

平成 30 年度入学者選抜学力検査問題

〈前期日程〉

理 科

(医学部 医学科)

科 目	頁 数
物 理 基 礎・物 理	2 頁 ~ 8 頁
化 学 基 礎・化 学	10 頁 ~ 14 頁
生 物 基 礎・生 物	16 頁 ~ 23 頁

注 意 事 項 I

この冊子には物理、化学、生物の問題がのっている。そこから2科目を選択し、解答すること。

注 意 事 項 II

- 1 試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけない。
- 2 試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
- 3 解答にかかる前に必ず受験番号を解答用紙に記入すること。
- 4 解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。
所定の欄以外に記入したものは無効である。
- 5 問題冊子は持ち帰ってよい。

(このページは空白)

物理基礎・物理

1 図1は、おもりの落下を用いた発電装置の概略を示している。装置は二つの円盤、コイル、磁石、おもりから構成されており、以下のように動作する。

- ・円盤は固定された回転軸のまわりをなめらかに回転することができる。
- ・半径 R [m] の円盤1にはひもが巻きつけられており、ひもの先端には質量 m [kg] のおもりが取り付けられている。円盤1は、おもりの落下にともなって回転する。
- ・半径 r [m] の円盤2にはコイルが取り付けられており、円盤2は円盤1の回転とともに滑らずに回転する。コイルは、鉛直上向きで磁束密度の大きさ B [T] の磁場中を、磁場と垂直な回転軸のまわりに回転する。コイルには誘導起電力が生じ、コイルの両端 (e と f) から電力を得ることができる。

図1 (b) に示すように、時刻 t [s] でのコイルの角度 $\theta(t)$ [rad] は、水平方向をゼロとして、時計まわりに測るものとし、 $\theta(0) = 0$ とする。また、 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ の向きに流れる電流を正の向きの電流とする。図2に示すように、コイルは一辺 L [m] の正方形で、導線が n 回巻かれている。なお、誘導起電力はコイル $abcd$ 内の磁束変化によるものだけを考えるものとする。

コイルの両端 e と f には一定の大きさの電気抵抗が接続されており、おもりが落下を始めると、十分短い時間で、落下速度と円盤の角速度は一定の値に近づく。以下の設問において、コイルは一定の角速度 ω [rad/s] で円盤側から見て時計まわりに回転するものとする。 ef 間の電位差の最大値を V_0 [V]、コイルに流れる電流の最大値を I_0 [A]、コイルの回転周期を $T = \frac{2\pi}{\omega}$ [s] とする。また、ひもおよびコイルの質量と太さは無視できるものとし、重力加速度の大きさを g [m/s²]、円周率を π として、以下の問いに答えよ。

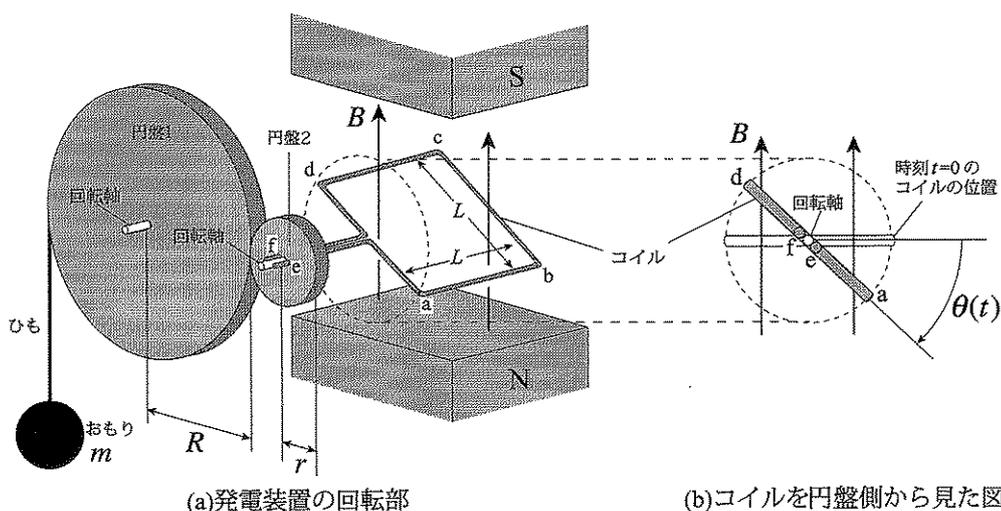


図1

問 1 辺 ab および cd に流れる電流の向きを、4つの場合

$$0 < \theta(t) < \frac{\pi}{2}, \quad \frac{\pi}{2} < \theta(t) < \pi, \quad \pi < \theta(t) < \frac{3\pi}{2}, \quad \frac{3\pi}{2} < \theta(t) < 2\pi$$

について、図 3 の例にしたがって解答用紙の図(コイルを円盤側から見たもの)に記入せよ。

なお、電流が流れない場合は「ゼロ」と表記せよ。角度 $\theta(t)$ は時計まわりに測っていることに注意せよ。

問 2 コイルに流れる電流 $I(t)$ [A] とコイルの両端に生じる電位差 $V(t)$ [V] の時間変化はどのようなになるか。図 4 の中から最も適切なものを選び①～⑧の番号で答えよ。ただし、コイルに流れる電流が正の向きするとき、コイル両端の電位差の符号は正であるとする。

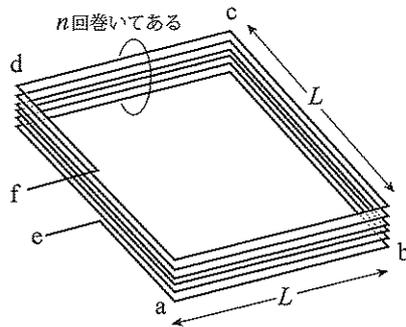


図 2

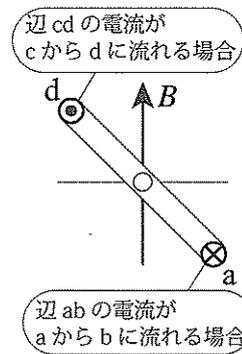


図 3 : 解答用紙への記入例

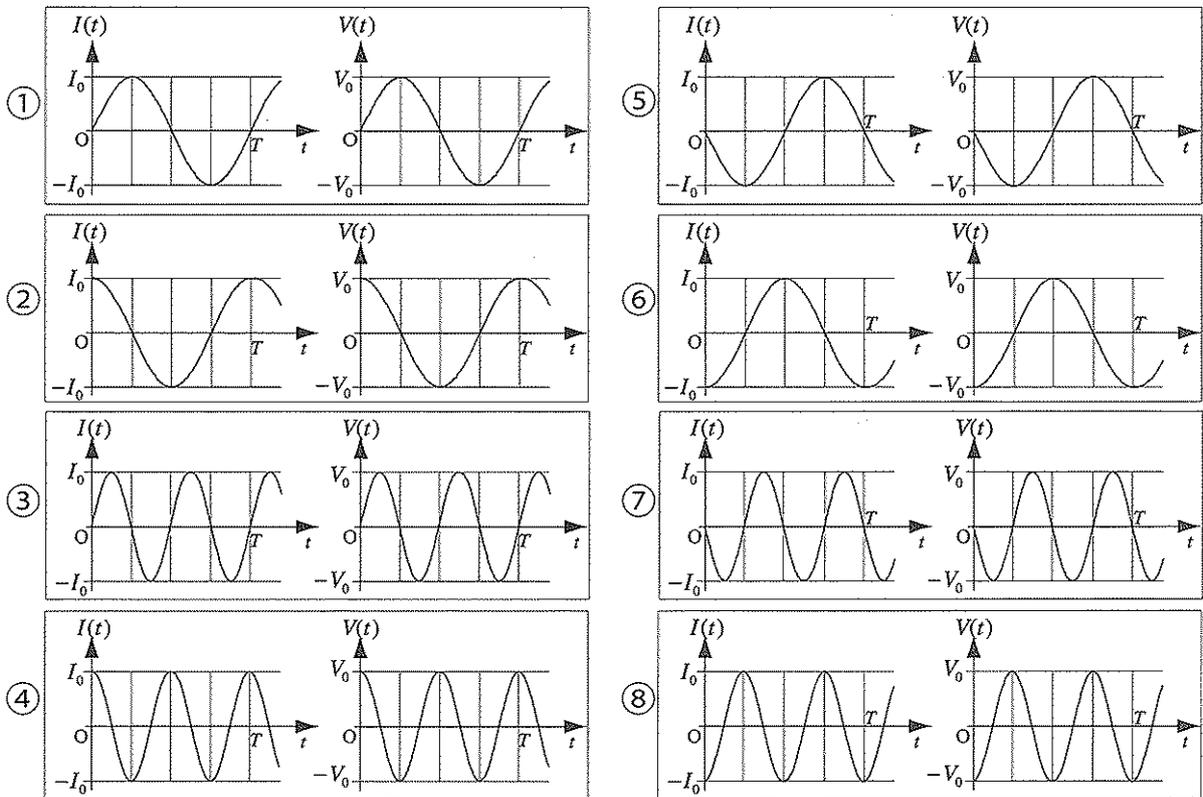


図 4

問 3 誘導起電力の最大値 V_0 として適切な式を，以下の選択肢の中から選び番号で答えよ。

- ① $V_0 = nBL^2\omega$ ② $V_0 = nBL\omega^2$ ③ $V_0 = nBL^2\omega^2$
 ④ $V_0 = \frac{nB\omega}{L^2}$ ⑤ $V_0 = \frac{nB\omega}{L}$

問 4 辺 ab および cd が磁場から受ける力の向きを，図 5 の例にしたがって，問 1 と同じ 4 つの場合について解答用紙の図(コイルを円盤側から見たもの)に記入せよ。なお，力が働かない場合は「ゼロ」と表記せよ。角度 $\theta(t)$ は時計まわりに測っていることに注意せよ。

問 5 磁場によってコイルが受ける力のモーメントの大きさ $N(t)$ (N・m) の時間変化はどのようなになるか。図 6 の中から最も適切なものを選び①～⑧の番号で答えよ。ただし， N_0 (N・m) は力のモーメントの大きさの最大値を表す。

問 6 力のモーメントの大きさ $N(t)$ の最大値 N_0 として適切な式を，以下の選択肢の中から選び番号で答えよ。

- ① $N_0 = nI_0BL^2$ ② $N_0 = nI_0BL$ ③ $N_0 = nI_0^2BL$
 ④ $N_0 = \frac{nI_0B}{L^2}$ ⑤ $N_0 = \frac{nI_0B}{L}$

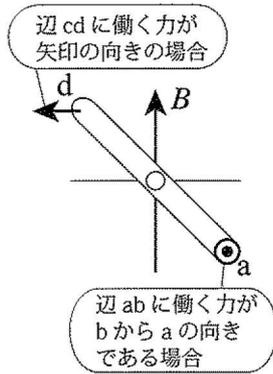


図 5：解答用紙への記入例

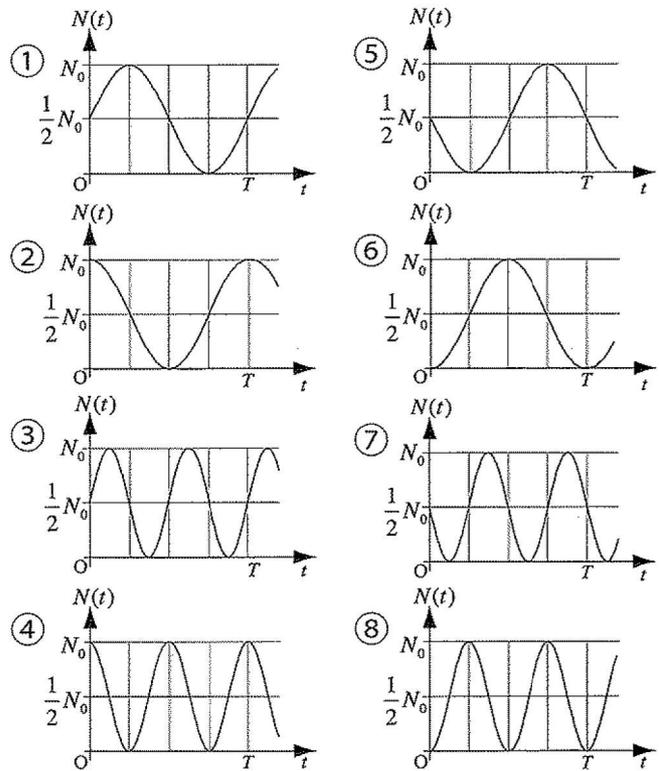


図 6

以下の問7～問10では、下の(1)～(3)を前提として考えよ。

- (1) 一定の角速度で回転している「円盤1」に働く力のモーメントの合計はゼロである。
- (2) 一定の角速度で回転している「円盤2とコイルからなる物体」に働く力のモーメントの合計はゼロである。
- (3) この問題で考察している発電装置の場合、コイルは高速で回転するので、磁場によってコイルが受ける力のモーメントの大きさは、時間的に平均した値 $\frac{N_0}{2}$ としてよい。

問7 磁場によってコイルが受ける力のモーメントの大きさの平均値 $\frac{N_0}{2}$ とおもりに働く重力の大きさ mg の関係を表す式として適切なものを、以下の選択肢の中から選び番号で答えよ。

- | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ① $\frac{N_0}{2} = mg \frac{r^2}{R}$ | ② $\frac{N_0}{2} = mgr$ | ③ $\frac{N_0}{2} = mgR$ |
| ④ $\frac{N_0}{2} = mg \frac{R^2}{r}$ | ⑤ $\frac{N_0}{2} = mgL$ | |

問8 円盤1の角速度 Ω (rad/s) とコイルの角速度 ω の関係として適切な式を、以下の選択肢の中から選び番号で答えよ。

- | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|
| ① $\Omega = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \omega$ | ② $\Omega = \frac{r}{R} \omega$ | ③ $\Omega = \frac{r}{L} \omega$ |
| ④ $\Omega = \frac{L}{R} \omega$ | ⑤ $\Omega = \frac{R}{r} \omega$ | |

以下の問9と問10において、

$$V_0 = 10 \text{ V}, I_0 = 100 \text{ mA}, m = 1 \text{ kg}, r = 1 \text{ mm}, R = 10 \text{ cm}, B = 0.1 \text{ T}, L = 2 \text{ cm}$$

であるとする。なお、簡単のために、重力加速度の大きさは $g = 10 \text{ m/s}^2$ とする。

問9 コイルの巻数 n として最も適切な値を以下の選択肢の中から選び番号で答え、計算過程も説明せよ。

- | | | | | |
|------|-------|--------|----------|----------|
| ① 50 | ② 250 | ③ 5000 | ④ 100000 | ⑤ 500000 |
|------|-------|--------|----------|----------|

問10 円盤1の角速度 Ω として最も適切な値を以下の選択肢の中から選び番号で答え、計算過程も説明せよ。

- | | | | | |
|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|
| ① 0.1 rad/s | ② 0.5 rad/s | ③ 1 rad/s | ④ 5 rad/s | ⑤ 50 rad/s |
|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|

2 なめらかに上下移動できるピストンのついた容器の内部に 1 mol の理想気体が封入され、この容器は圧力 p_0 [Pa] の大気中に置かれている。このピストンの質量は十分小さく無視できるものとする。容器の底面には温度が一定に保たれる熱源を設置することができ、容器の底面が熱源に接しているとき容器内の気体はこの熱源のみと熱のやりとりを行い、このとき以外に容器内の気体は外部と熱のやりとりを行わないものとする。また、容器は常に密封されており気体の出入りはなく、容器とピストンの熱容量は無視する。気体定数は R [J/(mol·K)] とする。

容器の底面が温度 T_A [K] の熱源と接している状態でピストンに下向きの力を加えた。十分長い時間が経過したのち、容器内の気体の圧力は $3p_0$ 、体積は V_0 [m³]、温度は T_A となった。このときの容器内の気体の状態を状態 1 とし、以下に示す過程 A ~ 過程 D の 4 つの過程からなるサイクルを考える。過程 A ~ 過程 D の様子を図 7 に示す。なお、図中の下向き矢印はピストンに加える力を表したものである。

過程 A 状態 1 において、容器の底面が温度 T_A の熱源と接した状態で、容器内の気体の温度を T_A に保ちながら、ピストンに加える力をゆっくり減少させることでピストンを上に移動させ、容器内の気体の体積が $2V_0$ になったところでピストンの移動を止めた。このときの容器内の気体の状態を状態 2 とする。

過程 B 状態 2 において、容器の底面から熱源を取り外し、外部との熱のやりとりがない状態で、ピストンに加える力をゆっくり減少させることでピストンを上に移動させた。この力がゼロになったときピストンの移動が止まり、容器内の気体の温度は T_B [K] となった。このときの容器内の気体の状態を状態 3 とする。

過程 C 状態 3 において、容器の底面に温度 T_B の熱源を接触させ、容器内の気体の温度を T_B に保ちながら、ピストンに加える力をゆっくり増加させることでピストンを下に移動させ、容器内の気体がある体積になったところでピストンの移動を止めた。このときの容器内の気体の状態を状態 4 とする。

過程 D 状態 4 において、容器の底面から熱源を取り外し、外部との熱のやりとりがない状態で、ピストンに加える力をゆっくり増加させることでピストンを下に移動させ、容器内の気体の体積が V_0 になったところでピストンの移動を止めた。このとき容器内の気体の圧力は $3p_0$ 、温度は T_A となり、容器内の気体の状態は状態 1 に戻った。

以下の問いに答えよ。なお、理想気体の断熱過程では、圧力 p [Pa] と体積 V [m³] の間に $pV^\gamma = \text{一定}$ (γ は比熱比, $\gamma > 1$) の関係が成り立つ。

- 問 1 T_A と T_B の大小関係を不等号を用いて表せ。
- 問 2 状態 2 における容器内の気体の圧力を p_0 を用いて表せ。
- 問 3 状態 3 における容器内の気体の圧力を p_0 を用いて表せ。また、このときの体積を V_0 と γ を用いて表せ。
- 問 4 理想気体の断熱過程において、温度 T [K] と体積 V の関係は、ある定数 a を用いて $TV^a = \text{一定}$ と表すことができる。 a を γ を用いて表せ。
- 問 5 過程 B と過程 D では問 4 で求めた T と V の関係が成り立つことを用いて、状態 4 における容器内の気体の体積を V_0 と γ を用いて表せ。
- 問 6 状態 4 における容器内の気体の圧力を p_0 を用いて表せ。
- 問 7 T_A および T_B を p_0 , V_0 , γ , R の中から必要なものを用いて表せ。

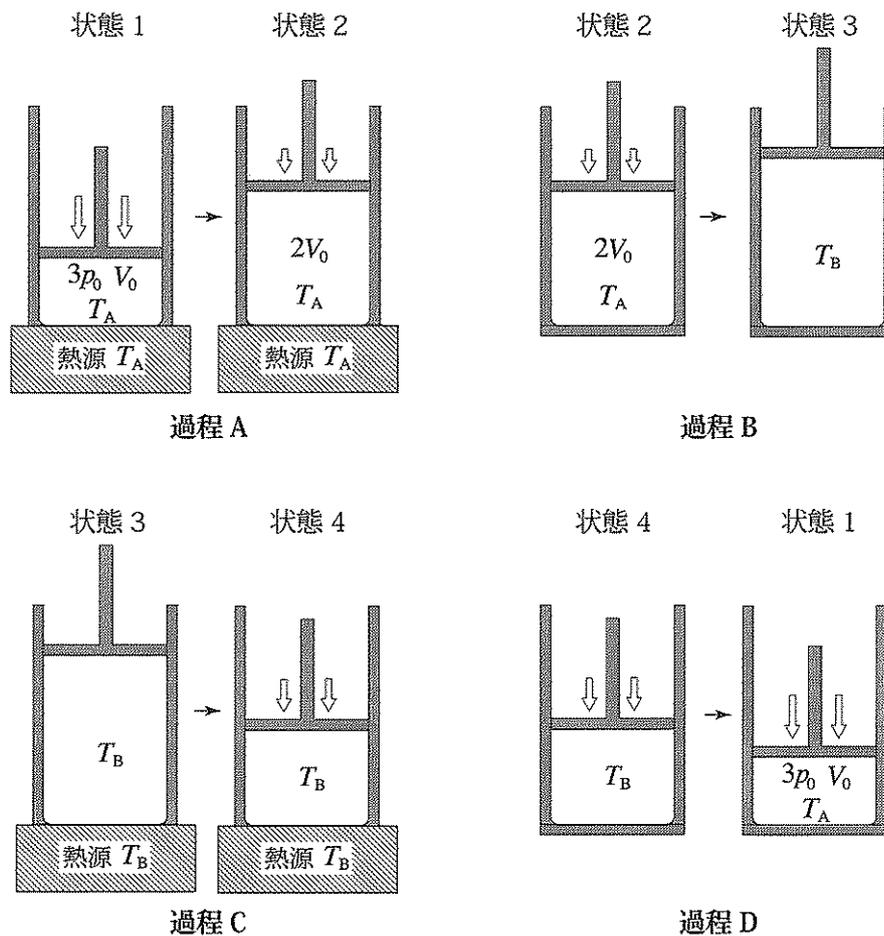


図 7.

過程A～過程Dの1サイクルにおいて、容器内の気体が過程Aで温度 T_A の熱源から吸収した熱量を Q_A 〔J〕、過程Cで温度 T_B の熱源に放出した熱量を Q_C 〔J〕とする。

問 8 このサイクルにおいて容器内の気体が外部にした仕事を求めよ。

問 9 このサイクルでは $\frac{Q_A}{Q_C} = \frac{T_A}{T_B}$ の関係が成り立つ。このサイクルを熱機関とみなしたときの熱効率を γ を用いて表せ。