

2022年度大学入学共通テスト 解説 〈物理〉

第1問 小問集合

問1 点 S_1 , S_2 にある2つの波源は逆位相で振動しているのて、点 S_1 からの距離 l_1 と S_2 からの距離 l_2 の差が半波長の奇数倍となる位置で強め合いが起こる。すなわち、点 P では、

$$|l_1 - l_2| = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

が成り立つ。

(答) …②

問2 凸レンズを通してスクリーンに結像した像は上下左右が反転した倒立実像となる。観測者が見る向きに注意すれば、スクリーンに映った像を正しく表している図は解答選択肢③となる。

(答) …③

板で凸レンズの半分を隠したとしても、光源のどの位置から出る光も、レンズを通ることができた光はスクリーンに到達する。板で凸レンズの半分を隠したことによって光の強度は半減する。よって、「像の全体が暗くなった。」が正解となる。

(答) …③

問3 直線 PO が鉛直線 PC となす角を θ とする。質量 M 円板に働く大きさ Mg の重力は点 O の位置に、糸から働く大きさ mg の張力は点 Q の位置に働く。点 C のまわりの力のモーメントのつり合いを考えると、

$$Mgx \cos \theta = mg(d - x) \cos \theta$$

が成り立つ。これを解いて次式を得る。

$$x = \frac{m}{M + m} d$$

(答) …②

問4 熱力学第1法則より、断熱膨張である過程 $B \rightarrow C$ では、気体が外部に仕事をするにあたって、内部エネルギーはその分だけ減少している。したがって $U_B > U_C$ である。理想気体の状態方程式より、状態 B や C に比して A の温度は低いため $U_A < U_C < U_B$ である。

(答) …②

問5 導線1の電流が導線2の位置につくる磁場の向きは、右ねじの法則より(c)であり、この磁場から導線2を流れる電流が受ける力の向きは、フレミングの左手の法則より、(d)である。導線1の電流が導線2の位置につくる磁場の大きさ H は、

$$H = \frac{I_1}{2\pi r}$$

と表せる。磁場の大きさ H と磁束密度の大きさ B の間には

$$B = \mu_0 H$$

の関係があることと、導線 2 の長さ l の部分に働く力 F は

$$F = I_2 B l$$

と表せることから、

$$F = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi r} l$$

となる。

(答) …⑦

第2問 力学

力学台車の等加速度運動と等速度運動

問1 Aさんの立てた仮説は、定数 $c (> 0)$ を用いて

$$v = c \frac{F}{m}$$

と表される。 v を F の関数とみれば、比例定数が $\frac{c}{m}$ の比例関係であるから、 $v-F$ グラフは m が大きいほど傾きが緩やかな直線のグラフとなる。 v を m の関数とみれば、比例定数が cF の反比例関係であるから、 $v-m$ グラフは F が大きいほど右上に位置するグラフとなる。これらを考慮して正しい解答を選べば、次の解答となる。

(答) …④

問2 作用・反作用の法則より、台車がばねばかりを引く力はばねばかりが台車を引く力に等しい。ばねばかりが台車を引く力を一定にするには、台車がばねばかりを引く力を一定にする必要がある。ばねばかりの目盛りは台車がばねばかりを引く力を表しているのだから、ばねばかりの目盛りが常に一定になるようにすればよい。なお、解答選択肢③「力学台車の速さが一定になる」は仮説の結論を用いてしまっているため不適切である。

(答) …①

【実験1】では、力の大きさと速さの関係と、質量と速さの関係のうち、前者を検証するための実験であるから、実験に用いる力学台車とおもりの質量の和が同じ条件で比較する必要がある。

(答) …②

問3 Aさんの仮説においては、質量が大きいほど速さは小さく、質量が2倍になれば速さは $\frac{1}{2}$ となる。よって、いずれの解答選択肢の内容であっても、実験結果から読み取ればAさんの仮説が反証できることになる。

図2の実験結果では、質量と速さの関係は時刻 t によって変わっており、解答選択肢①、②は誤りであることがわかる。また、少なくとも質量によって $v-t$ グラフの傾きが異なることは明らかであり、解答選択肢③は誤りであることがわかる。解答選択肢④は図2から読み取れることに一致している。

(答) 10 …④

問4 物体の受ける力積 I は、一定の力 F を時間 Δt の間及ぼされたとき、

$$I = F\Delta t$$

と表される。問題文でも述べられている通り、物体の運動量変化を Δp と書くと、

$$\Delta p = I$$

が成り立つから、これら2式より、

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$$

が成り立つ。 F は一定であるため、この式は $p-t$ グラフにおける傾きが F で一定であることを表している。これはニュートンの運動方程式である。

なお、 $p-t$ グラフにおける p 切片(時刻0における運動量の値)は、実験を開始したときの初期条件によって決まる値である。

(答) 11 …④

問5 小球発射前において、小球と台車は一体となって運動しており、その速度は V である。小球は台車から見て鉛直上向きに打ち上げられており、台車から見れば小球の速度の水平成分は0、すなわち台車の速度 V_1 と同じ水平成分を持つ。運動量保存の法則より、

$$(M_1 + m_1)V = MV_1 + m_1V_1 \quad \therefore V = V_1$$

(答) 12 …①

問6 台車とおもりからなる系を考えると、外力である台車に働く重力、おもりに働く重力、床が台車に及ぼす垂直抗力はすべて鉛直方向の力である。おもりと台車の間には垂直抗力以外に摩擦力が働いていると考えられるが、いずれにせよ、これらの力はこの系における内力である。したがって、運動量の鉛直成分は保存しないが、水平方向の運動量は保存し、

$$M_2V = (M_2 + m_2)V_2$$

が成り立つ。

衝突後に台車とおもりが一体となって運動していることから、衝突時には台車とおもりは非弾性衝突を起こし、台車とおもりからなる系は運動エネルギーを失っている。なお、運動エネルギーはスカラー量であり、成分分解して保存則を考えることはできない。

(答) 13 …③

第3問 電磁気学

磁石のコイル内通過における電磁誘導

問1 磁石を取り付けた台車がコイル内を通過する前後では、磁石による磁場がコイルの内部を貫く磁束を変化させる。これに伴ってコイルにはファラデーの電磁誘導の法則に基づく誘導起電力が生じる。台車が速いほどコイル内を貫く磁束の変化は大きくなるため、これを用いて台車の速さを求める問題かと思いきや、コイルの巻き数や磁石から生じる磁場の強さなどが与えられていないため、図2から読める誘導起電力の大きさから台車の速さを求めることはできない。それ以外に図2から読み取れるものは時間しかない。

台車が等速直線運動をすると仮定すれば、2つのコイルを通過した時刻の差から台車の速さを求めることができる。この時間は図2の2つの電圧パルスの時間間隔からおおよそ0.4 sと読める。またコイルの間隔は0.20 m と与えられているため、台車の速さは、

$$\frac{0.20\text{m}}{0.4\text{s}} = 0.50 \text{ m/s} = 5 \times 10^{-1} \text{ m/s}$$

(答) …⑤, …①

問2 コイルを流れる電流によってオシロスコープの内部抵抗ではジュール熱が生じる。このジュール熱の分だけ台車は力学的エネルギーを失う。したがって、コイルの巻きの向きや台車との位置関係によらず、通過前後では台車は減速する。よって、コイルは台車の速さを小さくする力を及ぼす。この力が小さい理由は、オシロスコープの内部抵抗が大きいので、 コイルを流れる電流が小さいからである。一般に空気抵抗は台車が速いほど大きい。また空気抵抗が台車の質量によらないとするならば、台車の質量が大きいほど空気抵抗による減速方向の加速度の大きさは小さい。すなわち、この実験では台車が遅く、さらに台車の質量が大きいので、空気抵抗の影響は小さいと考えられる。

(答) …②, …③, …①

問3 図3より条件の変更前に比べて変更後ではコイルに生じる誘導起電力の大きさが大きくなっている。原因としては台車の速さが大きくなっているか、磁石による磁場が強くなっているか、が考えうる。しかし、問1で述べた通り、台車の速さが異なれば電圧パルスの時間間隔が異なるはずであり、選択肢の①と②は不適となる。磁石による磁場を強くするためには磁石を並列に接続すればよいため正答は次の通り（直列接続であると対向する間の磁極の生む磁場はおおよそ相殺するため、台車の前後に生む磁場にあまり変化はない）。

(答) …⑤

問4 図5と図6の相違は、はじめの電圧パルス（コイル1を通過する前後での誘導起電力）の向きが反転しているのみである。コイルの巻き数が異なればパルスのピークが異なるべきであり、オシロスコープのつなぎ方が逆であればすべてのパルスが逆向きでなければならない。したが

って正答は次の通り。

(答) …③

問5 傾斜のある板をすべり降りるにつれて台車は加速する。したがって、電圧パルスの時間の間隔は短くなり、ピークは大きくなる。したがって正答は次の通り。

(答) …④

第4問 原子物理

ボーアによる水素原子模型

問1 教科書に掲載があるような向心加速度の導出に関する基礎的な設問である。電子の円運動の

速さが v であれば角速度の定義より $\omega = \frac{v}{r}$ となる。向心加速度の大きさを a_c とすると、図2(b)に描かれた頂角 $\omega \Delta t$ の二等辺三角形の底辺(図では上辺)の長さは時間 Δt での電子の速度変化 $a_c \Delta t$ であり、この長さは円弧の長さ $v \omega \Delta t = \frac{v^2}{r} \Delta t$ にほぼ等しい。したがって向心加速度の大きさの表式は $a_c = \frac{v^2}{r}$ であると導ける。

(答) …⑥

問2 ニュートンの万有引力の法則とクーロンの法則より、電子と陽子の間の万有引力の大きさ F_G と静電気力の大きさ F_C は、

$$F_G = G \frac{Mm}{r^2}, \quad F_C = k_0 \frac{e^2}{r^2}$$

したがって、静電気力の大きさに対する万有引力の大きさの比は、与えられた物理定数を用いて、

$$\frac{F_G}{F_C} = \frac{GMm}{k_0 e^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \cdot 1.7 \times 10^{-27} \cdot 9.1 \times 10^{-31}}{9.0 \times 10^9 \cdot (1.6 \times 10^{-19})^2}$$

$$\doteq 10^{-\frac{40}{23}}$$

となる。

(答) …④

問3 水素原子における電子のエネルギー準位 E_n は、力学的エネルギーとして、

$$E_n = \frac{1}{2} mv^2 - k_0 \frac{e^2}{r}$$

と表される。ボーアの量子条件 $mvr = n \frac{h}{2\pi}$ より v を消去して与えられた電子の軌道半径 $r = \frac{h^2}{4\pi^2 k_0 m e^2} n^2$ を代入すれば、

$$\begin{aligned}
 E_n &= \frac{1}{2} m \left(\frac{h}{2\pi m r} n \right)^2 - k_0 \frac{e^2}{r} = \frac{h^2}{8\pi^2 m r^2} n^2 - k_0 \frac{e^2}{r} \\
 &= -2\pi^2 k_0^2 \times \frac{me^4}{\boxed{24}}
 \end{aligned}$$

 (答) …④

問4 ボーアの仮説より電子がより低いエネルギー準位に軌道を遷移する際に放出する光子は1個である。光子1個のエネルギーは $h\nu$ で表されるため、

$$h\nu = E - E' \quad \therefore \nu = \frac{E - E'}{h}$$

 (答) …②