

令和 5 年度

理 科

物	理	1 ページ～ 8 ページ
化	学	9 ページ～ 20 ページ
生	物	21 ページ～ 33 ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その 1～その 2)、化学(その 1～その 4)、生物(その 1～その 4)の 3 科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する 2 科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

物 理

1 図1に示すように座標軸をとり、幅 a 、長さ b 、厚さが c の平板状(直方体)の金属を固定した。この金属には、質量 m 、電気量 $-e$ ($e > 0$) を持つ自由電子がキャリア(電流の担い手)として単位体積あたり n 個存在する。

また、 b は a 、 c に比べて十分に大きい。側面を、それぞれ P 面、Q 面、R 面、S 面とする。

xz 平面に平行な二つの面(R 面と S 面)の間に内部抵抗が無視できる起電力 V の電池を接続し、 y 軸の正の向きに一様な電界(電場)を生じさせた。十分な時間が経過すると y 軸の正の向きに一定の電流(定常電流) I が流れた。

以下の問いに答えよ。

問 1 起電力 V の電池の接続により発生した電界から 1 個の自由電子が受ける力の方向はどちらか。また、その力の大きさ f を a 、 b 、 c 、 e 、 m 、 V のうち必要なものを用いて記せ。

問 2 1 個の自由電子は、問 1 で求めた大きさ f の力で一定の時間 T だけ加速された後に熱運動する陽イオンと衝突して速度が 0 になるとする。ここで、自由電子は、陽イオンと衝突して速度が 0 になった後、再び加速して陽イオンと衝突するが、衝突と衝突の間の時間は常に T であるとする。1 個の電子の平均の速さ \bar{v} を b 、 e 、 m 、 T 、 V を用いて記せ。

問 3 1 個の自由電子が一度の衝突で失う運動エネルギーを b 、 e 、 m 、 T 、 V を用いて記せ。

問 4 単位時間に金属中のすべての自由電子が衝突で失う運動エネルギーは、単位時間に金属中で発生するジュール熱に等しい。この運動エネルギーを a 、 b 、 c 、 e 、 m 、 n 、 T 、 V を用いて記せ。

問 5 問 2 の考え方から，起電力 V と定常電流 I には以下のような関係があることがわかる(この関係はオームの法則に対応する)。空欄を a, b, c, e, m, n, T を用いて補い，数式を完成せよ。

$$V = I \times \boxed{}$$

次に，磁束密度 B の一様な磁界(磁場)を z 軸の正の向きに加えた。

問 6 電流を担う自由電子の運動方向はローレンツ力を受けて曲げられる。これによって，金属内の x 軸方向に電荷のかたよりが生じ，P 面と Q 面との間に電位の差が発生した。電位の高い面は，P 面と Q 面のどちらか答えよ。

問 7 磁界を加えてからしばらく時間が経過すると，自由電子が x 軸方向の電荷のかたよりによって生じた電界から受けるクーロン力と磁界から受けるローレンツ力とが釣り合い， y 軸方向の正の向きに定常電流が流れた。P 面と Q 面の電位差 V_H を $a, b, c, e, m, n, B, T, V$ のうち必要なものを用いて記せ。

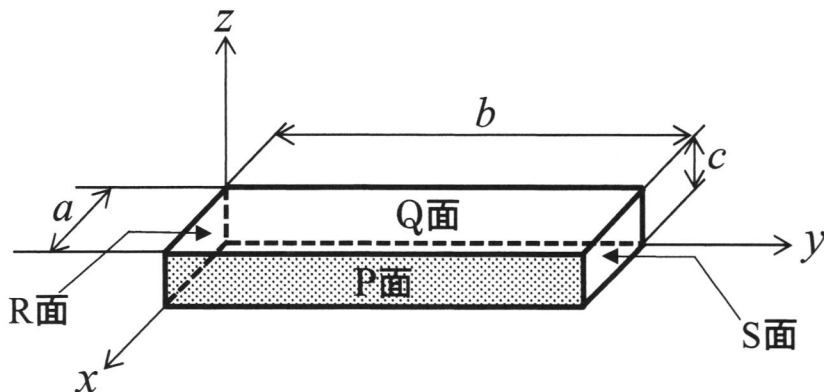


図 1

2 次の I と II について，説明を読んで問いに答えよ。

I. 図 2-1 のように，質量 M ，長さ L の一様な細い棒を，質量の無視できるひもを用いて，水平につるしてある。棒とひもとの角度は θ であり，ひもの他端は鉛直な壁の 1 点に結んである。棒と壁との間には摩擦があり，静止摩擦係数を μ とする。また，重力加速度を g とする。

問 1 ひもが棒を引く力の大きさ T はいくらか， M ， L ， θ ， g のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 棒がすべり落ちないためには，静止摩擦係数 μ はいくら以上でなければならぬか， M ， L ， θ ， g のうち必要なものを用いて表せ。

次に，棒の右端に大きさの無視できる質量 m のおもりをかけ，おもりの位置を徐々に左にずらしていった。

問 3 $m = M$ ， $\tan \theta = 0.75$ ， $\mu = 0.90$ の場合，おもりの位置が壁から aL より小さくなったところで棒がすべりはじめた。 a の値を有効数字 2 桁で求めよ。

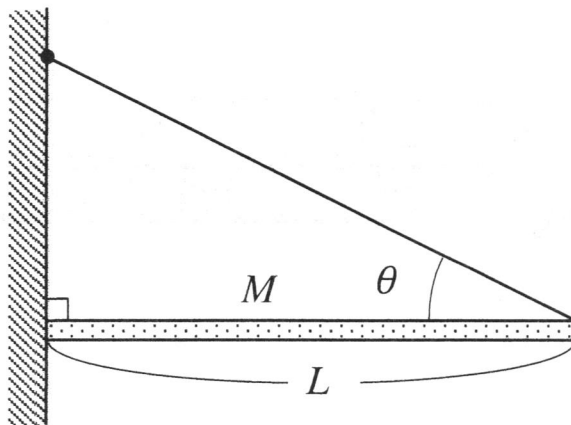


図 2-1

II. 図 2-2 のように、地球の重心を中心として、等速円運動する質量 m の人工衛星を考える。地球の半径を R 、地表での重力加速度の大きさを g とする。人工衛星の地表からの高度を h とする。ただし、地球は密度が一様な完全な球体で、人工衛星の大きさは無視できるとする。また、地球の自転、公転、他の物体の影響、および空気抵抗は無視できる。必要ならば $\sqrt{2} = 1.41$ を用いよ。

問 4 人工衛星にはたらく万有引力の大きさと、無限遠点を基準点としたときの万有引力による位置エネルギーを、 m 、 R 、 g 、 h のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問 5 人工衛星の速さを m 、 R 、 g 、 h のうち必要なものを用いて表せ。また、人工衛星が地表すれすれ ($h = 0$ m) を飛ぶ場合の速さの値を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 $R = 6.4 \times 10^6$ m、 $g = 9.8$ m/s² とする。

問 6 地表すれすれを飛ぶ人工衛星に、力学的エネルギーを与えて、高度 $h = 2R$ の円軌道に移すことを考える。このとき、人工衛星に与えるべき最小のエネルギーを、 m 、 R 、 g のうち必要なものを用いて表せ。

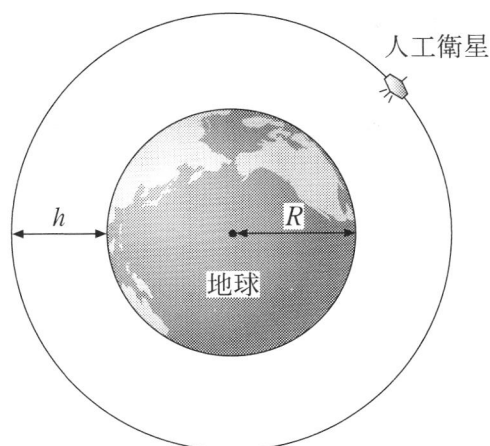


図 2-2

3 図 3-1 のように質量と熱容量が無視でき、なめらかに動く可動式のふた付き容器に、温度が 0°C で質量 180 g の水を入れた。この容器を $1.0 \times 10^5\text{ Pa}$ の大気中で熱容量の無視できる $1.0 \times 10^3\text{ W}$ のヒーターを用いて加熱した。水の蒸発熱を $2.26 \times 10^3\text{ J/g}$ 、水の比熱を $4.20\text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ として以下の問いに有効数字 2 桁で答えよ。なお、単位が必要な物理量については、単位を示して解答すること。ただし、ヒーターでの発熱量のすべてが容器内の水の加熱に使われ、容器やふたを介して外部との熱の出入りはないものとする。また、この容器とふたの間には水や気体が漏れるような隙間はなく、容器内は完全に密封することができるものとする。

問 1 0°C の水が 100°C に達するのに必要な熱量 Q_1 を求めよ。また、 0°C の水が 100°C に達するまでに要した時間 t_1 を求めよ。

問 2 100°C の水をさらに加熱し続けたところ、水はすべて水蒸気になった。 100°C の水がすべて水蒸気になるのに必要な熱量 Q_2 を求めよ。また、 100°C の水がすべて水蒸気になるまでに要した時間 t_2 を求めよ。

問 3 100°C の水がすべて水蒸気になったときの容器内での水蒸気の体積 V を求めよ。ただし、水の分子量 18、気体定数 $R = 8.31\text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ とし、水蒸気は理想気体とみなしてよいものとする。

問 4 問 2 の過程に伴う体積膨張によって容器のふたがされた仕事 W を求めよ。

次に、図3-2のように容器の中身を、質量が500gで温度が40℃の金属と質量が120gで温度が−5℃の氷に入れ替えた。ヒーターでの加熱はせずにしばらく放置すると、容器内の温度は0℃で熱平衡となり、100gが氷のまま、20gが水となった。この状態からヒーターで33秒間加熱したところ、しばらくして残りの氷もすべて水となった。氷の比熱を $2.10\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ として以下の問いに有効数字2桁で答えよ。ただし、氷が水になる際の体積変化は無視できるものとする。

問5 氷の融解熱 C を求めよ。

問6 この金属の比熱 c_m を求めよ。

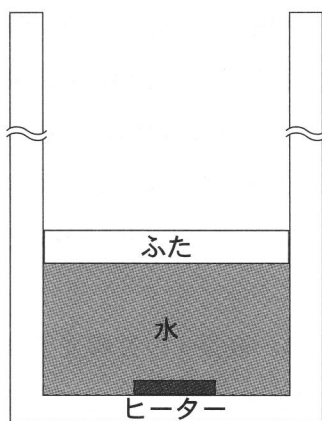


図3-1

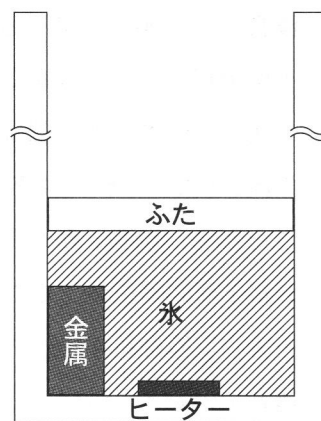


図3-2

- 4 以下のⅠからⅢの文中にある(ア)から(シ)に適切な式や数値を入れよ。ただし、必要ならば次の関係式を用いよ。

$$\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}, \quad \sin A - \sin B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2}$$

Ⅰ. 放射能をもった一定量の原子核は、放射性崩壊により半減期 T で時間とともに減少する。時間 t 経過後に残っている原子核数 N は、初期の原子核数を N_0 とすると、 T と t を用いて(ア)と表せる。人工的に生成された原子番号 53 のヨウ素 131 の原子核は、 β 線を放出して崩壊(β 崩壊)し、16 日後には初めの 4 分の 1 に減少するので、半減期 T は(イ)日である。このことから、48 日後には、初めの(ウ)に減少すると推定できる。なお、 β 崩壊したヨウ素 131 の原子核は、原子番号が(エ)のキセノン原子核となる。

Ⅱ. X 線は波長の短い電磁波で、真空中を光の速さ c と等しい速さで進む。X 線の波の性質を利用すると結晶の格子面間隔 d を調べることができる。いま、波長 λ の X 線を、格子面に対して角度 θ で入射する。このとき、隣り合う格子面で反射される X 線の経路の長さに違いが生ずる。そのため、隣り合う格子面で反射された X 線は、波長 λ 、角度 θ および格子面間隔 d の間に、 n を自然数として(オ)の条件が満たされるとき、干渉して互いに強めあう。このことから、波長 λ が 0.154 nm の X 線を用いて、 d が(カ)nm 以上の結晶の格子面間隔を調べることができる。

一方、X 線は粒子(光子)としての性質もある。波長 λ の X 線光子は、真空中で運動量の大きさが(キ)で、エネルギーの大きさが(ク)である粒子のようにふるまう。ただし、プランク定数を h とした。

III. 水面上に、三角形 PRS の頂点 P, R, S の 3 点を考える。いま、点 S と点 R を波源として、波長 λ 、振動数 f 、振幅 A の波が減衰することなく、速さ v で広がっている。点 P と点 S の間の距離は x 、点 P と点 R の間の距離は z で、 x と z は λ よりも十分に大きい ($x \gg \lambda$, $z \gg \lambda$)。また、点 S と点 R の間の距離も λ より十分に大きい。いま、時刻 t で、点 S の波源による上下振動の変位が $y_S = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$ 、点 R の波源による変位が $y_R = A \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ と表せたとする。ただし、 $\omega = 2\pi f$ である。このとき点 P には、時刻 t で、点 S の波源から伝わる $y_1 =$ (ケ) の変位と、点 R の波源から伝わる変位 $y_2 =$ (コ) が現れる。すなわち、点 P では、点 S と点 R から伝わってきた波が重なる。このとき点 P で観測される波の振幅は (サ) である。このことから、点 P に現れる波の振幅は、波長 λ 、距離 x 、距離 z の間に、 m を 0 以上の整数として、(シ) の関係があるときに最大となる。