

15時00分～17時30分

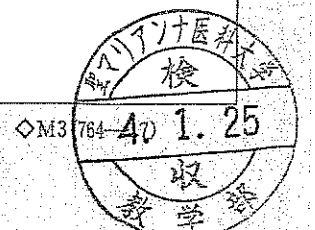
理 科 問 題 冊 子

| 科目名 | 頁 |
|-----|-----------|
| 物 理 | 1 ～ 10 頁 |
| 化 学 | 11 ～ 14 頁 |
| 生 物 | 15 ～ 23 頁 |

注 意 事 項

1. 試験開始の合図【チャイム】があるまで、この注意をよく読むこと。
2. 試験開始の合図【チャイム】があるまで、問題冊子ならびに解答用紙は開かないこと。
3. 試験開始の合図【チャイム】の後に問題冊子ならびに選択した科目に拘わらず解答用紙の全ページの所定の欄に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答はかならず定められた解答用紙を用い、それぞれ定められた位置に問題の指示に従って記入すること。解答用紙に解答以外のことを書かないこと。
5. 解答はすべて黒鉛筆を用いてはつきりと読みやすく書くこと。
6. 解答用紙のホチキスははずさないこと。
7. 質問は文字が不鮮明なときに限り受け付ける。
8. 問題冊子に、落丁や乱丁があるときは手を挙げて交換を求めること。
9. 試験開始60分以内および試験終了前10分間は、退場を認めない。
10. 試験終了の合図【チャイム】があったとき、ただちに筆記用具を置くこと。
11. 試験終了の合図【チャイム】の後は、問題冊子ならびに解答用紙はいずれも表紙を上にして、通路側から解答用紙、問題冊子の順に並べて置くこと。いっさい持ち帰ってはならない。
なお、途中退場の場合は、すべて裏返しにして置くこと。
12. 選択科目の変更は認めない。
13. その他、監督者の指示に従うこと。

| | | | |
|------|--|-----|--|
| 受験番号 | | 氏 名 | |
|------|--|-----|--|



物 理

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入しなさい。選択肢問題以外は、特に指示のない限り解答の過程も簡潔に示しなさい。

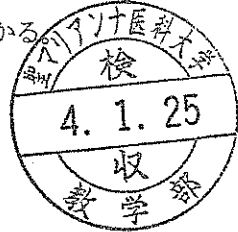
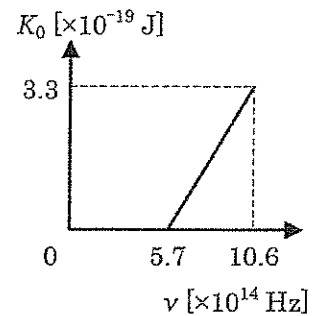
1 以下の文章の (①) から (⑫) に適切な数値、物理量、または式を入れなさい。ただし、解答の過程は示さなくてよい。

[1] 惑星の中心の周りを、人工衛星が半径 7×10^3 km、周期 6×10^3 s で等速円運動している。円周率を π とすると、この人工衛星の速さは (①) m/s である。したがって、万有引力定数を 7×10^{-11} N・m²/kg² とすると、この惑星の質量は (②) kg であり、惑星の半径を 6×10^3 km とすると、惑星表面での重力加速度の大きさは (③) m/s² である。

[2] 抵抗値 R の抵抗を電池に接続したところ、抵抗で消費される電力は P であった。このとき抵抗に流れる電流は (④) である。同じ電池に 2 つの抵抗値 R の抵抗を直列に接続する場合、1 つの抵抗で消費される電力は (⑤) である。また、同じ電池に 2 つの抵抗値 R の抵抗を並列に接続する場合、1 つの抵抗で消費される電力は (⑥) である。

[3] 有効数字 2 桁で表すと、27°C は絶対温度で (⑦) であり、1 気圧は (⑧) Pa である。また気体定数は 8.3 J/(mol・K)、アボガドロ定数は 6.0×10^{23} /mol であるから、ボルツマン定数は (⑨) となる。

[4] ある金属に様々な振動数 ν の光を当て、飛び出してくる光電子の運動エネルギーの最大値 K_0 を測定したところ、 K_0 と ν は右図のような一次関数の関係であった。この測定から、プランク定数は (⑩) J・s、この金属の仕事関数は (⑪) J と求まり、(⑫) Hz 以下の振動数の光を当てた場合には光電子は飛び出してくることがわかる。



2 傾けた平らな板の上をすべる質量 m の物体を考える。板の傾きは板と水平とのなす角 θ [rad] で表し、傾きは水平 ($\theta = 0$) から鉛直 ($\theta = \frac{\pi}{2}$) までを自由に変えることができる。板と物体との間の摩擦角は θ_0 、静摩擦係数は μ 、動摩擦係数は μ' であり、 $0 < \mu' < \mu$ である。重力加速度の大きさを g として、以下の各問に答えなさい。

[A] 板の傾きを θ ($< \frac{\pi}{2}$) に固定したのち、物体を板の上に静かに置いたところ、物体は板に対して静止した。その後、板の傾きを徐々に大きくしていったところ、ある傾きで物体は板をすべり下りた。

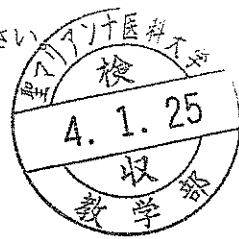
- [1] 傾きが θ のとき、物体が受ける抗力の大きさを求めなさい。解答の過程は示さなくてよい。
- [2] 傾きが θ のとき、物体が受ける摩擦力の大きさを求めなさい。解答の過程は示さなくてよい。
- [3] 最大摩擦力の大きさを、 μ または μ' を含む式で表しなさい。解答の過程は示さなくてよい。

[B] 板の傾きを θ ($< \frac{\pi}{2}$) に固定したのち、物体を板の上の位置 A に静かに置いたところ、物体は板をすべり下り、位置 A から高さ H だけ低い位置 (位置 B) に達した。

- [4] 位置 A から位置 B に達するまでに、保存力が物体にした仕事を求めなさい。
- [5] 位置 A から位置 B に達するまでに、保存力以外の力が物体にした仕事を求めなさい。
- [6] 位置 B での物体の速さを求めなさい。

[C] 板の傾きを θ ($< \frac{\pi}{2}$) に固定したのち、物体を板の上に静かに置いたところ、物体は板をすべり始め、加速を続けた。その後、板の傾きを徐々に小さくしていったところ、傾きが θ' より小さい範囲では、物体は減速しながら板をすべり下りた。

- [7] 傾きが θ のときの、物体の加速度を求めなさい。ただし、物体が板をすべり下りる方向を正とする。
- [8] $\theta' < \theta_0$ であることを示しなさい。



3 ホール効果を用いて半導体試料のキャリアに関する特性を調べよう。調べる試料は直方体状で、試料の幅を w 、高さを h とする。また、試料中の単位体積あたりのキャリアの数を n 、電気素量を e とする。図1のように、この試料を水平面上に置き、水平方向に一定の電流を流した。このときのキャリアの速さを v とする。以下の各問に答えなさい。

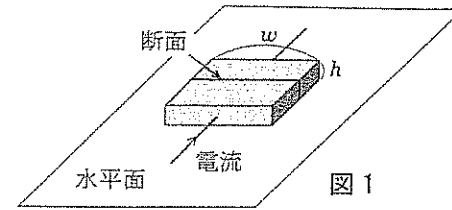


図1

- [1] 面積が hw となるような図1の断面を単位時間に通過するキャリアの数を求めなさい。解答の過程は示さなくてよい。
- [2] 試料を流れる電流の大きさを求めなさい。解答の過程は示さなくてよい。

図2のように、試料に電流を流した状態で、鉛直方向上向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場を加えると、キャリアはローレンツ力を受けて試料内を移動した。その結果、側面 a は負に、反対側の側面 b は正に帯電し、側面 ab 間に電位差 V が生じた（この現象をホール効果といひ、 V をホール電圧という）。

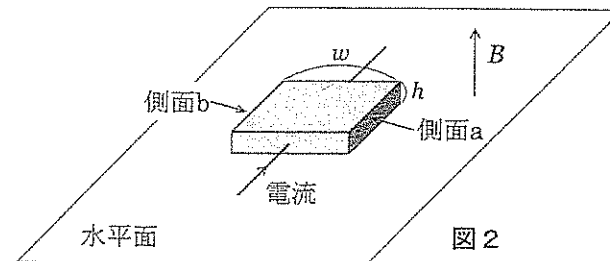


図2

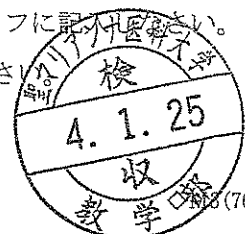
ホール電圧により試料内に電場が生じ、キャリアは電場から静電気力を受ける。キャリアが受けるローレンツ力と静電気力がつりあうと、キャリアは試料中を直進するようになる。この状態を定常状態と呼ぶことにする。

- [3] キャリアが受けるローレンツ力の大きさを求めなさい。解答の過程は示さなくてよい。
- [4] キャリアの電荷の符号は正・負のどちらか。解答欄の正・負のどちらかを○で囲みなさい。
- [5] キャリアが、ホール電圧による電場から受ける静電気力の大きさを求めなさい。
- [6] 定常状態におけるキャリアの速さを V 、 B 、 w を用いて表しなさい。
- [7] 試料を流れる電流を I とするとき、 n を I 、 V 、 B 、 e 、 h を用いて表しなさい。

以下、幅 6.0 mm、高さ 1.0 mm の半導体試料を考える。この試料を図2のように水平面上に置き、水平方向に 2.0 mA の電流を流したまま、鉛直方向上向きに一様な磁場を加えた。電流の大きさは変えずに磁束密度の大きさを変えて、定常状態におけるホール電圧を測定したところ表の結果が得られた。電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

| | | | |
|--------------|------|------|------|
| 磁束密度の大きさ [T] | 0.06 | 0.30 | 0.45 |
| ホール電圧 [mV] | 0.25 | 1.31 | 2.01 |

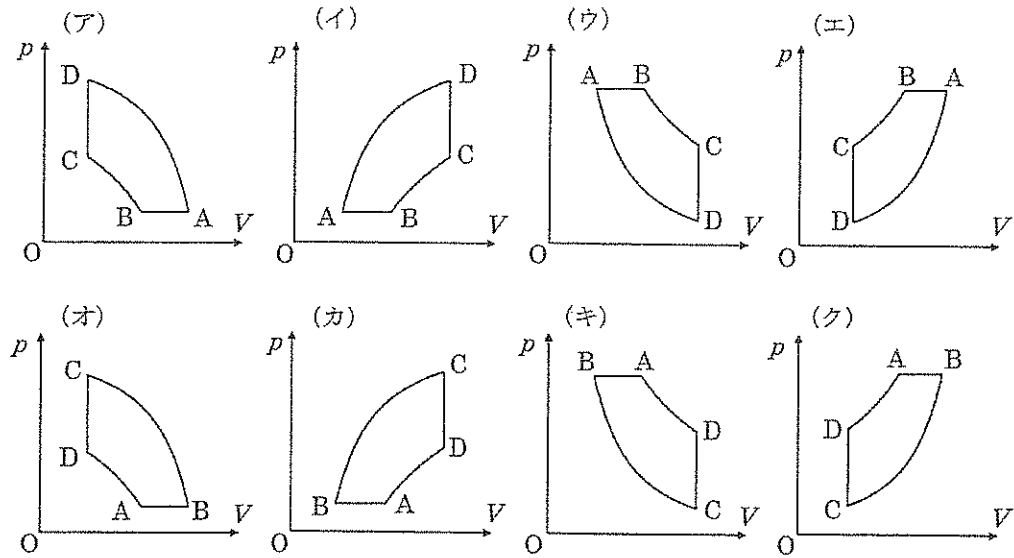
- [8] 解答欄のグラフには、表の結果の1つを表す点が記入されている。残り2つの測定結果について、既に記入されている点と同程度の大きさの点を解答欄のグラフに記入しなさい。
- [9] この試料中の 1 m^3 あたりのキャリアの数を有効数字1桁で求めなさい。



4 一定量の理想気体の状態を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow \dots$ とくり返し変化させるサイクルを考える。状態 A, B, C, D はいずれも決まった圧力、体積、温度をもつ。状態間の各変化は、 $A \rightarrow B$ が定圧変化（定圧膨張）、 $B \rightarrow C$ が等温変化（等温膨張）、 $C \rightarrow D$ が定積変化、 $D \rightarrow A$ が断熱変化（断熱圧縮）であり、いずれもゆっくり変化し、状態間の途中では逆向きの変化はしないものとする。以下の各問に答えなさい。解答の過程は示さなくてよい。

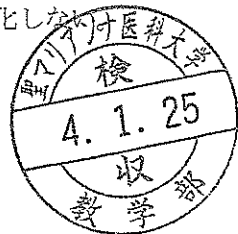
- [1] 熱の吸収や放出をくり返して熱を仕事に変換する装置を一般に何と言うか答えなさい。
 [2] このサイクルの圧力 p と体積 V の関係を表すグラフとして最も適切なものを【選択肢】(ア)～(ク)のうちから1つ選び、その記号を答えなさい。

【選択肢】



- [3] 状態 A, B, C, D のうち、最も温度が高い状態をすべて答えなさい。
 [4] 状態 A, B, C, D のうち、最も温度が低い状態をすべて答えなさい。
 [5] 状態間の変化 ㉑ $A \rightarrow B$ 、㉒ $B \rightarrow C$ 、㉓ $C \rightarrow D$ 、㉔ $D \rightarrow A$ のうち、以下の(あ)～(く)のそれぞれについてあてはまるものをすべて選び、記号 ㉑～㉔ で答えなさい。ただし、あてはまるものがない場合は「なし」と答えなさい。

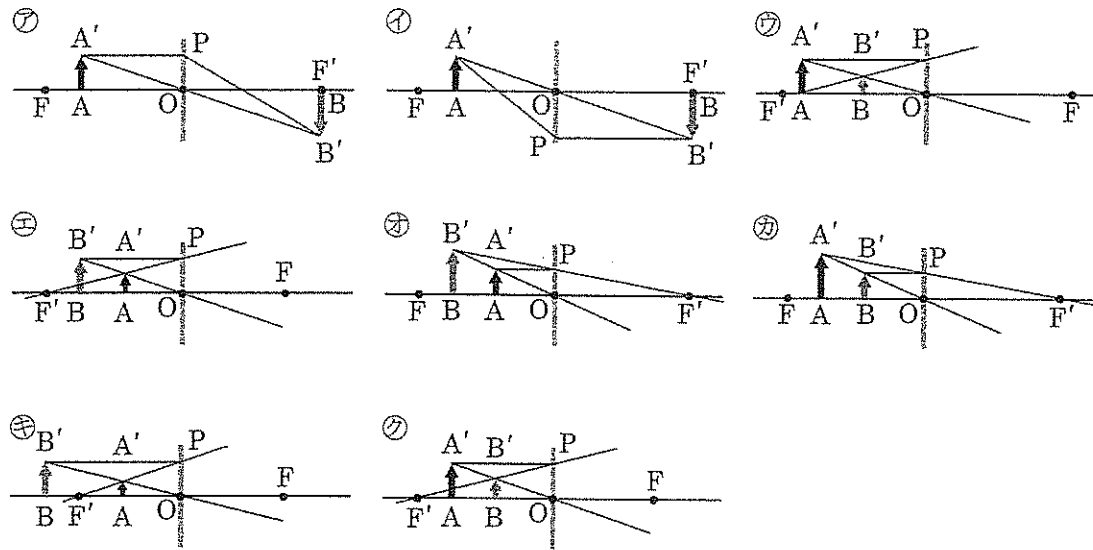
- (あ) 気体の絶対温度は気体の圧力に比例する。
 (い) 気体は外部に正の仕事も負の仕事もしない。
 (う) 気体は外部に正の仕事をし、気体の内部エネルギーは増加する。
 (え) 気体は外部に正の仕事をし、気体の内部エネルギーは変化しない。
 (お) 気体は外部に負の仕事をし、気体の内部エネルギーは増加する。
 (か) 気体は外部に負の仕事をし、気体の内部エネルギーは変化しない。
 (き) 気体は熱を放出する。
 (く) 気体は熱を吸収する。



5 以下の各問に答えなさい。

- [1] 焦点距離 f の凸レンズを考える。レンズからの光軸上の距離が $a (>f)$ の位置に物体を置くと、レンズに対して物体と反対の側に倒立の実像が観察される。レンズから実像までの距離を a, f を用いて表しなさい。
- [2] 焦点距離 f の凸レンズを考える。レンズからの光軸上の距離が $a (<f)$ の位置に物体 AA' を置いたときに凸レンズによって生じる像 BB' の作図としてもっとも適切なものを【選択肢】①～③から1つ選び、その記号を答えなさい。ただし、 F, F' はレンズの焦点、 FF' を通る実線は光軸を表す。また、 OP を通る灰色の太線はレンズ、 O はレンズの中心、 P は光軸と平行な直線がレンズと交わる点を表す。解答の過程は示さなくてよい。

【選択肢】



- [3] 焦点距離 f の凸レンズを考える。レンズからの光軸上の距離が $a (<f)$ の位置に物体 AA' を置くと、レンズからの距離が b の位置に物体の虚像 BB' ができる。説明文 I は a, b, f の関係式を求める説明である。①～③に当てはまる式を a, b, f のうち必要なものを用いて表しなさい。ただし、説明文中のアルファベット記号は [2] の図中のアルファベット記号に対応している。解答の過程は示さなくてよい。

説明文 I

$$\triangle OAA' \sim \triangle OBB' \text{ より、} \frac{BB'}{AA'} = (\text{①}) .$$

$$\triangle F'OP \sim \triangle F'BB' \text{ を考える。} AA' = OP \text{ なので、} \frac{BB'}{AA'} = (\text{②}) .$$

$$\text{以上より、} \frac{1}{f} = (\text{③}) .$$

- [4] 焦点距離 1.2 cm の凸レンズから光軸上で 0.6 cm の位置に物体を置いた場合の倍率を求めなさい。また、1.6 cm の位置に物体を置いた場合の倍率を求めなさい。

図3は顕微鏡の原理を示した図である。レンズはどちらも凸レンズであり、 F_0, F_0' は対物レンズの焦点、 F_1 は接眼レンズの焦点である。対物レンズの下方で対物レンズから距離 a (ただし、 a は対物レンズの焦点距離よりも大きい) の位置に物体を置くと、対物レンズの上方で対物レンズから距離 b の位置に実像が生じる。図3のように、接眼レンズから実像までの距離 s が接眼レンズの焦点距離よりも小さくなる位置に、接眼レンズを設置する。このとき、接眼レンズから距離 t の位置に虚像が生じる。顕微鏡で観察される像はこの虚像である。

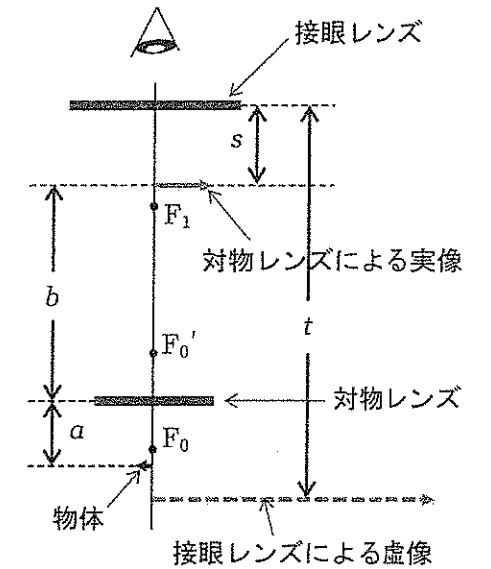


図3

- [5] 説明文 II はこの顕微鏡の倍率を求める手順である。④～⑥に当てはまる式を a, b, s, t のうち必要なものを用いて表しなさい。解答の過程は示さなくてよい。

説明文 II

物体の大きさを h_0 とすると対物レンズで生じる実像の大きさ h_1 は、 $h_1 = (\text{④}) h_0$ である。実像の大きさが h_1 のとき、接眼レンズで観察される虚像の大きさ h_2 は、 $h_2 = (\text{⑤}) h_1$ である。したがって、観察される像の大きさ h_2 は $h_2 = (\text{⑥}) h_0$ である。よって、この顕微鏡の倍率は (⑥) である。

- [6] 焦点距離 20 mm、倍率 10 倍の接眼レンズと、焦点距離 7.0 mm、倍率 35 倍の対物レンズを使うとき、物体から接眼レンズまでの距離は何 cm か。有効数字 2 桁で求めなさい。

