

理科問題紙

令和2年2月25日

自 14:00

至 16:00

答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から29までの29ページである。
2. 解答用紙は、生物⑦、⑧、⑨、化学⑩、⑪、⑫、⑬、物理⑭、⑮、⑯の10枚である。
3. 生物、化学、物理のうち2科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後30分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。

物 理

1 質量 m [kg] の探査ロケットが、質量 M [kg]、半径 R [m] の球形の惑星に降下することを考える。図 1 のようにロケットは、惑星表面からの高さが r [m] の点 P から、惑星の中心 O と P を結ぶ直線 OP に沿って運動し、 OP 上にある惑星表面の点 Q に着陸する。この惑星には大気はなく、着陸降下の際には、ロケットが惑星を周回する運動や惑星の自転及び公転などの影響は考えない。さらに、ロケットの大きさは無視し、ロケットの質量の変化は、無視できるほど小さいとする。以下の問に答えなさい。万有引力定数を G [Nm^2/kg^2] とする。

問 1 惑星表面上の物体が惑星から受ける万有引力の大きさは、惑星の全質量が惑星の中心にあるときに物体との間に働く万有引力の大きさに等しい。ロケットが点 P で惑星から受ける万有引力の大きさ F を m 、 M 、 R 、 r 、 G を用いて表しなさい。

r が R より十分小さいなら $\frac{r}{R}$ は 1 よりも十分小さく、1 に対して $\frac{r}{R}$ を 0 ($\frac{r}{R} \approx 0$) と考えることができる。このとき、物体が惑星の万有引力だけを受けて惑星表面に自由落下する加速度の大きさは一定となる。この加速度の大きさを g_M [m/s^2] とする。また、ロケット降下時に惑星の引力の向きとは逆向きにロケットが受ける推力の大きさが F_M [N] のときには、ロケットは等速で降下し、 F_M より小さな F_a [N] のときには、引力と同じ向きに大きさ a [m/s^2] の降下の加速度が生じるとする。

問 2 降下する向きを正として a を m 、 g_M 、 F_a を用いて表しなさい。

問 3 ロケットは点 Q に着陸し、推力を 0 とした。この静止した状態のロケットの重さを、問題文中に与えられた文字式を用い、単位を付して答えなさい。

問 4 $F_M = 22.5 \text{ kN}$, $F_a = 21.0 \text{ kN}$ のとき $a = 0.10 \text{ m/s}^2$ であるとき, m の値を有効数字 2 桁で求め, 単位を付して答えなさい。

問 5 問 4 の条件から g_M の値を有効数字 2 桁で求め, 単位を付して答えなさい。

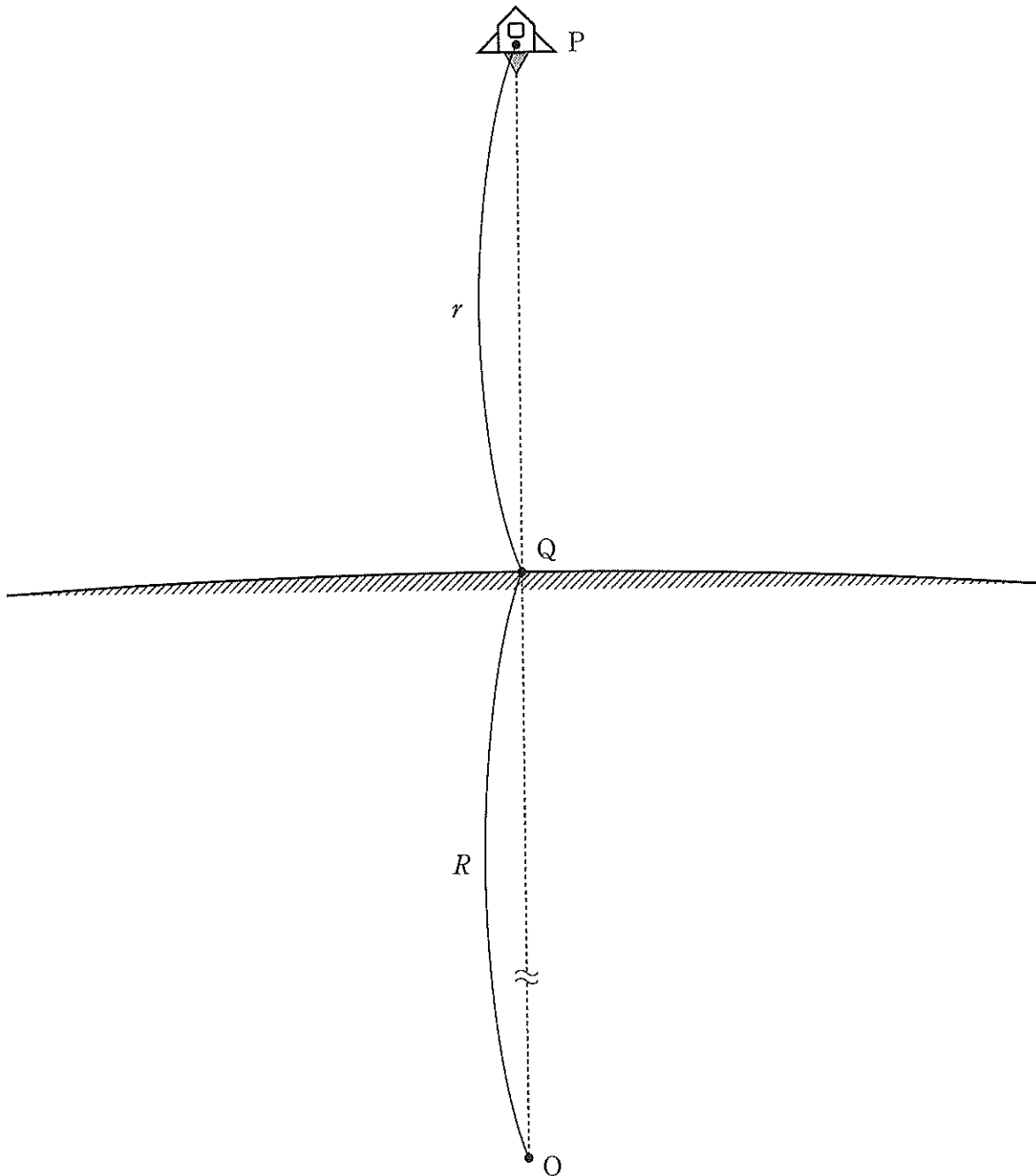


図 1

- 2 真空中の x 軸上の 3 点 $A(-1, 0)$, $B(0, 0)$, $C(3, 0)$ にそれぞれ電気量 Q_A , Q_B , Q_C の点電荷がある(図 2)。この空間にはこれらの 3 つの点電荷以外の電荷は存在せず、また無限遠の電位を 0 とする。このとき以下の問に答えなさい。ただし、以下の問で電気量 q は正とする。

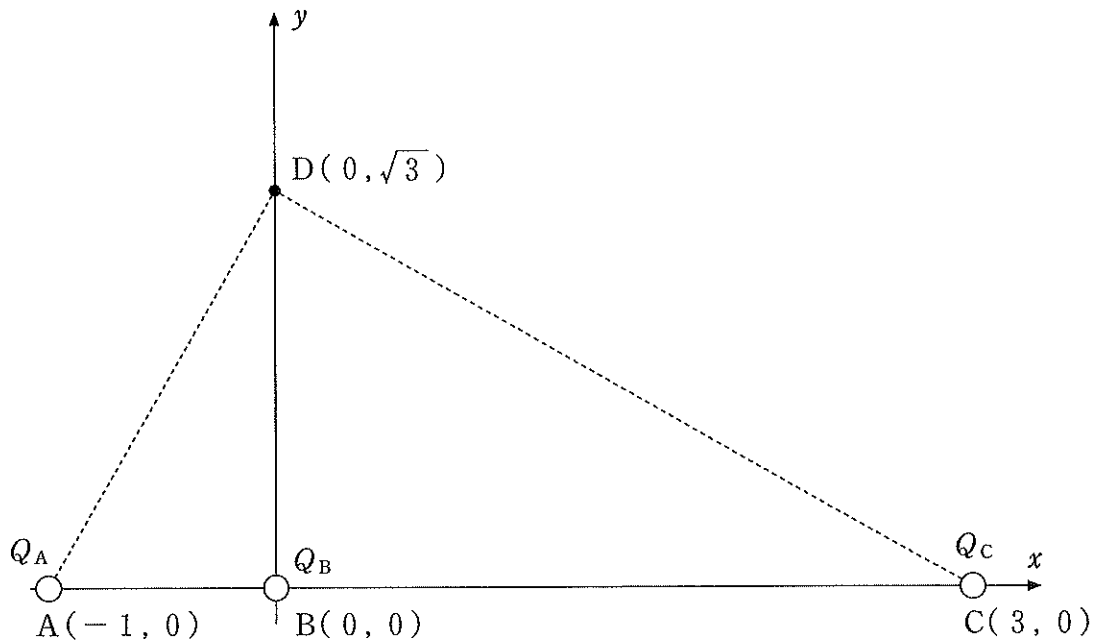


図 2 ある長さを単位とする xy 座標平面上の各点と点電荷の配置

問 1 点 A, 点 B, 点 C 上の点電荷に, 他の 2 つの点電荷から働く力の合力がそれぞれ 0 である場合を考える。 $Q_B = +q$ とするとき Q_A, Q_C の電気量はそれぞれいくらか。 q を用いて答えなさい。

問 2 点電荷の電気量をそれぞれ $Q_A = -q, Q_B = +q, Q_C = -q$ とするとき, 線分 AB 上で電位が 0 となる点の座標を答えなさい。

問 3 $Q_B = +q$ とするとき, y 軸上の点 $(0, \sqrt{3})$ の電場が 0 となるためには Q_A の電気量はいくらか。 q を用いて答えなさい。

3

固体、液体、気体の熱に関する次の実験Aと実験Bについて考察する。

実験A 固体と液体

液体の水と、その固体である氷に関する実験を、大気1.0気圧の下で行う。周囲の物質との熱の移動が無視できる断熱容器の中に電熱器がある(図3)。容器内の気体と電熱器の熱容量は無視できるほど小さいとする。ここで、水の比熱を $4.2 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、氷の比熱を $2.1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、氷の融解熱を $3.3 \times 10^2 \text{ kJ}/\text{kg}$ とする。以下の問に適切な単位を付して、有効数字2桁の数値で答えなさい。

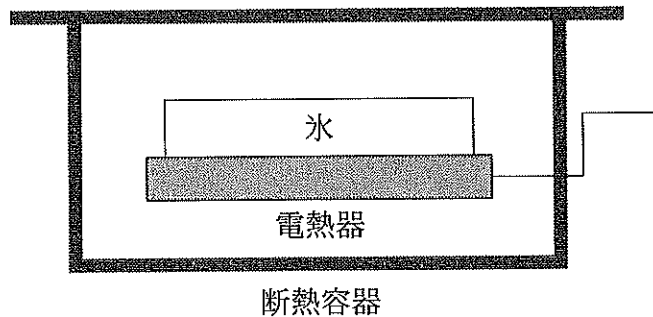
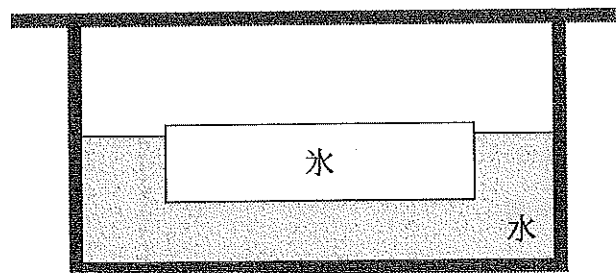


図3

問1 容器内の電熱器の上に温度 -10°C の氷 4.0 kg を入れてあり、熱平衡状態にある。電熱器に一定の電力を20分間加えたところ、氷の温度は均一に 0.0°C になったが全く融けなかった。投入した電力が全て熱になって氷のみを均一に加熱したとすれば、この電力 P はいくらか、答えなさい。なお、氷全体の温度は均一であるとする。また電線から外部への熱の移動は無視できるものとする。

問 2 断熱容器内に温度 25°C の水 10 kg が入っている。その中に、 -10°C の氷 4.0 kg を投入したら、氷全体が一様に温まり、その一部が融け、容器内は熱平衡に達した(図4)。そのときの平衡温度 T および融解した氷の質量 Δm はいくらか、答えなさい。



断熱容器

図4

実験B 気体

断面積 S のシリンダー内部に n モルの理想気体が封入されて、上下に滑らかに可動する質量 m のピストンからなる装置の実験を考察する。このシリンダーとピストンは断熱材で造られていて、内部の気体から容器および外部への熱の移動が無視できるほど少ないものとする。シリンダー内部には小さな電熱器が置かれていて、任意の量の熱を内部の気体に与えることができる(図5)。ピストンは内部の気体の膨張や収縮に応じて鉛直方向に動く。ピストンの外部表面には大気圧 p_0 が常に作用している。

今、電熱器に通電し、内部の気体を加熱すると、気体の温度が上昇し、膨張する。それに伴いピストンがゆっくりと動き出し、長さ L だけ上昇し静止した。重力加速度の大きさと気体定数を、それぞれ g 、 R とする。次の各問に、与えられている物理量を用いて文字式で答えなさい。

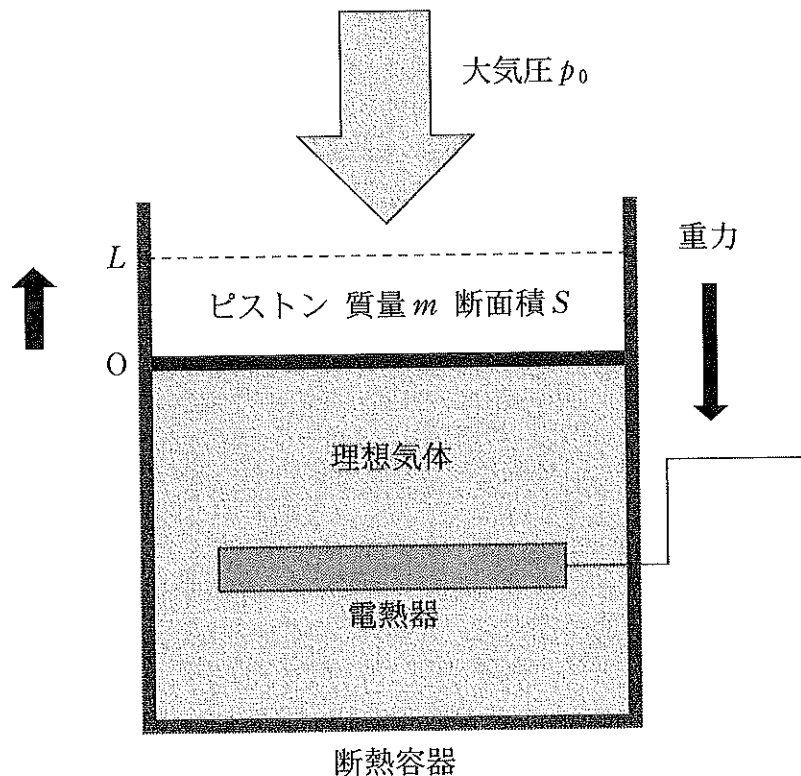


図5

問 3 ピストンを L だけ上昇させるために気体が行った仕事 W はいくらか，答えなさい。

問 4 加熱後の内部の気体の温度上昇分 ΔT はいくらか，答えなさい。