・乱丁があった場合は、手をあげて監督者に申し出なさい。
- 5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 6 問題は、声を出して読むてはいけません。
- 7 各問ごとの配点は、比率(%)で表示してあります。

試験終了後

- 8 問題冊子は、必ず持ち帰りなさい。

1

図1のように、勾配が一定ではない斜面と水平面がなめらかに接続されている。接続点を原点 O とし、水平面に沿って右向きに x 軸、鉛直上向きに z 軸をとるとき、原点 O の左側 ($x < 0$) に位置する斜面は、正の定数 c を用いて $z = \frac{x^2}{2c}$ と表される。はじめ質量 m の物体が x 座標 $x = -D$ をもつ曲面上の点 H にある ($D > 0$)。物体は鉛直面内を運動するものとし、物体の大きさ、曲面と物体との摩擦、特に断りのない限り水平面と物体の間の摩擦は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g 、円周率を π とし、以下の問いに答えよ。(配点 34%)

問 1 (1) 曲面上の点 H にある物体の重力による位置エネルギーをしめせ。点 O を位置エネルギーの基準とする。

(2) 曲面上の点 H から物体を静かに放す。点 O での物体の速さ V_0 をしめせ。

問 2 図2のように、 x 軸上に右端が固定された軽いばねがある。自然長のばねの左端の位置を点 P とする。速さ V_0 で運動する物体が点 P でばねに触れ、ばねを押しながら点 Q まで到達した後、再び x 軸負の方向へ運動し、点 P でばねから離れた。点 P と点 Q の距離は、点 O と点 H の水平方向の距離に等しく D で与えられる。

(1) ばね定数 k を、 m 、 V_0 、 D を用いて表せ。

(2) 問 1(2)の結果を利用して、ばね定数 k を m 、 g 、 c を用いて表せ。

(3) 最初に点 P を通過してから再び点 P を通過する間の物体の運動は単振動とみなせる。

最初に点 P を通過する時刻を $t = 0$ とするとき、時刻 t における、点 P から x 軸方向への物体の変位 x' を、 m 、 k 、 D 、 t の中から必要なものを用いて表せ。

(4) 最初に点 P を通過してから再び点 P を通過する間の時間を、 m 、 k 、 D の中から必要なものを用いて表せ。

(5) この間に物体がばねから受けた力積の大きさを、 m 、 V_0 を用いて表せ。

問 3 図3のように、水平面上の点 P から左の点 R までの距離 D の区間を、なめらかな面から動摩擦係数 μ' をもつ摩擦のある面に交換する。物体は速さ V_0 でこの区間に入る。

(1) 物体が点 R から点 P まで移動する間にする仕事をしめせ。

(2) 物体は点 P でばねに触れ、往復運動をした後、摩擦のある面を通り、再び点 R を速さ V' で通過した。 V' を V_0 、 g 、 μ' 、 D 、 k の中から必要なものを用いてしめせ。

(3) 図3のように、摩擦面とばねをあわせた破線の範囲を物体が衝突する系とみなす。物体とこの系との反発係数が $\frac{3}{5}$ となるときの動摩擦係数 μ' を、 D 、 c を用いて表せ。

- 問 4 図4のように、点Pから右の区間を、なめらかな面から問3とは異なる動摩擦係数 μ' をもつ摩擦のある面に交換する。点Pより左の区間は再びなめらかな面とする。物体は速さ V_0 でばねに触れた後、減速し、点Pから距離 $\frac{4D}{5}$ にある点Sで速さが0となった。
- (1) 点Pから点Sまでの物体の x 方向の運動方程式を、物体の x 方向の加速度 a 、点Pから x 軸方向への変位 x' 、および m, k, g, μ' を用いて表せ。
- (2) 動摩擦係数 μ' を、 m, V_0, k, D, g を用いて表せ。
- (3) (2)および問1(2)、問2(2)の結果を使い、この場合の動摩擦係数 μ' を D, c を用いて表せ。

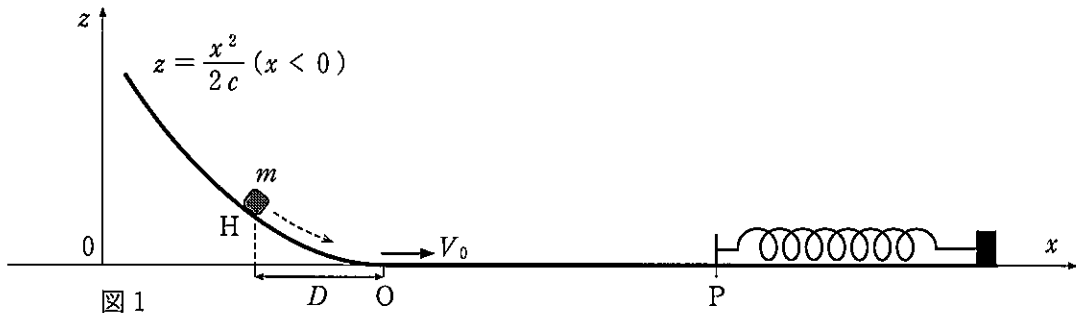


図 1

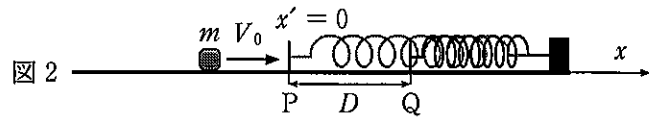


図 2

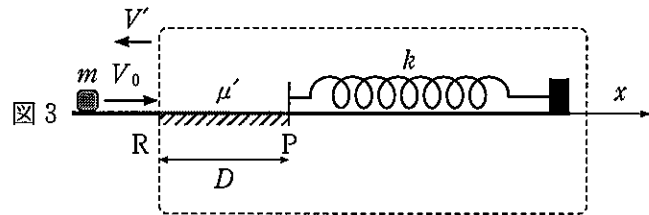


図 3

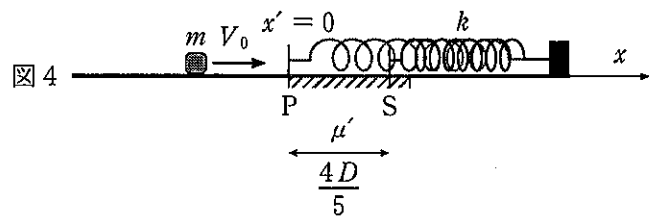


図 4

2

抵抗とコンデンサーからなる回路について、以下の問いに答えよ。抵抗以外の電気抵抗、電池と電源の内部抵抗は無視できるものとする。(配点 33%)

問 1 図 1 のように、抵抗値 R をもつ 4 つの抵抗と電気容量 C のコンデンサー、および起電力 E の電池をつないだ回路を考える。最初コンデンサーに電荷がない状態でスイッチ S を閉じてから、十分な時間が経過した状態について、以下の量をしめせ。なお電池の負極を基準電位(電位 0)とする。

- (1) 点 p の電位
- (2) 点 q の電位
- (3) コンデンサーに蓄えられた電荷
- (4) コンデンサーに蓄えられたエネルギー

問 2 図 2 のように、図 1 の 1 つの抵抗を電気容量 C のコンデンサーに変更した回路を考える。2 つのコンデンサーに電荷がない状態でスイッチ S を閉じてから、十分な時間が経過した状態について、以下の量をしめせ。電池の負極を基準電位(電位 0)とする。

- (1) 点 p の電位
- (2) 点 q の電位
- (3) pq 間のコンデンサーに蓄えられた電荷
- (4) pq 間のコンデンサーに蓄えられたエネルギー

問 3 図 3 のように、図 2 の回路の電池を角周波数 ω 、振幅 E_0 の交流電源に交換し、スイッチと pq 間のコンデンサーを削除した回路を考える。点 p に流れる電流を I とし、 pq 間の電圧 V の振幅と位相を求めたい。図 3 では点 q に対する点 p の電位を矢印と記号 V で表している。以下の文章中の空欄 (1) ~ (6) に入る式をしめせ。

交流電圧は、振幅だけでなく位相も考慮する必要があり、ベクトルによって表現できる。

図 3 の回路の一部を図 4 にしめす。図 4 の回路では、電流 I に対して、抵抗 R の両端の電圧 V_1 は同位相である一方で、コンデンサーの両端の電圧 V_c は位相が $\frac{\pi}{2}$ 遅れるため、図 5 にしめすように、それぞれの電圧はベクトル \vec{V}_1 および \vec{V}_c によって表される。 \vec{V}_1 の大きさ(電圧の振幅)は電流 I の振幅 I_0 と抵抗 R を用いて (1) で与えられ、電圧 \vec{V}_c の振幅は電流 I の振幅 I_0 、電気容量 C 、角周波数 ω を用いて (2) で与えられる。したがって、 ab 間の電圧 $\vec{V}_1 + \vec{V}_c$ の振幅は I_0 を用いて (3) であり、 \vec{V}_1 に対する位相の遅れ θ の正接 $\tan \theta$ は (4) となる。

図 3 の右側の 2 つの抵抗それぞれの両端の電圧を V_2 とする。この電圧を表すベクトル \vec{V}_2 を用いると、2 つの抵抗の両端の電圧を表すベクトルは $2\vec{V}_2$ であり、これは $\vec{V}_1 + \vec{V}_c$ に等しく、両者は電源電圧に一致する。こうして決まる \vec{V}_2 より、 pq 間の電圧 \vec{V} は図 6 にしめすように表される。以上により、 pq 間の電圧 \vec{V} の振幅は、電源電圧の振幅 E_0 を用いて (5)、電源電圧に対する電圧 \vec{V} の位相の進み ϕ は、電圧 \vec{V}_1 と電源電圧の位相差 θ を用いて (6) と求まる。

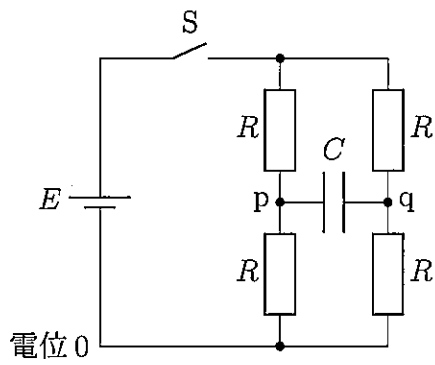


圖 1

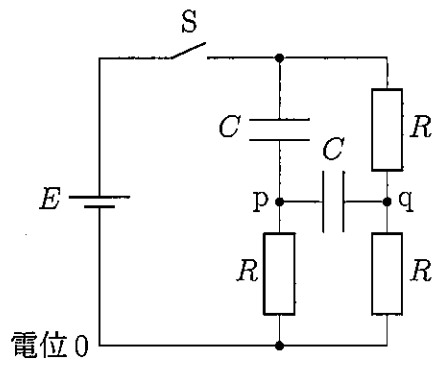


圖 2

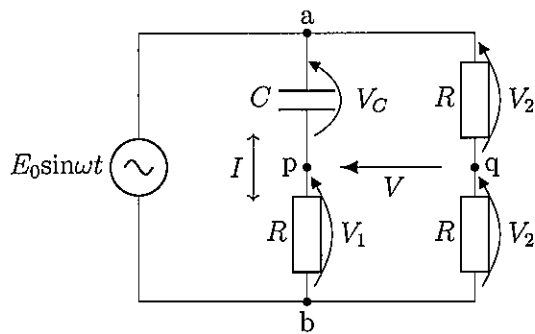


圖 3

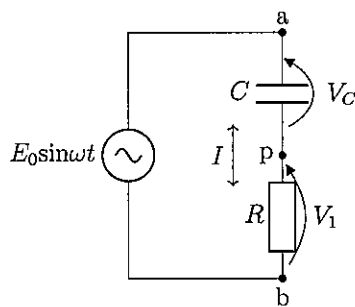


圖 4

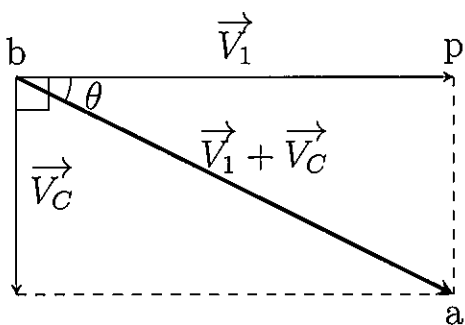


圖 5

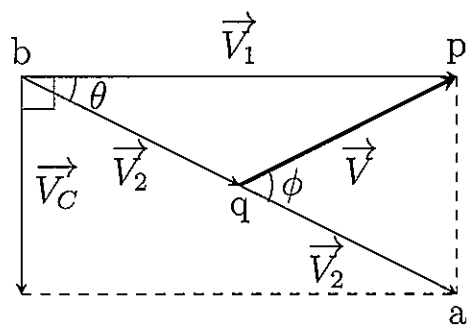


圖 6

3 なめらかに動くピストンを持つ容器内に、物質質量 n モルの単原子分子理想気体が封入されている。この気体の圧力 p と体積 V を図 1 のようにゆっくり変化させる熱機関を考える。状態 A から B への変化は定圧変化、B から C は断熱変化、C から D は定積変化、D から A は断熱変化である。各状態 A, B, C, D における体積を $V_A, 3V_A, V_C, V_D$ 、温度を T_A, T_B, T_C, T_D とする。気体定数を R とし、以下の問いに答えよ。(配点 33%)

問 1 気体が外部から受けとる熱量 Q 、気体の内部エネルギーの増加量 ΔU 、気体が外部にする仕事 W の間に一般的に成り立つ関係式をしめせ。

問 2 以下の(1)から(6)のそれぞれについて、4つの状態変化 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ より当てはまるものをすべて選び答えよ。

- (1) 気体が外部から正の熱を受け取る(吸熱)過程
- (2) 気体が外部に正の熱を放出する(放熱)過程
- (3) 気体が外部に正の仕事をする過程
- (4) 気体が外部から正の仕事をされる過程
- (5) 温度が上昇する過程
- (6) 温度が低下する過程

問 3 状態 A の圧力を理想気体の状態方程式を用いて表せ。

問 4 状態 B の温度 T_B を、 T_A を用いて表せ。

問 5 状態 A から状態 B へ変化するときの気体の内部エネルギーの変化量 ΔU_{AB} と気体が外部にする仕事 W_{AB} を、 n, R, T_A を用いて表せ。

問 6 状態 A から状態 B へ変化する間に気体が受けとる熱量を、 n, R, T_A を用いて表せ。

問 7 状態 B から状態 C へ変化する間に気体にする仕事 W_{BC} 、および気体が受けとる熱量 Q_{BC} を、 n, R, T_A, T_C 以外の記号を用いずに表せ。

問 8 状態 C から状態 D へ変化する間に気体にする仕事 W_{CD} 、および気体が放出する熱量 Q_{CD}' を、 n, R, T_C, T_D 以外の記号を用いずに表せ。

問 9 この熱機関を 1 サイクル運転させる間に気体が外部にする仕事の総量(正味の仕事)を、 n, R, T_A, T_C, T_D を用いて表せ。

問 10 この熱機関の熱効率を、 T_A, T_C, T_D を用いて表せ。

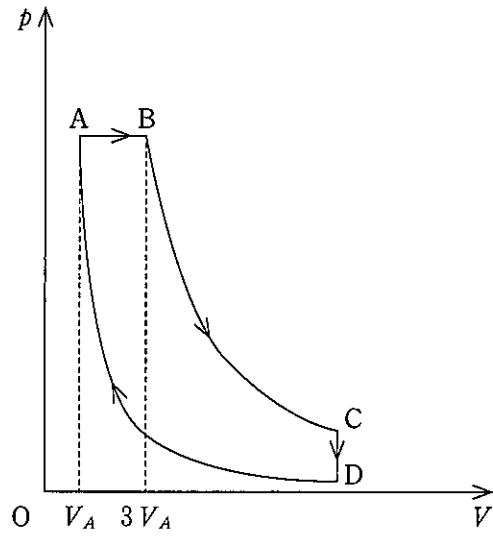


图 1