

令和4年度(2022年度)大学入試共通テスト 物理 解説

理科 [物理] 60分, 100点

(解答番号 ~)

第1問 次の問い(問1~5)に答えよ。(配点 25)

問1 ② 難易度C

S_1 と S_2 の単振動が逆位相だから、 $|l_1 - l_2|$ が(波長の整数倍+半波長)のとき両者の波が強め合う。

問2 ③, ③ 難易度B

レンズによる結像は、上下左右を反転させる。ここでは、観測者がレンズ側にいることに注意する。スクリーンの後ろ側にいるときは、見え方は④となる。また、レンズの一部を覆っても、表れている領域がレンズ作用をもつので像は結ぶ。光量が少なくなるので、像の全体が暗くなる。この場合では、レンズの下半分が結像作用をもっている。

問3 ②, 難易度B

点Oは円板の重心で、重力 Mg が鉛直下方に働く。点Qで重力 mg が鉛直下方に働く。糸を延長した線と直線OQとが交わる点Cが円板と物体からなる系の重心である。Cを中心とした力のモーメントが等しいので、 $Mgx\sin\theta = mg(d-x)\sin\theta$ 、 θ はOQの水平からの傾き角。

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

問4 ②, 難易度B

A→Bは定積で圧力上昇だから気体の温度は上昇し $U_A < U_B$ 。B→Cは断熱膨張だから、温度は低下するので、 $U_C < U_B$ 。C→Aは定圧収縮だから温度は低下するので、 $U_A < U_C$ 。

問5 ①, 難易度B

導線1の電流が導線2の位置につくる磁場の向きは電流の方向への右ねじの法則から であり、その大きさは $\frac{I_1}{2\pi r}$ である。また、この磁場から導線2を流れる電流が受ける力はフレミングの左手の法則により、 である。導線2の長さ l の部分が受ける力の大きさは、
(透磁率)×(磁場の大きさ)×(電流)×(導線の長さ)だから、 $\mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi r} l$ である。

コメント：

波、光、力、気体、電磁気の各分野からの問題。難易度B以下の問題だから、着実に正答したい。気体の内部エネルギーは気体の温度に比例するから、状態変化における温度変化を考える。問5では直線電流がつくる磁場の大きさの式は覚えておく。

第2問 物体の運動に関する探求の過程について、後の問い(問1~6)に答えよ。(配点 30点)

Aさんは、買い物でショッピングカートを押したり引いたりしたときの経験から、「物体の速さは物体にはたらく力と物体の質量のみによって決まり、(a) ある時刻の物体の速さ v は、その時刻に物体が受けている力の大きさ F に比例し、物体の質量 m に反比例する」という仮説を立てた。

Aさんの仮説を聞いたBさんは、この仮説は誤った思い込みだと思ったが、科学的に反論するためには実験を行って確かめることが必要であると考えた。

問1 [7] ④ 難易度 B

速さが物体の質量 m に反比例するグラフは④のみである。また④は v が力の大きさ F に比例している可能性がある。

①は F に比例するが、 m が大きくなると大きくなるので、 m に反比例と合わない。

②は F に反比例するので不適當。

③は m に比例するので不適當。

問2 [8] ①, [9] ② 難易度 C

力学台車を一定の力で引くためには、それを引くばねの力が一定でなければならない。

したがって「①ばねばかりの目盛りが常に一定になる」ようにする。

実験1では力の大きさを変えて、力の大きさと速さの関係を調べるのだから、各測定では、「②力学台車とおもりの質量の和」を同じ値にする必要がある。

問3 [10] ④ 難易度 B

問題図2のグラフは力学台車の各質量において一定の力で引いて、各時刻の速さを測定した結果である。①, ②, ③は問題図2と矛盾する。

問題図2は「④ある質量の物体に一定の力を加えても、速さは一定にならない」ことを示す。

問4 [11] ④ 難易度 A

一定の力で力学台車を引いたということは力積が一定ということである。「物体の運動量の変化＝その間に物体が受けた力積」から、各質量における運動量の変化は一定となるから、④のグラフが該当する。

問5 [12] ① 難易度 B

運動量保存の法則により、水平方向の速度について、 $(M_1+m_1)V=M_1V_1+m_1V$, $\therefore V=V_1$

問6 [13] ③ 難易度 C

① 衝突後、台車とおもりが一体となり質量が増加したので、水平方向の速度は変化する。不適當

② 運動量はベクトルなので、方向ごとに運動量保存の法則を考えなければならない。不適當

③ 適當

④ 台車とおもりは非弾性衝突をしたので、運動エネルギー保存の法則は成立しない。不適當

⑤ 方向ごとに運動エネルギー保存の法則が成り立つわけではない。不適當

コメント：

物体の運動の基本である速さ、質量、力の関係についての仮説を実験によって検証する問題である。仮説の妥当性を示すグラフを選択する問題、実験の目的を達成するための条件の問題、実験の結果のグラフから仮説の誤りを示す根拠を抽出する問題、正しい仮説を導くグラフを選択する問題等を含む。

難しい計算や概念理解を必要とするものではないので、難問ではない。問4は物体を一定の力で引いたときの速さの変化の実験結果のグラフ（問題図2）から、正しい仮説を導くグラフへの変換を導き出すという、第2問での最も重要な問題なので、難易度Aとした。しかし、決して難しい問題ではなく、一定の力で物体を引いたということは、力積が一定なので運動量の時間変化が質量にかかわらず一定という物理解から、直ちに適切なグラフを選択できる。

第3問 次の文章を読み、後の問い(問1～5)に答えよ。(配点 25点)

問1 [14] ⑤, [15] ① 難易度C

台車の棒磁石がコイルを通過するときコイルに誘導起電力が発生する。オシロスコープの電圧波形より、前のコイルと後のコイルを通過した時間差は0.4 s だから、

$$\text{台車の速さは } \frac{0.2 \text{ m}}{0.4 \text{ s}} = 5 \times 10^{-1} \text{ m/s} = [14] \times 10^{-[15]} \text{ m/s}$$

問2 [16] ②, [17] ③, [18] ① 難易度B

コイルに電磁誘導による電流が流れると、その電流による磁場は棒磁石による磁場の変化を妨げるように流れる。ということは、台車の速さを小さく([16] ②)する力を及ぼす。しかし、実際の実験ではこの力は小さいので、台車の運動はほぼ等速直線運動とみなしてよかった。力が小さい理由は、オシロスコープの内部抵抗が「[17] ③ 大きいので、コイルを流れる電流が小さい」からである。

ここで、内部抵抗が「①小さいので、コイルを流れる電流が小さい」は誤り。「②小さいので、コイルを流れる電流が大きい」と、力は大きくなるので、不適当。「④大きいので、コイルを流れる電流が大きい」は誤り。


空気抵抗も台車の加速度に影響を与えると考えられるが、この実験では台車が遅く、さらに台車の質量が大きい([18] ①)ので、空気抵抗の影響は小さい。


問3 [19] ⑥, 難易度B

Aさんが条件を少し変えて実験してみたところ、結果は問題図3のように変わった。すなわち、誘導起電力による電圧が大きくなった。

① 台車の速さを $\sqrt{2}$ 倍にした。波形の間隔が $1/\sqrt{2}$ と短くなるので、不適当。

② 台車の速さを2倍した。波形の間隔が $1/2$ と短くなるので、不適当。

③ 台車につける磁石をのように2個つなげても、コイルを貫く磁束は変化しないので、不適当。

④ 台車につける磁石をのように2個束ねると、コイルを貫く磁束は弱まるから、不適当。

⑤ 台車につける磁石をのように2個束ねると、コイルを貫く磁束は強まるから、適当。

この問題のポイントは誘導起電力を大きくするような磁石の構成は③, ④, ⑤のいずれかということである。はN極から出る磁束は元と変わらない。④はN極から出た磁束はS極へ入るから、コイルを貫く磁束は減少する。⑤はコイルを貫く磁束が2倍となる。

問4 [20] ③, 難易度B

Aさんはコイルを三つに増やして実験し、問題図5のような結果を得た。Bさんは、Aさんと同じような装置をつくり実験したところ、Aさんの結果とは違う問題図6のような結果を得た。両者の相違は第1の電圧波形の正負が逆になっていることである。

① コイル1の巻数が半分になると、誘導起電力の大きさが半分になるので、不適当。

② コイル2, コイル3の巻き数が半分になると、第2, 第3の電圧波形の大きさが半分になるので不適当。

③ コイルの巻き方が逆になると、誘導起電力の正負の方向が逆になるので、適当。

④ 第2, 第3の電圧波形の正負は元のままだから、コイル2, 3の巻き方は逆ではない。不適当

⑤ オシロスコープのつなぎ方が逆だと，すべての波形の正負が逆になる。不適當

問5 [21] ④，難易度A

台車は重力の加速度の斜面方向成分によって，その速さを増加させながら滑り落ちてゆく。電磁誘導による起電力の大きさはコイルを貫く磁束の時間変化に比例するので，台車の速さが速くなるほど，波形のピーク値は大きくなる。

- ① 波形のピーク値が変化してない。不適當
- ② 波形の間隔が長くなっている。不適當
- ③ 波形の間隔に変化がない。不適當
- ④ 波形のピーク値が大きくなり，間隔は短くなっている。適當
- ⑤ 波形の間隔が長くなっている。不適當。

コメント：

台車に取り付けた磁石がコイルの中を移動するとき観測されるコイルの誘導起電力に関する基本的な問題。電圧波形のピーク値と間隔に着目する。実験過程を追いながら，考察を進めてゆく。高校物理では，座学に追われて，実験のチャンスが少ないようだが，難しい実験過程ではないので，文章を的確に読んで正答したい。

問5は台車の速さが増加するにしたがい，誘導起電力がどのように変化するか，という問題である。斜面を滑り落ちる台車の運動の理解，磁石の速さの変化が及ぼす起電力の変化の問題が組み合わさっているため，難易度Aとした。

第4問 次の文章を読み，後の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 [22] ⑥，難易度B

問題図2(a)のように，半径 r の円軌道上を一定の速さ v で運動する電子の角速度 ω は， $v = r\omega$ だから， $\omega = \boxed{\text{ア}} = \frac{v}{r}$ で与えられる。

時刻 t での速度 \vec{v}_1 と微小な時間 Δt だけ経過した後の時刻 $t + \Delta t$ での速度 \vec{v}_2 との差の大きさは $\boxed{\text{イ}}$ で，問題図2(b)の弦の長さである。 \vec{v}_1 と \vec{v}_2 のなす角 $\omega\Delta t$ が小さく，弦の長さと弧の長さとが等しいとして，弦の長さは $v\omega\Delta t = \frac{v^2}{r}\Delta t = \boxed{\text{イ}}$ である。

参考までに，これを計算によって求めると，

$$\begin{aligned} |\vec{v}_2 - \vec{v}_1| &= \sqrt{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)^2} = \sqrt{v_2 \cdot v_2 + v_1 \cdot v_1 - 2v_1 \cdot v_2} = \sqrt{v^2 + v^2 - 2v^2 \cos(\omega\Delta t)} \\ &= \sqrt{2} v \sqrt{1 - \cos(\omega\Delta t)} \\ &= \sqrt{2} v \sqrt{\left\{ \left(\cos \frac{\omega\Delta t}{2} \right)^2 + \left(\sin \frac{\omega\Delta t}{2} \right)^2 \right\} - \left\{ \left(\cos \frac{\omega\Delta t}{2} \right)^2 - \left(\sin \frac{\omega\Delta t}{2} \right)^2 \right\}} \\ &= \sqrt{2} v \cdot \sqrt{2} \sin \left(\frac{\omega\Delta t}{2} \right) \doteq 2v \cdot \frac{\omega\Delta t}{2} = v\omega\Delta t = \frac{v^2}{r}\Delta t, \end{aligned}$$

ここで， θ が微小なときは $\sin \theta \doteq \theta$ の近似を用いた。

問2 [23] ④，難易度B

水素原子中の電子と陽子の間にはたらくニュートンの万有引力と静電気力の大きさを比較する。

万有引力は $\frac{GMm}{r^2}$, 静電気力は $\frac{k_0e^2}{r^2}$

$$\text{したがって } \frac{\text{万有引力}}{\text{静電気力}} = \frac{GMm}{k_0e^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times 1.7 \times 10^{-27} \times 9.1 \times 10^{-31}}{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-27})^2} \doteq 10^{-40}$$

すなわち、万有引力は静電気力のおよそ $10^{-40} = 10^{-\boxed{23}} \text{ ④}$ であることがわかる。

$\boxed{23}$ の選択肢： ① 10 ② 20 ③ 30 ④ 40 ⑤ 50 ⑥ 60

問3 $\boxed{24}$ ④, 難易度 A

円運動の向心力は陽子と電子の間に働く静電気力のみであるとする。

$$\text{したがって, 電子の円運動の方程式は } \frac{mv^2}{r} = \frac{k_0e^2}{r^2}, \therefore mv^2r = k_0e^2$$

量子数を n ($n=1, 2, 3, \dots$) とすると, ボーアの量子条件 $mvr = n \frac{h}{2\pi}$ は, 電子の円軌道の一周の長さが電子のド・ブロイ波の波長の n 倍に等しいとする定在波 (定常波) の条件と一致する。

$$\therefore \text{から, } v \text{ を含まない式で水素原子の電子の軌道半径を } r \text{ で表すと, } r = \frac{h^2}{4\pi^2 k_0 m e^2} n^2 \text{ となる。}$$

この結果から, 量子条件を満たす電子のエネルギー (運動エネルギーと無限遠を基準とした静電気力による位置エネルギーの和) E_n を計算する。

$$\text{運動エネルギー} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{k_0e^2}{2r} = \frac{2\pi^2 k_0^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

$$\text{位置エネルギー} = -\frac{k_0e^2}{r} = -\frac{4\pi^2 k_0^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

$$E_n = \frac{2\pi^2 k_0^2 m e^4}{n^2 h^2} - \frac{4\pi^2 k_0^2 m e^4}{n^2 h^2} = -2\pi^2 k_0^2 \times \frac{m e^4}{n^2 h^2} = -2\pi^2 k_0^2 \times \boxed{24 \text{ ④}} \text{ と求められる。}$$

万有引力や静電気力による位置エネルギーの算出は教科書に記載されている通りである。

問4 $\boxed{25}$ ②, 難易度 C

水素原子中の電子が, 量子数 n のエネルギー準位 E から量子数 n' のより低いエネルギー準位 E'

$$\text{へ移るとき, 放出される光子の振動数 } \nu \text{ は, } \nu = \frac{E - E'}{h} = \boxed{25 \text{ ②}} \text{ である。}$$

コメント:

水素原子を構成する陽子と電子の物理に関する基本的な問題。問1では, 円運動の加速度の公式を覚えていれば, 問題図2の弦と弧の長さに着目して求める必要はない。すなわち, Δt が十分小さい

$$\text{として } \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \vec{a}, \vec{a} \text{ は加速度ベクトルで, 方向は中心方向である。} \frac{mv^2}{r} = m|\vec{a}|, \therefore |\vec{a}| = \frac{v^2}{r}$$

$$\therefore |\vec{a}| = \frac{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}, \therefore |\vec{v}_2 - \vec{v}_1| = \frac{v^2}{r} \Delta t$$

問2では, 万有引力と静電気力の公式を理解し覚えていないと進まない。問題表1の物理定数を活用するのは容易であろう。計算ミスに注意しよう。

問3は水素原子のボーア模型に関する電子の軌道半径やエネルギーに関する問題。教科書に記載通りの問題であるから, その部分を熟読理解していれば正答できる。しかし, 物質波やド・ブロイ波長などの概念は, 高校物理ではなかなか理解が難しいので, 難易度 A とした。

しかし、この問題では十分な理解がなくても、正答できる。8択であるが、⑤～⑧のグループは①～④のグループの逆数になっているので、いずれのグループが正しいのか、という2択が問われる。

電子の運動エネルギーは $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{k_0e^2}{2r} = \frac{2\pi^2k_0^2me^4}{n^2h^2}$ となることは容易に算出できることから、 $E_n = -2\pi^2k_0^2 \times \boxed{24 \text{ ④}}$ の表式から、選択すべきは①～④のグループの中の④らしいと適切な選択ができる。ここでアドバイスしたいことは、原子模型は難しくて十分理解できなかった、と思って慌てたり、諦めたりせずに、問題文と選択肢を落ち着いて読み眺め、自分の理解している知識を動員すれば、正しい選択ができるということである。

< 総評 >

大学入学共通テストの2年度目ということで、自然の事物・事象の中から本質的な情報を見出し出す、主体的に考察・推論する、などの科学的に探究する過程を重視するような出題という方向性がさらに強まったと感じた。それらは第2問、第3問に見られる。難問ではないが、グラフや図から正しく物理過程を理解して、適切な情報や意味を見出すこと、実験の条件がもたらす物理的な効果を正しく理解し、表現することなどが必要となる。

センター試験の問題に比べて、「難しい、紛らわしい」というような問題はなかったと思う。しかし、長文を読み込んで、上記のような思考をめぐらすことは時間を要する。解答数が去年の28から25に減ったことは、時間に対する配慮だろう。

限られた授業時間、勉強時間の中だけで、こうした学力を高めるということは難しい。日常生活の中で体験する事象を「なぜ？」と問いかけながら、掘り下げて考える姿勢を身につけるなど、日ごろの心がけが大事だと思う。

220224