

## I

## ■出題のねらい

重力波発生メカニズムを、互いに相手のまわりを回る2つの質点に置きかえて考察するなかで、運動量変化と力積の関係、運動量保存則と重心運動の関係についての理解度を問いました。更に、力学的エネルギーが散逸する場合の運動の変化の様子をイメージできるかを、作図を通して確認しました。

## ■採点講評

- (1) 運動量変化が力積に等しくなることの理解度を見ました。2物体間に働く力が、作用・反作用となる力だけの場合、両者に働く力積の和がゼロとなることから、運動量が保存します。ここで示した式③は、運動量の変化がゼロという意味ですが、運動量の和がゼロとする誤答が多くありました。運動量の和は初期条件で決まり、その後ずっと一定ですが、ゼロと知っているわけではありません。Δが変化量(差)を表すという意味が、理解できなかつたようです。また、このことから重心の速度変化がゼロとなることが分かり、重心は等速直線運動します。この設問の正答率はとても低かったです。数式の意味するところを正確に読み取る訓練が必要です。
- (2) 2物体の運動方程式を組み合わせて相対運動の部分を取り出して議論しました。物理の内容としては、かなり高度な議論なので、そこに踏み込むことは避けています。問題文中の説明をきちんと理解して、指示通り運動方程式を書き、力学的エネルギーを計算すればよいのですが、万有引力の式中の $m_2$ を換算質量 $\mu$ に書き換えてしまった誤答が多く見られました。問題文中の説明をしっかりと読むことが必要です。

力学的エネルギーが失われる( $E$ が減少する)ためには半径が小さくなる必要があります。このとき、半径との関係を表す式から、角速度が大きくなること、回転の速さも大きくなることが分かります。エネルギーを失うということから、直感的に遅くなると判断したと思われる誤答が多く見られました。数式の意味を素直に読み解くことも必要です。運動エネルギーは増えても、位置エネルギーがその倍の量だけ減るので、力学的エネルギーは減るのです。

- (3) 相対運動を抜き出す考え方では、本来加速度運動(回転運動)している星1を原点に固定する非慣性系で考察を進めます。星2の質量を $\mu$ に置き換えることで、慣性力を持ち出すことなく議論することが可能になっています。両者が互いのまわりを回転するとみる慣性系で角速度を計算する手順を示していますので、是非自分で計算してみてください。

全体の正答率は約40%でした。力が働くと運動の様子が変化する、その変化の仕方が運動方程式で決まっている、というのが力学の基本的な考え方です。計算に惑わされて、本質が見えなくなってしまうように学習することが大切です。

## II

### ■出題のねらい

電磁気学において有用なガウスの法則に関する問題です。前半は電気力線との関係からガウスの法則を導出する基本問題です。後半は、ガウスの法則を活用して帯電球の電場を求める発展問題です。式を証明する展開力と、作図による定性的な理解も問いました。最後に、求めた電場の理解のために電場中での点電荷の運動を考察しました。

### ■採点講評

全体の正答率は50%弱でした。(1)はガウスの法則を導出する問題で、出来はよかったです。□イ□では、分母の指数を誤る解答が多くありました。問題中に球の表面積 $S$ が与えられ、更に本数 $N$ が $r$ に関係しないという補助的な説明をしっかりと読みましょう。

(2)では、ガウスの法則を利用して帯電球の電場を求めます。ただし帯電球の内部と外部で場合分けを行う必要があり、思考力が問われる問題です。まず問1)の電気力線の作図ですが、出来はよかったですのですが、様々な誤答がみられました。矢印の向きが逆のもの、途中で切れているもの、中心 $O$ からみて等方性がないもの、等電位面を描くものなどです。これ以後の問題では正答率が低くなりました。問2), □オ□, 問3)は同程度の正答率でした。問4)の球内部の電場の証明は、ガウスの法則の理解度を確認する重要な問題です。誤答では電荷 $Q$ が中心 $O$ に集中しているとみなす計算がありました。

(3)は、問4)で求めた球内部の電場中に置かれた負電荷の運動を考察する問題ですが、正答率は低かったです。単振動の要素も含まれます。問5)のクーロン力では、座標 $x$ ではなく $r$ をそのまま用いたり、電荷 $-q$ が抜けていたりする誤答がありました。□カ□の周期の導出が□II□の中で最も正答率が低かったです。問6)は $\frac{1}{4}$ 倍、 $\frac{1}{2}$ 倍とする誤答が多かったです。周期が短くなるためには復元力、すなわちクーロン力が強くなる必要があります。そのため、負電荷の電気量は大きくなると推察できます。式の展開力も重要ですが、解の定性的な傾向を見抜く洞察力を身に付けてください。ちなみに(3)は、原子物理学の初期にトムソンが提案した原子模型と関係しており、正電荷が一様に分布する中で電子が動く「ブドウパン模型」に相当します。実際の原子はこの模型とは異なり正電荷の原子核が中心に存在し、電子の運動は量子論で説明されます。

全体的にガウスの法則の導出はよくできていました。一方、式の証明における論理的な展開は出来がよくありませんでした。この類の導出問題も普段から練習するようにしましょう。また、問6)のように、求めた解が定性的な傾向と合致するかどうかの判断も併せて行っておくとよいでしょう。

### III

#### ■出題のねらい

気体の基本的な性質を気柱共鳴を用いて問いました。波長，振動数，速さの間の最も基本的な性質から，反射波に対する境界の条件，定常波が成立する円筒管の条件といったどの教科書でも扱っている問題により，波の基本的な性質を理解しているかを求めました。定常波の変位の様子を描けるかという問題で音波のイメージが描けているか，音速の温度変化による共鳴条件変化についての問いでは筋道立てた説明ができるかの確認をしました。

#### ■採点講評

正答率は約50%と予想より低い結果となりました。

波長，振動数，速さの関係から始めて気柱内での反射により気柱に定常波がたち，波の変位が場所によってどのように変化するか，順を追って考えれば容易に正解を導くことができる問題として作成しました。必要とする知識は教科書にすべて載っており，特別な知識を必要とはしないものです。定常波の変位の表現例も図示してあり，開管と閉管で反射時の条件が変化することと，開口端補正が必要なことに関しては問題文の中に記述していますので，知識が不確かであっても，問題文を丁寧に読めば理解できます。問題の(ア)から(キ)までは，教科書の記述か章末問題かで接したことがあるものと思われる。気柱の共鳴条件から波長を求める問題(オ)以下の正答率は予想外に低いものでした。

共鳴回数 $N$ を問う問2)では，1回目と2回目の共鳴条件から始めて帰納的に考えれば，容易に求められます。問3)は逆に1回目の共鳴条件を元に考えればすぐ求めることができます。この意味で必ずしも順を追って解いていく必要はないのですが，その予想を超えて問3)のみ正解という解答が多数見られました。

問4)の問題で温度変化によって管長をどうすればよいかの説明を要求しましたが，音速が温度上昇とともに遅くなると考えている受験者が多数いました。論理を考えて理由と結論を書く必要がありますが，筋道立てた解答となっていないものも多く見受けられました。管の長さ $L$ をどうすれば良いのかを要求しているにもかかわらず，管長以外について答えている解答もありました。まず頭の中で書く内容について整理したうえで記述するようにしましょう。語句での解答を要求した(ウ)，(エ)でも誤字による解答が非常に多く見られました。難しく書く必要はなく，容易な言葉で丁寧に考えて解答するようにしましょう。