

2025年度

理 科

RA

【 物 理 】

3月12日(水)	理 学 部 (物理学科, 生物科学科, 創造理学コース)
【後 期 日 程】	工 学 部
	農 学 部
	9 : 40 ~ 11 : 00

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、声を出して読むではいけません。
- 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

質量 m_A の物体 A と質量 m_B の物体 B が、滑らかに回転する定滑車 P と動滑車 Q を通して糸で結ばれている。糸の一端は天井に固定されており、糸はじゅうぶん長い。滑車と糸の質量および糸の伸びは無視できる。図中の x - y 座標に対して、物体 A の x 軸方向の加速度を a 、物体 B の y 軸方向の加速度を b と定義する。ただし、物体 A と B はそれぞれ x 軸方向、 y 軸方向にのみ運動するものとする。重力加速度の大きさを g 、円周率を π として以下の問いに答えよ。

(配点 35 %)

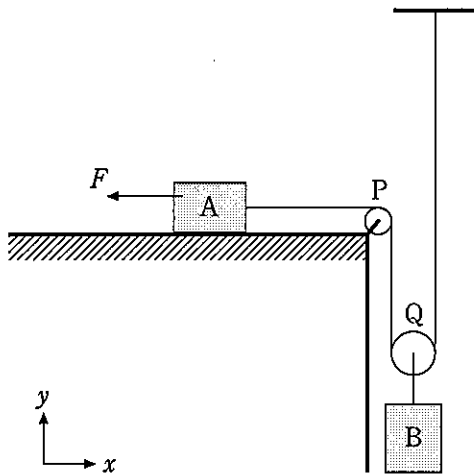


図 1

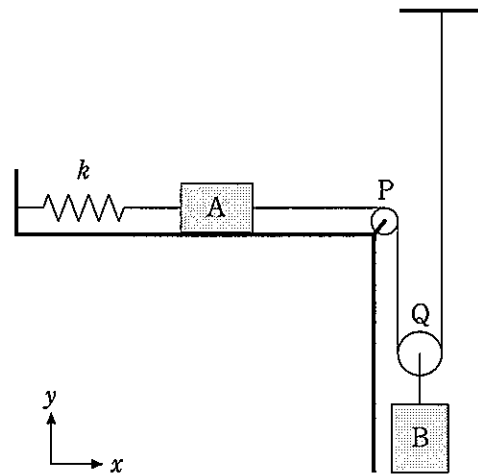


図 2

問 1 図 1 のように物体 A を摩擦のある床の上にそっと置き、大きさ F の外力を x 軸負の向きに作用させたときの運動を考える。ただし、物体 A と床の静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' とする。

- (1) $F = 0$ のとき、物体 A が静止するために必要な静止摩擦係数の条件を不等式で表せ。
- (2) $F = 0$ から F を大きくしたとき、静止していた物体 A が動き出す外力の大きさ F_0 を求めよ。

以下では $F > F_0$ のときの運動を考える。糸の張力の大きさを T として以下の問いに答えよ。

- (3) 物体 A と B の運動について、それぞれ運動方程式を立てよ。
- (4) 糸の長さが変わらないことから a を b で表せ。
- (5) a と T を m_A 、 m_B 、 μ' 、 F 、 g を用いてそれぞれ表せ。
- (6) $m_B = 4m_A$ 、 $F = 8m_Ag$ のときの a を計算せよ。

問 2 図 2 のように物体 A をばね定数 k のばねにつなぎ、摩擦の無い床の上に置いた。ばねの自然長からの伸びを r として以下の問いに答えよ。

- (1) $r = r_0$ のとき、物体 A と B は静止していた。 r_0 を m_B , g , k を用いて表せ。
- (2) 物体 A と B の運動について、それぞれ運動方程式をたてよ。ただし、糸の張力の大きさを T とする。
- (3) $r = 0$ から静かに物体 A をはなすと単振動を始めた。 r の最大値を表せ。
- (4) (3)の単振動の周期を表せ。

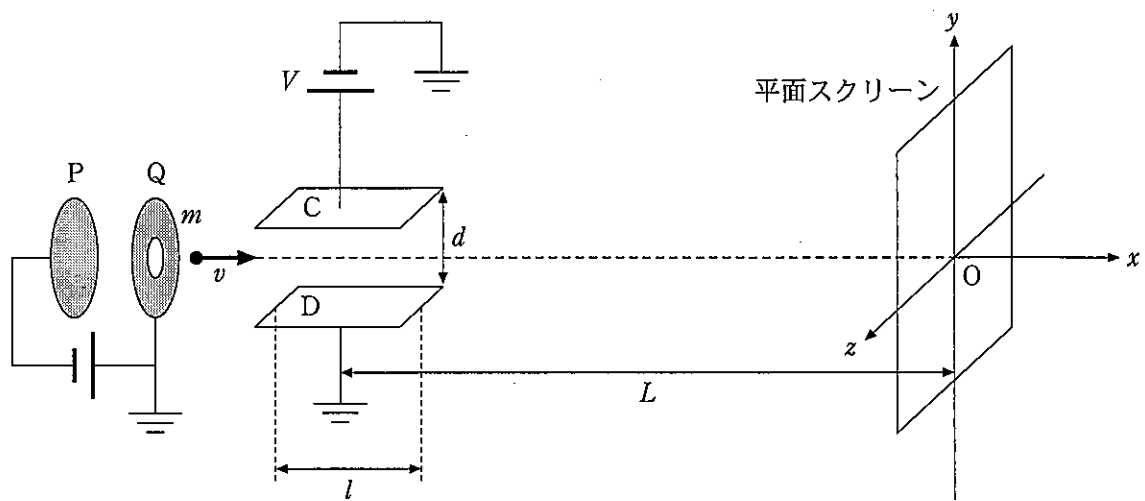
- 2 電場と磁場の影響を受けて運動する電子について、以下の問いに答えよ。ただし、電子は真空中で運動を行うものとし、重力の影響は無視できるとする。また、電子の質量を m 、電荷を $-e (e > 0)$ とする。(配点 35 %)

問 1 図のように、電子を発生・加速させる x 軸に垂直な極板 P, Q および平面スクリーン, y 軸に垂直な平行極板 C, D (以下平行極板と省略) がある。 x 軸とスクリーンの交点を原点 O とし、 x 軸と y 軸に垂直に z 軸をとる。極板 P から出て加速された電子が極板 Q の穴を通り、平行極板間に x 軸に沿って正方向へ速さ v で入射する。この平行極板に電圧をかけていないときには、電子は原点 O に到達した。平行極板間に電圧 $V (> 0)$ をかけたときには、平行極板を通過してスクリーン上に到達した電子の位置は原点から移動した。このとき平行極板間の電場は一様であるとする。また、平行極板の x 軸方向の長さを l 、平行極板間の距離を d とする。平行極板の中心は x 軸上にあり、中心からスクリーンまでの距離を L とする。なお、以下の問いでは、問題に与えられている記号から適当なものを選んで答えよ。

- (1) 電子が平行極板を通過するのに要した時間を求めよ。
- (2) 電子が平行極板を通過した直後の速度の y 成分、および変位の y 成分を求めよ。
- (3) 電子が平行極板を通過した直後からスクリーンに到達するのに要した時間を求めよ。
- (4) スクリーン上の電子の y 軸上の位置 y_e を求めよ。

問 2 y_e の値を用いて電子の比電荷 e/m を決めようとする、電子の速さ v を知る必要がある。そのために、電圧 V をかけた平行極板間だけに電磁石を用いて磁束密度 B の一様な磁場を z 軸方向にかけた。このとき電子のスクリーン上の到達位置が原点 O になった。

- (1) 磁場を z 軸の正方向、負方向のどちらにかけたか。解答欄に収まる程度に簡単に理由を説明して答えよ。
- (2) 磁束密度 B を用いて速さ v を求め、問 1 (4) の結果から v を消去して電子の比電荷 e/m を計算する式を求めよ。



図

3

図のように、上部と下部の断面積がそれぞれ $2S$, S の容器がある。上部と下部にはピストンがあり、これらは伸縮しない棒で接続されている。上部と下部と棒を合わせたピストン全体の質量を m とする。ピストンの下部は容器の底とばね定数 k のばねで接続されている。またピストンの上部と下部の間には単原子分子理想気体が封入されており、ピストンは容器内で鉛直方向に滑らかに動くとする。さらにピストンの上方は気圧 P_0 の大気に開放されているが、ピストンの下方は真空である。またピストン上部と下部の間にヒーターが設置されており、理想気体を加熱することができる。容器、ピストンはいずれも熱容量の無視できる断熱材でできており、またピストン上部と下部の厚み、ばねの質量、棒およびヒーターの体積は無視できるものとする。またピストンの上部と下部はそれぞれ $2S$, S の断面積の容器部分だけで動き、ヒーターとも接触しない範囲で動くとする。さらに重力加速度の大きさを g とする。以下の問いに答えよ。

(配点 30 %)

問 1 図に示すピストンが静止している初期の状態①での理想気体の圧力、体積、内部エネルギーをそれぞれ P_0 , V_0 , U_0 とする。

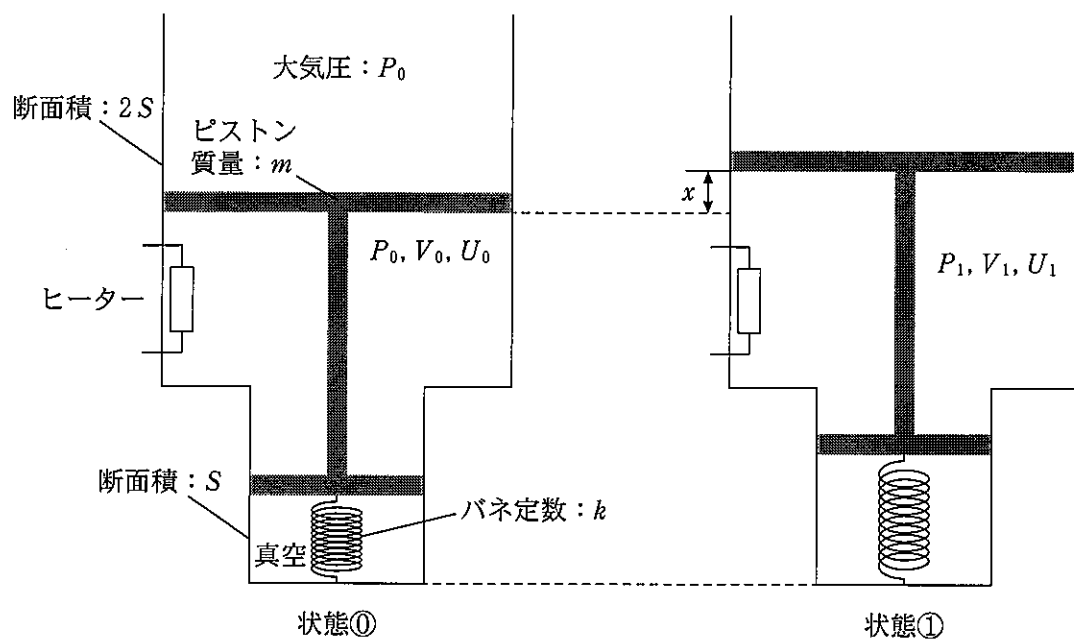
- (1) 状態①において、ばねは自然長から鉛直方向に $x_0 (> 0)$ だけ縮んでいるとする。 x_0 を P_0 , m , g , S , k を用いて表せ。
- (2) 理想気体の内部エネルギー U_0 を P_0 , V_0 を用いて表せ。

問 2 状態①からヒーターで理想気体を加熱するとゆっくりとピストンが $x (> 0)$ だけ上昇し、図に示す状態②になって静止した。状態②での理想気体の圧力、体積、内部エネルギーをそれぞれ P_1 , V_1 , U_1 とする。

- (1) 理想気体の体積 V_1 を V_0 , S , x を用いて表せ。
- (2) 理想気体の圧力 P_1 を P_0 , S , k , x を用いて表せ。
- (3) 上の問 2 の(2)では理想気体の圧力 P_1 を x の関数として表したが、体積を用いて書き換えるとどのようなになるか。 P_1 を P_0 , S , k , V_1 , V_0 を用いて表せ。
- (4) 理想気体の内部エネルギー U_1 を P_0 , S , k , x , V_0 を用いて表せ。

問 3 状態①から状態②の間に理想気体がした仕事を W とする。

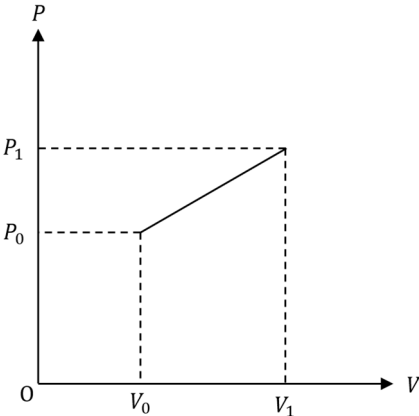
- (1) 状態①から状態②に至るまでの間の P - V (圧力-体積) グラフを描け。その際、図中に (P_0, V_0) , (P_1, V_1) も示せ。
- (2) 理想気体がした仕事 W を P_0 , S , k , x を用いて表せ。
- (3) ヒーターで加えた熱量 Q を P_0 , S , k , x , V_0 を用いて表せ。



図

正解・解答例

教科・科目名	理科・物理（後期日程試験：令和7年度） 1/2	問題番号	RA
対象学部・学科(課程)等	理学部（物理学科、生物学科、創造理学コース） 工学部 農学部		
1 (35) % 配点 (70) 点	問 1 (1) $\mu \geq \frac{m_B}{2m_A}$ (2) $F_0 = \left(\mu m_A + \frac{1}{2} m_B\right) g$ (3) $m_A a = T + \mu' m_A g - F, m_B b = 2T - m_B g$ (4) $a = -2b$ (5) $a = \frac{(4\mu' m_A + 2m_B)g - 4F}{4m_A + m_B}, T = \frac{m_B}{4m_A + m_B} (F + (2 - \mu') m_A g)$ (6) $a = \frac{\mu' - 6}{2} g$ 問 2 (1) $r_0 = \frac{m_B g}{2k}$ (2) $m_A a = T - kr, m_B b = 2T - m_B g$ (3) $\frac{m_B g}{k}$ もしくは $2r_0$ (4) $\pi \sqrt{\frac{4m_A + m_B}{k}}$ 2 (35) % 配点 (70) 点 問 1 (1) l/v (2) 速度のy成分 $\frac{eVl}{mdv}$ 変位のy成分 $\frac{eVl^2}{2mdv^2}$ (3) $\frac{L-l/2}{v}$ (4) $(y_e =) \frac{eVlL}{mdv^2}$ 問 2 (1) z 軸の <u>負</u> 方向 理由：電場による y 軸正方向の力 eV/d を磁場によるローレンツ力で打ち消すために y 軸負方向の力が必要となる．電子の速度が x 軸正方向で電子の電荷が負であることから，z 軸負方向の磁場によってこの力が実現する。		

教科・科目名	理科・物理（後期日程試験：令和7年度） 2/2	問題番号	RA
対 象 学 部 ・ 学科(課程)等	理学部（物理学科、生物学科、創造理学コース）工学部 農学部		
3 (30) % 配点 (60) 点	(2) $(v =) \frac{V}{dB} \quad (e/m = y_e \times) \frac{V}{\hbar dB^2}$ 問 1 (1) $\frac{P_0 S + mg}{k}$ (2) $\frac{3}{2} P_0 V_0$ 問 2 (1) $V_0 + Sx$ (2) $P_0 + \frac{k}{S} x$ (3) $P_0 + \frac{k(V_1 - V_0)}{S^2}$ (4) $\frac{3}{2} \left(P_0 + \frac{k}{S} x \right) (V_0 + Sx)$ 問 3 (1)  (2) $P_0 Sx + \frac{1}{2} kx^2$ (3) $\frac{3kV_0 x}{2S} + \frac{5}{2} P_0 Sx + 2kx^2$		

採点・評価基準(具体的基準)

教科・科目名	理科・物理（後期日程試験：令和 7 年度） 1 / 1	問題番号	RA
対 象 学 部・ 学科(課程)等	理学部（物理学科、生物学科、創造理学コース）工学部 農学部		
出題のねらい	[1] 滑車を題材に、摩擦力、張力、ばねの力を含む運動方程式を扱う能力を問う。また、エネルギー保存則と単振動に関する理解を問う。 [2] 荷電粒子に働く電氣的、磁氣的な力について理解しているか、又そうした力を受けて運動する粒子の力学的な挙動について理解しているかを、比電荷を求めるトムソンの実験を例に問う。加えて、現象を説明する力の関係について論理的、且つ簡潔に説明できるかを記述式問題で確認する。 [3] ピストンに重力とバネの力が同時に働く密閉された容器内における、加熱前後の理想気体の体積、圧力、内部エネルギー、外部にした仕事などの状態変化や数式とグラフの対応関係の理解度をみる。		
採 点 基 準 (点数は200点 満点の場合)	[1] 配点 3 5 % (7 0 点) 問 1 (1) 6 点 (2) 6 点 (3) 8 点 (4) 6 点 (5) 8 点 (6) 6 点 問 2 (1) 6 点 (2) 8 点 (3) 8 点 (4) 8 点 [2] 配点 3 5 % (7 0 点) 問 1 (1) 8 点 (2) 8 点 $\times 2 = 1 6$ 点 (3) 8 点 (4) 8 点 問 2 (1) 方向 : 6 点, 理由 : 8 点 (2) 8 点 $\times 2 = 1 6$ 点 [3] 配点 3 0 % (6 0 点) 問 1 (1) 6 点 (2) 6 点 問 2 (1) 6 点 (2) 6 点 (3) 6 点 (4) 6 点 問 3 (1) 8 点 (2) 8 点 (3) 8 点		