



令和 7 年度 「物理基礎＋物理」 (04コア・03プラス)

試験開始の合図があるまでに、次の注意をよく読んで、間違いないように受験してください。

1. 試験開始の合図があるまで冊子を開かないでください。
  2. この冊子には問題 6 ページ、解答用紙(第 1 問)・(第 2 問)・(第 3 問) 3 枚と計算用紙 1 枚がセットになっています。
  3. 試験開始の合図があったら、問題のページ数を確認し、解答用紙(第 1 問)・(第 2 問)・(第 3 問)と計算用紙をミシン目で折ってから冊子よりていねいに切り離し、すべての用紙に受験番号を記入してください。
  4. 問題・解答用紙に落丁、乱丁、印刷不鮮明などの箇所がある場合には申し出てください。
  5. 解答の記入は黒鉛筆(シャープペンシル可)に限ります。
  6. 文字ははっきり、ていねいに書いてください。
  7. 計算・下書きには計算用紙と問題冊子の余白を使ってください。
  8. 解答用紙の点数欄には何も記入しないでください。
  9. 使用していない解答用紙は、机の上に裏返しにしておいてください。
  10. 試験終了の合図があったら、解答用紙(第 1 問)・(第 2 問)・(第 3 問)のみ提出してください。問題冊子と計算用紙は提出せず持ち帰ってください。
  11. 「物理基礎＋物理」のコア試験の配点は 150 点、プラス試験の配点は 100 点です。プラス試験の受験生の得点は、コア試験とプラス試験の配点比率に応じた調整を行います。
- なお、各問題には、コア試験の配点のみ記載しています。

|          |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|
| 受験<br>番号 |  |  |  |  |
|----------|--|--|--|--|

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

|         |
|---------|
| 第 1 問小計 |
|         |

|               |  |
|---------------|--|
| (a)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|               |  |
|---------------|--|
| (b)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|               |  |
|---------------|--|
| (c)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|               |  |
|---------------|--|
| (d)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|               |  |
|---------------|--|
| (e)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|               |  |
|---------------|--|
| (f)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|               |  |
|---------------|--|
| (g)<br>評<br>点 |  |
|---------------|--|

|      |  |  |  |  |
|------|--|--|--|--|
| 受験番号 |  |  |  |  |
|------|--|--|--|--|



(a)

|       |
|-------|
| 第2問小計 |
|       |

(b)

|        |  |
|--------|--|
| (a) 評点 |  |
|--------|--|

(c)

|        |  |
|--------|--|
| (b) 評点 |  |
|--------|--|

(d)

|        |  |
|--------|--|
| (c) 評点 |  |
|--------|--|

(e)

|        |  |
|--------|--|
| (d) 評点 |  |
|--------|--|

|        |  |
|--------|--|
| (e) 評点 |  |
|--------|--|

(a)

|       |
|-------|
| 第3問小計 |
|       |

(b)

|        |  |
|--------|--|
| (a) 評点 |  |
|--------|--|

(c)

|        |  |
|--------|--|
| (b) 評点 |  |
|--------|--|

(d)

|        |  |
|--------|--|
| (c) 評点 |  |
|--------|--|

(e)

|        |  |
|--------|--|
| (d) 評点 |  |
|--------|--|

(f)

|        |  |
|--------|--|
| (e) 評点 |  |
|--------|--|

|        |  |
|--------|--|
| (f) 評点 |  |
|--------|--|



|      |  |  |  |  |
|------|--|--|--|--|
| 受験番号 |  |  |  |  |
|------|--|--|--|--|



この用紙は提出しないでください。

問題は次のページより始まります。

## 第1問 (50点)

答案には、結果だけでなく、考えのすじ道も書きなさい。問題に与えられていない記号が必要なときは、定義してから用いなさい。

質量  $M$  の球状の天体の周りを質量  $m$  の物体1が回っている。質量  $M$  は  $m$  に比べて十分に大きいため、天体は静止しているとしてよい。物体1は、天体を中心とする半径  $R_1$  の円周上を速さ  $v_1$  で運動している。万有引力定数を  $G$  とする。

(a) 速さ  $v_1$  を  $G, M, R_1$  を用いて表せ。

物体1の円軌道上の地点Aで、質量  $m$  の物体1を、質量  $\varepsilon m$  の物体2と、質量  $(1 - \varepsilon)m$  の物体3に分離し、物体2を円運動の方向に打ち出した ( $0 < \varepsilon < 1$ )。打ち出した直後の物体2の速さを  $v_2$  とする ( $v_2 > v_1$ )。物体2を打ち出した直後の物体3の速度は、物体2の速度と同じ方向で、大きさが  $v_3$  となった。分離後の物体2と物体3にはたらく力は天体からはたらく万有引力のみとしてよい。

(b) 打ち出した直後の物体3の速さ  $v_3$  を  $v_1, v_2, \varepsilon$  を用いて表せ。

(c) 物体2が天体からいくらでも遠くに飛び去るためには、速さ  $v_2$  は脱出速度  $v_0$  以上である必要がある。脱出速度  $v_0$  を  $G, M, R_1$  を用いて表せ。

物体2の速さは脱出速度  $v_0$  よりも小さく、天体の中心を焦点の一つとする楕円上を運動している。地点Aは物体2が天体に最も近づく近点である。物体2が天体から最も遠ざかる遠点を地点Bとする。地点Bと、天体の中心との間の距離を  $R_2$  とする。

(d) 地点Bにおける物体2の速さ  $v'_2$  を  $v_2, R_1, R_2$  を用いて表せ。

(e)  $v_2/v_1$  を  $R_1, R_2$  を用いて表せ。

物体 3 は、天体の中心を焦点の一つとする別の楕円上を運動する。地点 A は物体 3 が天体から最も遠ざかる遠点となっており、物体 3 が天体に最も近づく近点を地点 C とする。地点 C と、天体の中心との間の距離を  $R_3$  とする。

(f)  $v_3/v_1$  を  $R_1, R_3$  を用いて表せ。

(g)  $\varepsilon$  を  $R_1, R_2, R_3$  を用いて表せ。



## 第2問 (50点)

答案には、結果だけでなく、考えのすじ道も書きなさい。問題に与えられていない記号が必要なときは、定義してから用いなさい。

物理量を測定する手法には様々な種類があり、測定の精度がそれぞれ異なる。測定対象の物理量と一定の関係を持つ他の物理量を測定し、その測定値から、測定対象の物理量を計算によって求める方法を間接測定という。ここでは、電気抵抗の間接測定において、測定値から計算された結果に含まれる誤差を見積る問題を考える。図のように、既知の起電力  $V_0$  をもつ電池、既知の抵抗値  $R_0$  をもつ抵抗器 A、測定対象である抵抗値  $R$  をもつ抵抗器 B からなる回路があり、抵抗器 B の両端の電圧  $V$  のみを測定しているとする。また、電圧計の抵抗値は十分大きく、電圧計に流れる電流は無視できるとする。

(a) 回路に流れる電流の大きさ  $I$  を  $V_0$ ,  $R$ ,  $R_0$  を用いて表せ。

(b)  $R$  を  $V$ ,  $V_0$ ,  $R_0$  を用いて表せ。

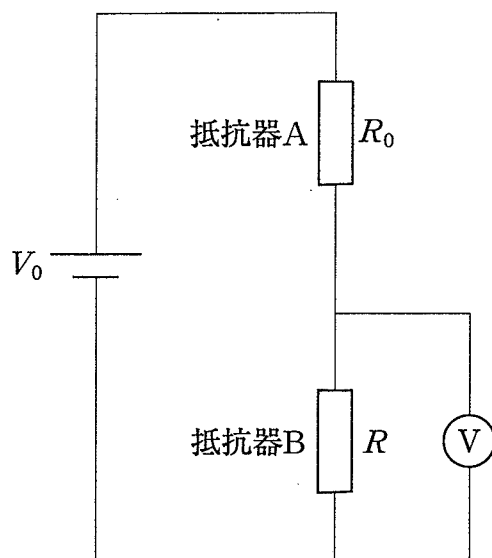
(b) で得られた関係式に、測定値  $V$ 、起電力  $V_0$ 、抵抗値  $R_0$  を代入して得られる  $R$  の値を  $R'$  とすれば、 $R'$  は抵抗器 B の抵抗値の間接測定値と言える。

電池の起電力  $V_0$  が微小量  $\Delta V_0$  だけ増加してしまった場合を考えよう。測定者であるあなたは起電力  $V_0$  の変化を観察していないため、起電力が  $V_0$  のまま変化していないと考えて、 $R'$  を求めることになる。一方、電圧の測定値  $V$  は変化するため、抵抗の測定値  $R'$  は真の値から  $\Delta R$  だけずれ、 $R' = R + \Delta R$  となる。

(c)  $V_0$ ,  $\Delta V_0$ ,  $R$ ,  $R_0$  を用いて  $V$  を表せ。

(d)  $V_0$ ,  $\Delta V_0$ ,  $R$ ,  $R_0$  を用いて, 測定誤差  $\Delta R$  を求めよ。ここで, 微小な数  $x$ ,  $y$  に対して, 近似式  $\frac{1}{1+x} \doteq 1-x$ ,  $(1+x)(1+y) \doteq 1+x+y$  を用いてもよい。ただし,  $R/R_0$  は極端に大きな値を取らないとする。

(e)  $\Delta V_0/V_0 = 0.01$  かつ  $R/R_0 = 1$  のとき,  $\Delta R/R$  の値を計算せよ。



### 第3問 (50点)

答案には、結果だけでなく、考えのすじ道も書きなさい。問題に与えられていない記号が必要なときは、定義してから用いなさい。

ボーアの原子模型では、原子は正の電荷を持つ原子核の周りを負の電荷を持つ電子が円運動していると考ええる。

1 個の電子が一定の速さ  $v$  で、原子番号  $Z$  の原子核を中心とする半径  $r$  の円に沿って運動しているとする。原子核の電荷を  $Ze$ 、電子の電荷を  $-e$ 、電子の質量を  $m$  とし、クーロンの法則の比例定数を  $k_0$  とする。ここで、 $Z$  は自然数であり、原子核の質量は電子の質量よりも十分に大きいとする。以下の問いに答えよ。

(a) 半径  $r$  を  $k_0, e, m, v, Z$  を用いて表せ。

質量  $m$  の電子が速さ  $v$  で運動しているとき、電子波の波長は  $\frac{h}{mv}$  と表される。ここで  $h$  はプランク定数である。電子の円軌道の周の長さは、電子波の波長の  $n$  倍 ( $n$  は自然数) になるとし、このときの電子の円軌道を  $n$  番目の円軌道とよぶことにする。

(b)  $n$  番目の円軌道上の電子の速さ  $v$  を  $h, m, r, n$  を用いて表せ。

(c)  $n$  番目の円軌道の半径  $r$  を  $v$  を用いずに表せ。

電荷が  $Ze$  の原子核の  $n$  番目の円軌道を運動している電子が持つ力学的エネルギーを  $E_{n,Z}$  と表し、軌道のエネルギーとよぶ。軌道のエネルギーは、電子の運動エネルギーと静電気力による位置エネルギーとの和である。静電気力による位置エネルギーは、原子核と電子が無限に離れているときを基準にとる。

(d)  $E_{n,Z}$  を  $r$  と  $v$  を含まない式で表せ。

電子が異なる円軌道に移るとき、それぞれの軌道のエネルギーの差に相当するエネルギーを持つ光子の吸収または放出が起こる。例えば、 $Z = 1$  の水素原子核の周りを円運動する 1 個の電子が、2 番目の円軌道から 1 番目の円軌道に移ると、 $E_{2,1} - E_{1,1}$  のエネルギーを持つ光子が放出される。

- (e)  $Z = 2$  のヘリウム原子核の周りを円運動する 1 個の電子が、2 番目の円軌道から 1 番目の円軌道に移るときに放出される光子のエネルギーは、水素原子の 1 番目の円軌道のエネルギーの大きさ  $|E_{1,1}|$  の何倍か答えよ。

水素原子の 1 番目の円軌道のエネルギーは  $E_{1,1} = -2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$ ，クーロンの法則の比例定数の値は  $k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$ ，水素原子核の電荷は  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  である。

- (f) 水素原子の  $n = 1$  の円軌道の半径を数値で答えよ。