



東北大学

令和6年度 一般選抜入学試験 個別学力試験
出題意図

(理科・物理)

前期日程

大問 1

・ 出題意図

水平面上の台車とその上に置かれた小物体の運動を題材として、力学の基本が身についているかどうかを問う問題です。具体的には、ばねにつながれた台車の単振動と壁との衝突からはじめて、ばねの力に加えて台車と小物体の間に摩擦力がはたらく場合の運動、摩擦力のみがはたらく場合の台車と小物体の運動、および台車と壁とのくり返し衝突を取り上げました。単振動、力学的エネルギーの保存、非弾性衝突、摩擦力、等加速度直線運動といった基本的な概念の理解を問題にしています。状況の変化に応じて運動の全体像を正しくイメージし、複数の力学法則を適切に組み合わせて考察する能力を測定できるような問題を目指しました。

・ 講評

問(1) 単振動および衝突の理解を確認するための基本問題です。

- (a) 弾性力による位置エネルギーの理解を問う問題です。高い正答率でした。
- (b) エネルギー保存の法則および反発係数の定義を用いて衝突前後の速さを求める問題です。高い正答率でした。
- (c) 単振動の周期を用いて壁との衝突に要する時間を求める問題です。所要時間が周期の半分になることを記述できていない解答が多く、正答率は中程度でした。

問(2) 摩擦力がある場合の単振動の理解を問う問題です。

- (a) 小物体と台車のあいだの静止摩擦係数についての条件を求める問題です。小物体にはたらく力をばねによる力を用いて表し、最大静止摩擦力と比較します。正答率は高めでした。
- (b) 動摩擦力がはたらく場合の小物体と台車の運動方程式を求める問題です。ばねによる力および摩擦力の符号の誤りが多く、正答率は中程度でした。
- (c) 問(2)(b)で求めた台車の運動方程式から、振動中心の座標および角振動数を求める問題です。振動中心の座標の符号の誤りが多く見られ、正答率は低めでした。

問(3) 動摩擦力がはたらく場合の運動および壁との衝突を問う問題です。

(a) 小物体と台車の速度を求める問題です。それぞれの物体は動摩擦力を受けて等加速度直線運動を行います。加速度および衝突直後の速度を正しく導いていない解答が多く、正答率は低めでした。

(b) 等加速度直線運動を行う台車がふたたび壁の位置に戻るまでの時間を求める問題です。正答率は低めでしたが、問(3)(a)が解けた受験者はほぼ正しく解答できていました。

(c) 小物体が台車に対して左向きにすべり続けるための反発係数の条件を求める問題です。相対速度に着目して立式できるかが鍵となります。最後まで解答できた答えは少数でした。

(d) 台車が壁との衝突をくり返して静止するまでの時間を求める問題です。衝突するごとに速さが e 倍になり、次の衝突までの時間も e 倍になることに気づけば、等比級数の和の公式を用いて所要時間を求めることができます。最後まで解答できた答えは少数でした。

<全体を通して>

状況設定が順次変化する問題ですが、誘導に従いながら順を追って丁寧に解き進めていくことで正答にたどり着けるはずです。小物体と台車にはたらく力を向きを含めて正しく記述し、運動方程式を立てるためには、図を描いて考える能力も求められます。問(3)の摩擦力によるくり返し衝突は直感的に把握することが難しいかもしれませんが、台車が等加速度直線運動をすることが理解できれば、鉛直に投げ上げた物体と床との衝突との類推によって考えることが可能です。物理では、式の意味を具体的なイメージと対応させながら学習に取り組むことが重要です。式のみを列記するのではなく、それらの意味や論理関係を簡潔に記述し、読む人にとって分かりやすい答案の作成を目指してください。

大問 2

・ 出題意図

多様な電気や磁気の現象は、電荷とその運動としての電流をイメージすることが重要です。この問題では、並列接続された2個のコンデンサーと2個の抵抗を含む直流回路を題材としています。はじめに、コンデンサーの充電と放電による電気量の変化、回路を流れる電流（オームの法則）、静電エネルギーを取り上げました。次に、電源の電圧を変化させ、コンデンサーに誘電体を挿入した場合を考えています。キルヒホッフの法則が必要となります。最後に、誘電体を一定の速さで挿入した場合を考えます。回路の設定の変化に対応して、電気の基礎学力と応用力が身につけているかを測定できるような問題を目指しました。

・ 講評

問(1) 並列接続された2個のコンデンサー (C_A 、 C_B) と抵抗 (R_A 、 R_B) を含む直流回路の典型的な問題です。はじめに、 C_A を充電した後に、 C_B を充電します。

(a) C_A に蓄えられる電気量、および電池がする仕事を問う問題です。高い正答率でした。

(b) C_A が放電する時に、 R_B を流れる電流を問う問題です。オームの法則が適用でき、高い正答率でした。

(c) R_B で発生するジュール熱を問う問題です。コンデンサーの静電エネルギーの減少がジュール熱に等しいことに気が付くことを期待した問題です。正答率は中程度でした。

問(2) 問(1)の直流回路において、 C_B に誘電体を挿入し、電源の電圧を一定の割合で増加させる場合を考えます。流れる電流が一定の状態を問う問題です。

(a) キルヒホッフの第2法則に基づいて C_A および C_B の電圧を導出する問題です。高い正答率でした。

(b) 一定の電流が流れている状況で C_A および C_B に蓄えられる電気量の増加量を問う問題です。電気量の時間変化は、電源電圧の時間変化によることから導出することができます。正答率は低めでした。

(c) 流れる一定の電流の大きさを問う問題です。電流の定義と問(2)(b)で求めた電気量の増加量を考え、キルヒホッフの第1法則を用いて導出することができます。電流と電気量の関係を理解できていない解答が多く、低い正答率でした。

問(3) 問(1)の直流回路において、 C_B に誘電体を一定の速さで挿入する場合を考えます。流れる電流が一定の状態を問う問題です。

(a) 誘電体を一定の速さで挿入することにより C_B の電気容量の時間変化を問う問題で

す。電気容量は、誘電体の挿入距離によることから導出することができます。正答率は中程度でした。

(b) 解答 (い)

電流の向きと理由を問う問題です。電源の電圧、電流が一定であり、 $\Delta c > 0$ より時間と共に C_B の電気容量が大きくなります。そのため C_B の電気量が増え、電流の向きは、(い)になります。正答率は中程度でした。

(c) 2つの抵抗(R_A 、 R_B)を流れる電流の大きさ(I_3 、 I_4)を導出する問題です。キルヒホッフの第2法則、および C_A には電流が流れないことから導出することができます。非常に低い正答率でした。

(d) 解答 (右向き)

誘電体を一定の速さで挿入するために必要な外力の大きさと向きを問う問題です。回路全体のエネルギーの変化を考えて、外力がした仕事、電池がした仕事、コンデンサーの静電エネルギー、抵抗で発生するジュール熱を用いて導出することができます。外力がした仕事が負になり、(右向き)に力を加える必要があります。エネルギーの変化から力を求める典型問題ですが、非常に低い正答率でした。

<全体を通して>

回路の状況設定が順次変化する問題ですが、電荷や電流をイメージしながら丁寧に解き進めることによって正答にたどり着けるはずです。問ごとに電気量と電流を含めた回路図を描き、状況をイメージし、定義(用語)を理解し、法則を正確に適用することが必要となります。具体的には、問(2)の設定である電源電圧が変化する回路の問題があります。問(2)(a)から(b)で、正答率が大きく落ちていきます。応用的な問題設定ですが、丁寧に誘導されており、キルヒホッフの法則と $Q = CV$ の関係式が適用できれば正答に結びつきます。問(2)(c)も電流の定義を理解していれば、正答できるはずです。問(2)以降の誘電体を用いた小問では、誘電体の誘電率 ϵ を比誘電率と誤解している解答が多く見られました。定義の正しい理解及び問題文の正確な把握も重要となります。

大問 3

・ 出題意図

波は、多くの自然現象に関わる重要な概念であり、教科書でも主要な単元です。この問題では、音波を取り上げ、定常波、共鳴、うなり、ドップラー効果、斜めドップラー効果を題材としています。はじめに、定常波、共鳴とドップラー効果を組み合わせて取り上げました。ドップラー効果を生じさせるために、ドローン（小型飛行装置）に音源を取り付けています。次に、斜めドップラー効果の式の導出を題材にしました。最後に、2つの音源を用いて、斜めドップラー効果とうなりを題材にしました。定常波、共鳴、うなりなどの定義とドップラー効果の理解を問う問題を意図しています。特に、斜めドップラー効果における音源の移動距離や移動時間に着目して出題しています。

・ 講評

問(1) 音波の基本である定常波、共鳴とドップラー効果を組み合わせた問題です。

(a) 閉管の共鳴に関する現象とドップラー効果を組み合わせた問題です。正答率は高めでした。

(b) 開管の共鳴に関する現象とドップラー効果を組み合わせた問題です。正答率は高めでした。

(c) 問(1) (a) と (b) で得られた音源の振動数の関係式からドローンの速さを導き出す問題です。正答率は高めでした。

(d) 問(1) (c) の結果をもとにドローンの速さの条件から音源の振動数を求める問題です。正答率は低めでした。

問(2) 斜めドップラー効果の式を導出する典型的な問題です。ドローンに取り付けられた音源から音波を発生する設定にしています。

(a) 時刻 t_1 と時刻 t_2 に点 O 方向に発せられた音波の到達時間の差 (ΔT) を求める問題です。正答率は中程度でした。

(b) 距離 ℓ_2 を求める問題です。正答率は低めでした。展開した際の計算ミスが多くありました。

(c) 問(2) (b) の結果を展開し、問(2) (a) の結果を用い ΔT を音源の移動時間 (Δt) で表す問題です。正答率は低めでした。

(d) ΔT と Δt の関係する振動の回数が一致することから斜めドップラー効果の式を導き出す問題です。正答率は低めでした。

問(3) 2つのドローンを用いた、斜めドップラー効果とうなりを問う問題です。

- (a) ドローン D_1 の発する音波が距離 PQ' を伝わる時間と、ドローン D_2 が QQ' を移動する時間に関する問題です。極めて低い正答率でした。
- (b) 斜めドップラー効果を問う問題です。極めて低い正答率でした。
- (c) うなりからドローンの速さを求める問題です。極めて低い正答率でした。

<全体を通して>

波の位相は、距離と時間に関係します。そのため、一見複雑に見えますが、定義と法則を正しく理解し、適用することによって正答を得ることができます。この問題では、周期性と不変量に着目することが有効です。ドップラー効果の場合は、振動の回数（振動数×時間）が不変です。問(1)では、定常波の定義より波長と管の長さの関係を導き出すことができます。問(2)では、振動の回数が一致することで導出することができます。問(3)では、斜めドップラー効果を正しく適用すれば導出することができます。図を丁寧に描き、問題文を理解することも重要です。教科書を読み、適切な練習問題を繰り返し解くことで論理的な思考能力を深めることを期待しています。

後期日程

大問 1

・ 出題意図

1つの床と2つの斜面上を移動する小物体の運動を題材に、力学の基本が身についているかどうかを問う問題です。斜面上での放物運動、弾性衝突と運動量保存則および力学的エネルギー保存則、摩擦がある場合の力学的エネルギーの減少など、力学における基本概念の理解の確認を意図しています。具体的には、摩擦のない水平な床と斜面上での小物体の運動を基本として、小物体どうしの衝突が起きた場合に与えられた条件から具体的な挙動を、また、摩擦がある場合についても具体的な運動の変化を記述できる能力を測る問題を目指しました。

・ 講評

問(1) 小物体の運動の理解を確認するための問題です。

(a) 等速直線運動における速さと距離、時間の関係を求める基本的な問題です。高い正答率でした。

(b) 斜面上での放物運動を考える問題です。高い正答率でした。

(c) 斜面と床を組み合わせる問題です。高い正答率でした。

問(2) 2つの小物体が衝突した場合に、再び x 軸上で衝突するために必要となる条件を導き出す問題です。

(a) 衝突後の速度成分を運動量保存則から求める問題です。一部の答案では符号の誤りが見られました。正答率は高めでした。

(b) 弾性衝突であることから力学的エネルギー保存則を用いて、小物体を発射した角度 θ を求める問題です。問(2)(a)で求めた速度成分を用いて、三角比の基本的な計算を行うことで求めることができます。直線上で弾性衝突をしたと誤解して、衝突前後の速さの比に着目した答案が見られました。正答率は低めでした。

(c) 衝突の後に x 軸上で2つの小物体が再び衝突するまでの移動距離を求める問題です。衝突によって角度が変わることや、衝突前後での速度の比から求めることができます。未着手の答案が多く、低い正答率でした。

問(3) 床にのみ摩擦がある場合に、小物体が摩擦のない斜面と床を複数回往復して、静止するまでを考える問題です。

(a) 初速によって与えられる運動エネルギーと摩擦で失われる運動エネルギーの比較から、条件を満たす初速を求める問題です。正答率は中程度でした。

(b) 2回目の斜面を通過して x 軸を横切る位置までの移動距離を求める問題です。摩擦に

よって斜面に入るときに速さが 1 回目と 2 回目で変化するために、斜面を運動するときの x 方向の移動距離が変化します。斜面に入射する速さがわかれば、問(1)(b)で求めた答えを使って計算ができます。低い正答率でした。

(c) 角度や摩擦係数に具体的な数値が与えられた場合に、斜面を n 回通過した後に静止する位置の x 座標の値を求める問題です。 n 回目、 $n + 1$ 回目の通過に必要な条件を求めることで、正答が得られます。未着手の答案が多く、低い正答率でした。

<全体を通して>

小物体の運動について、衝突や摩擦の条件を含めて理解を確認する問題です。具体的な運動を頭の中でイメージしながら、対応する公式などを用いて順を追って記述することで、正答に到達できるはずです。物理では、具体的な現象と式を結び付けて学習に取り組むことが重要です。また、受験者が物理現象を理解していることを、答案を読む人が容易に理解できる簡潔かつ丁寧な答案の作成を目指してください。

大問 2

・ 出題意図

多様な電気や磁気の現象は、電荷とその運動としての電流をイメージすることが重要です。加えて、ローレンツ力が磁場と電流の間にはたらく力を関連づけています。この問題では、磁場中に置かれた導体棒および電池、抵抗、コンデンサーを含む直流回路を題材としています。磁場中を流れる電流が受ける力、誘導起電力などの磁場と電流に関する基礎知識に加えて、キルヒホッフの法則（電気回路）や導体棒の運動変化（力学）の理解が必要となる内容です。電気や磁気の基本法則を適切に活用できることを確認し、それらを使ってより複雑な状況の問題に応用する力を測ることを意図しています。

・ 講評

問(1) 磁場中に置かれた導体棒が電源を持つ直流回路を形成した時に、導体棒の運動と回路に流れる電流を問う問題です。

(a) 磁場中の導体棒に電流が流れる時に導体棒が受ける力を求める問題です。高い正答率でした。

(b) 磁場中を運動する導体棒に生じる誘導起電力と電流を求める問題です。高い正答率でした。

(c) 電流が一定の状態において導体棒に流れる電流と導体棒の速度を求める問題です。一定速度であることからつり合いの式を用いて電流が求まり、それを問(1)(b)の答えに代入して速度が求められます。高い正答率でした。

問(2) 問(1)と同様の回路を組み合わせて形成される回路に流れる電流と導体棒の運動を考えます。

(a) キルヒホッフの法則を用いて回路に流れる電流を求める問題です。正答率は高めでした。

(b) 導体棒が領域2の右端に到達するための起電力の満たすべき条件を求める問題です。領域2で電流が一定の状態となった時の導体棒の速度が0より大きいことが条件であることがわかれば、問(1)(c)と同様の考察をこの回路に適用して起電力が満たすべき条件を求めることができます。正答率は低めでした。

問(3) 系統的に拡張された回路において導体棒に流れる電流の一般式を求め、導体棒に加えた外力がする仕事を求めます。コンデンサーの性質を理解した上で、磁場の変化に伴う導体棒の誘導起電力の変化とコンデンサーの電荷移動を適切に捉える必要があります。

(a) 導体棒の誘導起電力の向きの変化に伴って生じるコンデンサーの電荷移動による電流を問う問題です。低い正答率でした。

(b) 問(3)(a)の考察を深めて、導体棒が一般の領域にある時の電流を問う問題です。最後まで解答できた答えは少数でした。

(c) 導体棒に加えた力による仕事を求める問題です。導体棒にかかる磁場の向きの変化に伴う導体棒の誘導起電力の変化による、コンデンサーを含む回路の電荷の移動を適切に捉える必要があります。極めて低い正答率でした。

<全体を通して>

回路の状況設定が順次変化する問題ですが、起電力や電流、導体棒が磁場から受ける力を考慮して、丁寧に解き進めることによって正答にたどり着けるはずですが、馴染みのない設定でも適切に状況を把握して対応する回路図に正確に落とし込むことで、電磁誘導の法則やキルヒホッフの法則などを適用することが可能になります。回路が系統的に拡張される問(3)(b)と(c)の問題は電流や仕事の一般形を問う問題ですが、最後まで解答できた答えは少数でした。物理では現象の本質を見出す力に加え、比較的単純な系の現象に対する理解を一般化してより複雑な状況の問題を解決する力も重要となります。論理的な思考力をもとに本質をとらえ、それらを応用して創造する力を育むことを期待しています。

大問 3

・ 出題意図

熱と気体では、熱を仕事に変換することが重要なテーマになっています。この問題では、おもりをテーブルの上に持ち上げる熱機関を通して熱と気体に関する基本的な理解を問うことを目的としています。熱機関は、ピストンによって上下の空間に分けられた鉛直方向を向いたシリンダーで構成されており、下の空間に閉じ込められた気体の温度をコントロールすることでピストンにつながれたおもりを乗せる台を上下させます。上の空間にはコックが付いており、コックを開いた定圧状態とコックを閉じた断熱状態で熱機関を動かします。この2つの状態の熱機関の効率を求めることにより、熱と気体の性質の基礎学力が身についているかを測定できるような問題を目指しています。

・ 講評

問(1) 上の空間 B のコックを開いた状態で熱機関を動かす状況を考えます。

(a) 下の空間 A に閉じ込められた気体 A の物質量を求める問題です。気体 A の体積と与えられた温度と圧力を、気体の状態方程式に代入することで求めることができます。高い正答率でした。

(b) おもりを乗せない状態で、ピストンが最も下がった状態 1 での気体 A の圧力と温度を求める問題です。圧力はピストンにかかる力のつり合いより、温度は問(1) (a) で求めた気体 A の物質量を使い状態方程式より求めることができます。高い正答率でした。

(c) 状態 1 から、おもりを乗せてピストンが上がる直前の状態 2 になるまでの気体 A の内部エネルギーの変化を求める問題です。状態 2 の温度を求め、問(1) (b) で求めた状態 1 の温度を使用して内部エネルギーの変化を計算することができます。高い正答率でした。

(d) 気体 A の温度を上昇させて、おもりがテーブルの高さに持ち上がった状態 3 の、気体 A の温度を求める問題です。状態 2 から状態 3 は定圧変化であることを利用して計算することができます。高い正答率でした。

(e) 状態 2 から状態 3 になるまでに、気体 A の内部エネルギーの変化と外部にした仕事を求める問題です。状態 2 と状態 3 の温度を使って内部エネルギーの変化を計算します。仕事は、外気圧のもとでピストンを動かすための仕事とおもりを含めたピストンを持ち上げる仕事の和です。正答率は高めでした。

(f) 状態 1 → 2 → 3 → 4 → 1 のサイクルを考えたときの熱機関の効率を求める問題です。気体 A は状態 1 から状態 2、状態 2 から状態 3 の間に熱を受け取ります。1 サイクルで外部に行った仕事は、おもりを持ち上げる仕事です。正答率は低めでした。

問(2) 問(1)の状態 3 の時に、上の空間 B のコックを閉じて気体を閉じ込めた状態で熱機

閥を動かす状況を考えます。コックを閉じたまま、問(1)と同様の状態 1'、状態 2'、状態 3'、状態 4' を経由して状態 1' に戻るサイクルを考えます。

(a) 状態 2' のときの上の空間 B に閉じ込められた気体 B の圧力と温度を求める問題です。与えられた断熱変化の関係式を用いて求めることができます。正答率は低めでした。

(b) 状態 2' のときの気体 A の圧力と温度を求める問題です。問(2)(a)で求めた気体 B の圧力と力のつり合いを考えて求めることができます。低い正答率でした。

(c) 解答 (お)

状態 1' → 2' → 3' → 4' → 1' のサイクルを表す P - V 図を選択する問題です。状態 1' から状態 2' および状態 3' から状態 4' は定積変化であること、状態 2' から状態 3' は気体 B を断熱圧縮しながら体積が増えることに気づけば正しい図を選択できます。選択問題の正解は (お) です。低い正答率でした。

(d) 状態 2' から状態 3' の間に、気体 A の内部エネルギーが変化した量と、気体 A が外部にした仕事の大小関係を選択して理由を説明する問題です。内部エネルギーに関しては、状態 2 と状態 2' の温度の大小を考え、仕事に関してはピストンにかかる圧力の大小を考えると説明することができます。低い正答率でした。

<全体を通して>

熱と気体の状態変化の理解度を、おもりを持ち上げる熱機関を題材に問う問題です。気体の状態方程式、内部エネルギー、気体の仕事の基礎を理解していれば解答できる基本的な内容です。問題設定を丁寧に読み解き、起こっている物理現象を解釈する能力が試されます。図を丁寧に描くことも、題意を読み解くために有効です。問(1)については、定積変化と定圧変化による基本的なサイクルであり、高い正答率でした。ただし、問(1)(f)については計算量も多く、正答率は低めでした。問(2)については気体 B が断熱変化であり、気体 A との関連性を正しく理解できず低い正答率でした。 P - V 図を選択する問(2)(c)のように、定性的に把握することも重要です。気体の状態方程式、内部エネルギー、気体の仕事の関係などの理解とともに計算力を磨くことも必要です。日頃から、練習問題をひとつひとつ丁寧に解答し、そこに潜む物理概念に気づくことが大切です。

○志願者へのメッセージ

物理は自然現象の中にある普遍的な基本法則を見だし、そしてその法則を用いて、対象となる現象を理解・説明する学問です。物理の学習においては、物理現象に対する明確なイメージを持ち、それを論理的に考察する必要があります。具体的には、状態を図示する能力、現象をグラフに表現する能力、計算によって答えを導出する能力などが必要となります。また、普遍的な法則を観測事実に基づいて探究するために、現象を単純化して見つめることが必要です。そのためには、しばしば小さい量を見捨てる近似を行うことが有効です。

物理の入試問題を解くにあたっては、それまでに学習してきた問題の中から類似したパターンのもを探しその解法を当てはめようとしがちです。大学入学試験対策のために、多くの問題を解くことが重要なのは間違いありません。しかし、物理の問題を暗記とパターン認識だけで解くことはできません。また、そのやり方では物理の面白さを知ることもできないでしょう。物理の問題には必ず対象となる物理現象があります。問題を解く際には、物理現象を具体的にイメージしながら解くように心がけてください。物理現象は、図やグラフを描くことでイメージしやすくなります。法則（公式）を単に暗記するのではなく、その意味を理解してください。そうすることで、問題を解くのに必要な法則がどれであるか、自ずと見えてくるはずです。常に論理的に考えるように心がけることで、問題設定の変化や、複雑な問題設定に対応できる力が養われるでしょう。

解答用紙の「考え方や計算の過程」は採点者に自分の考えを伝えるための場所です。数式を羅列するだけでなく、言葉や図などを使って、どのように考えてその結果を導いたのかが伝わるような記述を心がけてください。物理では、答えはもちろん、その答えに至る途中経過も非常に大事です。現象を正しくイメージできているか、どのような論理で答えに到達しようとしているかをぜひとも答案に表現してほしいと考えています。