

物 理

注 意 事 項

- 1 「解答始め」の合図があるまでこの冊子を開かないこと。
- 2 この冊子は8ページである。
- 3 学部名と受験番号及び氏名は、必ず4枚の解答用紙のそれぞれに記入すること。
- 4 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。

1 積雪のある地方に家を建てる(図1, 図2)。以下の問いに答えよ。

図中の単位は mm とする。重力加速度は 9.8 m/s^2 とする。積雪荷重(積もった雪の単位面積当たりの重さ)は積雪 1 cm あたり 20 N/m^2 である。降雪している間は十分に寒冷であり、融雪は考えないものとする。

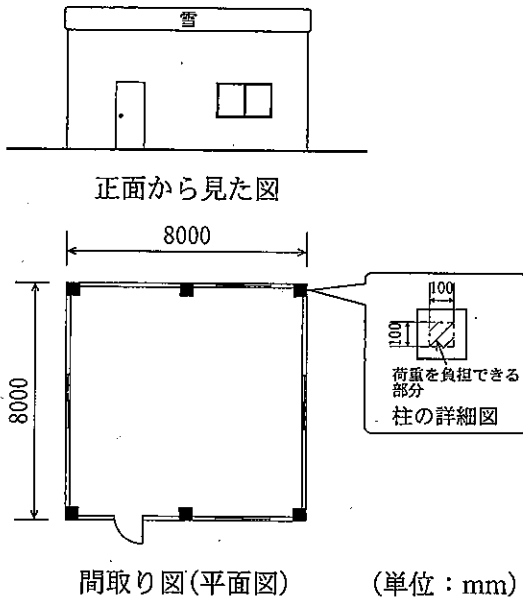


図1

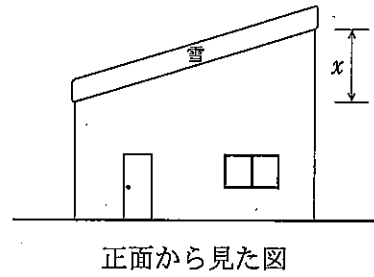


図2

- (1) 図1の家は水平屋根の家である。ある日、この地方に夜8時から翌朝6時までの間、断続的に1時間あたり5.0 cmの降雪があった。翌朝6時の時点でこの家の屋根に積もる雪の荷重はいくらか。
- (2) 図1の家は外縁部の6本の柱で屋根を支える構造で、柱が耐えることができる鉛直方向の荷重は 15 N/mm^2 である。鉛直荷重を負担できる断面の大きさが柱1本あたり100 mm四方の場合、この家は何cmの積雪まで耐えることができるか。適切な有効数字を用いて答えよ。屋根自体の重さは $10 \text{ t}(10^4 \text{ kg})$ とする。柱は剛強でたわまないものとし、柱に掛かる力は鉛直荷重以外想定しないものとする。
- (3) 屋根の一方の軒を x だけ高くして、勾配をつける(図2)。 x をいくらにすれば、(1)の朝6時の時点で積もった雪は滑り落ちるか。適切な有効数字を用いて答えよ。なお屋根面と積雪との間の静止摩擦係数 μ は0.30とする。

2

電界および磁界中の荷電粒子の運動に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 図3に示すように、 xyz 直角座標系の z 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁界がある。電荷 q の粒子が x 軸の正の向きに速さ v で動いているとき、磁界から粒子に働く力の x , y , z 成分を求めよ。
- (2) 図4に示すように、 xyz 直角座標系の z 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁界、 x 軸の正の向きに一様な強さ E の電界を加え、その中で xy 平面で電荷 q の粒子を運動させる。粒子の速度 v の x , y 成分をそれぞれ v_x , v_y とするとき、粒子が電界と磁界から受ける力の x , y , z 成分を求めよ。
- (3) 図5に示すように、抵抗を持つ長さ a , 幅 β , 高さ h の直方体の導体がある。この導体内で電子が平均速度 v で定常運動すると、電子は v に比例する抵抗力 $-kv$ を受ける (k は導体固有の定数)。このとき、 x 軸の正の向きに電界 E があり、磁界が存在しないとき、定常状態における電子の平均速度の x 成分 v_x を求めよ。ただし、電子の電荷は $-e$ とし、この導体に流れる電流の作る磁界は無視できるとする。
- (4) 図5において、 x 軸の正の向きに電界 E が存在し、さらに、 z 軸の正の向きに磁界 B をかける。両端面 ($x = 0$ 及び $x = a$) の電極間に流れる電流は、磁界が存在しない場合の何倍になるか求めよ。
- (5) 図6に示すように、 x 軸の正の向きに電界 E , z 軸の正の向きに磁界 B が存在する。図5で示した導体の両側面 ($y = 0$ 及び $y = \beta$) 間を導線で接続し、その導線に電流計を接続して、導線に流れる電流を測定できるようにする。なお、電極、導線の抵抗は無視できるとする。両端面 ($x = 0$ 及び $x = a$) の間に電流 I が流れているとき、両側面 ($y = 0$ 及び $y = \beta$) を接続した導線に流れる電流の値を求めよ。なお、各側面に流れる電流はすべて導線に流れ込むものとする。

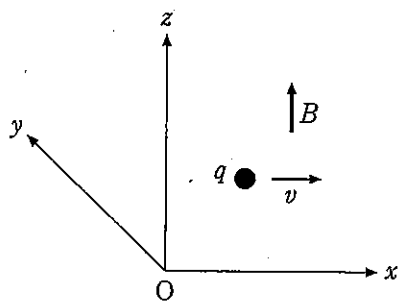


圖 3

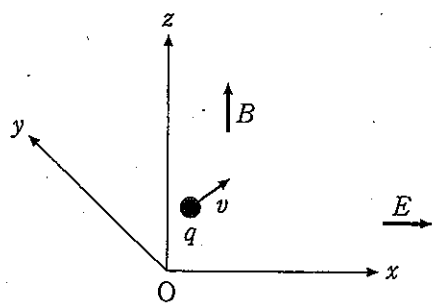


圖 4

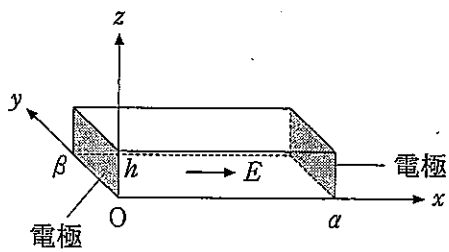


圖 5

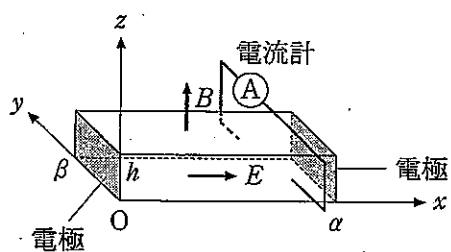


圖 6

3 熱気球に関する以下の文章を読み、次ページの問いに答えよ。

図7の状態1のように、地上の大気圧 P_0 、密度 ρ_0 、絶対温度 T_0 の条件下で体積が V_0 の気球がある。気球の気体は膜内に密閉されている。膜は熱や気体を通さないが、自由に伸縮するので内外の圧力は等しい。膜内の気体以外(膜、ヒーターおよびゴンドラなど)の体積は無視できるものとし、それらの質量は気体の質量の α 倍である。したがって気球全体の質量は $(1 + \alpha)\rho_0 V_0$ である。膜内の気体および大気は同一組成の理想気体とし、気体定数を R 、定積モル比熱を $C_V = \frac{5}{2}R$ とする。大気の絶対温度は高度によらず T_0 で一定とする。

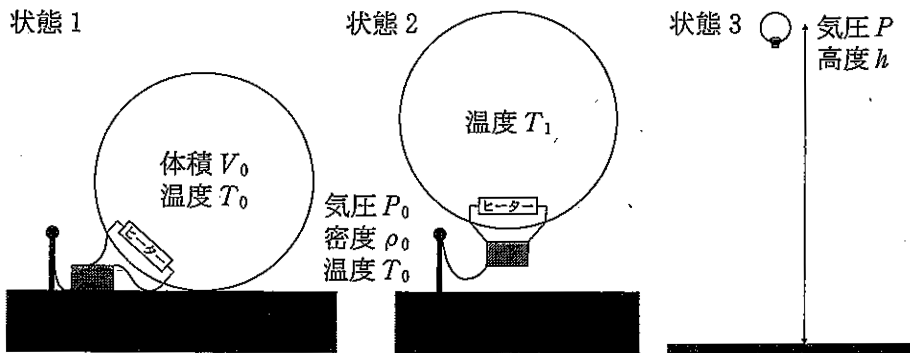


図7 気球の状態

- (1) 大気平均分子量 M を P_0 , ρ_0 , T_0 を用いて求めよ。
- (2) 膜内の気体の物質量 [mol] を求めよ。
- (3) 係留されたままヒーターで膜内の気体を加熱したところ、絶対温度が T_1 に達したとき気球が浮きはじめた(状態 2)。この絶対温度 T_1 とヒーターで加熱した熱量 Q_1 を求めよ。
- (4) 係留を切ると気球はゆっくりと上昇した。高度が上って気圧が P_0 より低くなっても、膜内の気体の絶対温度を T_1 以上に保てば気球の高度は下がらないことを示せ。
- (5) 膜内の気体の絶対温度を T_1 に維持し、気球がゆっくり上昇するようヒーターを制御して、高度 h に達したところでヒーターを止めた(状態 3)。この高度での気圧は P で、気球の体積は V だった。状態 2 から状態 3 までの膜内の気体の圧力と体積の変化を、解答用紙の「圧力—体積図」に太い線で描き入れよ。さらに、この過程で膜内の気体が大気に対してした仕事 W と面積が等しくなる領域を斜線で図示せよ。
- (6) 状態 2 から状態 3 までにヒーターで加熱した熱量を Q_2 とする。この過程における膜内の気体の内部エネルギー変化量 ΔU を求めよ。

4 音波に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 音波について書かれた以下の文章の空欄 ① ~ ⑤ に入れる適切な語句、数値、数式を、下の選択肢㉑~㉚から一つずつ選んで解答欄に記入せよ。同じ番号の空欄には同じ語句が入る。

音波は媒質の疎密が連なって進行する ① である。常温の空気中では、音速は音源の ② によらずおよそ ③ m/s である。音波の波長は(音速)÷ ② で求められる。壁に垂直に進行する音波は壁によって ④ される。一端が開き逆の一端が閉じたまっすぐな管に音波を入射させて定常波が管内にできたとき、 n を 0, 1, 2, … の値をとる整数として、管の長さはその定常波の波長の ⑤ 倍である。ただし開口端補正は無視する。

【選択肢】

- | | | | |
|-------------------|---------|--------------------|--------------------|
| ㉑ 縦波 | ㉒ 横波 | ㉓ 温度 | ㉔ 位相 |
| ㉕ 振動数 | ㉖ 1250 | ㉗ 340 | ㉘ 120 |
| ㉙ 固定端反射 | ㉚ 自由端反射 | ㉛ $\frac{2n+1}{4}$ | ㉜ $\frac{2n+1}{2}$ |
| ㉝ $\frac{n+1}{2}$ | | | |

- (2) 図 8 のように、振動数 f の音源 S があり、原点 O に観測者がいる。 S からみて O の方向に垂直な壁がある。壁と O との間の距離を L とする。最初、 S は静止していた。音速を V_0 とする。

a) 観測者が O の位置から少し移動して壁との距離を L から変化させると、どちらに移動しても聞こえる音は小さくなった。つまり、原点 O の位置で観測される音の大きさは極大であった。この現象はどのようにして起こるか説明せよ。

b) この時の L , V_0 , f の間の関係を 0, 1, 2, … の値をとる整数 n を用いて表せ。

- c) Sを原点Oにいる観測者に向けて一定の速さ u で運動させる。観測者が聞く音の大きさを、さまざまな値の u で実験し比べてみると、図9のように、 u が0からある値までの範囲では u の増加とともに聞く音の大きさが減少し、その後 v までは u の増加につれて増大し、ちょうど $u=v$ のとき極大になった。 v を L, V_0, f のみで表せ。答えの導出過程も示せ。ただしSが原点Oより右側に通り過ぎることはないとする。
- d) Sが速さ u でOの位置を通過したとする。通過した後、原点Oにいる観測者にはうなりが聞こえた。そのうなりの振動数を u, V_0, f を用いて表せ。

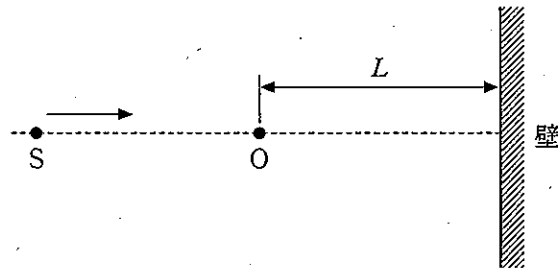


図8

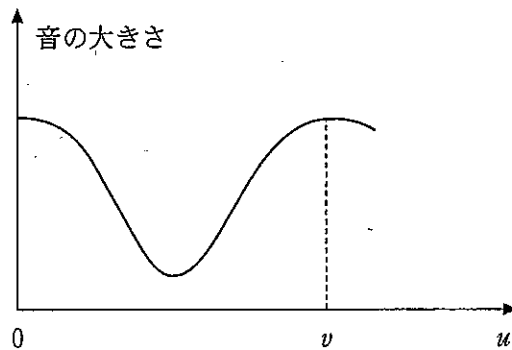


図9