

令和 2 年度 入 試
個別学力試験問題(前期日程)

物 理

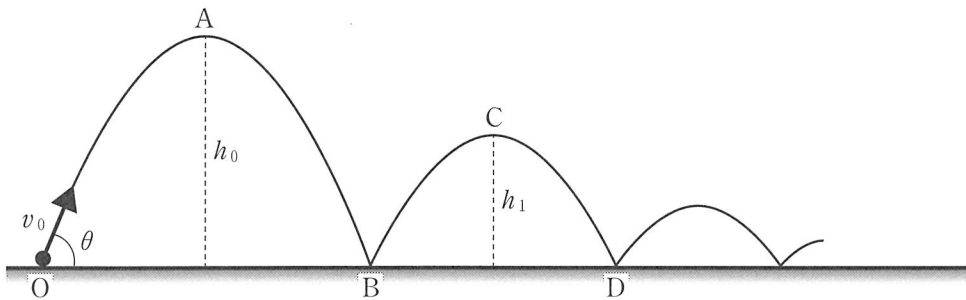
学部・学科	問 題
総合理工学部 (物理・マテリアル工学科)	1, 2, 3, 4
総合理工学部 (物理・マテリアル工学科を除く) 生物資源科学部	1 問 1, 2, 3 問 1, 4

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 7 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 6 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 4 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 問 1, 4 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

下図に示すように、なめらかな床上の点 O から質量 m [kg] の小球を初速度の大きさ v_0 [m/s] で床となす角 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) の方向に投射した。小球は最高点 A に達した後、点 B で床に衝突してはね上がり、衝突後の最高点 C に達した。その後、点 D で再度床に衝突した。小球と床の間の反発係数 (はね返り係数) を e ($0 < e < 1$)、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。空気抵抗は無視できるとして以下の問いに答えよ。



【共通問題】 問 1 はすべての受験生が解答すること。

問 1 小球の運動に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 小球が最初に到達する最高点 A の床からの高さ h_0 [m] および 1 回目の衝突が起こるまでの水平移動距離 (OB 間の距離) l_0 [m] を求めよ。
- (2) 小球が点 B に衝突した直後の、速度の水平成分と鉛直成分を求めよ。
- (3) 1 回目の衝突後の最高点 C の床からの高さ h_1 [m] を e と h_0 を用いて表せ。
- (4) 1 回目の衝突が起こってから 2 回目の衝突が起こるまでの水平移動距離 (BD 間の距離) l_1 [m] を e と l_0 を用いて表せ。
その後、小球は床との衝突を繰り返した。
- (5) 衝突が N 回起こった後の最高点の床からの高さ h_N [m] を e と h_0 を用いて表せ。
- (6) N 回目の衝突が起こってから $(N + 1)$ 回目の衝突が起こるまでの水平移動距離 l_N [m] を e と l_0 を用いて表せ。
- (7) 小球の運動は十分な時間が経過した後になくなるか、理由をつけて説明せよ。

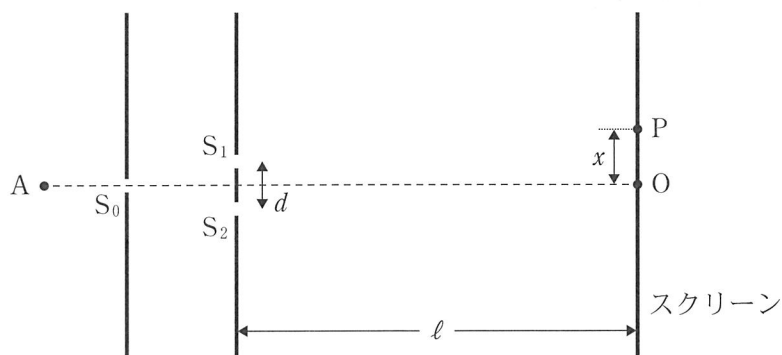
【選択問題】 問2は総合理工学部 物理・マテリアル工学科の受験生が解答すること。

問2 小球の力学的エネルギーに関する以下の問いに答えよ。解答は m , e , g , N , h_0 の中から必要なものを用いて表せ。

- (1) 小球を投射してから衝突が N 回起こった後、小球が失った力学的エネルギーを求めよ。
- (2) 小球を投射してから十分に時間が経過した後に、小球が失った力学的エネルギーを求めよ。

【共通問題】 この問題はすべての受験生が解答すること。

- 2 図のように、点Aの位置に光源を置き、波長 λ [m]の単色光を単スリット S_0 、複スリット S_1, S_2 に通すと、スクリーン上に明暗の縞が観測される。 S_1 と S_2 の間隔は d [m]であり、 S_1 と S_2 は単スリット S_0 から等距離にある。また、複スリットを含む面とスクリーンの面は平行であり、両者の距離は ℓ [m]である。 S_0 と S_1, S_2 の中点を結ぶ直線とスクリーンの交点をOとして、ヤングの実験に関する以下の問いに答えよ。



- (1) スクリーン上の点Oから x [m]だけ離れた点Pにおいて、経路差 $|S_2P - S_1P|$ は、 xd/ℓ と近似できることを示せ。説明には必ず図と式を用いよ。ただし、 x, d は ℓ に比べて十分小さく、 $|t| \ll 1$ のとき、 $(1+t)^{\frac{1}{2}} \doteq 1 + \frac{1}{2}t$ を用いてよい。
- (2) 点Pにおいて、点Oから $(m+1)$ 番目($m=0, 1, 2, \dots$)の暗線が観測された。このとき、 x が満足する条件式を求めよ。
- (3) 隣り合う暗線の間隔を求めよ。
- (4) 単スリット S_0 は、ヤングの実験においてどのような役割があるか説明せよ。
- (5) 赤色単色光と青色単色光を光源とした場合、暗線の間隔はどちらが大きいか答えよ。その理由も説明せよ。
- (6) 未知の媒質の屈折率をヤングの実験で決定するには、どのような方法が考えられるか答えよ。

- 3 円筒型の容器(容積 $2V$)になめらかに動くピストンを入れ、その両側にそれぞれ 1 mol の単原子分子の理想気体を封入する。初めに左右の気体の体積と圧力はともに V および p であった(状態 A)。容器およびピストンは断熱材でできており、容器の両端面には左右の気体の温度を自由に制御できる温度調節器がそれぞれ備えられている。ただし、ピストンと温度調節器の体積は無視できるとしてよい。次ページの図を参考にして以下の問いに答えよ。なお、問 1 (1), (2), (3), 問 2 (1)の最終的な解答に用いてよい記号は p , V , および気体定数 R のみとする。

【共通問題】 問 1 はすべての受験生が解答すること。

問 1

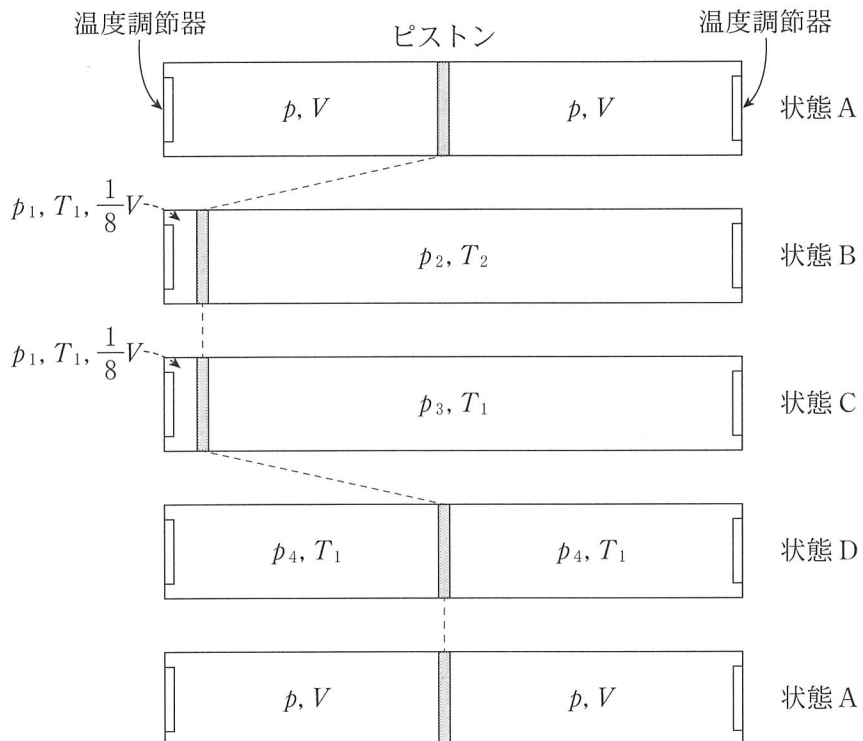
- (1) 右の温度調節器を使用して右の気体のみに熱を与えたところ、左の気体の体積が $\frac{1}{8}V$ になってピストンが静止した(状態 B)。このときの左の気体の圧力 p_1 と温度 T_1 、および右の気体の圧力 p_2 と温度 T_2 を求めよ。ただし、断熱過程においては関係式 $(\text{圧力}) \times (\text{体積})^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ が成り立つことを用いよ。
- (2) 次に一時的にピストンを動かないように固定してから右の温度調節器のみを使用し、右の気体の温度を左の気体の温度と等しくした(状態 C)。このときの右の気体の圧力 p_3 を求めよ。
- (3) 次にピストンの固定を解除すると同時に、左右の温度調節器を使用して両方の気体の温度が変わらないように制御しつつ、ピストンが十分ゆっくりと動くように左向きの外力を加えながらピストンを初めの位置に戻した(状態 D)。このときの両方の気体の圧力 p_4 を求めよ。
- (4) 過程 C→D における左右それぞれの気体の圧力と体積の変化の概形をグラフに描け。ただし左の気体の変化を実線、右の気体の変化を点線で描き、変化の方向を矢印で示せ。また、そのグラフを用いて、過程 C→D において左右の気体がされた仕事 W_1 , W_2 の総量 $W = W_1 + W_2$ が正、負、ゼロのいずれであるかを簡潔に説明せよ。

【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。

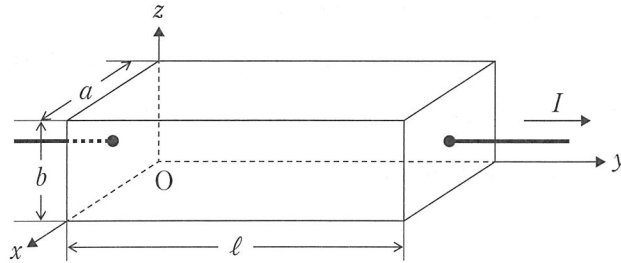
問2

最後に左右の温度調節器を使用して両方の気体の温度を等しくしたまま、状態Aまで戻した。

- (1) 過程A→B, B→C, D→Aにおいて気体が左右の温度調節器から得た熱の総量 Q_1, Q_2, Q_3 をそれぞれ求めよ。なお、気体が温度調節器に熱を与えた場合に Q_1, Q_2, Q_3 は負とする。
- (2) 気体がA→B→C→D→Aの1サイクルで初めの状態に戻る間に、気体が左右の温度調節器から得た熱の総量 Q は正、負、ゼロのいずれであるかを答え、その理由を簡潔に記せ。



- 4 辺の長さが a [m], b [m] の長方形の断面をもつ長さ l [m] の一様な直方体の導体に対して、図に示すように座標軸をとる。 l は a , b に比べ十分に大きいとする。導体の両端に、抵抗が無視できる導線をつなげ、大きさ I [A] の電流を、図の矢印の方向に流した。導体には電気量 $-e$ [C] ($e > 0$) をもつ自由電子が、数密度 n [個/m³] で分布しており、すべて同じ一定の速さで y 軸の負の方向に直進しているとする。



- 問 1 導体の y 方向の両端に電圧 V [V] が生じた。以下の問いに答えよ。
- (1) 導体の y 方向の両端の間の抵抗値 R [Ω] を求めよ。
 - (2) 導体の抵抗率 ρ [Ωm] を求めよ。
 - (3) 導体を 1 秒あたりに通過する自由電子の数 N [個] と電流 I の関係を示せ。
 - (4) (3) の関係を用いて、自由電子の速さ v [m/s] を求めよ。
 - (5) 自由電子が導体内で電場(電界)から受ける力の大きさ F [N] を求めよ。
 - (6) 1 個の自由電子が導体内部を移動中に、電場がおよぼす力の仕事率 p [W] を求めよ。
 - (7) この導体で発生するジュール熱 P [W] が、 $P = VI$ で表されることを示せ。

問 2 この導体に、磁束密度 B [T] の一様な磁場 (磁界) を z 軸の正の向きにかけた。以下の問いに答えよ。

- (1) 自由電子が受けるローレンツ力の方向と大きさを求めよ。
- (2) ローレンツ力によって自由電子の分布に偏りが生じ、これによって導体の平行な 2 面の間には大きさ E [V/m] の電場が発生する。十分に時間が経過した後に、電子が受ける力の中に成り立つ関係を式で表せ。ただし、重力は無視できるとする。
- (3) $x = 0$ の面を基準とした $x = a$ の面の電位 V_H [V] を I , B , b , n , e を使って示せ。