

令和3年度入試
個別学力試験問題(前期日程)

物 理

学部・学科	問 題
総合理工学部 (物理・マテリアル工学科)	1, 2, 3, 4
総合理工学部 (物理・マテリアル工学科を除く) 生物資源科学部	1 問 1, 2, 3, 4 問 1, 問 2 (1), (2), (3)

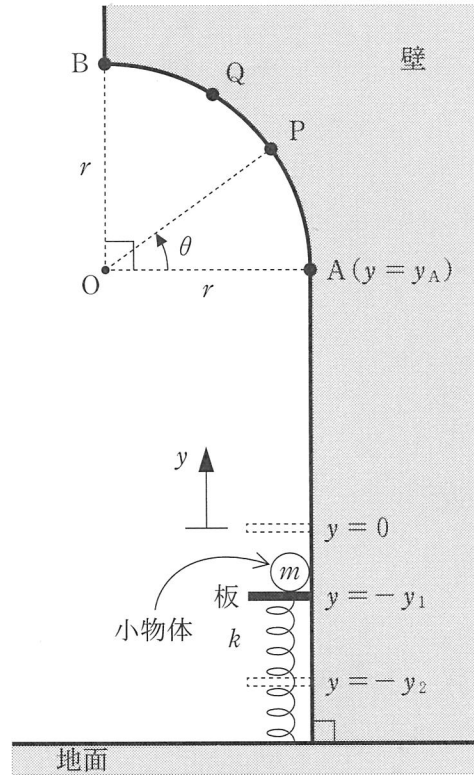
注 意

1. 志望学部・学科により、解答用紙が異なるので、解答前に確認してください。
2. 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
3. 問題紙は9ページです。解答用紙は総合理工学部 物理・マテリアル工学科受験生は7枚、総合理工学部(物理・マテリアル工学科を除く)受験生、生物資源科学部受験生は5枚です。指示があつてから確認し、解答用紙の所定の欄に受験番号を記入してください。
4. 総合理工学部 物理・マテリアル工学科受験生は、1, 2, 3, 4の問題を、総合理工学部(物理・マテリアル工学科を除く)受験生、生物資源科学部受験生は、1 問 1, 2, 3, 4 問 1, 問 2 (1), (2), (3)の問題を解答してください。
5. 答えはすべて解答用紙の所定のところに記入してください。
6. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
7. 試験終了後、問題紙は持ち帰ってください。

1 右図のような壁がある。これは、地面に垂直な壁に、点Oを中心とする半径 r [m]の円弧形的壁が点Aでなめらかにつながれているものである。図のOAは地面と水平、OBは地面と垂直であり、 $\angle AOB$ は直角である。

図のように、この壁に沿って質量の無視できる軽いばねの下端を地面に取り付け、上端には厚さと質量が無視できる板を取り付ける。ばねが自然の長さのときの板の位置を $y = 0$ とし、鉛直上向きに y 軸を設定する。今、質量 m [kg]の小物体を板の上に置いたところ、ばねは縮み、板は $y = -y_1$ [m]の位置で静止した。ここで y_1 は正の値である。

以下、小物体の大きさは無視し、特に説明がなければ小物体は壁面に沿って移動することとする。また、空気の影響や壁面との摩擦は無視できるものとする。ばね定数を k [N/m]とし、重力加速度の大きさを g [m/s²]とする。



【共通問題】 問1はすべての受験生が解答すること。

問1 以下の問いに答えよ。

- (1) y_1 を, k , m , g を用いて表せ。
- (2) ばねを静かに押し縮め, 板の位置を $y = -y_2$ [m] とした。ただし, y_2 は正の値であり, $y_2 > 2y_1$ とする。その位置で手を離れたところ, 小物体はばねによって押し上げられ, ある点において板から離れて壁に沿って打ち出された。小物体が板から離れた点の y の値 y_0 [m] と, その点での小物体の速さ v_0 [m/s] を求めよ。
- (3) その後, 小物体は点 A を通過した。点 A の位置を y_A [m] としたとき, 点 A での小物体の速さ v_A [m/s] を, v_0 を用いて表せ。
- (4) 円弧形の壁面上の任意の点を P とする。小物体が点 P を通過したとき, 点 P における小物体の速さ v_P [m/s] を, v_A を用いて表せ。ただし, $\angle AOP$ の角度を θ ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) とする。
- (5) 点 P で小物体にはたらいっている向心力の大きさ F_1 [N] を求めよ。ただし v_P を用いること。
- (6) 点 P で小物体にはたらいっている重力の壁面に垂直な成分 F_2 [N] を求めよ。ただし P→O の向きを正とする。
- (7) 点 P において小物体が壁面から受ける垂直抗力の大きさを F [N] とする。 F を, F_1 と F_2 を用いて表せ。

【選択問題】 問2は総合理工学部 物理・マテリアル工学科の受験生が解答すること。

問2 以下の問いに答えよ。

- (1) 問1で打ち出されて点 A を通過した小物体は, それにはたらく垂直抗力の大きさがある点 Q で0となり, 壁面を離れた。点 Q の OA からの高さ h_Q [m] を, v_A と g を用いて表せ。また, 点 Q における小物体の速さ v_Q [m/s] を, v_A を用いて表せ。
- (2) 点 Q が点 B と一致するときの v_A を, g と r を用いて表せ。
- (3) (2)において小物体が落下して, その位置が OA の延長線上にあるとき, その位置の点 O からの距離は r の何倍か。

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

2 光について、次の問いに答えよ。

問 1 図 1 のように、均一な厚さ d [m] の平坦な薄膜が空気中にある。ここへ光を入射した。ただし、空気の屈折率を 1.0、薄膜の屈折率を n (ただし $n > 1.0$)、入射した光が薄膜の表面の法線に対してなす角度を θ 、入射した光の波長を λ [m] とする。

- (1) 薄膜の表面の点 A で反射した光が薄膜の表面の法線に対してなす角度を φ_1 とする。 φ_1 と θ の関係を答えよ。
- (2) 点 A で反射した光の位相と入射した光の位相の関係はどうなるか答えよ。
- (3) 入射した光の一部は薄膜の表面を通り抜け、薄膜の中に侵入する。薄膜の中に侵入した光の位相と侵入する前の光の位相の関係はどうなるか答えよ。
- (4) 薄膜の中に侵入した光の波長を答えよ。
- (5) 点 A で薄膜の中に侵入した光が薄膜の表面の法線に対してなす角度を φ_2 とする。 φ_2 と θ の関係を答えよ。
- (6) 点 A で薄膜の中に侵入した光は反対側の薄膜の表面の点 B で反射する。反射した光が薄膜の表面の法線に対してなす角度を φ_3 とするとき、 φ_3 と θ の関係を答えよ。
- (7) (6) のとき、反射する前と反射した後の光の位相の関係はどうなるか答えよ。
- (8) 点 A で薄膜の中に侵入し点 B で反射した光は、さらに薄膜の表面の点 C を通り抜けて、入射した側の空気中へ戻ってくる。戻ってきた光が薄膜の表面の法線に対してなす角度を φ_4 とするとき、 φ_4 と θ の関係を答えよ。
- (9) 薄膜の中に侵入して点 A → 点 B → 点 C を通ってきた光と、薄膜の中に侵入することなく点 C で直接反射した光は、干渉する。二つの光の干渉を決める経路差を、 d および φ_2 を用いて表せ。

- (10) これまでの結果から，薄膜から反射した光が強め合って明るくなる入射角度 θ の条件を， d ， n ， λ ，および整数 m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いて表せ。

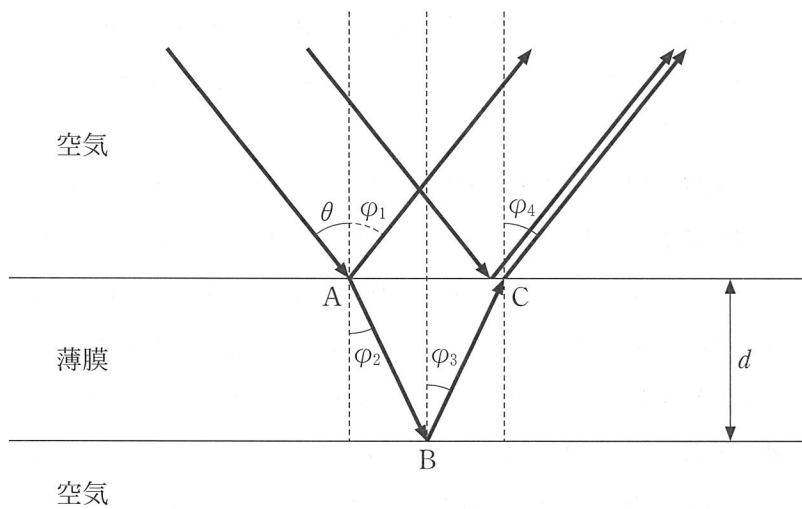


図 1

問 2 次に図 2 のように、問 1 の薄膜を厚さが一様で平らなガラスの表面に貼り付けた。ただし、ガラスの屈折率は薄膜の屈折率 n より大きいとし、またガラスの厚さは十分厚く、ガラスの空気側の面での反射は考えないものとする。

- (1) 波長 λ の光が薄膜の表面に垂直に入射するとき、反射してきた光が弱め合って暗くなる d の条件を、 n 、 λ 、および整数 $m (m = 0, 1, 2, \dots)$ を用いて表せ。
- (2) 薄膜に侵入しガラスを透過する光には、ガラスとの境界面をそのまま透過するもの(図 2 のア)と、界面で一回反射した後にもう一度薄膜の表面で反射して戻ってくるもの(図 2 のイ)がある。両者の経路差を求めよ。
- (3) (2)の結果から、ガラスの反対側から出てくる光が強め合って明るくなる d の条件を、 n 、 λ 、および整数 $m (m = 0, 1, 2, \dots)$ を用いて表せ。
- (4) 波長 $6.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光を入射したとき、ガラスの反対側から出てくる光が強め合って明るくなるようにするには d をいくらにしたら良いか、最小の厚さを答えよ。ただし、 $n = 1.3$ とする。

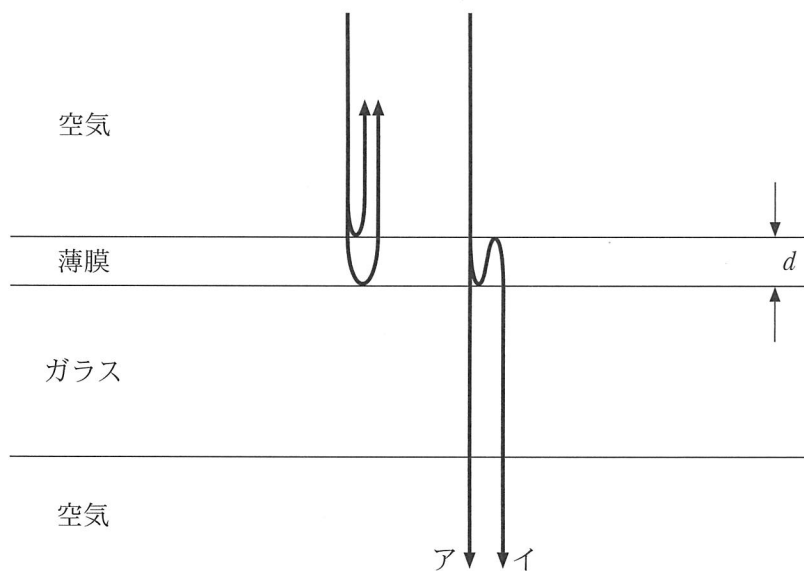
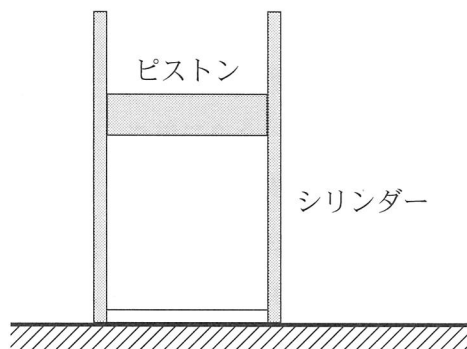


図 2

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

3 表面の粗い水平な床面上に置かれた、質量が M [kg] のシリンダーを考える。シリンダー内には、1 mol の単原子分子の理想気体を入れ、ピストンで封入する。以下の問いを通じて、シリンダー内の気体とピストンの質量は無視できるものとする。

床面とシリンダーの底面の間での動摩擦係数は常に一定であり、その値を μ' とする。シリンダーの底面以外は断熱材でできており、シリンダーが床面に沿って移動する際、床面とシリンダーとの動摩擦力による仕事はすべて熱としてシリンダー内の気体に与えられ、それ以外には、シリンダー内の気体と周囲との熱のやり取りはないものとする。気体定数を R [J/mol·K]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、空気による抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。



問 1 ピストンを固定したシリンダーを床面に沿って初速 v_0 [m/s] で運動させたところ、シリンダーは距離 s [m] だけ離れた地点まで移動して静止した。シリンダーが静止した直後に、シリンダー底面と床面の間に断熱材を入れた。シリンダーが運動する前と静止した後のシリンダー内の気体の温度は、それぞれ T_0 [K] と T_1 [K] であった。

- (1) シリンダーが運動してから静止するまでに、シリンダーにはたらく動摩擦力がシリンダーにした仕事を W [J] とすると、 $W = -\mu' Mgs$ と表されることを説明せよ。
- (2) 運動エネルギーと仕事の関係から、 s が v_0 の 2 乗に比例し、 M によらないことを示せ。

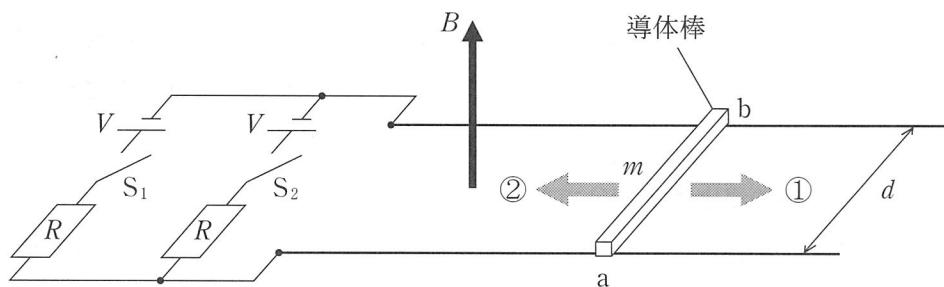
- (3) 熱力学第一法則に基づいて、この過程の温度変化 $\Delta T = T_1 - T_0$ を計算し、 v_0 を用いずに表せ。その結果から、 T_1 は T_0 より高いか、低いかを答えよ。
- (4) シリンダーの初速を v_0 の 2 倍にして同じ操作をした場合、シリンダー内の気体の温度変化は(3)の ΔT の何倍になるかを、その理由とともに述べよ。

問 2 次に、シリンダー底面と床面の間の断熱材をはずして、気体をシリンダー内に封入したまま、ピストンをなめらかに動くようにしたところ、シリンダー内の気体の圧力は大気圧と等しくなり、気体の温度は T_0 となって、ピストンが静止した。この状態から、問 1 と同じ初速 v_0 でシリンダーを床面に沿って運動させると、シリンダーは問 1 と同じ距離 s だけ移動して静止した。シリンダーが静止した直後に、シリンダー底面と床面の間に断熱材を入れたところ、しばらくして、ピストンも静止した。このときのシリンダー内の気体の温度は T_2 [K] であった。

- (1) この過程でシリンダー内の気体は膨張した。気体が外にした仕事 w [J] を、 R 、 T_0 、 T_2 を用いて表せ。
- (2) この過程でシリンダー内の気体が受け取った熱は、問 1 の過程で気体が受け取った熱と同じである。この熱を Q [J] とする。 T_2 を、熱力学第一法則に基づいて計算し、 Q 、 R 、 T_0 を用いて表せ。
- (3) T_2 が T_1 より高いか、低いか、 T_1 と同じか、解答欄の選択肢から正しいものを選び、その理由を説明せよ。ただし、問 1 の T_1 を、(2) の T_2 と同様に Q 、 R 、 T_0 を用いて表し、 T_2 と比較して説明すること。

4 下図に示されるように、一様な鉛直上向きの磁束密度 B (T) の磁場の中に、十分に長い直線導体のレールが間隔 d (m) だけ離れて、水平面上に平行に置かれている。レール上には、質量 m (kg) の導体棒がレールと垂直の状態ですべてに置かれている。レールから受ける垂直抗力は接点 a, b で同じであり、レールと導体棒の間には摩擦力がはたらく。静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' とする。レールは 2 つのスイッチ S_1 と S_2 がある回路につながれており、抵抗値 R (Ω) の抵抗と起電力 V (V) の電池が図のように配置されている。重力加速度の大きさを g (m/s^2) として以下の問いに答えよ。

ただし、空気抵抗の影響はないものとし、レールや導体棒の抵抗や太さ、および電池の内部抵抗は無視できるものとする。また、回路中を流れる電流がつくる磁場は、磁束密度 B の磁場と比べて十分小さく、無視できるものとする。



【共通問題】 問 1 と問 2 (1) から (3) はすべての受験生が解答すること。

問 1 S_1 を閉じ、 S_2 を開いた状態にした。このとき導体棒には電流が流れたが、導体棒は静止したままであった。

- (1) 導体棒が磁場から受ける力の大きさ F (N) を求め、さらにその向きを図中の①、②から選択せよ。
- (2) 次に、 S_1 を閉じたまま S_2 を閉じたところ、十分時間が経過しても導体棒は静止したままであった。このとき導体棒を流れる電流 I (A) を求めよ。
- (3) 磁場から力を受けているにもかかわらず導体棒が静止している理由は、導体棒が磁場から受ける力と他の力がつり合っているためである。その力の名称を述べ、力の向きを図中の①、②から選択せよ。
- (4) (2) の状態で導体棒が静止し続けるための、 R が満たす条件を求めよ。

問 2 スイッチをすべて開き、回路のすべての抵抗を抵抗値 $R_1[\Omega]$ のものに取り替えた。その後、 S_1 のみを閉じたところ、導体棒は動き始めた。十分時間が経過すると導体棒の速さは $v[\text{m/s}]$ で一定になった。レールは十分長く、導体棒はレールの端に達することはないものとする。

- (1) 導体棒が動く向きを図中の①、②から選択せよ。
- (2) 回路に生じる誘導起電力の大きさ $V_1[\text{V}]$ を求めよ。さらに、その向きは $a \rightarrow b$ 、 $b \rightarrow a$ のどちらであるか選択せよ。
- (3) 導体棒に流れる電流 $I_1[\text{A}]$ を求めよ。

【選択問題】 問 2(4)から(7)は総合理工学部 物理・マテリアル工学科の受験生が解答すること。

- (4) 導体棒が一定速度で動いていることから、導体棒が磁場から受ける力とレールと導体棒間の動摩擦力がつり合っていることがわかる。この条件から R_1 を求めよ。
- (5) 時間 $\Delta t[\text{s}]$ の間に動摩擦力がする仕事 $\Delta W_1[\text{J}]$ を、 V 、 V_1 、 R_1 、 Δt を用いて表せ。
- (6) Δt の間に抵抗で発生するジュール熱 $\Delta Q[\text{J}]$ を、 V 、 V_1 、 R_1 、 Δt を用いて表せ。
- (7) Δt の間に電池がする仕事 $\Delta W_2[\text{J}]$ は、エネルギー保存則より $\Delta W_2 = \Delta Q - \Delta W_1$ で表される。 ΔW_2 を、 V 、 I_1 、 Δt を用いて表せ。