

平成 30 年度入学者選抜試験
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)	<input type="checkbox"/> 1, <input type="checkbox"/> 2, <input type="checkbox"/> 3, <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 1, <input type="checkbox"/> 2, <input type="checkbox"/> 3, <input type="checkbox"/> 4 問 1

注 意

- 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。
- 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
- 問題紙は 10 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 8 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 7 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。
- 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, 2, 3, 4 問 1 の問題を解答してください。
- 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。
- 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
- 試験終了後、問題紙は持ち帰ってください。

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

1

図1のように質量の無視できるばね定数 k [N/m] のばねの一端を床に固定し、自然の長さのときの上端の位置を原点として、鉛直下向きを正に y 軸をとる。このばねの上端に質量 M [kg] の板をばねから離れないように取り付けると、ばねの上端の位置が y_1 [m] となつたところでつり合つた(図2)。ばねは鉛直方向のみ伸び縮みでき、空気の抵抗や板の厚さは無視できるものとして、以下の問い合わせに答えよ。なお、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

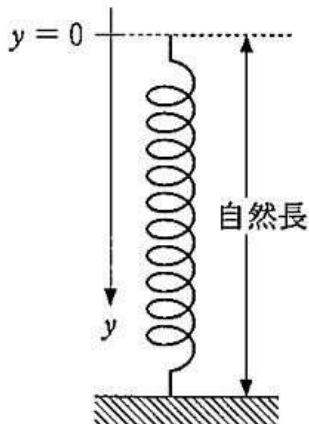


図1

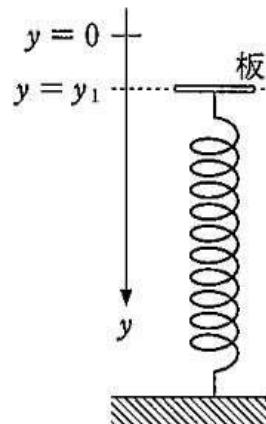


図2

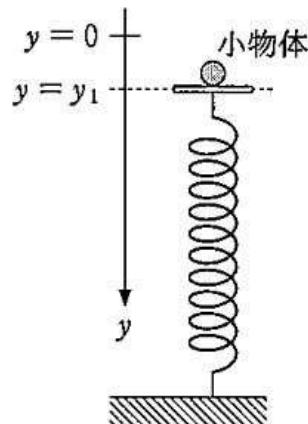


図3

- (1) ばねの上端に質量 M の板を付けてつり合つたときの、ばねの上端の位置 y_1 を M , k , g のうち必要なものを用いて求めよ。

次に、図3のように板の上に質量 m [kg] の小物体を静かに置いて手を放すと、小物体と板は一体となって単振動した。なお、小物体の体積は無視できるものとする。

- (2) この単振動において、ばねが最も縮んだときのばねの上端の位置 y_2 [m] を M , m , k , g のうち必要なものを用いて求めよ。
- (3) この単振動の振幅 A [m] と周期 T [s] を、 M , m , k , g のうち必要なものを用いてそれぞれ求めよ。

次に、図4のように小物体を板の上に置き、ばねの上端を y_3 [m] の位置まで押し下げて静かに手を放した。小物体と板は一体となって上昇した後、あるところで小物体は板から離れた。

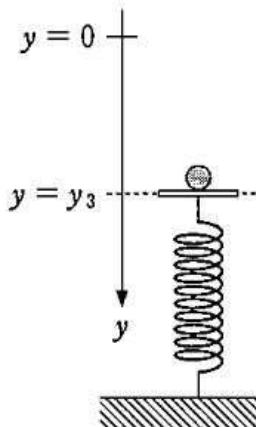


図4

- (4) 小物体と板が一体となって運動しているときのばねの上端の位置を y [m]、小物体の加速度を a [m/s²]、小物体が板を押す力の大きさを N [N]とする。このとき、小物体と板についての運動方程式をそれぞれ示せ。
- (5) 小物体と板が離れる位置を求めよ。
- (6) 小物体が板から離れるために y_3 が満たすべき条件を示せ。
- (7) $y_3 = \frac{3(M+m)g}{k}$ として、小物体が板から離れた後の小物体の最高到達点の位置 y_4 [m] を M , m , k , g のうち必要なものを用いて求めよ。

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

2

ドップラー効果について、以下の問い合わせに答えよ。音速を $V[\text{m}/\text{s}]$ とする。

問 1 下の文章中の空欄を適当な数式で埋めよ。

一般に、音源または観測者が移動することによって音源とは異なる振動数の音が観測される現象をドップラー効果とよぶ。はじめに、静止している観測者に対して、振動数 $f_0[\text{Hz}]$ の音源が一直線上を速さ $v[\text{m}/\text{s}]$ ($v < V$) で近づく場合を考える(図 1)。 $t[\text{s}]$ の時間の間に音源が出す波の数は (a) 個であり、音波が Vt の距離を進む間、音源も vt の距離を進む。このため、 $Vt - vt$ の長さの間に (a) 個の波が存在する。したがって、観測者が観測する波長は (b)、振動数は (c) で与えられる。

一方、音源が静止し、観測者が速さ v で移動する場合は(図 2)、観測者が静止している場合と比べて波長は変わらない。しかし、観測する波の数が異なり、ドップラー効果が起こる。観測者が速さ v で音源に近づく場合は、観測する振動数は、(d) で与えられる。

次に、音源が、観測者が移動する直線経路から離れた点 A に静止している場合を考える(図 3)。観測者の位置を P とすると、観測者と音源を結ぶ PA 方向の速度成分のみがドップラー効果に寄与する。点 A から直線経路上の点 O に垂線を下ろし、 $\angle APO$ の角度を θ_1 とする。このとき、観測者が速さ v で点 O に向かって直線上を移動する場合は、観測する振動数は (e) で与えられる。また、観測者が点 O を通過するときに観測する振動数は、(f) となる。

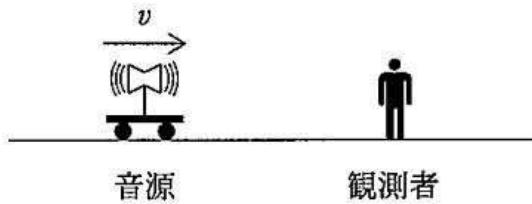


図 1

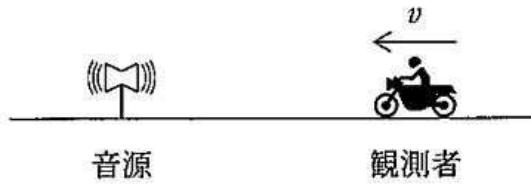


図 2

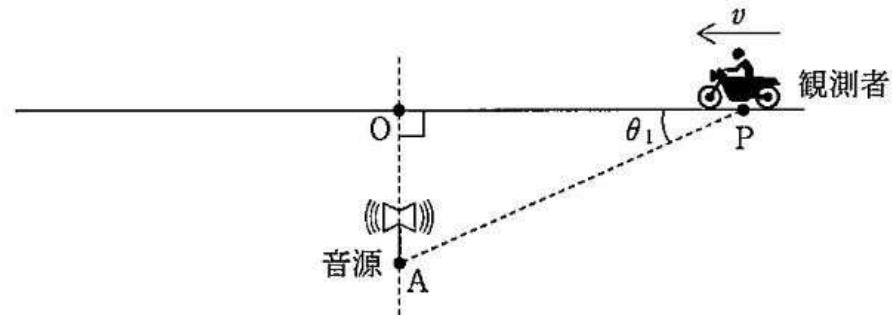


図 3

問 2 図4のように、振動数 f_0 の音源が x 軸上の点に置かれており、観測者は x 軸の原点Oを中心として半径 a [m]、速さ v で反時計回りに等速円運動をしている。観測者の位置を動点Pで表し、線分POと x 軸のなす角度を θ_2 とする。音源を x [m] ($x \geq a$) の位置に置くとき、観測者が観測する振動数 f [Hz]の最大値は f_H [Hz]、最小値は f_L [Hz]であった。以下の問い合わせに答えよ。

- (1) f_H および f_L を求めよ。
- (2) f_H , f_L , f_0 の間に $f_0 = \frac{1}{2}(f_H + f_L)$ が成り立つことを示せ。
- (3) 音源を $x = 2a$ の位置に置くとき、観測者が f_0 , f_H および f_L の音を観測するのは角度 θ_2 がいくらのときか。 $-180^\circ < \theta_2 \leq 180^\circ$ とする。
- (4) 音源を $x = a$ の位置に置くとき、観測者が観測する振動数 f の変化の様子を、縦軸を f 、横軸を θ_2 として $-180^\circ \leq \theta_2 \leq 180^\circ$ の範囲でグラフに表せ。ただし音源と観測者は衝突しないものとする。
- (5) 音源を原点Oに置くとき、観測者が観測する振動数 f は時間とともにどうなるか。またそのようになる理由を答えよ。

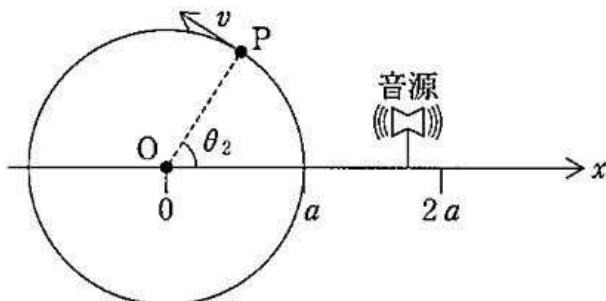


図4

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

- 3 等しい体積 $V[m^3]$ を持つ 2 つの容器 A, B が、コックのついた細管でつながれている。ここで、容器 A, B の体積は不变であり、細管の体積は容器 A, B に比べ十分に小さく無視できるものとする。なお、以下の問い合わせでは、各操作を行ってから十分に時間が経った状態を考える。

問 1 図 1 のように、容器 A に温度 $2T_0$ [K]、圧力 P_0 [Pa]、容器 B に温度 T_0 、圧力 $2P_0$ の单原子分子理想気体を入れてコックを閉じ、恒温槽に入れた。容器内の温度調整は恒温槽で行い、コックおよび細管は断熱材で覆われている。以下の問い合わせに答えよ。

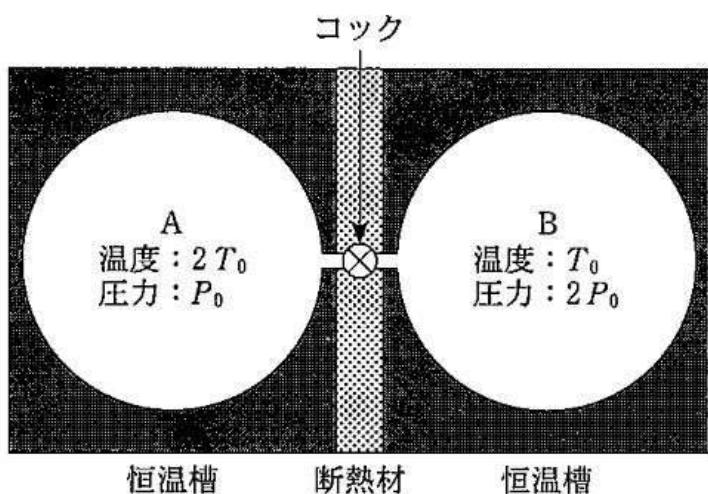


図 1

- (1) 容器 A 内の気体の物質量 n_{1A} [mol]と容器 B 内の気体の物質量 n_{1B} [mol]の比 n_{1A}/n_{1B} を求めよ。

容器 A の温度を T_0 に下げ、両方の容器の温度を T_0 に保った。この状態でコックを開くと容器内の圧力が P_1 [Pa] となった。

- (2) P_1 を P_0 を用いて表せ。
(3) 気体の内部エネルギー U_1 [J]を P_0 , V を用いて表せ。

次に、コックを開いたまま容器Aの温度を $2T_0$ とすると、容器内の圧力が P_2 [Pa]となった。

- (4) P_2 を P_0 を用いて表せ。
- (5) 容器A内の気体の物質量 n_{2A} [mol]と容器B内の気体の物質量 n_{2B} [mol]の比 n_{2A}/n_{2B} を求めよ。
- (6) 容器Aの温度を $2T_0$ とする操作において、気体が吸収した熱量 Q [J]を P_0 , V を用いて表せ。

問2 図2のように、容器Aに温度 $2T_0$ 、圧力 P_0 、容器Bに温度 T_0 、圧力 $2P_0$ の単原子分子理想気体を入れてコックを閉じ、断熱材で覆った。この状態からコックを開くと容器内の圧力が P' [Pa]、温度が T' [K]となった。以下の問いに答えよ。

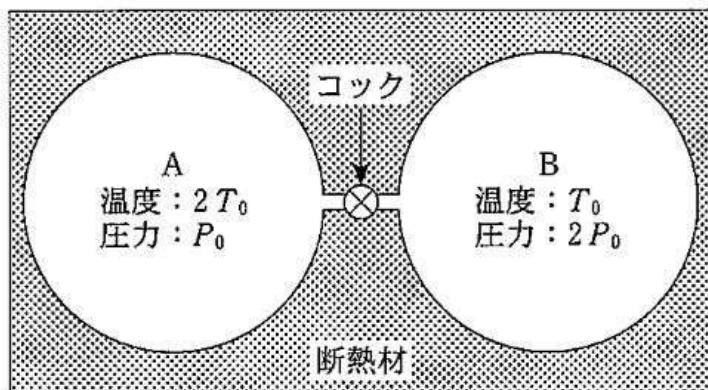


図2

- (1) この操作において、コックを開く前後で、気体の内部エネルギーは変化しない。この理由を熱力学第1法則を用いて説明せよ。
- (2) P' を P_0 を用いて表せ。
- (3) T' を T_0 を用いて表せ。

- 4 磁束密度 B [T] の一様な鉛直上向きの磁場の中に、水平面から角度 θ だけ傾けて、2本の十分に長い直線状の導線を間隔 l [m]だけ離して平行に置き、レールとする。レールには抵抗値 R [Ω] の抵抗がつながれており、スイッチ S により、電池を回路に含めるか含めないかを切り替えることができる。このレール上に質量 m [kg] の導体棒を置く。導体棒はレールに対して常に垂直であり、レールに接触しながらなめらかに動くことができる。重力加速度の大きさを g [m/s²] として以下の問い合わせに答えよ。

ただし、導体棒やレールの抵抗と太さ、および、電池の内部抵抗は無視できるものとする。また、導体棒とレールは変形しないものとし、導体棒の運動には空気抵抗の影響はないものとする。

【共通問題】 問1はすべての受験生が解答すること。

問1 まず、スイッチを電池につないだところ、導体棒に大きさ I_1 [A] の電流が流れた(図1)。この状態でレールと水平面のなす角 θ を $0^\circ < \theta < 90^\circ$ の範囲で変化させたところ、ある角度のときに、導体棒が静止した。

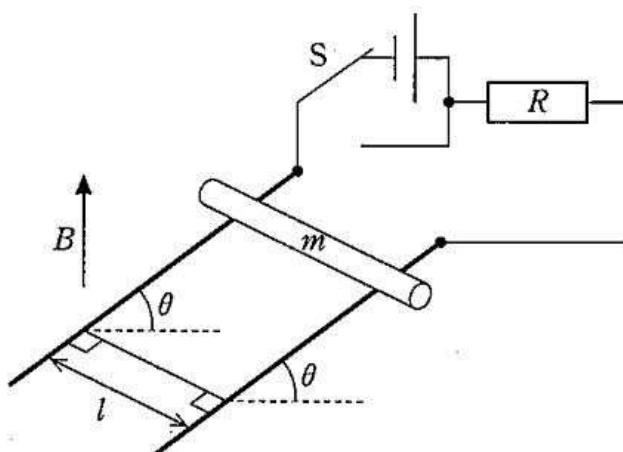


図1

- (1) このとき、導体棒が磁場から受ける力の大きさ $F[\text{N}]$ を求めよ。
- (2) (1)の力を含めて、導体棒に働くすべての力を解答用紙の図に矢印で描き込み、それらの力がどのような力か説明せよ。解答用紙上では、電流 I_1 は、導体棒中を紙面に垂直に手前から奥に向かって流れている。
- (3) 導体棒が静止したとき、 $\theta = 30^\circ$ であった。このときの電流の大きさが $I_1 = \frac{mg}{\sqrt{3} Bl}$ となることを示せ。
- (4) 抵抗値だけを 2 倍にしたときの導体棒の状態の変化を次から一つ選び、その理由を説明せよ。

ア. 下降する

イ. 上昇する

ウ. 変わらない

【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 次に、レールと水平面のなす角を 30° に固定して、電池を回路に含めないように、スイッチを切り替えた(図2)。導体棒を下降させてしばらくすると、導体棒は、レールに平行に一定の速さ v [m/s]で下降した。

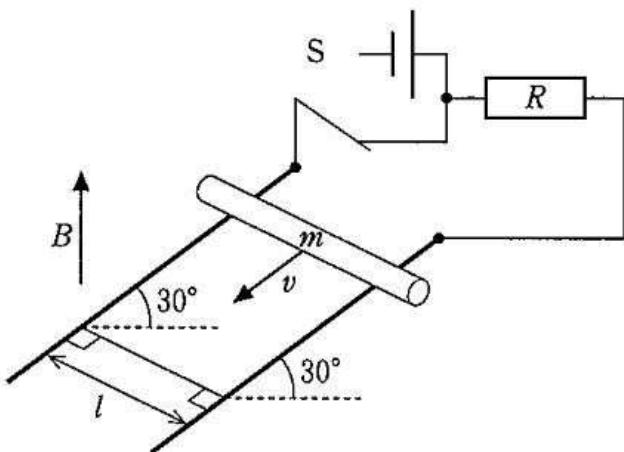


図2

- (1) 時間 Δt [s]の間に回路を貫く磁束の増加分 $\Delta\Phi$ [Wb]を求めよ。
- (2) 回路に生じる誘導起電力の大きさ V [V]を求めよ。
- (3) 導体棒が一定の速さで下降するためには、導体棒に働く重力が導体棒に常に仕事をする必要がある。時間 Δt の間に重力が導体棒にした仕事 ΔW [J]を求めよ。
- (4) Δt の間に抵抗で発生するジュール熱 ΔQ [J]と ΔW との間に成り立つ関係式を示せ。さらに、その関係式が成り立つ理由を簡潔に説明せよ。
- (5) 抵抗を流れる電流の大きさを I_2 [A]とする。 (4) の関係式に (2) と (3) の結果を用いて、 I_2 が、問1の (3) の I_1 と等しくなることを示せ。
- (6) I_1 と I_2 が等しくなる理由を簡潔に説明せよ。