

2023年度 特別奨学生・M方式入学試験問題

I 型受験

- ◆機械工学科 ◆機械システム工学科
- ◆電気電子工学科
- ◆建築学科／建築専攻（I型） ◆建築学科／インテリアデザイン専攻（I型）
- ◆建築学科／土木・環境専攻（I型）
- ◆建築学科／かおりデザイン専攻（I型）
- ◆情報システム学科
- ◆情報デザイン学科（I型）
- ◆総合情報学科／経営情報コース（I型）
- ◆総合情報学科／スポーツ情報コース（I型）

物 理

受験上の注意

- ※試験科目は、必須科目を含め3教科です。科目数に注意して受験してください。
- ※物理または化学のいずれか一つを選んで解答してください。

1. 受験票は、机の端の見える位置に置いてください。
2. 解答用紙（OCR用紙）は1枚です。
3. 試験監督者の指示により、受験番号を解答用紙の指定された場所に必ず記入してください。
4. 試験開始の合図があるまで、この問題用紙の中を見てはいけません。
5. 試験開始後は、試験終了まで退室できません。
6. 用件のある場合は、手を挙げてください。
7. 問題用紙の余白は計算に使用しても結構です。
8. 解答用紙（OCR用紙）の記入上の注意
 - （ア）解答用紙は、直接コンピュータ処理をするため、汚したり、折り曲げたりしないでください。
 - （イ）記入は、鉛筆もしくはシャープペンで、ていねいに記入してください。また、訂正の場合は消しゴムで完全に消してください。
 - （ウ）解答は「記入文字例」の数字を参考に記入してください。
9. 問題用紙は持ち帰ってください。

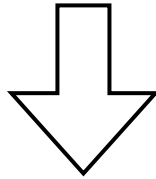
M方式 入学試験

4時限 <I型, 物理> 問題訂正

訂正箇所：5 ページ 問題[III] 問(3)の1行目

訂正前

・・・直後の状況を考える。この・・・



訂正後

・・・直後の、静止している状況を考える。この・・・

[I] 次の問いの の中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群中の番号は、同じものを何度使ってもよい。解答群の答えが数値の場合は、最も近いものを選べ。

図1のように、電球P、可変抵抗器 R_1 、 R_2 、電源E、スイッチ S_1 、 S_2 が接続された回路がある。 S_1 、 S_2 は開いておく。また、電源Eの起電力(電位差)を $V_0 = 6V$ 、電球Pにかかる電圧を V_L とする。図1に示す I_L 、 I_1 、 I_2 は回路を流れる電流であり、矢印の向きに流れる場合を正とする。P、 R_1 、 R_2 にかかる電圧は図1の矢印の向きに電位が下がる場合を正とする。電球Pは図2に示すような電流電圧特性をもつ。

はじめに可変抵抗器 R_1 、 R_2 の電気抵抗をいずれも 20Ω とする。

- (1) スイッチ S_1 を閉じる。 R_1 にかかる電圧は $V_1 = \text{ア}$ と表される。また、オームの法則より = となる。 $I_1 = I_L$ であるから V_L と I_L は直線の関係になり、 $V_0 = 6V$ なので図2を用いて $I_L = \text{ウ}$ A、電球の消費電力 $P = \text{エ}$ Wである。
- (2) さらにスイッチ S_2 を閉じると R_1 と R_2 の合成抵抗は Ω となる。経路cdfecおよびabdcaにキルヒホッフの第2法則を適用すると、それぞれ 、 が成り立つ。また点cでキルヒホッフの第1法則を適用すると が成り立つ。以上より、 $I_L = \text{ケ}$ I_1 となる。また、電球Pに流れる電流 $I_L = \text{コ}$ A、ef間の電圧 $V_{ef} = \text{サ}$ Vである。

次に可変抵抗器 R_1 、 R_2 の電気抵抗を変更する。

- (3) R_1 の電気抵抗を 30Ω に変えた。スイッチ S_1 と S_2 の両方を閉じたときに、 R_1 、 R_2 の電気抵抗がいずれも 20Ω であった場合の電球Pの消費電力と、 R_1 の電気抵抗を 30Ω に変えた場合の電球Pの消費電力が同じとなるためには R_2 の電気抵抗を Ω とすればよい。このとき、 $I_L = \text{ス}$ I_1 となる。

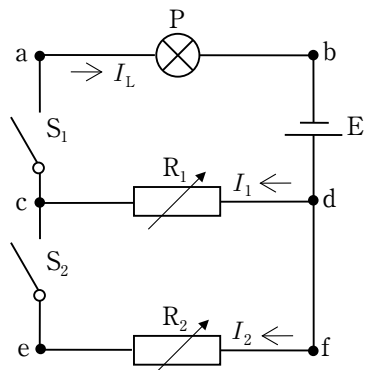


図1

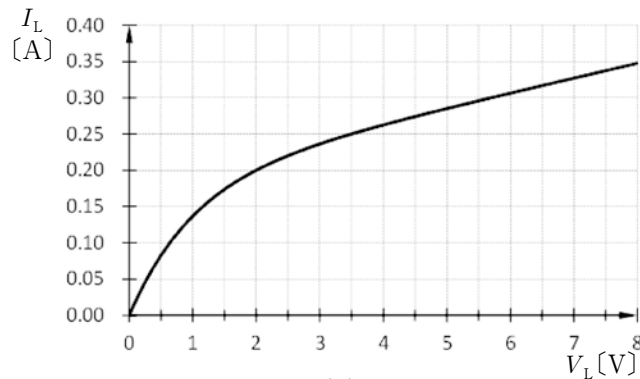


図2

解答群

ア ① V_0 ② V_L ③ $\frac{1}{2}V_0$ ④ $\frac{1}{2}V_L$ ⑤ $V_0 + V_L$

⑥ $V_L - V_0$ ⑦ $V_0 - V_L$ ⑧ $\frac{V_0 + V_L}{2}$

イ ① $10I_1$ ② $20I_1$ ③ $\frac{I_1}{10}$ ④ $\frac{I_1}{20}$ ⑤ $\frac{10}{I_1}$

⑥ $\frac{20}{I_1}$ ⑦ I_1 ⑧ $2I_1$

ウ, エ, コ

① 0.1 ② 0.15 ③ 0.2 ④ 0.25 ⑤ 0.3

⑥ 0.35 ⑦ 0.4 ⑧ 0.45 ⑨ 0.5 ⑩ 0.55

オ, シ

① 5 ② 10 ③ 15 ④ 20 ⑤ 25

⑥ 30 ⑦ 35 ⑧ 40 ⑨ 45 ⑩ 50

カ ① $I_1 + I_2 = 0$ ② $I_1 - I_2 = 0$ ③ $2I_1 + I_2 = 0$ ④ $2I_1 - I_2 = 0$

⑤ $I_1 + 2I_2 = 0$ ⑥ $I_1 - 2I_2 = 0$ ⑦ $2I_1 + 3I_2 = 0$ ⑧ $2I_1 - 3I_2 = 0$

キ ① $10I_1 + V_L = 3$ ② $I_1 + 10V_L = 3$ ③ $20I_1 + V_L = 6$ ④ $I_1 + 20V_L = 6$

⑤ $20I_1 - V_L = 6$ ⑥ $I_1 - 20V_L = 6$ ⑦ $20I_1 - V_L = 3$ ⑧ $5I_1 - 10V_L = 3$

ク ① $I_L + I_1 + I_2 = 0$ ② $I_L - I_1 + I_2 = 0$ ③ $I_L + I_1 - I_2 = 0$

④ $-2I_L + I_1 + I_2 = 0$ ⑤ $I_L - 2I_1 + I_2 = 0$ ⑥ $I_L + I_1 - 2I_2 = 0$

⑦ $-I_L - 2I_1 + I_2 = 0$ ⑧ $I_L - I_1 - I_2 = 0$

ケ, ス

① 1 ② 1.5 ③ 2 ④ 2.5 ⑤ 3

⑥ 3.5 ⑦ 4 ⑧ 4.5 ⑨ 5 ⑩ 5.5

サ ① 2 ② 2.5 ③ 3 ④ 3.5 ⑤ 4

⑥ 4.5 ⑦ 5 ⑧ 5.5 ⑨ 6 ⑩ 6.5

[II] 次の問いの の中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群の中の番号は、同じものを何度使ってもよい。

原子や原子核、電子など微小な大きさの物質は、粒子としての性質（粒子性）と波動としての性質（波動性）を兼ね備えることが分かっている。電子の粒子性と波動性を上手く考え合わせることで水素原子の基礎的な性質を説明できる、ボーアの水素原子モデルを考えよう。以下、 h はプランク定数、 c は真空中の光速、 G は万有引力定数、 k は真空中のクーロンの法則の定数、 m は電子の質量、 M は陽子の質量、 e は電気素量とする。中性子の質量も M とする。

- (1) 電気的に中性な水素原子では、原子核は で構成され、その周りに が存在する。
- (2) 電子の粒子性による運動量の大きさを p 、波動性による波長を λ_e とすると、ド・ブロイの式 $p\lambda_e = \text{ウ}$ が成立する。ド・ブロイの式は中性子でも陽子でも成立する。
- (3) ボーアの水素原子モデルとは、水素原子を構成する電子のド・ブロイの式に加えて、電子の粒子性と波動性それぞれについて以下の考え方を採用することである。

電子の粒子性：電子は、原子核との間に働くクーロン力を向心力とする等速円運動をすることを考える。円軌道の中心には、電子よりも質量が2000倍程度も大きい原子核が位置すると考える。この円運動の半径を r 、速さを v とすると、クーロン力の大きさ $F = \text{エ}$ であり、等速円運動の運動方程式は $F = \text{オ}$ である。また、電子の運動量の大きさ $p = \text{カ}$ 、運動エネルギー $K = \text{キ}$ 、無限遠を基準とする電気力による位置エネルギー $U = \text{ク}$ である。以上から、電子の力学的エネルギー E を r を使って表すと、 $E = \text{ケ}$ となる。

電子の波動性：電子は、半径 r の円軌道上で定常波になっていると考える。この円軌道に n 個 (n は自然数) の波長が収まるような定常波の場合、その波長を λ_e とすると、軌道半径 $r = \text{コ}$ となる。

- (4) 電子の粒子性の運動方程式 $F = \text{オ}$ 、波動性による関係式 $r = \text{コ}$ 、そしてド・ブロイの式 $p\lambda_e = \text{ウ}$ の3つを r 、 v 、 λ_e を求める連立方程式と考えて解くと、波動性の考えで現れる自然数 n を使って円軌道半径 $r(n)$ が求まる。この $r(n)$ を電子の力学的エネルギー $E = \text{ケ}$ に代入すると、自然数 n を使って $E(n)$ が求まる。この手順の計算結果は、以下ようになる。

$$r(n) = \text{サ} \times n^2, \quad E(n) = \frac{\text{シ}}{n^2}$$

これがボーアの水素原子モデルによる電子の軌道半径と力学的エネルギーである。

- (5) 水素原子を構成する電子が最も半径の小さな円軌道上を運動する状況で、何らかの方法（例えば光を照射するなど）で電子にエネルギーを与えて、電子を無限遠にまで飛ばすこと（水素原子のイオン化）ができる。この現象を実現するために電子に与えるエネルギーはある値 E_0 以上でないといけない。この最小値 $E_0 = \text{ス}$ である。また、このエネルギー E_0 を光の照射で与える場合、その光の波長 λ_0 はアインシュタインの光量子の式より $\lambda_0 = \frac{\text{セ}}{E_0}$ である。

- (6) ボーアの水素原子モデルにおける電子の粒子性の考え方で、等速円運動の向心力としてクーロン力は働かず、原子核と電子の間の万有引力が働くと想定してみよう。波動性の考え方とド・ブロイの式は変更しない。この場合の円軌道半径を R とすると、波動性の考えで現れる自然数 n を使って $R(n) = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 \times \text{ソ}}$ となる。

解答群

,

- ① 電子1つ ② 陽子1つ ③ 中性子1つ ④ 電子2つ ⑤ 陽子2つ
 ⑥ 中性子2つ ⑦ 電子と陽子1つずつ ⑧ 電子と中性子1つずつ
 ⑨ 陽子と中性子2つずつ ⑩ 電子と陽子と中性子1つずつ

,

- ① 1 ② c ③ h ④ $\frac{1}{c}$ ⑤ $\frac{1}{h}$
 ⑥ hc ⑦ $\frac{h}{c}$ ⑧ $\frac{c}{h}$ ⑨ $\frac{1}{hc}$ ⑩ 0

, ,

- ① $\frac{ke}{r}$ ② $-\frac{ke}{r}$ ③ $\frac{ke^2}{r}$ ④ $-\frac{ke^2}{r}$ ⑤ $\frac{ke^2}{r^2}$
 ⑥ $-\frac{ke^2}{r^2}$ ⑦ $\frac{ke^2}{2r}$ ⑧ $-\frac{ke^2}{2r}$ ⑨ $\frac{ke^2}{2r^2}$ ⑩ $-\frac{ke^2}{2r^2}$

, ,

- ① mv ② $\frac{mv}{2}$ ③ mv^2 ④ $\frac{mv^2}{2}$ ⑤ $\frac{mv}{r}$
 ⑥ $\frac{mv^2}{r}$ ⑦ mrv ⑧ mr^2v ⑨ mrv^2 ⑩ mr^2v^2

- ① λ_e ② $n\lambda_e$ ③ $\frac{\lambda_e}{n}$ ④ $\frac{n}{\lambda_e}$ ⑤ $\frac{1}{n\lambda_e}$
 ⑥ $\sqrt{\frac{n\lambda_e}{\pi}}$ ⑦ $\sqrt{\frac{\lambda_e}{n\pi}}$ ⑧ $2\pi n\lambda_e$ ⑨ $\frac{\lambda_e}{2\pi n}$ ⑩ $\frac{n\lambda_e}{2\pi}$

, ,

- ① $\frac{h^2}{mke^2}$ ② $\frac{h^2}{4\pi^2 mke^2}$ ③ $\frac{h^2 c^2}{mke^2}$ ④ $\frac{h^2 c^2}{4\pi^2 mke^2}$ ⑤ $\frac{mk^2 e^4}{h^2}$
 ⑥ $-\frac{mk^2 e^4}{h^2}$ ⑦ $\frac{mk^2 e^4}{2h^2}$ ⑧ $-\frac{mk^2 e^4}{2h^2}$ ⑨ $\frac{2\pi^2 mk^2 e^4}{h^2}$ ⑩ $-\frac{2\pi^2 mk^2 e^4}{h^2}$

- ① Ge^2 ② mGe^2 ③ cGe^2 ④ $mcGe^2$ ⑤ GMm
 ⑥ GM^2m ⑦ GMm^2 ⑧ GM^2m^2 ⑨ $GcMm$ ⑩ $GcMme^2$

[Ⅲ] 次の問いの の中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群中の番号は、同じものを何度使ってもよい。

図1のように、粗い水平面上に質量 M で密度が均一な直方体の物体 P を置く。図2に示すように、直方体の各辺 AB , AC , AA' の長さはそれぞれ L_1 , L_2 , L_3 であり、 $L_1 > L_2$ とする。 $\angle ABC = \alpha$ とする。上部の辺 AA' の中点 O に糸を付け、 AA' と垂直に水平方向に大きさ F の張力で引く。徐々に F を強くしていくと、張力の大きさが F_0 を超えた直後に、物体 P は水平面上をすべることなく傾き始めた。重力加速度の大きさを g とする。直方体が面で水平面と接触している場合と、直方体が辺で水平面と接触している場合で、最大静止摩擦力の大きさは同じ静止摩擦係数 μ で表せるとする。力のモーメントの符号は、図1または図3において反時計回りを正とする。

- まず、水平面上に物体 P を置き、糸で引き始める前 ($F=0$) の状況を考える。この状況では、物体 P に作用する重力の大きさ W は , 垂直抗力の大きさ N は , 静止摩擦力の大きさ R は である。
- 次に糸で引き始めて ($F>0$)、物体 P が傾き始める前の状況を考える。この状況での静止摩擦力の大きさ R は である。
- 次に物体 P がすべることなく傾き始めた直後の状況を考える。この場合の張力の大きさは F_0 である。この状況では、力のモーメントのつり合いと、力のつり合いが成り立つ。辺 BB' のまわりでの張力のモーメントは , 重力のモーメントは , 垂直抗力と摩擦力のモーメントはともに である。したがって、力のモーメントのつり合い式 + () + () $\times 2 = 0$ が成り立つ。この方程式から、 $F_0 =$ $\times Mg$ と求まる。物体 P がすべることなく傾き始めるためには、この状況での静止摩擦力が最大静止摩擦力より小さくなければならないので、静止摩擦係数 μ は $\mu >$ を満たす必要がある。
- 問い(3)の状況からさらに糸を引き、図3のように物体 P が水平面から角度 θ だけ傾いて静止している状況を考える。糸は水平方向に保たれているとする。この状況では、辺 BB' のまわりでの張力のモーメントは , 重力のモーメントは である。力のモーメントのつり合いと力のつり合いから、張力の大きさ $F =$ $\times Mg$, 静止摩擦力の大きさ $R =$ $\times Mg$ と求まる。
- 問い(4)の状況からさらに糸を引いていき、物体 P の水平面からの傾き角 θ が より大きくなると、反時計回りに回転して転倒してしまう。

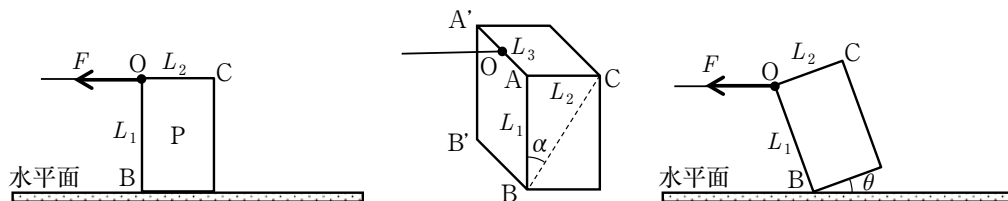


図1

図2

図3

解答群

, ,

- ① g ② M ③ Mg ④ $\frac{1}{2}Mg$ ⑤ μMg
 ⑥ gL_1 ⑦ ML_1 ⑧ MgL_1 ⑨ $\frac{1}{2}MgL_1$ ⑩ 0

, ,

- ① g ② F ③ Mg ④ μg ⑤ μMg ⑥ μF

, ,

- ① F_0L_1 ② $-F_0L_1$ ③ $\frac{F_0L_1}{2 \cos \alpha}$ ④ $-\frac{F_0L_1}{2 \cos \alpha}$ ⑤ $\frac{MgL_2}{2}$
 ⑥ $-\frac{MgL_2}{2}$ ⑦ $\frac{MgL_1}{2 \cos \alpha}$ ⑧ $-\frac{MgL_1}{2 \cos \alpha}$ ⑨ $\frac{\mu MgL_1}{2 \cos \alpha}$ ⑩ 0

,

- ① 1 ② $\frac{L_2}{L_1}$ ③ $\frac{L_1}{L_2}$ ④ $\frac{L_2}{2L_1}$ ⑤ $\frac{L_1}{2L_2}$
 ⑥ $\frac{1}{2 \cos \alpha}$ ⑦ $\frac{1}{2 \sin \alpha}$ ⑧ $2 \cos \alpha$ ⑨ $2 \sin \alpha$ ⑩ 0

,

- ① $FL_1 \sin \theta$ ② $-FL_1 \sin \theta$ ③ $FL_1 \cos \theta$ ④ $-FL_1 \cos \theta$
 ⑤ $\frac{1}{2}MgL_2 \sin \theta$ ⑥ $-\frac{1}{2}MgL_2 \sin \theta$ ⑦ $\frac{MgL_1 \sin(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha}$
 ⑧ $-\frac{MgL_1 \sin(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha}$ ⑨ $\frac{MgL_1 \cos(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha}$ ⑩ $-\frac{MgL_1 \cos(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha}$

,

- ① $\frac{\sin \theta}{2 \cos \alpha}$ ② $\frac{\cos \theta}{2 \sin \alpha}$ ③ $\frac{\sin(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha}$ ④ $\frac{\cos(\alpha - \theta)}{2 \sin \alpha}$ ⑤ $\frac{\sin(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha \cos \theta}$
 ⑥ $\frac{\cos(\alpha - \theta)}{2 \sin \alpha \sin \theta}$ ⑦ $\frac{\cos(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha \cos \theta}$ ⑧ $\frac{\sin(\alpha - \theta)}{2 \cos \alpha \sin \theta}$ ⑨ $\frac{\sin(\alpha - \theta)}{2 \sin \alpha \cos \theta}$

- ① α ② $\frac{\pi}{2} - \alpha$ ③ $\frac{\alpha}{2}$ ④ $\sin \alpha$ ⑤ $\cos \alpha$ ⑥ $\tan \alpha$