

令和5年度入学者選抜学力検査問題

(前期日程)

物 理

学類によって解答する問題が異なります。

指定された問題だけに解答しなさい。

学 域	学 類	解 答 す る 問 題
融 合 学 域	先 導 学 類(理系傾斜)	I, II, III, IV, V (5問)
	観光デザイン学類(理系傾斜)	
	スマート創成科学類(理系傾斜)	
人間社会学域	学 校 教 育 学 類	I, II, III (3問)
理 工 学 域	数 物 科 学 類	I, II, III, IV, V (5問)
	地 球 社 会 基 盤 学 類	
	生 命 理 工 学 類	
	理 工 3 学 類	
医 薬 保 健 学 域	医 学 類	III, IV, V (3問)
	薬 学 類	
	医 薬 科 学 類	I, II, III (3問)
保 健 学 類		
理 系 一 括 入 試		I, II, III, IV, V, VI (6問)

(注 意)

- 1 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
- 2 問題紙は本文14ページです。答案用紙は、学校教育学類、保健学類は3枚、先導学類(理系傾斜)、観光デザイン学類(理系傾斜)、スマート創成科学類(理系傾斜)、数物科学類、地球社会基盤学類、生命理工学類、理工3学類は5枚、医学類、薬学類、医薬科学類は3枚、理系一括入試は6枚あります。
- 3 答えはすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。
- 4 問題紙と下書き用紙は持ち帰ってください。

I [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 保健学類, 理系一括入試]

以下の文章が正しい記述となるように, (3), (5), (6), (7) の { } 内の選択肢のいずれかを選び, 解答欄の選択肢に○をつけなさい。また, それ以外の には適切な語句あるいは式を記入しなさい。式には文中に与えられた文字と, 必要ならば, 電気素量 e [C] を用いなさい。

物質は, 電気をよく通す導体と, ほとんど通さない不導体(絶縁体)に大別される。銅やアルミなどの金属は導体の, ガラスやプラスチックなどは絶縁体の代表例である。また, 電気の通しやすさが導体と絶縁体の中間の物質があり, これを (1) という。導体である金属には, 金属を構成している個々の原子に属せずに, 金属内を自由に動きまわられる電子があり, これを自由電子という。金属に帯電体を近づけると自由電子が静電気力によって移動する。そのため, 帯電体が正に帯電している場合を考えると, 帯電体に近い側の表面には負の電荷が現れ, 遠い側には正の電荷が現れる。この現象を (2) という。このとき, 導体は (3) {帯電体側が高電位・帯電体側が低電位・全体が等電位} となる。一方, 絶縁体では, 電子はすべて構成粒子(原子, 分子, イオン)に属し, 自由電子がないため, 電気を通しにくい。絶縁体の電子は構成粒子から離れないが, 帯電体を近づけると, 静電気力によって構成粒子に属している電子の位置がずれる。これを (4) という。ここで絶縁体をコンデンサーに挿入することを考えよう。まず, 2枚の金属板からなる平行板コンデンサーの一方の極板に正電荷を与え, この正電荷と大きさの等しい負電荷をもう一方の極板に与える。その極板間を絶縁体で満たすと, 極板上の電荷がつくる電場は (5) {強め・弱め} られる。そのため, 極板間の電位差は (6) {大きく・小さく} なり, コンデンサーの電気容量は (7) {大きく・小さく} なる。

次に, 金属導線に電池をつなぎ電流を流すことを考える。電流の大きさは単位時間あたりに導線の断面を通過する電気量の大きさである。金属導線内の自由電子は

電場により加速されるが、熱運動している陽イオンなどから抵抗力を受ける。やがて電場による力と陽イオンなどからの抵抗力が釣り合い、自由電子は一定の速さで移動するようになる。そのために電流の大きさは一定とみなすことができる。導線中をすべての自由電子が一定の速さ v [m/s] で電場と逆向きに移動するとして電流の大きさを求めてみよう。導線の断面積は A [m²]、長さは L [m] である。導線の単位体積中の自由電子の数を N [個/m³] とすると、電流の大きさは [A] となる。導線の両端には電圧 V [V] が加えられており、導線内部に大きさ [V/m] の一様な電場が生じている。自由電子はそれぞれ電場から大きさ [N] の静電気力を受けるため、電子1個が単位時間あたり電場からされる仕事は [W] である。この仕事は電子にはたらいっている抵抗力により熱的なエネルギーに変換される。この熱を という。単位時間あたりに長さ L の導線から発生する熱量は [W] となる。 の電流の大きさを I とすると、 の熱量を I と電圧 V を用いて [W] と表すことができる。

次に、自由電子が陽イオンなどから受けている抵抗力の大きさは速さに比例すると考えよう。その比例係数を k [N·s/m] とする ($k > 0$)。また、以下の(15)、(16)の解答に v と I を用いてはならない。抵抗力と電場による力が釣り合っているときの自由電子の速さは [m/s] である。すべての自由電子がこの速さで運動していると考え、電流の大きさを から求めると、この関係式はオームの法則を表している。この結果から導線の電気抵抗は [Ω] と求められ、比例係数 k に比例することがわかる。

Ⅱ [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 保健学類, 理系一括入試]

図2aに示すように, 動滑車Pから糸をつるして, その糸の下端に質量 m [kg] の物体Aをつける。さらに, 別の糸を天井からつるし, 動滑車Pと定滑車Qを介してその糸のもう一端に質量 M [kg] の物体Bをつける。ここで, $0.5m < M$ である。物体Bを手で支えて静止させた状態から手を静かにはなすと, 物体Bは一定の加速度で下方へ動き出した。ただし, 糸は伸び縮みせず十分に長いものとし, 2つの滑車がぶつからない範囲の運動を考える。また, 物体Aと物体Bの大きさ, 滑車と糸の質量, 摩擦や空気抵抗は無視できるものとする。物体Aと物体Bの加速度をそれぞれ a [m/s²], b [m/s²] とし, 鉛直上向きを正とする。重力加速度の大きさを g [m/s²], 物体Bにつけた糸の張力を T [N] として以下の問いに答えなさい。

- 問1 b を a を用いて表しなさい。
- 問2 物体Bに関する運動方程式を T, b, M, g を用いて表しなさい。
- 問3 物体Aに関する運動方程式を T, a, m, g を用いて表しなさい。
- 問4 物体Aの加速度 a を m, M, g を用いて表しなさい。
- 問5 物体Bから手をはなして時間 t [s] 経過したときの物体Bの速度を m, M, t, g を用いて表しなさい。

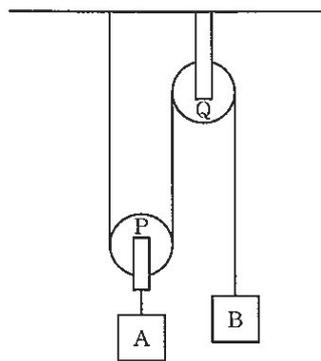


図2a

次に、図 2 b に示すように、図 2 a の物体 A と床面の間にばね定数 k [N/m] のばねを鉛直に取り付ける。物体 A の鉛直方向の位置を x で表し、上向きを正、ばねが自然長のときを $x = 0$ とする。以下の問いに答えなさい。ただし、ばねの質量は無視でき、2つの滑車はぶつからず、物体 B が床面に接触しない範囲の運動を考える。

問 6 物体 A と物体 B にはたらく力がそれぞれつりあって静止状態にあるときの物体 A の位置を k, m, M, g を用いて表しなさい。

問 7 物体 A を手で $x = 0$ に変位させ、静かに手をはなしたところ物体 A と物体 B は単振動を続けた。物体 A が位置 x にあるときの物体 A の加速度を k, m, M, x, g を用いて表しなさい。

問 8 問 7 における物体 A の単振動の周期と振幅を k, m, M, g のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 9 問 7 における物体 A の速さの最大値を k, m, M, g のうち必要なものを用いて表しなさい。

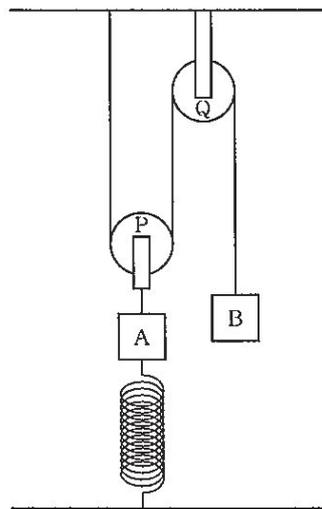


図 2 b

Ⅲ [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 学校教育学類, 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 保健学類, 理系一括入試]

図3に示すように, 容器Aと容器BがコックXのついた細管でつながれている。さらに, 容器BはコックYのついた細管でシリンダーCにつながれている。A, B, C, X, Yおよび細管は, すべて断熱材でできている。また, A内には加熱装置が取り付けられており, その装置による容器外部との熱の出入りはない。A内の加熱装置を除いた体積は V_0 [m³], B内の体積は $2V_0$ [m³]である。細管およびコック内の体積は無視できるものとする。気体定数を R [J/(mol·K)]とし, 単原子分子理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ [J/(mol·K)], 二原子分子理想気体の定積モル比熱は $\frac{5}{2}R$ [J/(mol·K)]である。

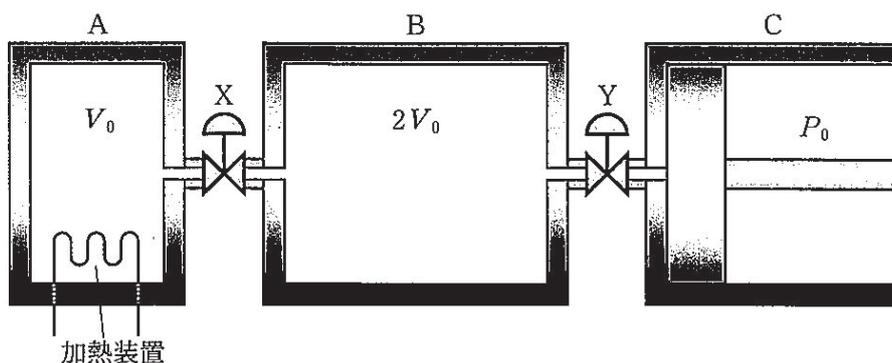


図3

最初, コックXとYはともに閉じられた状態で, A内には圧力 P_0 [Pa], 温度 T_0 [K]の単原子分子理想気体が入っており, B内は真空であった。以下の問いに答えなさい。

問1 A内の気体のモル数を求めなさい。

問2 Xを開き十分な時間放置した。一様になった後の気体の温度と圧力を求めなさい。ただし, この膨張の前後では気体の内部エネルギーは変化しないものとする。

問 3 次に、X を閉じ、加熱装置で熱を与えて A 内の気体の温度を $2T_0$ [K] にした。A 内の気体と B 内の気体の内部エネルギーの合計を求めなさい。

問 4 その後、再び X を開いて十分な時間放置したところ、全体が平衡状態に達した。そのときの気体の温度と圧力を求めなさい。ただし、内部エネルギーの合計は一定に保たれるものとする。

今度は、X と Y を閉じた状態で、A 内には圧力 $5P_0$ [Pa]、温度 $5T_0$ [K] の単原子分子理想気体が、B 内には圧力 $0.5P_0$ [Pa]、温度 T_0 [K] の二原子分子理想気が入っている。このときシリンダー C 内の体積はゼロであり、C のピストンの外側の圧力は P_0 [Pa] である。以下の問いに答えなさい。

問 5 A 内の気体のモル数および B 内の気体のモル数を求めなさい。

問 6 この状態における A 内の気体と B 内の気体の内部エネルギーを、それぞれ求めなさい。

次に、X を開いて 2 種類の理想気体を混合させた。十分な時間放置した後、全体が平衡状態に達した。ただし、2 種類の気体は反応することなく、内部エネルギーの合計は一定に保たれるものとする。また、この混合気体は理想気体の状態方程式を満足するものとする。次の問いに答えなさい。

問 7 この状態における混合気体の温度と圧力を求めなさい。

その後、X は開いた状態のまま Y をゆっくりと開き、混合気体をシリンダー C 内に膨張させた。その過程において、C のピストンはなめらかに移動でき、C 内の圧力は常にピストンの外側と同じ一定の圧力 P_0 [Pa] に保たれているとする。全体が平衡状態に達したときの C 内の体積を ΔV [m³] とする。次の問いに答えなさい。

問 8 ΔV は V_0 の何倍となるか答えなさい。また、この状態における混合気体の温度は T_0 の何倍となるか答えなさい。

IV [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 理系一括入試]

図4のように, 磁束密度の大きさが B [T] の鉛直上向きの一様な磁場中に, 半径 L [m] の円形導線を, その中心が点 O にくるようにして水平面に配置する。この水平面には, 点 O を中心として回転できる長さ L [m] の導体棒 OP も配置されている。点 O と円形導線上の点 Q は抵抗値 R [Ω] の抵抗で結ばれており, 切替スイッチ S によって起電力 E [V] の電池を接続できる。円形導線と導体棒の電気抵抗, 回路を流れる電流がつくる磁場, 電池の内部抵抗は無視できる。また, 抵抗に示した矢印の向きを電流の正の方向とする。

まず, スイッチ S を 1 に接続する。そして, 導体棒に外力を加え続けることにより, 円形導線の上から見て反時計回りとなる図の矢印の向きに, 一定の角速度 ω_1 [rad/s] で導体棒を回転させた。このとき, 導体棒と円形導線の間の摩擦は無視できるものとし, 以下の問いに答えなさい。

- 問 1 導体棒が単位時間あたりに磁場を横切る面積を求めなさい。
- 問 2 導体棒に発生する誘導起電力の大きさを求めなさい。
- 問 3 抵抗に流れる電流の大きさを求めなさい。また, 電流の向きが正の方向であるか負の方向であるか答えなさい。
- 問 4 導体棒を一定の角速度 ω_1 で回転させるために必要な単位時間あたりの仕事を求めなさい。
- 問 5 導体棒が磁場から受ける力の大きさを求めなさい。

次に, 導体棒 OP を静止させ, スイッチ S を 2 に接続し OQ 間に起電力 E の電池を接続したところ, 導体棒が回転を始めた。以下の問いに答えなさい。

- 問 6 導体棒の角速度が ω_2 [rad/s] となったとき, 抵抗に流れる電流を求めなさい。また, 回転の向きは, 上から見て時計回りか反時計回りか答えなさい。
- 問 7 十分に時間が経過した後, 導体棒の角速度が一定になった。このときの角速度を求めなさい。また, このときに抵抗で消費される電力を求めなさい。

さらに、回転する導体棒と円形導線の間に、一様な摩擦力が生じるように物質を加えたところ、角速度が問7の $\frac{1}{3}$ になった。ただし、物質を加えることによる電気抵抗は無視できるとする。以下の問いに答えなさい。

問8 抵抗に流れる電流を求めなさい。

問9 摩擦力によって失われる単位時間あたりのエネルギーを求めなさい。

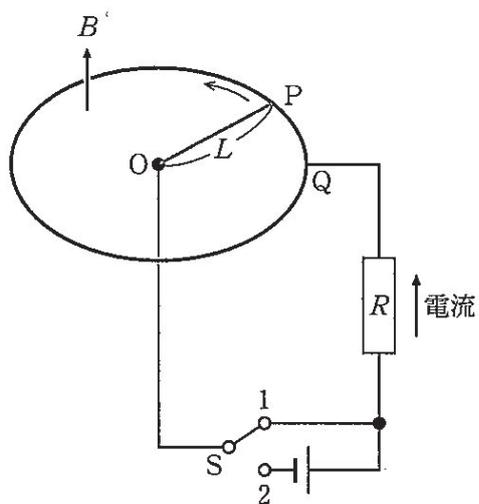


図4

V [先導学類(理系傾斜), 観光デザイン学類(理系傾斜), スマート創成科学類(理系傾斜), 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 理系一括入試]

x 軸の方向に進む縦波(疎密波)の変位が次の正弦波の式で表される場合を考える。

$$\Delta x_+ = A \sin \left\{ 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right\}, \quad \Delta x_- = A \sin \left\{ 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \right\}$$

ここで, Δx_+ [m]と Δx_- [m]は, それぞれ x 軸の正の向きと負の向きに進む波に対応する。 x 軸の正の向きを変位の正の方向とする。 t [s]は時刻であり, x [m]は縦波が存在しない時の媒質上の点の x 座標である。また, A [m], T [s], λ [m]は, それぞれ, 振幅, 周期, 波長である。

図5aの(あ)と(い)は, Δx_+ または Δx_- で表される縦波が進行していく様子を模式的に示したものである。縦軸は, 縦波が存在するときの媒質上の点の座標 x_m , すなわち, $x_m = x + \Delta x_+$ または $x_m = x + \Delta x_-$ に対応し, 波長 λ で割った値を示している。横軸は時刻 t を周期 T で割った値である。ここでは, 縦波が存在しない時に媒質上において等間隔に選ばれた点に対応する x_m/λ を黒丸で示し, その時間変化を実線で結んでいる。

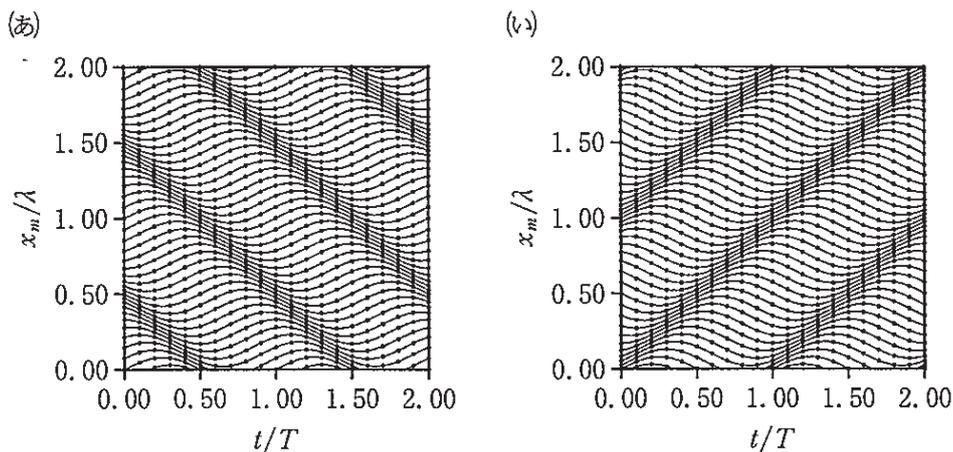


図5a

問 1 x 軸の正の向きに進む縦波を表しているのは図 5 a の(あ)と(い)のどちらか選
び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。

問 2 波の速さを T と λ を用いて表しなさい。

進む向きが反対で、振幅、周期、波長が等しい波が重なると、合成波は定在波と
なる。図 5 b は、図 5 a の(あ)と(い)の合成波として生じる定在波の様子を表している。

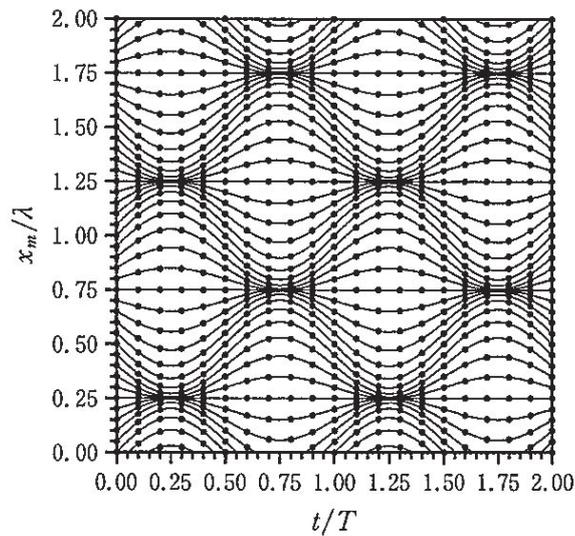


図 5 b

問 3 節となる位置の x_m/λ の値を図 5 b から読み取り全て答えなさい。また、
 $t/T = 0.75$ の時刻において、最も密となる位置の x_m/λ の値と最も疎となる位
置の x_m/λ を全て答えなさい。それぞれ、 $0.00 \leq x_m/\lambda \leq 2.00$ の範囲で答えな
さい。

正の向きに進む縦波と負の向きに進む縦波の振動数が異なり、前者が f_+ [Hz]、後者が f_- [Hz] である場合を考える。波の速さは等しく v [m/s] であり、振幅も等しく A とする。以下の問いに答えなさい。

問 4 最初に示した正弦波の式を参考に、正の向きに進む縦波の式 Δx_+ を振動数 f_+ と波の速さ v を用いて表しなさい。

問 5 振動数が異なる Δx_+ と Δx_- の合成波の変位を表す式を求めると、次式のよ
うな形にまとめることができる。

$$2A \cos \left[2\pi \left(\frac{f_+ - f_-}{2} \right) \{t - \alpha x\} \right] \sin \left[2\pi \left(\frac{f_+ + f_-}{2} \right) \{t - \beta x\} \right]$$

α [s/m] と β [s/m] を、 f_+ と f_- および v を用いて表しなさい。必要ならば以下の三角関数の公式を用いなさい。

$$\sin a + \sin b = 2 \cos \frac{a - b}{2} \sin \frac{a + b}{2}$$

音源による空気振動は縦波となって伝わる。観測者の両側に、振動数 f_+ の音源 A と振動数 f_- の音源 B があり、音速が v の場合を考える。観測者と二つの音源は常に x 軸上にあるとし、観測者の位置を原点 $x = 0$ にとる。どちらの音源も観測者から十分に離れており、音源 A は x 軸の負の側に、音源 B は x 軸の正の側にある。このとき、二つの音源の間の座標 x の点における空気振動が問 5 の問題文中に示した合成波の式で表されたとする。 f_+ は f_- よりもわずかに大きく、二つの音源が静止している時、観測者は音の大小が周期的に繰り返されるうなりを観測した。その後、音源 A がある一定の速度でゆっくりと移動したところ、うなりは観測されなくなった。以下の問いに答えなさい。

問 6 静止している二つの音源が観測者の位置につくる空気振動を表す式を求めなさい。

問 7 図 5c の実線は、問 6 で得られた式を図示したものである。うなりの周期に対応する時間間隔を(あ)、(い)、(う)から選び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。また、音源が静止している時の 1 秒あたりのうなりの回数を求めなさい。

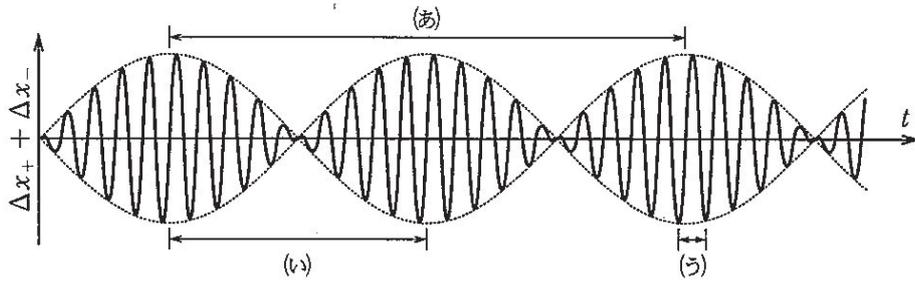


図 5c

問 8 うなりが観測されなくなったときの音源 A の移動の向きは x 軸の正の向きか負の向きかを選び、解答欄の選択肢に○をつけなさい。また、移動の速さを求めなさい。

VI [理系一括入試]

図6に示すように、摩擦のはたらかない面と摩擦のはたらく面が境界Pでなめらかにつながった水平面上における、物体1と物体2の衝突前後の運動について考える。物体はどちらも図の x 軸上を運動する。物体1の質量は m_1 [kg]、物体2の質量は m_2 [kg]であり、 m_2 の m_1 に対する比を $\rho = \frac{m_2}{m_1}$ とおく。物体1は、図の左側から速度 v_0 [m/s]で x 軸上を正の向きに移動した後、原点O上において静止していた物体2に衝突する。衝突直後の物体1と物体2の速度は、それぞれ v_1 [m/s]、 v_2 [m/s]であり、それらの v_0 に対する比を $S_1 = \frac{v_1}{v_0}$ 、 $S_2 = \frac{v_2}{v_0}$ とおく。原点Oから境界Pまでの距離は L [m]、摩擦のはたらく面の動摩擦係数は μ' である。重力加速度の大きさを g [m/s²]とし、物体の大きさ、および空気抵抗は無視できるとする。衝突後、 v_1 と v_2 は常に $v_1 \leq v_2$ の関係を満たす。

衝突の直前と直後における力学的エネルギーの総和と運動量の総和は保存されるとして、以下の問いに答えなさい。

- 問1 衝突直前と直後の各物体の運動に対する力学的エネルギーの保存と運動量の保存の式を m_1 、 m_2 、 v_0 、 v_1 、 v_2 を用いて表しなさい。
- 問2 問1で求めた力学的エネルギーの保存と運動量の保存の式を ρ 、 S_1 、 S_2 を用いて表しなさい。
- 問3 S_1 と S_2 を ρ を用いて表しなさい。
- 問4 衝突により物体1が跳ね返る(すなわち $v_1 < 0$ となる)ための ρ の条件を示しなさい。
- 問5 $\rho = 1$ の場合、衝突後に物体2が停止するまでに要する時間と移動する距離を、 v_2 を用いず v_0 を用いて表しなさい。

次に、衝突において力学的エネルギーの総和が保存されない場合を考える。衝突直後の全力学的エネルギーと衝突直前の全力学的エネルギーの比を

$$\varepsilon = \frac{\text{衝突直後の全力学的エネルギー}}{\text{衝突直前の全力学的エネルギー}} < 1$$

として、以下の問いに答えなさい。ただし、 $\rho = 1$ とする。

問 6 衝突直後の S_1 と S_2 を、 ε を用いて表しなさい。

問 7 ε には下限が存在する。 ε の下限値を求めなさい。

問 8 問 7 で求めた ε の下限値における反発係数の値を求めなさい。

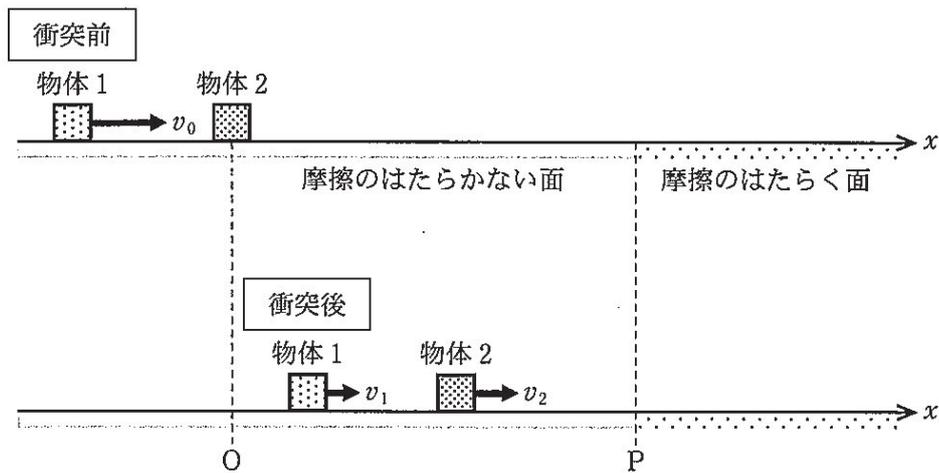


図 6