

2019年度一般入学試験問題

理 科

(物理, 化学, 生物より 2 科目選択)

【注意事項】

1. この問題冊子には答案用紙が挟み込まれています。試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。
2. 試験開始後、問題冊子と答案用紙（物理, 化学, 生物の答案用紙すべて）の受験番号欄に受験番号を記入しなさい。
3. **選択する 2 科目**の答案用紙の選択欄に○印を記入しなさい。
4. 問題冊子には、**物理計 5 問**、**化学計 3 問**、**生物計 6 問**の問題が、それぞれ**物 1～物 6 ページ**、**化 1～化 6 ページ**、**生 1～生 13 ページ**に記載されています。落丁、乱丁および印刷不鮮明な箇所があれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
5. 答案には、必ず鉛筆（黒「HB」「B」程度）またはシャープペンシル（黒「HB」「B」程度）を使用しなさい。
6. 選択した科目の解答はその答案用紙の指定された場所に記入しなさい。ただし、解答に関係のないことが書かれた答案は無効にすることがあります。
7. 問題冊子の余白は下書きに利用しても構いません。
8. 問題冊子および答案用紙はどのページも切り離してはいけません。
9. 問題冊子および答案用紙を持ち帰ってはいけません。

受験番号	
------	--

物 理

〔問 1〕以下の問い (1) ～ (4) に答えよ。導出過程が必要な問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。単位が必要なものは単位も記入すること。

(1) 図 1a のように、密度が ρ_1 、一片の長さが a である一様な立方体の木片を、水深 $2l$ の水槽の底に固定された長さ l の軽い糸につけて上面を水平にして沈ませ静止させた。 l は a に比べて十分大きいとする。また、水の密度を ρ_2 とすると、 $\rho_1 < \rho_2$ である。重力加速度の大きさを g とし、次の各問いに答えよ。

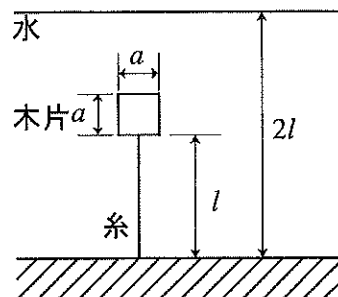


図 1a

① 糸の張力の大きさを求めよ。

② 糸を切ると、木片は浮く。木片の上面が水平になって静止したとき、木片が水面よりも出ている部分の高さを求めよ。

(2) 図 1b のように、原子面の間隔 d の結晶に真空中で加速された電子線が原子面に対して角度 θ で入射している。次の各問いに答えよ。

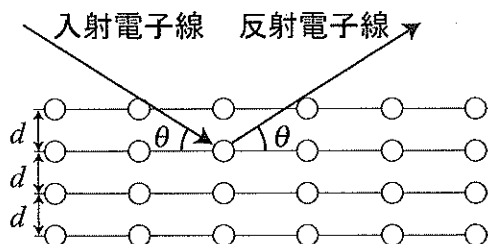


図 1b

① 初速度 0 から電圧 V で加速された電子の、結晶に入る直前の波長を求めよ。ただし、電気素量を e 、電子の質量を m 、プランク定数を h とする。

② 初速度 0 から 3.1 kV の電圧で加速された電子の、結晶に入る直前の波長はいくらか。 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、 $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ とする。

③ 次に、波長 10^{-12} m 程度の電子線を 10^{-10} m 程度の原子面間隔の結晶にあてたとき、平行な多くの原子面で反射される電子線が干渉して強め合う条件から求まる角度 θ の最小値として、もっとも適切なものは次の a から d のうちどれか、記号で答えよ。

- a. 60 度程度 b. 30 度程度 c. 15 度程度 d. 1 度以下

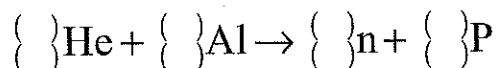
〔問1 続き〕

(3) 真空中に、長さ l 、全巻き数 N 、断面積 S の導線が一様に巻かれたソレノイドがある。ソレノイドの長さはその半径に比べて十分長く端の効果は無視でき、ソレノイド外部の磁場と、導線の抵抗は無視できるものとする。このソレノイドに電流 I を流したとき、次の各問いに答えよ。ただし、真空の透磁率を μ_0 とする。

- ① ソレノイド内部の磁束密度を求めよ。
- ② ソレノイドの自己インダクタンスを求めよ。
- ③ ソレノイド内部にたくわえられるエネルギーが一様であるとした場合、ソレノイド内部の単位体積当たりのエネルギーを求めよ。
- ④ ①で求めたソレノイド内部の磁束密度を B としたとき、③のソレノイド内部の単位体積当たりのエネルギーを、 B および μ_0 を用いて表せ。

(4) ヘリウム(He)の原子核である α 粒子と原子との反応について、次の各問いに答えよ。

① α 粒子を質量数 27 のアルミニウム(Al)に衝突させると、質量数 30 のリン(P)の放射性同位体ができる。この反応を表す次の式中の () を埋めて、正しい式を完成させよ。ここで、 n は中性子を表し、アルミニウム、リンの原子番号はそれぞれ 13, 15 である。解答欄には、反応式をすべて書くこと。



- ② 質量数 30 のリンは、電子を吸収して安定なケイ素に変わる。このケイ素の質量数を求めよ。ケイ素の原子番号は 14 である。
- ③ ②の反応で、質量数 30 のリンの半減期は 150 秒である。初めに 1.0×10^{23} 個の質量数 30 のリンがあったとき、300 秒後に存在する②で求めた質量数のケイ素の個数を求めよ。

〔問2〕図2のように、中空の円すいの側面の内壁に質量 m の小物体が静止している。この円すいは中心軸の回りに回転できるようになっており、小物体は中心軸から r の距離の位置にある。円すいの側面と水平面とのなす角は θ で、小物体と円すいの側面の内壁との静止摩擦係数は μ である。重力加速度の大きさを g として次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

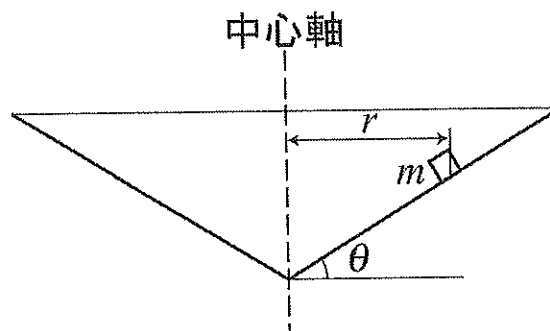


図2

I. 初めに、円すいは静止していた。

(1) 円すいの内壁に小物体が静止できる θ の最大値を θ_0 として、静止摩擦係数 μ と θ_0 との関係を求めよ。

II. 次に、 θ の値が $0 < \theta < \theta_0$ の範囲のある値を取る円すいを考える。この円すいを中心軸の回りに一定の角速度で回転させた。このとき、小物体は回転する円すいと一緒に回転し、円すいの内壁をすべらなかつた。

(2) このときの静止摩擦力を、角速度を ω としたとき、 ω の関数として求めよ。ただし、斜面に沿って上方を正の向きとすること。

(3) 静止摩擦力が小物体に働かず 0 になるときの角速度を求めよ。

III. 最後に、 θ の値が $\theta_0 < \theta < \theta_1$ の範囲のある値を取る円すいを考える。ここで、

$\tan \theta_1 = \frac{1}{\mu}$ とする。この円すいを一定の角速度で回転させるとき、小物体が円すいの内壁

をすべらない角速度の範囲について考える。

(4) 小物体が内壁をすべり上がらないための角速度の上限値を求めよ。

(5) 小物体が内壁をすべり下りないための角速度の下限値を求めよ。

〔問3〕図3のように、軽いピストンが付いた断面積 S の円筒型容器が水平に置かれている。容器の内部には、単原子分子理想気体が閉じ込められている。ピストンはなめらかに動くことができ、外部からは一定の大気圧 p_0 が加わっている。さらに、このピストンにはばね定数 k のばねが取り付けられており、水平方向に力を加えることができる。容器内部にはヒーターが取り付けられており、気体を加熱できる。また、容器とピストンは断熱材でつくられており、ヒーターから熱を受け取る以外は、気体と外部との熱の出入りはない。ヒーターの体積、熱容量およびばねの質量は無視できるものとして、次の各問いに答えよ。ただし、気体定数を R とする。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

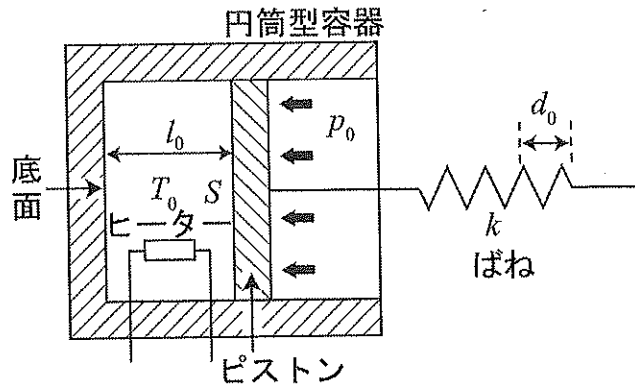


図3

I. 最初、図3のように、ばねを自然の長さからの伸びが d_0 になるまでゆっくりと伸ばした。このとき、ピストンと容器の底面までの距離は l_0 で、気体の温度は T_0 であった。また、この状態を状態Oと呼ぶことにする。

(1) 容器に閉じ込められている気体の物質量を求めよ。

II. 状態Oからヒーターに電流を流して気体にゆっくりと熱を与えると、ピストンと容器の底面の距離が l_1 になって止まった。この間、ばねの自然の長さからの伸びは常に d_0 を保つようしていた。

(2) ピストンが止まったときの気体の温度を求めよ。

(3) この過程で増加した気体の内部エネルギーを求めよ。

(4) この過程で気体が得た熱量を求めよ。

III. 状態Oから、ばねを自然の長さからの伸びが $2d_0$ になるまでゆっくりと伸ばしたところ、ピストンと容器の底面までの距離は l_2 になって止まった。このときの気体の温度は T_2 であった。ただし、この過程ではヒーターで気体を加熱していない。

(5) 気体の温度 T_2 を求めよ。

(6) (2)で求めた温度を T_1 とするとき、① T_0 、 T_1 、 T_2 の間の大小関係を示せ。また、② その理由を述べよ。

[問4] 図4のように、起電力 V の電池に抵抗値 R_1 、 R_2 、 R_3 の固定抵抗器、可変抵抗器、容量 C の平行板コンデンサー、スイッチ S_1 、 S_2 を接続した。最初は、スイッチ S_1 、 S_2 はともに開いており、平行板コンデンサーには電荷は蓄えられていない。電池の内部抵抗、導線の抵抗、スイッチの抵抗は無視できるものとし、次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

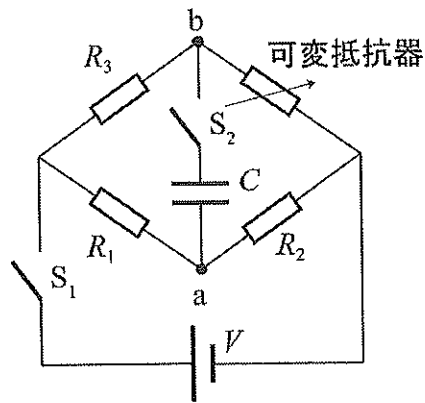


図4

I. スイッチ S_1 を閉じた。その後、可変抵抗器の抵抗値を変化させ、点 a と点 b との電位を等しくした。

- (1) 可変抵抗器の抵抗値を求めよ。
- (2) 可変抵抗器に流れる電流の大きさを求めよ。

II. 次に、スイッチ S_2 を閉じた。その後、可変抵抗器の抵抗値をゆっくりと小さくし、その値を r まで下げた。

- (3) 点 b を基準としたときの点 a の電位を求めよ。
- (4) 可変抵抗器の抵抗値 r を 0 まで下げたときに、平行板コンデンサーに蓄えられている電気量を求めよ。

III. $R_1 = R_2 = R_3 = R$ のとき、II. の操作を考える。

(5) 平行板コンデンサーに蓄えられる電気量を Q 、静電エネルギーを U とする。計算を簡単にするために、 $Q' = \frac{Q}{CV}$ 、 $U' = \frac{U}{\left(\frac{1}{2}CV^2\right)}$ 、および $r' = \frac{r}{R}$ とするとき、① Q' および ②

U' を、 r' の関数としてそれぞれグラフを描け。 r' の範囲は $0 \leq r' \leq 1$ とし、 $r' = 0, 0.5, 1$ のときの値を有効数字2けたで記入すること。

〔問5〕図5のように、海面から高さ h のところに電波望遠鏡があり、遠くの電波源から直接来る電波（直接波）と、海面から反射される電波（反射波）とを同時に受信する。直接波の進む方向と、水平面との角度を θ とし、電波は波長 λ の平面波とする。ただし、海面は十分なめらかで、 h は一定であるとする。次の各問いに答えよ。導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。単位が必要なものは単位も記入すること。

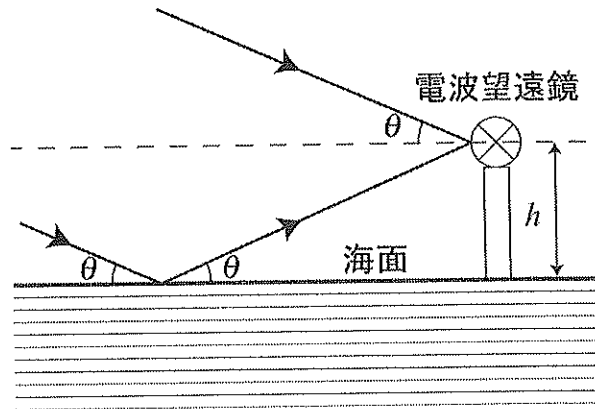


図5

- (1) 反射波と直接波との行路差を求めよ。導出過程に、行路差を求めるための図も示すこと。
- (2) 反射波の位相から直接波の位相を引いた位相差を求めよ。ただし、海面で電波が反射される時、電波の位相が $+\pi$ ずれるとする。
- (3) 反射波と直接波とが強め合うとき、 m を $m=0, 1, 2, \dots$ として、 $\sin \theta$ を求めよ。
- (4) 振動数 50 MHz の電波を $h=200$ m の電波望遠鏡で受信するとき、電波が強めあう θ の最小値は何 rad か。光速を 3.0×10^8 m/s とし、 θ が小さいとき、 $\sin \theta \approx \theta$ と近似できることを利用して良い。
- (5) 電波源が光速の $\frac{1}{20}$ の速さで電波望遠鏡に近づいているとき、電波が強めあう θ の最小値は、(4) で求めた角度の何倍になるか。ただし、電波源が近づく速さが光速に比べて無視できない場合の相対性理論的な効果は考えなくてよい。