

## 平成 30 年度 個別学力試験 問題

## 理 科

## (医 学 科)

解答時間 120 分

配 点 100 点

科 目	ページ
物 理	1 ページ～ 7 ページ
化 学	8 ページ～ 14 ページ
生 物	15 ページ～ 20 ページ

問題冊子には上記の 3 科目の問題が載っていますが、2 科目を選択して解答しなさい。

## 注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子及び解答冊子の中を見てはいけません。
2. 監督者の指示に従い、すべての解答冊子の所定の欄に氏名をはっきり記入しなさい。ただし、表紙には受験番号も必ず記入しなさい。
3. 監督者の指示に従い、選択する科目の解答冊子の選択科目確認欄に○印を記入しなさい。正しく○印が記入されていない解答は無効とすることがあります。
4. 試験開始の合図のあとで問題冊子のページを上記の表に基づいて確認しなさい。
5. 解答はすべて選択した科目の解答冊子の指定された解答欄に記入しなさい。
6. 解答冊子のどのページも切り離してはいけません。
7. 下書きは問題冊子の余白部分を使用しなさい。
8. 試験時間中に問題冊子及び解答冊子の印刷不鮮明、ページの落丁及び汚損等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
9. 解答冊子はすべて持ち帰ってはいけません。
10. 問題冊子は持ち帰ってもかまいません。



# 物 理

1. 物理は全部で3問題あり，合計6ページあります。
2. すべての問題に解答しなさい。
3. 解答冊子は1問題に1ページずつ，合計3ページあります。
4. 解答は解答冊子の所定の欄に記入しなさい。

1

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。ただし、解答欄には単位を付けて解答しなさい。また、最終結果だけでなく、解答に至る過程の説明を必ず記入しなさい。

太陽、地球、月、人工衛星などの間には万有引力が働き、ケプラーの法則が成り立っている。万有引力を受ける物体の運動を考えてみよう。地球から発せられる物体や地球の周りをまわる物体がどのような運動をするかを考えるためには、第1宇宙速度や第2宇宙速度、第3宇宙速度との関係を考えることが役に立つ。地球の質量を  $M$  [kg]、地球の半径を  $R$  [m]、万有引力定数を  $G$  [ $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ] とする。

問 1 第1宇宙速度とはどのようなものか説明しなさい。

問 2 第1宇宙速度を  $M$ 、 $R$ 、 $G$  の中で必要なものを用いて導出しなさい。

問 3 第2宇宙速度とはどのようなものか説明しなさい。

問 4 第2宇宙速度を  $M$ 、 $R$ 、 $G$  の中で必要なものを用いて導出しなさい。

次に、図1—1のように、質量  $m$  [kg] の小物体 X が地球の中心 O から距離  $h$  [m] ( $h > R$ ) だけ離れた点 A より OA に垂直な方向に速さ  $v_0$  [m/s] で打ち出された。その後、X は点 O を焦点とする楕円軌道を描き、点 A と点 O を結ぶ直線上で点 O から距離  $d$  [m] ( $d > h$ ) だけ離れた点 B に速さ  $v_1$  [m/s] で到達した。軌道上で点 B は点 O から最も離れている。

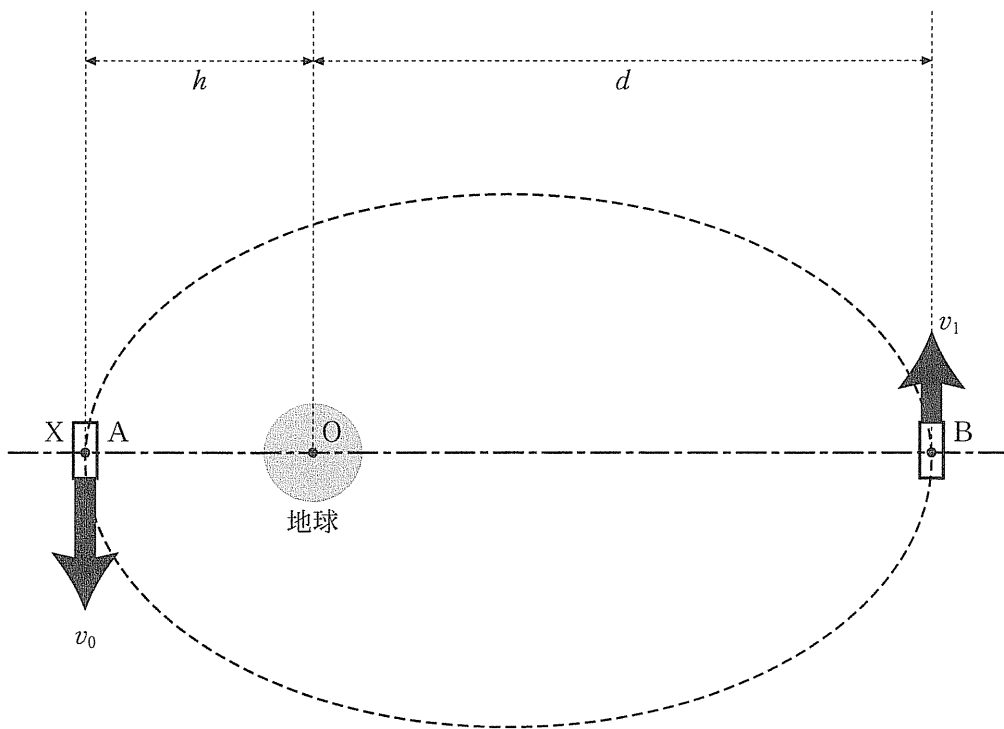


図1—1

この X が点 B に達した瞬間に、図 1—2 のように、X は質量  $\frac{m}{2}$  [kg] の小物体 Y と質量  $\frac{m}{2}$  [kg] の小物体 Z に分解した。地球から見た、分解直後の Y の速さは  $v_2$  [m/s] で、運動の方向は楕円軌道の接線の方向であった。その後、Y は点 O を中心として、半径  $d$  [m] で等速円運動した。また、地球から見た、分解直後の Z の速さは 0 m/s で、その後、線分 OB に沿って地球に落下した。地球と小物体の間には、太陽と惑星の間と同様にケプラーの法則が成り立っている。地球の大気、自転と公転、地球以外の天体による重力、小物体 Y と Z の間の重力の影響は無視できるものとする。円周率には  $\pi$  を用いなさい。

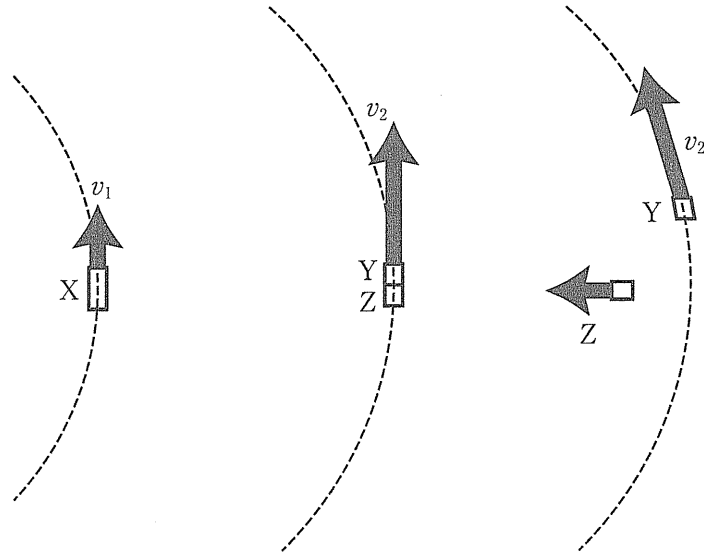


図 1—2

- 問 5 小物体 X の点 A における力学的エネルギーと点 B における力学的エネルギーとを、それぞれ  $m$ ,  $M$ ,  $G$ ,  $h$ ,  $d$ ,  $v_0$ ,  $v_1$  を用いて表し、両者の間にはどのような関係があるか説明しなさい。
- 問 6 点 A と点 B における面積速度はそれぞれ  $\frac{1}{2} v_0 h$  と  $\frac{1}{2} v_1 d$  である。ケプラーの第 2 法則が成り立つことから、 $v_0$  を  $M$ ,  $G$ ,  $h$ ,  $d$  を用いて表しなさい。
- 問 7 小物体 Y が等速円運動しているときの円軌道を 1 周回するのにかかる時間を、 $M$ ,  $G$ ,  $d$  を用いて表しなさい。
- 問 8 小物体 X が分解する瞬間の前後で運動量は保存することを用いて、 $d$  と  $h$  の比を求めなさい。
- 問 9 小物体 X が楕円運動しているときの楕円軌道を 1 周回するのにかかる時間を、 $M$ ,  $G$ ,  $d$  を用いて表しなさい。

2

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。ただし、解答欄には単位を付けて解答しなさい。また、問2から問7の解答は最終結果だけでなく、解答に至る過程の説明を必ず記入しなさい。

図2のように、真空中に平行板コンデンサー1と2を直交させて並べて、質量  $m$  [kg]、電荷  $q$  [C] ( $q > 0$ ) の荷電粒子を入射させた。コンデンサー1には小孔が開けられており、荷電粒子はこの孔を通り抜けてコンデンサー2にいたる。コンデンサー1には入射口側を正として  $Q$  [C] ( $Q > 0$ ) の電気量が与えられている。コンデンサー2では上部の極板は直接接地され、下部の極板は電圧が  $V$  [V] の直流電源の正極につながれたあと、接地されている。また、コンデンサー2の内部には、外部から一様な磁界がかけられている。コンデンサー1の極板の面積は  $S_1$  [m<sup>2</sup>]、間隔は  $d_1$  [m]、コンデンサー2の極板の面積は  $S_2$  [m<sup>2</sup>]、間隔は  $d_2$  [m] である。小孔や、極板端での電場の乱れは無視できる。コンデンサーは、その内部においてのみ荷電粒子に力を及ぼすものとする。また、コンデンサー1の内部の電界は十分に大きく、荷電粒子が入射したときにもともと持っていた運動量は無視することができる。重力の影響も考えなくてよい。真空の誘電率は  $\epsilon_0$  [F/m]、透磁率は  $\mu_0$  [N/A<sup>2</sup>] で表す。円周率には  $\pi$  を用いなさい。

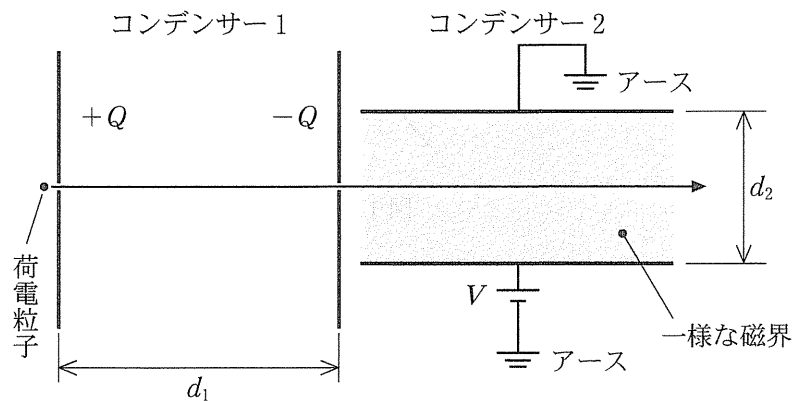


図2

- 問1 真空の透磁率  $\mu_0$  の値を答えなさい。また、真空中での磁気力に関するクーロンの法則の比例定数  $k_m$  を、 $\mu_0$  を用いて表しなさい。
- 問2 コンデンサー1の内部の電界の大きさと方向を答えなさい。
- 問3 荷電粒子がコンデンサー1を通過する間に得た運動エネルギーの大きさを答えなさい。

問 4 コンデンサー 2 に速さ  $v_0$  [m/s] で水平に入射した荷電粒子が、そのまま水平にまっすぐに通り抜けるために必要なコンデンサー 2 の内部の磁束密度の大きさと方向を答えなさい。

次に、コンデンサー 2 の内部に外部からかける磁界の磁束密度の大きさを  $B_0$  [T] としたところ、コンデンサー 1 から飛んできた荷電粒子はコンデンサー 2 を水平にまっすぐ通り抜けた。

問 5 荷電粒子の比電荷  $q/m$  を、 $Q$ ,  $V$ ,  $S_1$ ,  $d_1$ ,  $S_2$ ,  $d_2$ ,  $\epsilon_0$ ,  $\mu_0$ ,  $B_0$  のなかから必要なものを用いて式で表しなさい。

問 6 荷電粒子を毎秒  $N$  個の頻度でコンデンサー 1 に入射させた。このときコンデンサー 2 において、磁界が 0 となるのはどこか答えなさい。ただし、 $N$  はじゅうぶんに大きな数とする。また、 $B_0$  もじゅうぶんに大きく、必ずコンデンサー 2 の内部で磁界が 0 になるものとする。

問 7 コンデンサー 2 を取り去り、代わりに壁を置いた。さらに、コンデンサー 1 の極板間隔を  $D$  [m] に変えたうえで、荷電粒子を毎秒  $N$  個の割合でコンデンサー 1 に入射させた。荷電粒子がすべて壁に吸収されるとき、この壁が荷電粒子線から平均的に受ける力を答えなさい。

3

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。ただし、解答欄には単位を付けて解答しなさい。また、最終結果だけでなく、解答に至る過程の説明を必ず記入しなさい。

図3のように、断面積  $3S$  [m<sup>2</sup>] のシリンダー A と断面積  $S$  [m<sup>2</sup>] のシリンダー B が真空中に向かい合って固定されている。シリンダー A には  $n$  [mol] の、シリンダー B には  $2n$  [mol] の単原子分子の理想気体が、なめらかに動くピストンによってそれぞれ閉じ込められている。二つのピストンは中心軸をかたい棒でつながれており、二つのシリンダーの底面からピストンまでの距離の和は  $L$  [m] に固定されている。それぞれのシリンダーには熱交換器が埋め込まれており、中の気体を自由に加熱・冷却できる。ピストンをつなぐ棒にはレバーが取り付けられており、このレバーを通して仕事を外部に取り出したり、ピストンの位置を固定したりできる。ピストンをつなぐ棒や、それぞれのシリンダーは十分な長さを持ち、レバーがシリンダーにぶつかることも、ピストンがシリンダーの外に出ることもない。気体定数は  $R$  [J/(mol · K)] で表す。この装置に順に次の(a)から(e)の操作を行った。

- レバーに何も力を加えず、シリンダー A、B の気体の温度をともに  $T_0$  [K] に保ったところ、初めのうちピストンは動いていたが、じゅうぶんに時間がたつとあるところまでその動きが止まった。この状態を初期状態とする。
- レバーを固定し、シリンダー A の気体の温度を  $2T_0$  [K] とした。
- レバーを動かして、シリンダー A の気体の体積が 2 倍になるまで、シリンダー A、B の気体をそれぞれ定圧変化させた。
- レバーを固定し、シリンダー A の気体の温度をある温度に変化させた。
- レバーをゆっくり動かして、シリンダー A、B の気体をそれぞれ定圧変化させたところ、初期状態に戻った。

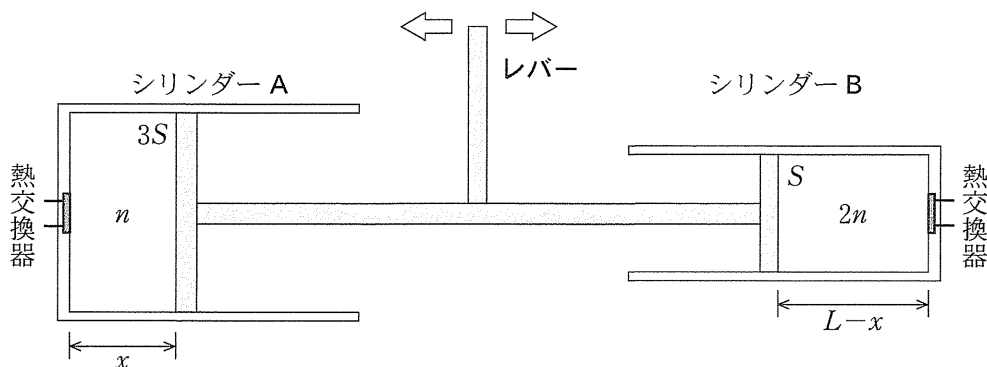


図3



- 問 1 (a)において、初期状態のシリンダー A の底面からピストンまでの距離  $x$  [m] を答えなさい。
- 問 2 (b)において、気体が吸収した熱量を答えなさい。
- 問 3 (c)において、シリンダー A の気体が吸収した熱量とシリンダー B の気体が放出した熱量をそれぞれ答えなさい。
- 問 4 (c)の操作の前後で二つの気体の内部エネルギーの和はどれだけ変化したかを答えなさい。
- 問 5 この装置全体を一つの熱機関と考えたとき、その熱効率を求めなさい。
- 問 6 (a)から(e)のサイクルにおいて、シリンダー B の気体の変化が定圧変化ではなくて、断熱変化であったとした場合の熱効率を求めなさい。ただし、断熱変化では膨張するときと圧縮するときとで、まったく同じ過程を逆向きにたどるものとする。
- 問 7 シリンダー B の気体を単原子分子の理想気体とは異なるある理想気体  $2n$  [mol] にかえて、(a)から(e)のサイクルを実行したところ、その熱効率は  $\frac{4}{41}$  であることが分かった。この場合のシリンダー B の気体が(a)の初期状態において持っていた内部エネルギーはいくらか答えなさい。

