

## 2021年度大学入学共通テスト 解説 〈物理〉

### 第1問 小問集合

問1 台車とともに運動する観測者から見れば、おもりには鉛直下向きの重力と、水平左向きの慣性力の合力で、左下向きに重力が作用しているように見える。この見かけの重力と糸による張力が釣り合い、おもりは静止する。また、水槽内の水にも同様に見かけの重力が働くため、次の解答となる。

(答)  …④

問2 ロープの張力の大きさを  $T$  とすれば、動滑車にロープから働く力は鉛直上向きに大きさ  $2T$ 、人にロープから働く力は鉛直上向きに大きさ  $T$  となる。人、荷物、板とそれとつながれた動滑車を一体とすれば、これに働く重力とロープから働く大きさ  $3T$  の力の釣り合いから

$$3T = (50 + 10 + 60) \cdot 9.8 \text{ N} \quad \therefore T = 3.9 \times 10^2 \text{ N}$$

作用反作用の法則より、ロープの張力の大きさは人がロープを引く力の大きさと等しいため、次の解答となる。

(答)  …⑤

問3 隣り合う極板間の電位差はすべて  $V$  であるため、一般的に隣り合う極板間隔を  $d$  とすれば、その極板間の電場の強さ  $E$  は、

$$E = \frac{V}{d}$$

極板間にある点電荷に働く静電気力の大きさが大きくなるのは電場が強いときであるため、 $d$  が最小となる極板間の点を選べばよい。よって点 B である。

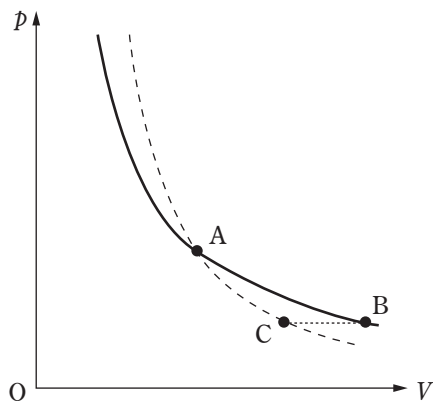
(答)  …②

問4 A さんが進む向き (右向き) に出された音波の波長は小さくなり、振動数が大きい音波となる。この音は直接 B さんに届く。一方、A さんが進む向きと逆向き (左向き) に出された音波の波長は大きくなり、振動数が小さい音波となる。この音は壁で反射され B さんに届く。これら 2 つの音波の振動数の差は A さんが速く歩くほど大きくなる。単位時間あたりのうなりの回数は同時に聞く 2 つの音波の振動数の差に等しいため、A さんが速く歩くほどうなりの回数は多くなる。

(答)  …①

問5 熱力学第 1 法則より、断熱膨張においては外部に仕事をする分、内部エネルギーが減少する。したがって、温度が下がり、同じ状態 (下図に示す状態 A) から始まる等温膨張より低圧となる。

よって図6(次図)の実線は等温変化、破線は断熱変化である。ピストンが静止した状態ではピストンに働く力のつり合いより、等温変化でも断熱変化でも気体の圧力は等しいため、これらはそれぞれ次図のB、Cのようにとることができる。状態Bの方がCより体積が大きいため  $L_{等温} > L_{断熱}$  である。



(答)  …②

## 第2問 電磁気

### A 抵抗とコンデンサーの回路

問1 設問に「コンデンサーの両端の電位差は0 V」とあるため、回路の電位状態においては、コンデンサーは導線と振る舞いが等しい。

(答)  …③

この等価回路の対称性より、すべての抵抗の両端の電圧は等しい。直流電源の電圧は6.0 Vであるため、各抵抗の両端の電圧は3.0 Vである。点Qを流れる電流は10 Ωの抵抗を流れる電流だから、

$$\frac{3.0 \text{ V}}{10 \Omega} = 0.30 \text{ A} = 3.0 \times 10^{-1} \text{ A}$$

(答)  …③

(答)  …④

(答)  …①

問2 設問に「コンデンサーに流れ込む電流は0」とあるため、回路の電位状態においては、コンデンサーは断線しているのと振る舞いが等しい。さらに、抵抗値の対称性を考慮すればすべての抵抗に流れる電流は等しいことがわかる。よって、点Pを流れる電流を  $I$  とおくと、1つの抵抗を流れる電流は  $\frac{I}{2}$  であり、10 Ωの抵抗、20 Ωの抵抗、直流電源を通る1つの閉回路におけるキルヒホッフの第2法則より、

$$10 \Omega \cdot \frac{I}{2} + 20 \Omega \cdot \frac{I}{2} = 6.0 \text{ V} \quad \therefore I = 0.40 \text{ A}$$

 (答)  …④

このとき  $10 \Omega$  の抵抗における電圧降下は  $10 \Omega \cdot \frac{I}{2} = 2.0 \text{ V}$ 、 $20 \Omega$  の抵抗における電圧降下は  $4.0 \text{ V}$  だから、コンデンサーの両端の電圧はこれらの差として  $2.0 \text{ V}$  である。コンデンサーの電気容量は  $0.10 \text{ F}$  だから、蓄えられた電気量  $Q$  は、

$$Q = 0.10 \text{ F} \cdot 2 \text{ V} = 0.20 \text{ C}$$

 (答)  …②

**問3** 設問に「点 P を流れる電流はスイッチを入れた直後の値を保持した」とあるため、回路は定常状態にあり、すべての抵抗とコンデンサーの両端の電圧は変化しないことがわかる。したがって、コンデンサーの電圧は 0 から変化せず、コンデンサーを流れる電流は 0 のままである。この状態においてキルヒホッフの法則を考えれば可変抵抗の抵抗値  $R$  は  $40 \Omega = 4.0 \times 10^1 \Omega$  であることがわかる (ホイートストンブリッジ回路)。

 (答)  …④

 (答)  …①

 (答)  …①

## B 一様磁場中の導体棒の運動による電磁誘導

**問4** 導体棒の単位長さあたりの抵抗値が  $r$  であるため、導体棒 a, b と 2 本の金属レールからなる閉回路全体の抵抗値は  $2rd$  である。導体棒 a が速さ  $v_0$  で動き出した直後、導体棒 a と 2 本のレールとの 2 接点の間に生じる誘導起電力は導体棒 a に沿って大きさ  $Bdv_0$  である。このとき、レンツの法則より、導体棒 a に流れる誘導電流は図の P の矢印の向きであり、キルヒホッフの第 2 法則より、その大きさは  $\frac{Bdv_0}{2rd} = \frac{Bv_0}{2r}$  である。

 (答)  …②

**問5** 導体棒 a が動き始めた後のある瞬間において、閉回路に流れる電流の大きさを  $I$  とすれば、導体棒 a, b が磁場から受ける力の大きさは  $dIB$  となり、向きはそれぞれ左向き, 右向きとなる。

 (答)  …③

**問6** 各導体棒の受ける力は磁場から受ける力のみである。すべての解答選択肢において各導体棒の速度はそれぞれ一定の値に近づいている。十分に時間が経過し、各導体棒の速度が一定に達したとき、各導体棒における運動方程式より、各導体棒が磁場から受ける力は 0 である。各導体棒が磁場から受ける力 ( $dIB$ ) が 0 であるならば、各導体棒を流れる電流は 0 である。閉回路に電流が流れていないならば、キルヒホッフの第 2 法則より、各導体棒に沿って生じる誘導起電力 ( $Bdv$ ) は等しい。よって、十分に時間が経過したときの導体棒 a, b の速度は等しい。こ

の速度を、右向きを正として  $v_1$  とする。問 5 より、導体棒 a, b が磁場から受ける力は常に同じ大きさで逆向きであるから、それらの力積の和は 0 であり、2 本の導体棒の運動量の和は常に一定となる。このことから、導体棒 a が動き始めたときと、十分に時間が経過したときの運動量を比較して、

$$2mv_1 = mv_0 \quad \therefore v_1 = \frac{v_0}{2}$$

よって 2 つの導体棒の速度は  $\frac{v_0}{2}$  に近づく。

(答) 17 …③

### 第 3 問 波動・原子

#### A ダイヤモンドのブリリアントカットの輝き

問 1 物質中での光速は物質によって異なる。しかし、光速が異なる物質への入射前後でも振動数は変化しない。よって波長は変化する ( $V = f\lambda$ )。設問に「ダイヤモンドでは波長の短い光ほど屈折率が大きくなる」とあり、屈折率が大きいほど、光は大きく曲がるため、DE 面での屈折を考えれば、波長が短い経路は (i) の経路であることがわかる。

(答) 18 …①

問 2 DE 面での屈折において屈折の法則を用いれば、

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

AC 面において臨界角  $\theta_c$  で入射した場合、屈折角は  $90^\circ$  となるから、

$$n \sin \theta_c = 1 \cdot \sin 90^\circ \quad \therefore \sin \theta_c = \frac{1}{n}$$

(答) 19 …②

問 3 図 4 を見て、定性的にもわかることだが、図 5 (a) にもあるとおり、 $i$  が大きくなるほど  $\theta_{AC}$  は小さくなる。 $i = i_c$  のとき AC 面への入射角  $\theta_{AC}$  は臨界角  $\theta_c$  となる。 $0^\circ < i < i_c$  のとき、 $\theta_{AC}$  は臨界角より大きいため、AC 面で全反射が起こる。 $i_c < i < 90^\circ$  ならば、 $\theta_{AC}$  は臨界角より小さいため、AC 面では全反射が起こらず、部分反射し、残りは屈折してダイヤモンドの外に透過していく。図 (b) より、ガラスでは  $0^\circ < i' < 90^\circ$  の全範囲で AC 面への入射角  $\theta'_{AC}$  は臨界角  $\theta_c$  より小さいため、AC 面では全反射が起こらず、部分反射し、残りは屈折してガラスの外に透過していく。

(答) 20 …④

問 2 のオより、臨界角が小さいのは屈折率が大きい物質であり、臨界角が小さいのは図 5 よりダイヤモンドであることがわかる。前述のとおり AC 面で部分反射するガラスより、AC 面および BC 面で全反射しうるダイヤモンドの方が観察者のいる上方へ進む光が多い。

(答) 21 …①

## B 原子

問4 フィラメントから放出されてプレートへ達するまでの過程における電子の力学的エネルギー保存則より、水銀原子と衝突せずにプレートに達した電子の運動エネルギーは  $eV$  である。

(答) 22 …②

問5 作用反作用の法則より、過程 (a), (b) のいずれの場合でも衝突において電子と水銀原子の間で及ぼしあう力積は同じ大きさで逆向きとなり、運動量は保存する。力学における弾性衝突、非弾性衝突と同様に、運動エネルギーを失わない、失うに関わらずこれは成立する。

(答) 23 …①

問6 過程 (a) においては、水銀原子は励起されず(水銀原子内部にエネルギーを蓄えることはなく)、過程 (b) では水銀原子が励起される。設問には「状態 B の水銀原子は、やがてエネルギーの低い状態 A に戻り、そのとき紫外線を放出する」とある。これは過程 (b) で水銀原子が内部にエネルギーを蓄えたことを示す。よって水銀原子が励起されない過程 (a) では電子と水銀原子の運動エネルギーの和は変化せず、過程 (b) では水銀原子の励起に必要なエネルギーだけ電子と水銀原子の運動エネルギーの和は減少する。

(答) 24 …⑥

## 第4問 力学

問1 投げ出されたボールの速度の水平成分は変化しない。一方、投げた A さんより受け取った B さんの方が低い位置にいる場合、ボールの速度の鉛直成分の大きさは A さんが投げた直後より B さんが受け取る直前の方が大きい。ゆえに、 $v_A < v_B$  であり  $\theta_A < \theta_B$  である。計算すれば以下の通り。

$$v_A \cos \theta_A = v_B \cos \theta_B \quad \dots \textcircled{1}$$

$$v_A \sin \theta_A < v_B \sin \theta_B \quad \dots \textcircled{2}$$

①式の両辺を2乗したものと②式の両辺を2乗したものを足し合わせて、

$$v_A^2 < v_B^2 \quad \therefore v_A < v_B$$

②式の両辺を①式の両辺でそれぞれ割って、

$$\tan \theta_A < \tan \theta_B \quad \therefore \theta_A < \theta_B$$

(答) 25 …④

問2 B さんがボールを受け取る前後において、ボールと B さんとそりからなる物体系において、水平方向の外力は働かないため、この系において水平方向の運動量保存則が成立し、

$$(m + M)V = mv_B \cos \theta_B \quad \therefore V = \frac{mv_B \cos \theta_B}{m + M}$$

(答) 26 …③

問3 設問における表現「全力的エネルギー」を「ボールとBさんとそりからなる物体系の運動エネルギー」であるとすれば、

$$E_2 = \frac{1}{2}(m+M)V^2 = \frac{m^2 v_B^2 \cos^2 \theta_B}{2(m+M)}, \quad E_1 = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$\therefore \Delta E = E_2 - E_1 = -\frac{1}{2} m v_B^2 \frac{m(1 - \cos^2 \theta_B) + M}{m+M}$$

よって  $\Delta E$  は負の値である。

捕球時の衝撃は短い時間で拡散して、より乱雑な細かい振動、すなわちそれらを構成する分子の熱振動に変換されたり、周囲の空気分子の振動、すなわち音などに変換されたりする。

(答) 27 …①

問4 設問に「そり上面とボールの間には摩擦力ははたらかない」とあるため、衝突時にボールとそりの間における水平方向の力積の及ぼし合いがない。また、会話文にあるように、衝突前後でそりが動かなかったことからしても、ボールからそりにはたらいた力の水平方向の成分がゼロであったことがわかる。また、この衝突が弾性衝突であるか非弾性衝突であるかはボールとそりの材質によって決定する。弾性衝突か非弾性衝突かを決定する跳ね返り係数(反発係数)は、結果としては衝突前後のボールの鉛直方向の速さの比によって定まる。よって、衝突前後のボールの鉛直方向の運動によっては弾性衝突とは限らない。

(答) 28 …④