

2019 年度大学入試センター試験 解説 〈物理〉

第 1 問 小問集合

- 問 1 ①…誤 運動エネルギーはベクトルではない。運動量は大きさと向きをもつベクトルである。
- ②…正 二つの小球の衝突で運動量の和は保存する。また、力学的エネルギーは弾性衝突では保存するが、非弾性衝突では保存しない。
- ③…誤 物体が受けた力積は運動量の変化に等しい。
- ④…誤 等速円運動では常に速度の向きが変化している。速度ベクトルと質量の積で求められる運動量は、等速円運動では大きさは一定であるが、向きが常に変化する。

(答) …②

- 問 2 $x = d$ の位置の点電荷が $x = 2d$ の位置につくる電場を、 x 軸正の向きを正として E_q とすると、クーロンの法則の比例定数を k として、

$$E_q = k \frac{q}{(2d - d)^2} = k \frac{q}{d^2}$$

同様に、原点 O の点電荷が $x = 2d$ の位置につくる電場を E_Q とすると、

$$E_Q = k \frac{Q}{(2d)^2} = k \frac{Q}{4d^2}$$

$x = 2d$ の位置での電場の大きさが 0 なので、

$$E_q + E_Q = 0$$

よって、

$$k \frac{q}{d^2} + k \frac{Q}{4d^2} = 0 \quad \text{ゆえに、} Q = -4q$$

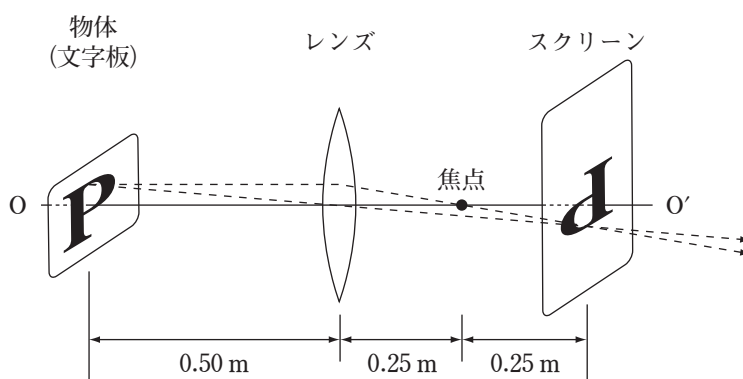
(答) …⑥

問3 ア 物体とスクリーンの距離が 1.0m, 像の倍率が 1.0 なので, レンズと物体の距離とレンズとスクリーンの距離は等しく 0.50m となる。レンズの焦点距離を f とすると, レンズの式より,

$$\frac{1}{0.50[\text{m}]} + \frac{1}{0.50[\text{m}]} = \frac{1}{f} \quad \text{ゆえに, } f = \underline{0.25[\text{m}]}$$

イ スクリーンには実像が生じているので, 上下にも左右にも反転した(A)の像になる。

(答) …①



問4 シリンダー内の理想気体の圧力を p とすると, ピストンにはたらく力のつりあいより,

$$pS = p_0S + mg \quad \text{ゆえに, } p = \frac{p_0S + mg}{S}$$

また, 理想気体の状態方程式より,

$$pSh = nRT$$

p を代入して,

$$\frac{p_0S + mg}{S} \cdot Sh = nRT \quad \text{ゆえに, } h = \frac{nRT}{p_0S + mg}$$

(答) …⑤

問5 ばねの単振動の周期は, ばね定数 k と小球の質量 m で決まるので,

$$T_a = T_b = T_c = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

となる。

(答) …④

第 2 問 電磁気

A

問 1 半導体 A から半導体 B へ電流が流れるので、半導体 A のキャリアはホール(正孔)、半導体 B のキャリアは電子とわかる。

(答) …③

問 2 点 a に対する点 b の電位が正のとき、電流は点 P を図 2 の矢印の向きに流れ、抵抗のみの経路にもダイオードのある経路にも電流が流れる。ダイオードの電圧降下が無視できるので、流れる電流の大きさは等しい。

一方、点 a に対する点 b の電位が負のとき、電流は点 P を図 2 の矢印と逆向きに流れ、ダイオードのある経路には電流が流れない。抵抗のみの経路に流れる電流は、点 a に対する点 b の電位が正のときと逆向きで大きさの最大値は変わらないので、点 P を流れる電流の大きさの最大値は $\frac{1}{2}$ 倍になる。

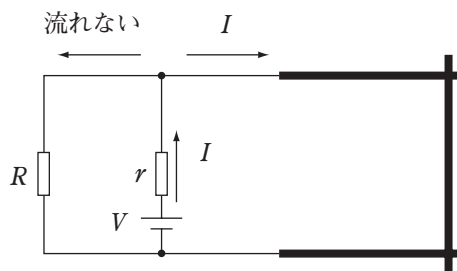
したがって、⑤のようなグラフになる。

(答) …⑤

B

問 3 スイッチ S を閉じると、次図のように電気抵抗が無視できる導体棒にのみ電流が流れ、抵抗値 R の抵抗には電流が流れない。したがって、導体棒を流れる電流の大きさを I とすると、

$$I = \frac{V}{r}$$



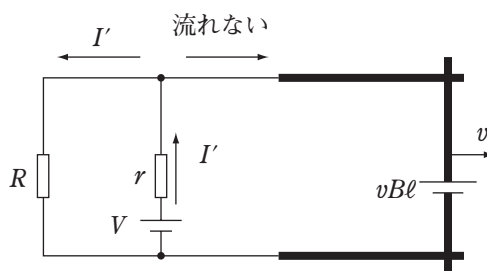
導体棒を流れる電流が磁場から受ける左向きの力と同じ大きさの力を右向きに加えると、導体棒は静止する。この力の大きさを F とすると、

$$F = IB\ell = \frac{VB\ell}{r}$$

(答) …②

問 4 導体棒が一定の速さになるのは、導体棒に電流が流れなくなって磁場から力がはたらかなくなる
 ときである。ただし、直流電源、抵抗値 r 、 R の抵抗による閉回路には電流が流れる。抵抗
 値 r 、 R に流れる電流の大きさを I' とすると、キルヒホッフの法則（第 2 法則）より、

$$V = rI' + RI' \quad \text{ゆえに、} \quad I' = \frac{V}{r + R}$$



直流電源、抵抗値 r の抵抗、導体棒による閉回路において、キルヒホッフの法則（第 2 法則）
 より、

$$V - vBl = rI'$$

I' を代入して、

$$V - vBl = \frac{rV}{r + R} \quad \text{ゆえに、} \quad v = \frac{VR}{Bl(r + R)}$$

(答) …⑤

第 3 問 波動

A

問 1 図 1 の線分 AE, BF はともに経路 1, 2 に対して垂直なので、点 A と点 E, 点 B と点 F は
 それぞれ同位相であり、経路 AB と経路 EF の光路長は等しい。したがって、

$$n_{AB} = EF \quad \text{ゆえに、} \quad n = \frac{EF}{AB}$$

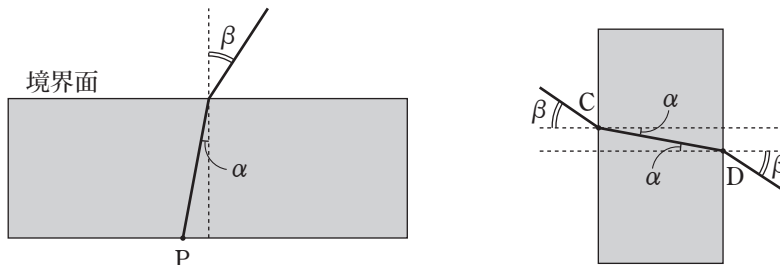
(答) …①

経路 1 と経路 2 の光路差は $n(BD + DF)$ である。 $1 < n < n'$ より、点 D, F での光の反射で
 はともに位相が π ずれるので、反射による位相のずれの効果は打ち消し合う。したがって、
 観測者に届く光が強め合うとき、

$$n(BD + DF) = m\lambda$$

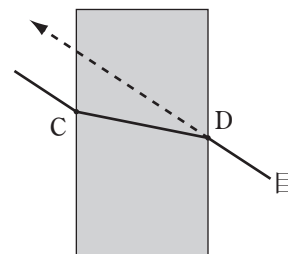
(答) …③

問2 ア 下図左のように、透明な板側の入射（屈折）角を α 、空気側の屈折（入射）角を β とすると、必ず $\alpha < \beta$ である。透明な壁の左右の境界面での屈折にこれを当てはめると、下図右のようになり、光は図3(b)の $C \rightarrow D$ の経路に沿って進むことがわかる。

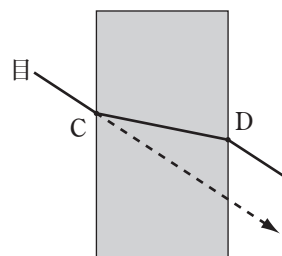


(答) …④

イ アより、光が $C \rightarrow D$ の経路に沿って進んで点 D で屈折し、弟の目に届く。弟からは、目から点 D に引いた線分の延長線上に姉がいるように見えるので、壁がないときと比べて上にずれて見える。



ウ 姉からは、目から点 C に引いた線分の延長線上に弟がいるように見えるので、壁がないときと比べて下にずれて見える。



(答) …②

B

問3 図5のグラフは、 $t = 0$ で x が最大となる周期 T の正弦曲線なので、位置 x と時間 t の関係を表す式は、

$$x = a \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = \underline{a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \frac{\pi}{2}\right)}$$

(答) …④

問4 ドップラー効果において、観測者が観測する音が最も高くなる（振動数が大きくなる）のは、観測者に対して近づく速さが最大のときである。単振動では振動の中心で速さが最大なので、点 P 、 R のいずれかである。点 P 、 R のうち、観測者に近づく向き（ x 軸正の向き）に運動しているのは、図5のグラフの傾きが正となる点 R である。

(答) …③

第4問 力学

A

問1 図1より、電車は水平左向きに加速度で運動するので、おもりの質量を m とすると、電車内の少年から見て、おもりに水平右向きに大きさ ma の慣性力がはたらく。ひもの張力の大きさを T とすると、電車内の少年から見て鉛直方向と水平方向のおもりにはたらく力のつりあいより、

$$\text{水平方向} : 0 = ma - T \sin \theta \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{鉛直方向} : 0 = mg - T \cos \theta \quad \dots\dots (2)$$

(1), (2) より、

$$\frac{T \sin \theta}{T \cos \theta} = \frac{ma}{mg} \quad \text{ゆえに、} \tan \theta = \frac{a}{g}$$

(答) …③

問2 電車内の少年からは、鉛直下向きの重力と水平右向きの慣性力の合力である右斜め下向きの力が、みかけの重力となる。少年から見て静かにボールを放したので、みかけの重力の向きに等加速度直線運動を行い、ボールの軌道は⑤のようになる。

(答) …⑤

B

問3 点Pの高さを重力による位置エネルギーの基準として、角度 α での小球の重力による位置エネルギーを U とすると、

$$U = mg(-l \sin \alpha) = -mgl \sin \alpha$$

点Pで小球を静かに放したので、点Pでの小球の力学的エネルギーは0である。点Pと角度 α の位置での小球の力学的エネルギー保存則より、

$$0 = K + U \quad \text{ゆえに、} K = -U = mgl \sin \alpha$$

よって、⑥のようなグラフになる。

(答) …⑤

問4 $\beta = 90^\circ$ の点での小球の速さを v 、糸の張力の大きさを T とすると、この点での小球の円運動の運動方程式より、

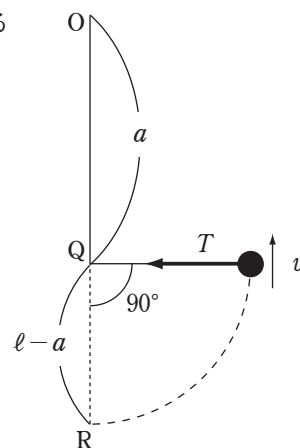
$$m \frac{v^2}{\ell - a} = T \quad \dots\dots (3)$$

また、点Pと $\beta = 90^\circ$ の点での小球の力学的エネルギー保存則より、

$$0 = \frac{1}{2} mv^2 + mg(-a) \quad \text{ゆえに、} v^2 = 2ga$$

これを(3)に代入して、 T を求めると、

$$T = \frac{2amg}{\ell - a}$$



(答) …⑥

第5問 熱力学

問1 気体の物質量を n 、状態 A, B での気体の絶対温度をそれぞれ T_A , T_B とすると、理想気体の状態方程式より、

$$\text{状態 A: } p_0 V_0 = nRT_A \quad \text{ゆえに, } T_A = \frac{p_0 V_0}{nR}$$

$$\text{状態 B: } 2p_0 V_0 = nRT_B \quad \text{ゆえに, } T_B = \frac{2p_0 V_0}{nR}$$

したがって、 $T_A < T_B$

ア 過程 A → B での気体が吸収した熱量を Q_{AB} 、定積モル比熱を C_V とすると、

$$Q_{AB} = nC_V(T_B - T_A) > 0$$

だから、気体は熱を外部から吸収している。

イ 過程 A → B での気体の内部エネルギーの変化量を ΔU_{AB} とすると、 $T_A < T_B$ なので、

$$\Delta U_{AB} > 0$$

だから、気体の内部エネルギーは増加する。

(答) 1 …①

問2 過程 A → B → C → D → A で気体が外部にした仕事の総和を W とすると、図1のグラフで囲まれた面積に等しいので、

$$W = (2p_0 - p_0)(3V_0 - V_0) = 2p_0 V_0$$

(答) 2 …②

問3 過程 A → B において、圧力 p と絶対温度 T の関係は、ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{pV_0}{T} = k \quad (k \text{ は定数}) \quad \text{ゆえに, } p = \frac{k}{V_0} T$$

圧力 p と絶対温度 T は比例するので、①, ②, ⑤, ⑥のいずれかである。

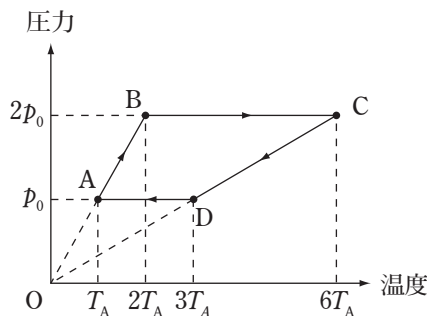
過程 B → C において、圧力 p は一定である。したがって、⑤, ⑥のいずれかである。

過程 C → D において、過程 A → B と同様に考えると、

$$\frac{3pV_0}{T} = k \quad \text{ゆえに, } p = \frac{k}{3V_0} T$$

圧力 p と絶対温度 T は比例し、過程 A → B より傾きが小さいグラフになる。したがって、⑥であるとわかる。

なお、過程 D → A において、圧力 p は一定である。⑥はこの条件を満たす。



(答) 3 …③

第 6 問 原子

問 1 ア 陽極を基準にした陰極での電子の静電気力による位置エネルギーを U とすると、

$$U = -e(-V) = eV$$

陽極と陰極での電子のエネルギー保存則より、

$$E = U = eV$$

イ 陽極から出る X 線のエネルギーが最大になるのは、電子の運動エネルギーがすべて X 線のエネルギーになるときなので、

$$h\nu_0 = E \quad \text{ゆえに、} \quad \nu_0 = \frac{E}{h}$$

(答) …①

問 2 ウ 特定の波長で強度がピークになる X 線を特性(固有)X 線という。

エ 原子内の電子がエネルギー準位 E_1 からより低いエネルギー準位 E_0 に遷移するとき、その差 $E_1 - E_0$ に等しいエネルギーの X 線が放出される。

(答) …②

問 3 オ 同じ加速電圧を用いて得られた X 線スペクトルは、最短波長が等しくなる。図 4 より、同じ加速電圧を用いたのは (B) と (C) である。

カ 同じ種類の陽極金属を用いて得られた X 線スペクトルは、特性 X 線の波長が等しくなる。図 4 より、同じ陽極金属を用いたのは (A) と (B) である。

(答) …③