



東北大学

平成 31 年度 一般選抜入学試験 個別学力試験
出題意図(物理)

物理

前期日程

大問 1

・ 出題意図

傾いた棒に通された小球の運動を題材に、力学の基本が身についているかどうかを問う問題です。具体的には、1. 力学的エネルギーや運動量といった力学の基本概念を正しく理解しているか、2. 物体にはたらく力を正しく表すことができるか、3. 力にもとづいて物体の運動を決定することができるか、といった基本事項の確認を意図しています。時間不足で答えられないことのないように設定は単純なものとし、学習の程度が答案に正しく反映されるような問題を目指しました。また、式の意味を理解しながら学習を進めている受験者を評価するために、公式の機械的適用では対応が困難な出題を心がけました。

・ 講評

問 (1)

基本概念の理解を確認するための問題です。

(a) 力のつりあいを問う問題です。高い正答率でした。

(b) 棒に沿って落下する小球の速さを求める問題です。これも高い正答率でした。力学的エネルギー保存則を使った解答がほとんどでしたが、小球の運動が棒に沿った等加速度運動であることを使った解答もありました。

(c) 運動量保存則を使って、衝突により2つの小球が一体となった後の速さを求める問題です。この問題も高い正答率でしたが、(a)、(b)に比べると、誤りが目につきました。

(d) 次の(e)と合わせて、力学的エネルギー保存則の理解を問う問題になっています。公式の機械的適用を排除し、考え方の過程を確認するため、あえて2つの問題に分けてあります。基本的な内容ですが、正答率は高くありませんでした。一体となった小球の力学的エネルギーは、運動エネルギー、重力の位置エネルギー、ばねの力の位置エネルギーの3つの項からなります。このうち、重力の位置エネルギーを正しく与えていない(特に基準が $d = 0$ でない) 解答が多数ありました。それよりは少数ですが、ばねの力の位置エネルギーにも誤りが見られました。重力とばねの力の合力による運動が単振動となることを使って、単振動のエネルギーを書こうとしている解答もありましたが、多くは説明が不十分

でした。

(e) 力学的エネルギー保存則を使って、ばねの最大の縮みを求める問題です。こちらも基本的な内容ですが、正答率は高くありませんでした。特に、力学的エネルギー保存則を正しく式で表すことができていない解答が多数ありました。

問(2)

装置全体を回転させた場合の小球の運動を題材に、力から運動が決定される過程の理解を問う問題です。問(1)と同じ装置を使っていますが、独立した問題です。

(a) 装置とともに回転する観測者の立場から、小球にはたらく力の棒に沿った方向の成分を求める問題です。結果は重力、ばねによる力、遠心力について、それぞれの棒に沿った方向の成分の和となります。遠心力についての誤り(大きさ、または力の分解に関するもの)が多数ありました。

(b) つりあいの式 $F(x_0) = 0$ は多くの解答に書かれていました。

(c) 小球にはたらく力は $F = -K(x - x_0)$ (K は定数) という形に書くことができます。 F が復元力であるということは $K > 0$ ということであり、ここから回転の角速度 ω に上限があることがわかります。条件 $K > 0$ を正しく与えていた解答はそれほど多くはありませんでした。

(d) (c)の結果から、小球の運動はばね定数 K のばねにつながれた質量 m の質点の運動と同じ、つまり単振動となることがわかり、このことから周期も求めることができます。説明も含めて正しい結果を与えていた解答は少数でした。

(e) 図のような閉じた軌跡が見られるということは、回転の周期と振動の周期が等しいことを意味します。この条件を与えていた解答は少数でした。

<全体を通して>

問(1)は基本的な内容でしたが、後半の(d)、(e)の正答率はあまり高くありませんでした。誤った解答の中には、どのような現象が起こるかを思い浮かべることなく、思い込みや、やみくもな公式の適用で処理した結果と見えるものが多くありました。物理学の対象は自然現象です。日頃から、扱っている現象をイメージする習慣をつけていれば、問題を解く際にも大きな勘違いをすることはないように思います。また、公式や演習問題の解法は鵜呑みにせず、自分の頭で納得すべく努力することも物理の学習では重要です。

数式のみで言葉による説明がほとんどない解答がそれなりに見られました。適宜説明を加えて、採点者が読んでわかる答案を作成するようにして下さい。

大問 2

・ 出題意図

正方形コイルを題材にして、「電磁誘導の法則」や「仕事とエネルギーの関係」の理解を問う問題です。問(1)では、ごく基本的な事項の確認です。見慣れない設定だったかもしれませんが、磁石が動くことから渦電流を連想できると、見通しよく取り組めたのではないかと思います。

・ 講評 (小問ごと)

問 (1)

磁場中に入出入りする単一の正方形コイルを題材にして、誘導起電力や電流が磁場から受ける力の基本的性質を問う問題です。

(a) (b) (c) 磁場中に入出入りする単一の正方形コイルにファラデーの電磁誘導の法則を適用する極めて基本的な問題です。極めて高い正答率でした。ファラデーの電磁誘導の法則を表す有名な式には負号がついています。負号の重要性への意識が足りずに、符号を誤った答案が散見されました。

(d) 正方形コイルに誘導電流が流れることによって生じるジュール熱を問う基本的な問題です。磁場のある範囲を正方形コイルが通過する間、誘導電流の絶対値は常に一定であることに気づけば、平易であったでしょう。高い正答率でした。設問では「単位時間あたりに発生するジュール熱」を求めているのにもかかわらず、正方形コイルが磁石のすき間を通過し終えるまでに発生する全熱量を求めた誤答例が多く見られました。ジュールの法則に限らず関係式を覚えようとするときには、関係式を丸暗記するのではなく、その意味や単位についても併せて理解することが重要です。

(e) 電流が磁場から受ける力を問う基本的な問題です。単位時間あたりに外力がする仕事とジュール熱として失われる仕事等しいことを用いるのも正しい考え方です。高い正答率でした。

問 (2)

正方形コイルを等間隔で配置した「はしごコイル」を題材にした問題です。現象を予測するためには力学的な視点が必要になります。渦電流を思い出すことができた受験生には、はしごコイルの運動を想像しやすかったことと思います。

(a) 誘導起電力が生じる場合のエネルギーの関係を問う問題です。力学的エネルギーがジュール熱となることに気づけば、正答に至るのは容易でしょう。白紙答案も多く見られましたが、答案が書かれている場合に限れば高い正答率でした。

(b) はしごコイルに作用する重力と電流が磁場から受ける力のつり合いを問う問題です。問(1)(c)(d)で考えたことを思い出すと、正方形コイルが次々と磁場を通過するとき誘導電流が磁場から受ける力は常に一定であることに気づくと思います。設問では、はしごコイ

ルが床に対して静止していることから、電流が磁場から受ける力と重力のつり合いを考えれば正解に至ることができます。低い正答率でした。

(c) 問(2)(b)で求めたつり合いの位置は、はしごコイルと磁石の相対速度に依存します。相対速度が変わればつり合いの位置もずれるので、はしごコイルは振動を始めます。問(2)(a)で扱ったコイルに誘導起電力が生じる場合のエネルギーの関係を思い出すと、ジュール熱としてエネルギーが散逸し、時間が経つとはしごコイルは新しいつり合いの位置で静止すると予測できます。このような時間変化を表しているのは(え)のグラフです。正しいグラフを選んだ場合でも、そのグラフを選んだ理由を正しく説明できていた解答はごく少数でした。“振幅がだんだん小さくなるから”という説明は、目を見たグラフの様子を言葉で表現しているだけで、グラフを選んだ理由の説明にはなっていません。

<全体を通して>

高校で学ぶ電磁気学においては、法則を丸暗記し、使いこなすことこそが重要であると誤解していないでしょうか。電気や磁気に関係する様々な現象を解析するためには、法則を単に当てはめるだけでは不足です。また、「定義」と「法則」を混同しないように注意を払ってください。

物理学の問題では、装置が与えられ、その装置で様々な実験を行い、実験の結果を問われるという形式が多く見られます。こういった問題に取り組むとき、いきなり計算を始めるのは得策ではありません。まず初めに思考実験を行い、解答を予測した上で計算を行ってください。計算したらこうなった、ではなく、予想と同じ結果だから計算間違いはないだろう、と思えるようになって欲しいと思います。

解答用紙にある「考え方や計算の過程」のスペースは、計算用紙やメモ帳ではありません。受験生が自分の考え方を採点者に示すことのできる重要なスペースであると考えてください。第三者が読んでも理解できるような解答を書く練習をすることを望みます。普段から考え方を意識した解答を書くことで、知識が整理され、物理の理解も深まることでしょう。

大問 3

・出題意図

ピストン付きのシリンダー内に閉じ込められた気体に関する問題です。ピストンにはばねがついており、圧力と力の関係やエネルギーと仕事の関係を使って解答する問題になっています。また、後半は断熱過程の式を利用して気体の状態を求めるものです。いずれも、気体の熱力学の基本やニュートン力学との関係などに関する基本的な理解を問うものになっています。

・講評

問（１）

- (a) 理想気体の内部エネルギーを問う問題です。ほとんどが出来ていました。
- (b) 気体の状態方程式から圧力を求める問題です。ほとんどが出来ていました。
- (c) ピストンのつり合いからばねの縮みを求める問題です。高い正解率でした。
- (d) ピストンについている栓を外して、気体が右の空間にも広がりばねが自然長に戻ったときの温度を求める問題です。断熱自由膨張や仕事とエネルギーの関係に関する理解度で、正解不正解が分かれた問題でした。

問（２）

- (a) 断熱変化の式を用いて圧力を求める問題です。比較的正答率は高かったです。
- (b) 断熱変化の式を用いて温度を求める問題です。これも正答率は低くありませんでした。
- (c) 断熱変化した空間 C とばねで釣り合っている空間 A の温度を求める問題です。空間 C と空間 A の圧力が同じであることを見抜けるか否かで正解不正解が分かれた問題でした。
- (d) 加熱前後の圧力変化とばねの縮み量を用いてばね定数を求める問題です。ばねの自然長は明示されていませんが、圧力とばねの縮みの差から解答を求めることが出来ます。このことに気が付いている人が多くなく、正答率は高くはありませんでした。
- (e) 加熱前後のばねの弾性エネルギーの変化を求める問題です。この問題の解答には、加熱前にもばねが自然長から縮んでいることなど問題設定の正しい理解と計算力が必要で、正答率は高くはありませんでした。

<全体を通して>

公式を暗記すれば出来る問題の正答率は高かったのですが、物理現象の理解を通じて解答しなくてはいけない問題は低い正答率でした。演習問題などを通じて、与えられた問題の設定を理解する力を養うとよいと思います。また、断熱過程とは何なのか、エネルギーとはどのような量なのか、など基礎的な物理的概念に関する理解を深めることも心がけてください。

後期日程

大問 1

・ 出題意図

棒におもりを取り付けた振り子を題材として、物体に作用する力や運動に関する理解を問う問題です。

・ 講評

問 (1)

一個の質点からなる振り子に関する基本問題です。

- (a) 角度を弧度法で表す問題です。高い正答率でした。
- (b) 回転運動するおもりの速度を、力学的エネルギー保存則から求める問題です。高い正答率でしたが、保存則を正しく立式できているにも関わらず、計算を誤っている解答が散見されました。
- (c) おもりの運動方向に働く力は、重力の分力のみです。力の大きさは正しいものの、力の向きを誤っている解答が多く見られました。
- (d) 振り子の振動が、触れ角が小さい場合には、単振動と近似できることの理解を問う問題です。(c)で求めた力を基におもりの運動方程式をたて、微小角での近似を用い、さらに(a)の結果を使って角度を変位で表すと、単振動の形になります。こうした過程を経ず、単振動の周期を公式的に求めたために、加速度と周期の関係に矛盾が生じている解答が相当数ありました。

問 (2)

振り子の質点が二個になった場合の運動を考える問題です。棒でつながれた二つのおもりは、棒を介して互いに力を及ぼしあいながら、一体となって運動しますので、それぞれのおもりに働く力を正しく理解できているかがポイントとなります。

- (a) おもり B の加速度が、おもり A の加速度の半分であることに気付けば、正しく運動方程式を立てることができます。それぞれのおもりに働く力の運動方向成分は、棒から受ける力と、重力の分力ですが、問(1)(c)と同様、力の向きを誤っている解答が多数ありました。これらの運動方程式と、力のモーメントのつり合いの式を使って、加速度を求めることができます。
- (b) (a)で求めた加速度を使って、問(1)と同様、振り子の運動を単振動に近似することで、振動の周期が求まります。前問を誤っていたために正答に至らない解答が大半でしたが、(a)の結果を考慮せず、公式的に周期を求めようとする誤った解答も散見されました。
- (c) 静止している振り子に、瞬間的な外力（撃力）を加えた際の運動を考える問題です。おもり B の速さがおもり A の速さの半分であることと、おもり A に撃力が加えられるこ

とに加え、それぞれのおもりが棒から受ける力積を考慮する必要がある点に注意が必要です。さらに、力積は「力×時間」ですので、棒に働く力のモーメントのつり合いから、力積に関しても $2Lp_A + Lp_B = 0$ の関係式が成り立ちます。この関係式を使って、(c)(i)の関係式から角速度を求めることができます。この点に気付いた解答は少なく、正答率は低かったです。

<全体を通して>

力学では、物体にどのような「力」が働いているのかを考えて、どのように「運動」するのかを、「運動方程式」に基づいて予測します。したがって、働いている力の「大きさ」だけでなく、「方向」も常に意識するよう、心がけて下さい。自然現象に見いだした法則性を、扱い易いモデルに置き換えて、論理的に取り扱うことが物理の本質です。結果を得るための公式を覚えるのではなく、結果に至る過程を学び理解することで、論理的思考能力を身につけて下さい。

大問 2

・ 出題意図

コンデンサーと周期的に開閉するスイッチからなる回路を題材として、電荷の移動、電流、抵抗についての基本的な理解を問う問題です。

・ 講評

問 (1)

コンデンサー 1 つと周期的に開閉するスイッチからなる回路の基本問題です。

(a) 平行板コンデンサーの電気容量に関する基本知識を問う問題です。高い正答率でした。

(b) 抵抗を介したコンデンサーの充電および放電過程に関する問題です。

$0 \leq t \leq T$ の場合は、コンデンサーが $V_C=0$ から抵抗を介して充電されるので、(い) のグラフが正解です。その理由として、「コンデンサーは充電されるが、抵抗があるため V_C の変化はゆっくり曲線的である (あるいは、電流が徐々に減少する)」などの記述が必要です。一方、 $2T \leq t \leq 3T$ の場合は、コンデンサーが $V_C=V$ から抵抗を介して放電されるので、(お) のグラフが正解です。その理由として、「コンデンサーは放電されるが、抵抗があるため V_C の変化はゆっくり曲線的である (あるいは、電流が徐々に減少する)」などの記述が必要です。放電より充電に関する方が高い正答率でした。いずれにしても、充電や放電による電荷の移動と、抵抗による電圧の変化に関する理解が必要です。また、電荷がエネルギーとして失われるなどの物理的に間違った記述が多数ありました。

(c) 単位時間当たりの電荷の移動量が電流と等しいことを使って、周期的に充放電されるコンデンサーの見かけの抵抗を求める問題です。電池から回路に電荷が移動するのは、スイッチ 1 が閉じている間だけであることがわかれば容易に正解が導けます。良く出来ていました。

(d) 単位時間に電池がした仕事が電力に等しいことと、(c)の途中で求めた電流を使えば正解が求まります。また、電池がした仕事 QV を周期 $4T$ で割ることにより求めることもできます。電力をさらに周期 $4T$ で割ってしまう誤答が散見されました。

問 (2)

見かけの抵抗を用いて、コンデンサーと周期的に開閉するスイッチからなる回路の解析を行う問題です。

(a) 問 (1) (c)と同様に、単位時間当たりの電荷の移動量から電流を求めることにより、回路の見かけの抵抗を求める問題です。電池から回路に電荷が移動するのはスイッチ 2 と 3 が閉じている間だけであることと、この時、2つのコンデンサーが直列に接続されることの理解が必要です。その後は、直列接続されたコンデンサーの合成容量を用いる、あるいは、2つのコンデンサーにより電圧が等分されることを利用します。比較的正答が多かったのですが、直列接続を忘れ、安易に問 (1) (c)の結果をそのまま流用してしまう間違いがありました。

(b) コンデンサーと周期的に開閉するスイッチからなる回路を、抵抗回路に置き換える問題です。電池からの電流は 2つの抵抗の直列回路を流れ、これが、電池から元のコンデンサーからなる回路に流れる電流と等しい、すなわち、(a)で求めた見かけの抵抗と、2つの抵抗の直列抵抗が等しいことを使います。これに気が付いた人の正答率は高かったです。

(c) 梯子型抵抗回路についての問題です。基本となる抵抗回路 X' を N 段接続したとき、 $N-1$ 段目までの全抵抗 R_{N-1} が、 N 段目の抵抗回路 X' の端子 C-D 間にある抵抗 R' に並列に接続されることと、それらが N 段目の抵抗回路 X' の端子 A-C 間にある抵抗 R' に直列接続されることがわかれば、抵抗の並列接続と直列接続によって求めることができます。また、回路 X' の接続数 k を 1から順次 1つずつ増やして漸化式を求めることでも解くことができます。この場合でも、抵抗の並列と直列の関係は変わりません。並列と直列の関係が反対になった回答も多く、回路の接続の様子をきちんと把握することが求められます。

(d) N が十分大きくなった時、 R_{N-1} と R_N が共に R_A となることを用いて、全体の抵抗を求める問題です。低い正答率でした。

(e) 1周期 $4T$ の間に回路に電荷が流入するのは $2T \leq t \leq 3T$ のときだけであり、この時の電荷は合成容量 C_A に流入する電荷と等しいことより、この C_A による見かけの抵抗と、(d)と(b)の結果から求まる見かけの抵抗が等しくなる条件から C_A を求めます。低い正答

率でした。(a)あるいは問(1)(c)より、 C_A による見かけの抵抗が類推できるかがポイントです。

<全体を通して>

電気回路としては基本的な問題です。問(1)は全体的に良く出来ていましたが、問(2)の正答率は低い結果となりました。問(2)も問(1)と同様の設定ですが、スイッチの状態が変わった時、あるいは、回路の接続数が変わった時に、回路がどのような状態になっているかをきちんと把握する力が必要です。回路の状態を回路図に示して考える力をつけてください。また、「考え方や計算の過程」における説明でも回路図を用いると明確です。この際、説明は順を追って丁寧に書く訓練が重要になります。

大問3

・出題意図

光の屈折や回折を利用して、凸レンズのように光を集める実験に関する問題です。公式や解法の暗記力ではなく、光に関する物理現象の理解度、および物理的な思考力を問うことを意図しました。

問(1)は屈折に関する、また、問(2)は回折に関する問です。各問の最後の設問(問(1)(d)、問(2)(c))では、単に数式の解答を求めるのではなく、「説明せよ」と問うことにより、数式を言葉によって説明する力を問いました。物理の受験勉強においては、言葉を数式化するトレーニングや、数式の計算力を磨くことに気を取られて、数式を言葉にする(数式から物理的なイメージを膨らませる)ことの重要性が忘れられがちですが、各問の最後の設問においては、数式を導出するだけでなく、求めた数式を言葉で説明することを求めています。

・講評

問(1)

(a) 屈折の法則を用いて、角度を求める問題です。大多数が正解でした。

(b) 角度を幾何学的に求め、(a)の結果を用いることにより、三角柱の二つの境界面によってレーザー光線が屈折される際に、レーザー光線の向きがどれくらい変化するか求める問題です。屈折率の1からのずれが大きいほど、また角度 β が大きいほど、レーザー光線の向きの変化は大きくなります。高い正答率でした。

(c) (b)の結果を用いて、 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ を求める問題です。高い正答率でした。なお、正解の逆数は、 x 軸に平行にレーザー光線を入射した場合(a が無量大の場合)の点Bの x 座標に対応します。レンズの焦点距離が彷彿された受験生もいたと思います。

(d) 三角柱の屈折率 n が一樣ではなく、 y 軸方向に変化してもよいとしたときに、どのよ

うにすれば光が 1 点に集まるか、という問題です。問題設定が一般化されたときの思考力、数式を言葉にする説明力を問うています。

レンズの公式と比較すれば、焦点距離が y 座標に依らず一定であるという条件を求める問題とも解釈できます。(b) の結果と矛盾のない結論が得られれば、安心できたと思います。なお、「 n が y 座標にどのように依存すればよいか」という問題ですので、 n (あるいは $n-1$ など) を主語にして、きちんと説明する必要があります。

設問では、 n が y 座標に依存する、としましたが、 n が y 座標に依らず一定で、 β に対応する量が y 座標に依存するようにしても、光を 1 点に集めることができます。興味が湧いたら、どのような曲面にすれば光を集めることができるか、ぜひ考察してみてください。

問 (2)

(a) 回折格子によってレーザーが回折される際に、1 次の明点に注目して、レーザー光線の向きがどれくらい変化するか求める問題です。1 次の明点に関する強め合いの条件から容易に解が求められます。高い正答率でした。

(b) 問 (1) (c) と同様に、 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ を求める問題です。高い正答率でした。

(c) 問 (1) (d) と同様に、回折格子の周期が y 軸方向に変化してもよいとしたときに、どのようにすれば 1 次の明点が 1 点に集まるか、という問題です。問題設定が一般化されたときの思考力、数式を言葉にする説明力を問うています。

問 (1) (d) と同じように考えれば正答を導けます。なお、「 M が y 座標にどのように依存すればよいか」という問ですので、 M を主語にして、きちんと説明する必要があります。

<全体を通して>

大学入試問題集によるトレーニングで十分に満点が取れる基本問題ですが、さらに上の目標として、求めた数式を様々な視点から解釈し、ときには身の回りの現実世界での簡単な実験をイメージするなど、物理的なイメージをぜひ膨らませてみましょう。遠回りにみえますが、急がば回れです。数式からあれこれ想像を巡らすことで、物理が楽しく学べるようになると思います。

○志願者へのメッセージ

今年度の物理の入学試験の出題方針は、(1) 問題量を適正にして、合格者は時間内に 3 つの問題を概ね解けること、(2) 難易度を標準なものとして、受験テクニックではなく、その場で問題と対峙し、考え判断して解く問題にすること、の 2 点に注意して出題しました。一般選抜の物理の問題は、物理が必修でない学部を含めて共通であること、時間内に異なる 2 科目を解くことなどを考慮して、標準的かつ総合的な作題をこころがけました。採点では、(a) 前提となるリード文を含め文章を正しく読み、設問の内容を的確に判断できるか、(b) 自分の考えを説明し、答えを導く過程を答案用紙に簡潔に記述できるか、(c) グラフ

や図などを正しく理解できるか、など多方面の評価を心がけました。言うまでもありませんが、単に知識を問ひ、公式にあてはめ、短時間に穴埋めの問題を問うような問題ではないことは、従来どおりであります。東北大学のポリシーとして、あらゆる環境の受験生にも「門戸開放」し、大学に入学後「研究第一」「実学尊重」の理念で、大学に入ってから成長する人材を選抜したいと考えています。今年度の出題方針は、今後の分析によって、変更される可能性があります。