

理 科

理科は **物理** **化学** **生物** のうち2科目を選択受験のこと。

物理 ……1頁 **化学** ……17頁 **生物** ……29頁

問題 **I** はマークシート方式, **II** は記述式である。

I の解答はマークシートに, **II** の解答は解答用紙に記入すること。

〔注 意 事 項〕

1. 監督者の指示があるまでは, この問題冊子を開かないこと。
2. マークシートは, コンピュータで処理するので, 折り曲げたり汚したりしないこと。
3. マークシートに, **氏名・受験番号**を記入し, **科目選択・受験番号**をマークする。マークがない場合や誤って記入した場合の答えは無効となる。

受験番号のマーク例(13015の場合)

受 験 番 号				
1	3	0	1	5
万位	千位	百位	十位	一位
●	○	●	○	○
○	○	○	●	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○
○	○	○	○	○

4. マークシートにマークするときは, HB または B の黒鉛筆を用いること。誤ってマークした場合には, 消しゴムで丁寧^{ていねい}に消し, 消し^{ていねい}くずを完全に^{ていねい}取り除いたうえで, 新たにマークし直すこと。
5. 下記の例に従い, 正しくマークすること。

(例えば3と答えたいとき)

正しいマーク例



誤ったマーク例

○	○	○	○	○	○	○	マークが薄い マークが不完全 マークが○印 マークがV印
○	○	○	○	○	○	○	
○	○	○	○	○	○	○	
○	○	○	○	○	○	○	

6. 各科目とも基本的に正解は一つであるが, 科目によっては二つ以上解答を求めている場合があるので設問をよく読み解答すること。
7. 解答は所定の位置に記入すること。



物 理

I 以下の問題(第1問～第3問)の答えをマークシートに記せ。

第1問 次の問い(問1～問6)に答えよ。〔解答番号 ～ 〕

問1 図1のように、重さ W の均一な細い棒の下端が、水平と 30° の角をなす斜面に接触しており、斜面はなめらかで棒との間に摩擦力ははたらかないとする。棒が斜面となす角は 30° であり、棒の上端は天井につないだ糸で斜め上方からつるされて、棒は静止している。このとき、棒の上端にはたらいっている糸の張力を鉛直成分と水平成分に分解すると、糸の張力の鉛直成分の大きさは棒の重さ W の何倍か。正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、必要なら三角関数の公式

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

を用いてよい。 倍

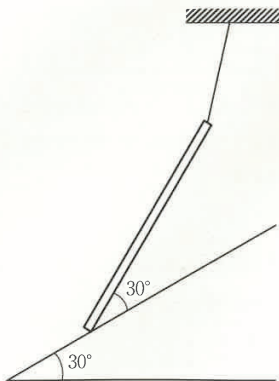


図1

- | | | | |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ① $\frac{\sqrt{3}}{12}$ | ② $\frac{\sqrt{3}}{6}$ | ③ $\frac{\sqrt{21}}{12}$ | ④ $\frac{\sqrt{21}}{6}$ |
| ⑤ $\frac{1}{4}$ | ⑥ $\frac{3}{8}$ | ⑦ $\frac{1}{2}$ | ⑧ $\frac{3}{4}$ |

問2 図2のように、点 O を中心とした半径 r の球が台に固定されている。球の表面の頂上の点 P で、小球に水平方向に大きさ v_0 の初速度を与えたところ、小球は P から球の表面をすべりはじめて、 OP から測った角度が θ の点で球の表面から離れた。重力加速度の大きさを g とし、

$$\cos \theta = \frac{\text{2}}{\text{3}} + \frac{\text{3}}{\text{3}} \times \frac{v_0^2}{gr}$$

と表したとき、 ・ を埋めるのに正しいものを、下の解答群①～⑨のうちから一つずつ選べ。ただし、空気の抵抗および小球と球の表面の間の摩擦力は無視できるものとする。

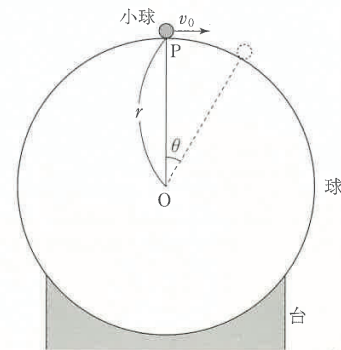


図2

・ の解答群

- | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ① $\frac{1}{4}$ | ② $\frac{1}{3}$ | ③ $\frac{1}{2}$ | ④ $\frac{2}{3}$ |
| ⑤ $\frac{3}{4}$ | ⑥ 1 | ⑦ $\frac{5}{4}$ | ⑧ $\frac{4}{3}$ |
| | | | ⑨ $\frac{3}{2}$ |

問 3 x 軸上を正の向きに速さ 2.5 m/s で進む正弦波があり、原点 ($x = 0$) の媒質の変位と時刻 $t[\text{s}]$ との関係は図 3 のグラフで表される。このときの媒質の変位 $y[\text{m}]$ は、時刻 $t[\text{s}]$ 、位置 $x[\text{m}]$ の関数としてどのように表されるか。正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。

$y = \boxed{4} \text{ [m]}$

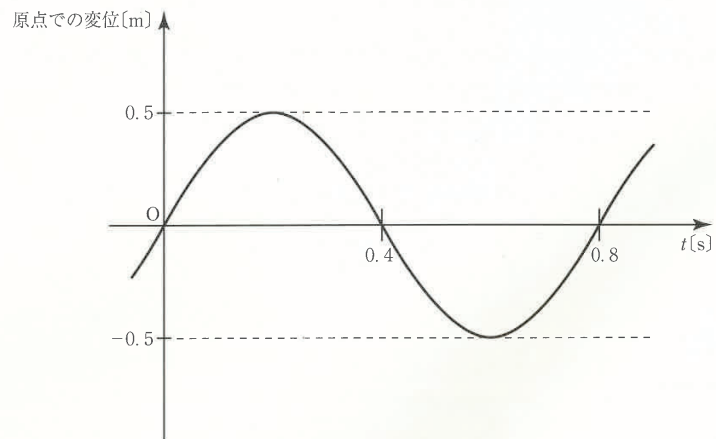


図 3

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| ① $0.5 \sin(2.5\pi t + \pi x)$ | ② $0.5 \sin(2.5\pi t - \pi x)$ |
| ③ $0.5 \sin(2.5\pi t + 2\pi x)$ | ④ $0.5 \sin(2.5\pi t - 2\pi x)$ |
| ⑤ $0.5 \sin(5\pi t + 2\pi x)$ | ⑥ $0.5 \sin(5\pi t - 2\pi x)$ |
| ⑦ $0.5 \sin(5\pi t + 2.5\pi x)$ | ⑧ $0.5 \sin(5\pi t - 2.5\pi x)$ |

問 4 図 4 は、波が媒質 1 と媒質 2 の境界面で屈折するときの波の山の波面を表している。媒質 1 中の波面と境界面との角度は 60° 、媒質 2 中の波面と境界面との角度は 30° である。媒質 1 中の山の波面の間隔は 3.0 cm で、点 P を山の波面が通過してから、次の山の波面が通過するまでの時間は 0.30 秒 であった。媒質 2 における波の速さはいくらか。最も近い値を、下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、 $\sqrt{3} \approx 1.7$ として計算してよい。

$\boxed{5} \text{ cm/s}$

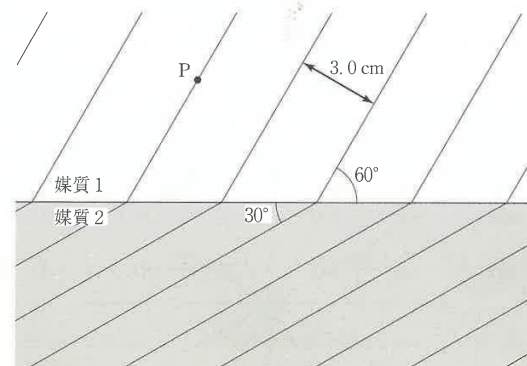


図 4

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| ① 2.9 | ② 3.4 | ③ 3.9 | ④ 4.4 |
| ⑤ 4.9 | ⑥ 5.4 | ⑦ 5.9 | ⑧ 6.4 |

問 5 n (mol) の単原子分子の理想気体を、体積 V 、絶対温度 T の状態 A から定圧変化させて状態 B にした。このとき気体定数を R として、気体が外部にした仕事は $\frac{5}{2}nRT$ であった。次の問い (a), (b) に答えよ。

(a) 状態 B の体積はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 6

- ① $\frac{4}{3}V$ ② $\frac{3}{2}V$ ③ $\frac{5}{3}V$ ④ $2V$
 ⑤ $\frac{7}{3}V$ ⑥ $\frac{5}{2}V$ ⑦ $3V$ ⑧ $\frac{7}{2}V$

(b) 状態 A から状態 B への定圧変化で、気体が吸収した熱量はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 7

- ① $\frac{5}{4}nRT$ ② $\frac{5}{3}nRT$ ③ $\frac{7}{3}nRT$ ④ $\frac{7}{2}nRT$
 ⑤ $\frac{15}{4}nRT$ ⑥ $\frac{25}{4}nRT$ ⑦ $\frac{15}{2}nRT$ ⑧ $\frac{25}{2}nRT$

問 6 真空中で点電荷や帯電体の周囲に生じる電場について考える。真空中でのクーロンの法則の比例定数を k として、次の問い (a), (b) に答えよ。

(a) 電場のようすを電気力線で表すとき、電場の向きに垂直な単位面積の断面を貫く電気力線の本数を、その場所の電場の強さに等しくなるように定める。真空中に置かれた点電荷から出る電気力線は放射状に広がり、点電荷を中心とする球面を垂直に貫く。図 5 は断面図であり、矢印は点電荷から出る電気力線を表し、破線は点電荷を囲む球面を示している。点電荷の電荷量が $Q (> 0)$ のとき、点電荷から出る電気力線の総本数はいくらか。正しいものを、下の①～⑨のうちから一つ選べ。 8

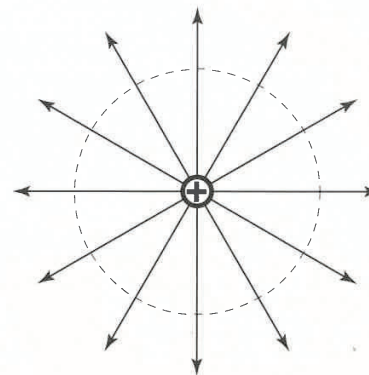


図 5

- ① $\frac{Q}{4k}$ ② $\frac{Q}{2k}$ ③ $\frac{Q}{k}$
 ④ $\frac{kQ}{4\pi}$ ⑤ $\frac{kQ}{2\pi}$ ⑥ $\frac{kQ}{\pi}$
 ⑦ πkQ ⑧ $2\pi kQ$ ⑨ $4\pi kQ$

(b) 帯電体から出る電気力線の総本数は、帯電体に含まれる電気量で決まり、帯電体の大きさや形によらない。図6のように、じゅうぶんに細く無限に長い金属棒が、単位長さあたり $\sigma (> 0)$ の電気量で均一に帯電している。この金属棒の位置に中心軸をもつ半径 r の円筒を考え、金属棒から出る電気力線は円筒の側面を垂直に貫く。金属棒から距離 r の円筒側面の位置における電場の強さはいくらか。正しいものを、下の①～⑨のうちから一つ選べ。

9

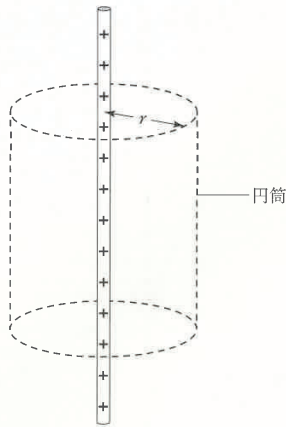


図6

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ① $\frac{k\sigma}{r^2}$ | ② $\frac{2k\sigma}{r^2}$ | ③ $\frac{4k\sigma}{r^2}$ |
| ④ $\frac{k\sigma}{r}$ | ⑤ $\frac{2k\sigma}{r}$ | ⑥ $\frac{4k\sigma}{r}$ |
| ⑦ $k\sigma$ | ⑧ $2k\sigma$ | ⑨ $4k\sigma$ |

第2問 図1のようにばね定数 k の軽いばねの一端を壁に固定し、他端に質量 M の木片を取りつけてなめらかな水平面上に置く。ばねは自然の長さの状態にあり、木片は静止している。このときの木片の左端の位置を原点 O として水平面に沿って x 軸をとり、ばねが縮む向きに x 軸の正の向きを定める。この木片に質量 m の弾丸を、速さ v_0 で x 軸の正の向きに水平に打ち込む。弾丸の大きさ; 弾丸の運動への空気抵抗および重力の影響は無視できるとする。弾丸は、木片に速さ v_0 で接触したあと x 軸の正の向きに水平に進み、木片の中をめり込んでいくものとする。弾丸が接触してから動きはじめた木片は、ばねの伸び縮みによって x 軸に沿う方向に運動するものと仮定する。また、ばねの伸び縮みはフックの法則が成立する範囲内にあるとし、木片の運動に対する水平面からの摩擦および空気の抵抗は無視できるとする。弾丸が木片に接触した瞬間を時刻 $t = 0$ として、下の問い(問1～問4)に答えよ。[解答番号 1 ~ 6]

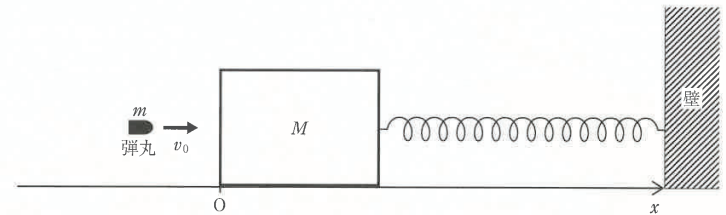


図1

問1 木片に打ち込まれた弾丸は、木片から水平方向に一定の大きさ f の抵抗力を受け減速しながら木片の中を進むものとしよう。このようにして、弾丸は木片の中にめり込んで止まり、そのあとは弾丸と木片は一体となって運動したとする。時刻 $t = 0$ に速さ v_0 の弾丸が図1の木片に接触してから、木片に対して静止するまでの任意の時刻 t における、弾丸と木片それぞれの運動について、次の問い(a)～(c)に答えよ。

(a) 時刻 t における弾丸の速度は、水平面に対していくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、 x 軸の正の向きを速度の正の向きとする。 1

- | | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ① $v_0 - \frac{ft}{2m}$ | ② $v_0 - \frac{ft}{m}$ |
| ③ $v_0 - \frac{ft}{2(m+M)}$ | ④ $v_0 - \frac{ft}{m+M}$ |
| ⑤ $v_0 \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right) - \frac{ft}{2m}$ | ⑥ $v_0 \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right) - \frac{ft}{m}$ |
| ⑦ $v_0 \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right) - \frac{ft}{2(m+M)}$ | ⑧ $v_0 \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right) - \frac{ft}{m+M}$ |

(b) 図 1 の状態から時刻 $t = 0$ に動きはじめた木片の左端は、時刻 t には位置 x にきているとしよう。この時刻 t の瞬間に、木片にはたらく合力の x 成分はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、 x 軸の正の向きを力の x 成分の正の向きとする。 2

- | | | | |
|---------|-------------|-------------|----------------------------|
| ① kx | ② $kx - f$ | ③ $kx + f$ | ④ $kx + \frac{m-M}{m+M}f$ |
| ⑤ $-kx$ | ⑥ $-kx - f$ | ⑦ $-kx + f$ | ⑧ $-kx + \frac{m-M}{m+M}f$ |

(c) 木片は、前問の合力の x 成分が 0 になる位置に向かう復元力を受けることになる。このことから、前問の x (木片の左端の時刻 t における位置) は、どのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$x =$ 3

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ① $\frac{f}{k} \sin\left(t\sqrt{\frac{k}{M}}\right)$ | ② $\frac{2f}{k} \sin\left(t\sqrt{\frac{k}{M}}\right)$ |
| ③ $\frac{f}{k} \left[1 - \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{M}}\right)\right]$ | ④ $\frac{2f}{k} \left[1 - \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{M}}\right)\right]$ |
| ⑤ $\frac{f}{k} \sin\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right)$ | ⑥ $\frac{2f}{k} \sin\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right)$ |
| ⑦ $\frac{f}{k} \left[1 - \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right)\right]$ | ⑧ $\frac{2f}{k} \left[1 - \cos\left(t\sqrt{\frac{k}{m+M}}\right)\right]$ |

問 2 木片の中をめり込んだ弾丸は、時刻 $t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ に木片に対して静止した。この時刻以降は、弾丸が木片に対して静止したまま、弾丸と木片は一体となって運動したとする。このとき、弾丸に $0 \leq t < \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ の間だけはたらい間 1 の抵抗力の大きさ f はいくらか。正しいものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。

$f =$ 4

- | | | |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| ① $\frac{mMv_0}{m+M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | ② $\frac{3mMv_0}{m+M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | ③ $\frac{6mMv_0}{m+M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ |
| ④ $\frac{mMv_0}{2m+\pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | ⑤ $\frac{3mMv_0}{2m+\pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | ⑥ $\frac{6mMv_0}{2m+\pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ |
| ⑦ $\frac{mMv_0}{3m+\pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | ⑧ $\frac{3mMv_0}{3m+\pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ | ⑨ $\frac{6mMv_0}{3m+\pi M} \sqrt{\frac{k}{M}}$ |

問 3 抵抗力の大きさ f が前問の結果で与えられるとき、木片中にめり込んだ弾丸が木片に対して静止するまで ($t = 0$ から $t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ まで) の、木片にはたらくばねの弾性力の力積の大きさはいくらか。正しいものを、次の①～⑨のうちから一つ選べ。 5

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
| ① $\frac{mMv_0}{m+M}$ | ② $\frac{(\pi-1)mMv_0}{m+M}$ | ③ $\frac{(\sqrt{2}-1)\pi mMv_0}{m+M}$ |
| ④ $\frac{2mMv_0}{2m+\pi M}$ | ⑤ $\frac{(\pi-2)mMv_0}{2m+\pi M}$ | ⑥ $\frac{(\sqrt{3}-\sqrt{2})\pi mMv_0}{2(2m+\pi M)}$ |
| ⑦ $\frac{3mMv_0}{3m+\pi M}$ | ⑧ $\frac{(\pi-3)mMv_0}{3m+\pi M}$ | ⑨ $\frac{(2-\sqrt{3})\pi mMv_0}{4(3m+\pi M)}$ |

問 4 抵抗力の大きさ f が問 2 の結果で与えられるとき、問 1(c) の x (木片の左端の位置) の時刻 $t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ における値を x_1 としよう。 $t \geq \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}}$ の時刻においては、木片と弾丸は一体となって運動する。木片の左端が $x = -x_1$ の位置 (原点 O に関して $x = x_1$ と対称な点) をはじめて通過する時刻は、

$$t = \frac{\pi}{6} \sqrt{\frac{M}{k}} + \boxed{6}$$

となる。 $\boxed{6}$ を埋めるのに正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

- ① $\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m+M}{k}}$ ② $\pi \sqrt{\frac{m+M}{k}}$ ③ $\frac{3\pi}{2} \sqrt{\frac{m+M}{k}}$
 ④ $2\pi \sqrt{\frac{m+M}{k}}$ ⑤ $\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}$ ⑥ $\pi \sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}$
 ⑦ $\frac{3\pi}{2} \sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}$ ⑧ $2\pi \sqrt{\frac{mM}{k(m+M)}}$

第 3 問 図 1 のような半径 r の球形の容器 (中心 O) に封入された N 個の粒子の運動を考える。粒子の衝突により容器の位置は動かないものとして、下の問い (A・B) に答えよ。

[解答番号 $\boxed{1}$ ~ $\boxed{6}$]

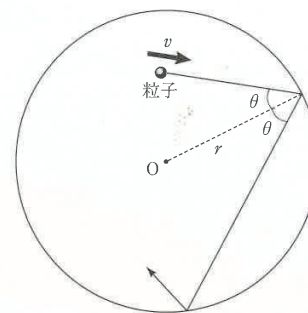


図 1

A 容器内の N 個の粒子はすべて同じ質量 m をもち、各粒子は容器の壁と弾性衝突をする。粒子どうしの衝突は無いものとして、次の問い (問 1～問 3) に答えよ。

問 1 図 1 のように、1 個の粒子が入射角 θ 、速さ v で容器の壁と弾性衝突し、はね返ったとき、粒子の運動量の変化の大きさはいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

- ① $mv \cos \theta$ ② $mv \sin \theta$ ③ $2mv \cos \theta$ ④ $2mv \sin \theta$
 ⑤ $\frac{mv}{\cos \theta}$ ⑥ $\frac{mv}{\sin \theta}$ ⑦ $\frac{2mv}{\cos \theta}$ ⑧ $\frac{2mv}{\sin \theta}$

問 2 この粒子が単位時間に容器の壁と衝突する回数はどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{2}$

- ① $\frac{v}{r}$ ② $\frac{v}{r \cos \theta}$ ③ $\frac{v}{r \sin \theta}$ ④ $\frac{v}{r \tan \theta}$
 ⑤ $\frac{v}{2r}$ ⑥ $\frac{v}{2r \cos \theta}$ ⑦ $\frac{v}{2r \sin \theta}$ ⑧ $\frac{v}{2r \tan \theta}$

問 3 前問までに得られた結果から、粒子 1 個が単位時間に壁にあたる力積の大きさの和が求められる。容器中の粒子は、いろいろな速さと入射角で容器の壁と衝突をくり返している。 N 個の粒子の速さをそれぞれ v_1, v_2, \dots, v_N とすると、速度の 2 乗の平均 $\overline{v^2}$ は

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$$

となる。容器の壁が N 個の粒子から受ける圧力は $\overline{v^2}$ を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

- ① $\frac{Nm\overline{v^2}}{8\pi r^3}$ ② $\frac{Nm\overline{v^2}}{4\pi r^3}$ ③ $\frac{3Nm\overline{v^2}}{8\pi r^3}$ ④ $\frac{2Nm\overline{v^2}}{3\pi r^3}$
 ⑤ $\frac{Nm\overline{v^2}}{8\pi r^2}$ ⑥ $\frac{Nm\overline{v^2}}{4\pi r^2}$ ⑦ $\frac{3Nm\overline{v^2}}{8\pi r^2}$ ⑧ $\frac{2Nm\overline{v^2}}{3\pi r^2}$

B 容器内の粒子が N 個の光子である場合を考える。光子どうしは衝突せず、光子は容器の壁と弾性衝突をするものと仮定する。プランク定数を h 、光の速さを c として、次の問い(問 4～問 6)に答えよ。

問 4 容器の壁と光子の衝突による光子の運動量の変化は問 1 と同様に求めることができる。また、光子が単位時間あたりに容器の壁と衝突する回数も問 2 と同様に求めることができる。光子の振動数を f 、入射角を θ として、この光子 1 個が単位時間に容器の壁に与える力積の大きさの和はいくらか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

- ① $\frac{hf}{r}$ ② $\frac{hf}{r \sin \theta}$ ③ $\frac{hf}{r \cos \theta}$ ④ $\frac{hf}{r \tan \theta}$
 ⑤ $\frac{chf}{r}$ ⑥ $\frac{chf}{r \sin \theta}$ ⑦ $\frac{chf}{r \cos \theta}$ ⑧ $\frac{chf}{r \tan \theta}$

問 5 N 個の光子の振動数をそれぞれ f_1, f_2, \dots, f_N として、振動数の平均値 \overline{f} を

$$\overline{f} = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_N}{N}$$

とする。容器の壁が N 個の光子から受ける圧力を p とすると、 p は \overline{f} を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$p =$

- ① $\frac{Nh\overline{f}}{4\pi r^4}$ ② $\frac{Nh\overline{f}}{2\pi r^4}$ ③ $\frac{2Nh\overline{f}}{3\pi r^4}$ ④ $\frac{3Nh\overline{f}}{4\pi r^4}$
 ⑤ $\frac{Nh\overline{f}}{4\pi r^3}$ ⑥ $\frac{Nh\overline{f}}{2\pi r^3}$ ⑦ $\frac{2Nh\overline{f}}{3\pi r^3}$ ⑧ $\frac{3Nh\overline{f}}{4\pi r^3}$

問 6 N 個の光子のエネルギーの合計を E とする。 E と容器の容積の比は、問 5 の p を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑧のうちから一つ選べ。

$\frac{E}{\text{容器の容積}} =$

- ① $\frac{1}{3}p$ ② $\frac{2}{3}p$ ③ p ④ $\frac{3}{2}p$
 ⑤ $2p$ ⑥ $\frac{5}{2}p$ ⑦ $3p$ ⑧ $\frac{7}{2}p$

II 次の問いに答えよ。解答用紙の所定の欄には、結果だけでなく考え方と途中の式も記せ。

図1のように、鉛直上向きで磁束密度の大きさ B の一様な磁場中において、導線が水平面に固定されている。導線は点 O で 2θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) の角度に折れ曲がっていて、この角を2等分するように、 O を原点とし水平右向きを正の向きとして x 軸をとる。この導線の上に質量 m の長くて細い金属棒を置き、導線と金属棒の2つの接点をそれぞれ P 、 Q とする。金属棒は x 軸に直角なまま、 x 軸に沿って導線の上を摩擦なくすべることができるとする。導線の電気抵抗は無視できるものとし、金属棒の電気抵抗は単位長さあたり σ とする。また、金属棒や導線に流れる電流によって、図1の磁場は変化しないものとする。 x 軸の正の向きを金属棒の速度と加速度の正の向きとする。下の問い(問1～問4)に答えよ。

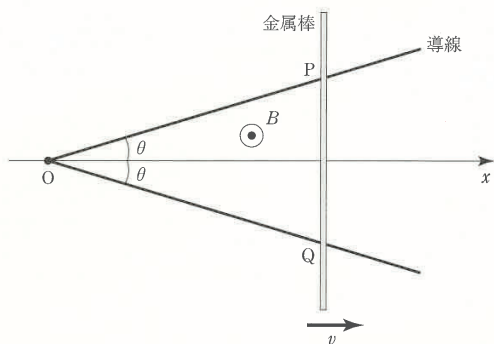


図1

問1 時刻 t の瞬間の金属棒の x 軸上の位置を $x(>0)$ 、速度を $v(>0)$ とする(図1)。時刻 t から $t + \Delta t$ までの短い時間 Δt の間の、閉回路 $PQOP$ を貫く磁束の変化の大きさを求めよ。ただし、 Δt はじゅうぶん短い時間であり、 $(\Delta t)^2$ は無視できるものとする。

問2 前問の磁束の変化によって、閉回路 $PQOP$ に誘導起電力が発生する。この誘導起電力によって、時刻 t に金属棒に流れる電流の強さはいくらか。

問3 前問の電流が流れることによって、図1の金属棒は磁場から力を受ける。この力によって、時刻 t から $t + \Delta t$ までの短い時間 Δt の間に、金属棒の速度が Δv だけ変化したとする。このとき、 Δt の間の金属棒の運動量変化と力積の関係より、

$$m\Delta v + \boxed{\text{あ}} \times xv\Delta t = 0 \quad (1)$$

が成り立つ。 $\boxed{\text{あ}}$ を埋めるのに正しい式を σ 、 B 、 θ を用いて表せ。

問4 位置の変化 Δx を用いて、速度は $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ と表されるので、式(1)は

$$m\Delta v + \boxed{\text{あ}} \times x\Delta x = 0$$

となり、時刻 t から $t + \Delta t$ の短い時間の中に、

$$mv + \boxed{\text{あ}} \times \frac{1}{2}x^2 \quad (2)$$

は変化しないことがわかる。(ただし、 Δx はじゅうぶん小さいので、 n を整数として、

$$\Delta(x^n) = (x + \Delta x)^n - x^n \approx nx^{n-1}\Delta x$$

の関係を用いた。)このことから、式(2)は時刻 t に関係なく一定の値となる。金属棒は、時刻 $t = 0$ に x 軸方向に初速度 $v_0(>0)$ で位置 $x = 0$ にあったとして、このあとの金属棒の運動について、次の問い((a)～(c))に答えよ。

(a) 初速度 v_0 を位置 $x = 0$ で与えた金属棒が運動して、位置 x に来たときの速度 v を、 x 、 v_0 、 m 、 σ 、 B 、 θ を用いて表せ。

(b) 運動方程式から、この金属棒の速さは時間とともに小さくなり続けることがわかり、じゅうぶん時間が経過すると、金属棒の位置の x 座標は一定となる。この一定の値を x_f とすると、 x_f は v_0 、 m 、 σ 、 B 、 θ を用いてどのように表されるか。

(c) 初速度 v_0 を位置 $x = 0$ で与えた金属棒が運動して、 x ($\leq x_f$) の位置にくるまでに、金属棒で発生するジュール熱は、 x 、 v_0 、 m 、 σ 、 B 、 θ を用いてどのように表されるか。

化 学

必要な次の値を用いなさい。原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, Mg = 24, Al = 27, S = 32, Cl = 35.5, K = 39, Ca = 40, Fe = 56, Ag = 108, I = 127, Ba = 137, アボガドロ定数： $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$, 気体定数： $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$, ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 気体はすべて理想気体として扱うものとする。また, $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$, $\log_{10} 5 = 0.70$, $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$ とする。化学式が[]で囲まれている場合は, その物質のモル濃度[mol/L]を表している。

I 以下の問題(第1問～第3問)の答えをマークシートに記しなさい。

第1問 次の各問いに答えなさい。[解答番号 1 ~ 10]

問1 地球に関する次の問い(a), (b)に答えなさい。

(a) 次の元素のうち, 地表から16 km下までの大陸の地殻に存在する元素の割合(質量パーセント)が最も小さいものはどれか。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

1

- | | | |
|------|---------|----------|
| ① 酸素 | ② ケイ素 | ③ アルミニウム |
| ④ 鉄 | ⑤ カルシウム | ⑥ 水素 |

(b) 大気中では ^{14}C の生じる量と壊変する量が釣り合っている。植物は外界から ^{14}C を取り込んでいるが, 枯れると取り込みが途絶え, 植物中の ^{14}C は壊変して減り続けることから, この現象を利用して植物の枯れた時期を推定することができる。 ^{14}C の半減期を 5.73×10^3 年とすると, ^{14}C の濃度が生存時の8.0%になった植物が枯れたのは何年前か。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。

2

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ① 5.7×10^3 | ② 1.2×10^4 | ③ 1.9×10^4 |
| ④ 2.1×10^4 | ⑤ 2.9×10^4 | ⑥ 3.4×10^4 |

問2 硫黄のコロイド溶液に直流電圧をかけると, 硫黄粒子が陽極へ移動した。次のイオンのうち, 最も少ない物質質量で硫黄のコロイド粒子を沈殿させるイオンはどれか。正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

3

- | | | | | | |
|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| ① K^+ | ② Na^+ | ③ Ca^{2+} | ④ Al^{3+} | ⑤ Cl^- | ⑥ SO_4^{2-} |
|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------|

問3 次の問い(a), (b)に答えなさい。

(a) フッ素とフッ化水素の水への溶解度が大きく異なる理由として最も適切なものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

4

- ① 分子を構成している各原子のイオン半径の違いによる。
- ② 分子を構成している中性子の数の違いによる。
- ③ 分子中の電荷の偏りの違いによる。
- ④ 分子を構成している共有結合の結合距離の違いによる。
- ⑤ 分子を構成している共有結合の電子対の数の違いによる。
- ⑥ 分子の酸化作用の違いによる。

(b) 油脂の不飽和度の目安として, “ヨウ素価”という指標が利用されている。ヨウ素価は, 油脂100 gに付加するヨウ素の質量[g]の数値として定義される。分子量884の油脂のヨウ素価が86.2であった時, 油脂1分子に含まれるC=C二重結合の数はいくつか。正しい数を①～⑥の中から一つ選びなさい。

5

- | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① 1 | ② 2 | ③ 3 | ④ 4 | ⑤ 5 | ⑥ 6 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

問 4 ステアリン酸をベンゼンに溶かし、水面に静かに滴下し、ベンゼンを蒸発させると単分子膜ができる。ステアリン酸 w [g] をベンゼンに溶かして 100 mL の溶液を調製し、水の入った水槽にこの溶液を v [mL] 滴下したところ単分子膜ができた。単分子膜の面積を S_m [cm²]、ステアリン酸 1 分子が水面上で占有する面積を S_1 [cm²]、ステアリン酸のモル質量を M [g/mol] とする。次の問い(a)、(b)に答えなさい。ただし、単分子膜中の分子間の隙間は無いものとする。

(a) この溶液 v [mL] 中に含まれるステアリン酸の物質量を表す式として正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① $\frac{vw}{100M}$ ② $\frac{Mvw}{100}$ ③ $\frac{100M}{vw}$
 ④ $\frac{w}{100Mv}$ ⑤ $\frac{100Mv}{w}$ ⑥ $\frac{100vw}{M}$

(b) この実験から算出されるアボガドロ定数を表す式として正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① $\frac{100S_m}{MS_1vw}$ ② $\frac{100MS_1}{S_mvw}$ ③ $\frac{100MS_m}{S_1vw}$
 ④ $\frac{S_1vw}{100MS_m}$ ⑤ $\frac{100S_1v}{MS_mw}$ ⑥ $\frac{S_mw}{100MS_1v}$

問 5 鉄の単体 x [g] をビーカーに入れ、 1.0×10^{-1} mol/L の硫酸水溶液 150 mL を加えたところ、気体 22.4 mL (0℃, 1.013×10^5 Pa) を発生しながらすべて溶けて水溶液となった。この水溶液に酸化剤を加えたところ、溶液中の鉄イオンはすべて酸化され、溶液は黄褐色に変化した。さらによくかき混ぜながら水酸化ナトリウム水溶液 50 mL を加えたところで水酸化鉄(III)の沈殿が生じ始めた。次の問い(a)～(c)に答えなさい。ただし、温度は常に 25℃ で一定であり、鉄の溶解および酸化剤を加えたことによる水溶液の体積変化は無視できるものとする。

(a) 下線(i)の水溶液の色として最も適切なものを①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 淡緑色 ② 深青色 ③ 淡桃色 ④ 黄色 ⑤ 褐色 ⑥ 無色

(b) x は何 g か。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。 g

- ① 2.8×10^{-2} ② 5.6×10^{-2} ③ 8.4×10^{-2}
 ④ 2.8×10^{-1} ⑤ 5.6×10^{-1} ⑥ 8.4×10^{-1}

(c) 下線(ii)の沈殿が生じはじめたときの溶液の pH はいくつか。水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ (mol/L)²、水酸化鉄(III)の溶解度積 $K_{sp} = 4.0 \times 10^{-38}$ (mol/L)⁴ とする。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 1.8 ② 2.3 ③ 2.9 ④ 3.7 ⑤ 4.7 ⑥ 5.3

第2問 次の各問いに答えなさい。〔解答番号 ~ 〕

図はペプチド結合と一部ジスルフィド結合によって8種類の α -アミノ酸が結合した化合物である。R1~R6はそれぞれ異なるアミノ酸の側鎖であり、表に示すいずれかの構造である。この化合物を加水分解したところ(イ)~(ハ)の3箇所のみで結合が切断されそれ以外の反応は起こらず、ペプチドI~Ⅲが生じた。

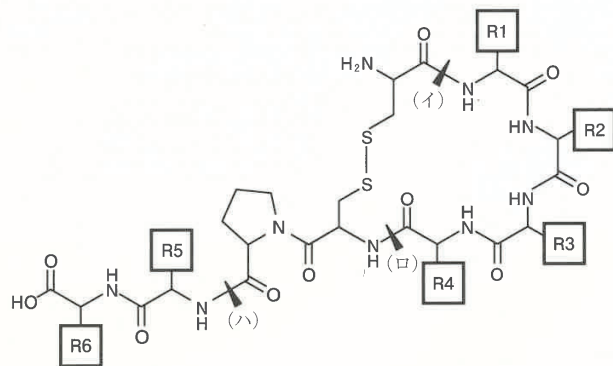


図
表

アミノ酸の名称 (略記号)	アミノ酸の分子量	側鎖
アスパラギン (Asn)	132	$-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$
グルタミン (Gln)	146	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$
グリシン (Gly)	75	$-\text{H}$
イソロイシン (Ile)	131	$-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
ロイシン (Leu)	131	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$
チロシン (Tyr)	181	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$

問1 ペプチドIはC末端がアミノ酸A、N末端がアミノ酸Bで構成される分子量210以下のジペプチドであった。ペプチドIを加水分解して、アミノ酸A、Bを単離したところ、アミノ酸Aには鏡像異性体がなかった。また、262mgのアミノ酸Bを分析したところ、28mgの窒素が含まれていた。次の問い(a)、(b)に答えなさい。

(a) アミノ酸Aは何か。正しいものを①~⑧の中から一つ選びなさい。

- ① グリシン ② プロリン ③ システイン ④ イソロイシン
⑤ ロイシン ⑥ アスパラギン ⑦ グルタミン ⑧ チロシン

(b) アミノ酸Bの分子量はいくつか。最も近い値を①~⑧の中から一つ選びなさい。

-
- ① 75 ② 115 ③ 121 ④ 131
⑤ 152 ⑥ 165 ⑦ 181 ⑧ 210

問2 ペプチドIIには2種類のアミノ酸のみが含まれていた。これらアミノ酸のうち、一方のアミノ酸のみが示す性質はどれか。正しいものを①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱し、酢酸鉛(II)水溶液を加えると、黒色沈澱を生じる。
② 薄い水酸化ナトリウム水溶液を加えて混ぜた後、薄い硫酸銅(II)水溶液を少量加えると、赤紫色に呈色する。
③ 濃硝酸を加えて加熱すると黄色になり、さらに、冷却後アンモニア水を加えて塩基性になると橙黄色に呈色する。
④ ニンヒドリン水溶液を加えて温めると、赤紫~青紫色に呈色する。
⑤ 固体の水酸化ナトリウムを加えて加熱すると、気体のアンモニアが生じる。
⑥ ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加えると、青紫色に呈色する。

問3 ペプチドⅢはテトラペプチドであり、N末端側からアミノ酸E、F、G、と連なり、C末端はアミノ酸Hであった。ペプチドⅢを加水分解して、アミノ酸E～Hを単離したところ、アミノ酸Eのみ塩化鉄(Ⅲ)の薄い水溶液の添加により、紫色に呈色し、アミノ酸Fは分子内に不斉炭素原子を2つ含んでいた。また、0.99gのアミノ酸Hを完全燃焼させると、1.32gの二酸化炭素が生成した。次の問い(a)～(c)に答えなさい。

- (a) アミノ酸Eは何か。正しいものを①～⑧の中から一つ選びなさい。
- ① グリシン ② プロリン ③ システイン ④ イソロイシン
⑤ ロイシン ⑥ アスパラギン ⑦ グルタミン ⑧ チロシン
- (b) アミノ酸Hは何か。正しいものを①～⑧の中から一つ選びなさい。
- ① グリシン ② プロリン ③ システイン ④ イソロイシン
⑤ ロイシン ⑥ アスパラギン ⑦ グルタミン ⑧ チロシン
- (c) 鏡像異性体を区別すると、ペプチドⅢとして考えられるものは何種類か。正しい数を①～⑧の中から一つ選びなさい。
- ① 8 ② 16 ③ 24 ④ 32
⑤ 64 ⑥ 128 ⑦ 256 ⑧ 768

問4 R3とR5を側鎖に持つアミノ酸はそれぞれ何か。正しい組み合わせを①～⑩の中から一つ選びなさい。

	R3	R5
①	Gln	Leu
②	Asn	Leu
③	Gln	Gly
④	Asn	Gly
⑤	Ile	Gly
⑥	Gly	Ile
⑦	Ile	Leu
⑧	Leu	Ile
⑨	Gln	Ile
⑩	Asn	Ile

第3問 酸・塩基の中和に関する次の各問いに答えなさい。ただし、温度は常に25℃で一定であり、水のイオン積 $K_w = 1.00 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ とし、指示薬の体積は無視する。

[解答番号 ~]

問1 ある2価の酸 H_2X (構造: $\text{H}-\text{X}-\text{H}$) は2段階に電離し、電離定数 K_1 および K_2 は図1のように示すことができる。

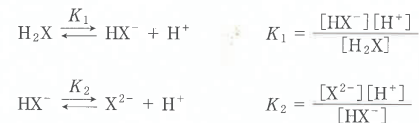


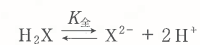
図1

$3.00 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ の H_2X 水溶液 100 mL に対して同濃度の水酸化ナトリウム水溶液で適当な指示薬を用いて中和滴定したところ第1中和点および第2中和点を得た。次の問い(a)～(d)に答えなさい。

(a) $[\text{X}^{2-}]$ を K_1 、 K_2 、 $[\text{H}_2\text{X}]$ 、 $[\text{H}^+]$ で表すとどのようになるか。正しいものを①～⑧の中から一つ選びなさい。

- ① $\frac{(K_1 + K_2)[\text{H}_2\text{X}]}{[\text{H}^+]}$ ② $\frac{[\text{H}^+]}{(K_1 + K_2)[\text{H}_2\text{X}]}$ ③ $\frac{(K_1 + K_2)[\text{H}_2\text{X}]}{[\text{H}^+]^2}$
④ $\frac{[\text{H}^+]^2}{(K_1 + K_2)[\text{H}_2\text{X}]}$ ⑤ $\frac{K_1 K_2 [\text{H}_2\text{X}]}{[\text{H}^+]}$ ⑥ $\frac{[\text{H}^+]}{K_1 K_2 [\text{H}_2\text{X}]}$
⑦ $\frac{K_1 K_2 [\text{H}_2\text{X}]}{[\text{H}^+]^2}$ ⑧ $\frac{[\text{H}^+]^2}{K_1 K_2 [\text{H}_2\text{X}]}$

(b) 第1中和点のpHが6であったとする。 H_2X の電離を以下のように表したときの電離定数 $K_{\text{全}}$ はいくつか。最も近い値を①～⑧の中から一つ選びなさい。ただし、 $[\text{H}^+]$ および $[\text{OH}^-]$ は $[\text{Na}^+]$ より充分に小さいとする。 (mol/L)²



- ① 6.67×10^{-16} ② 1.50×10^{-16} ③ 1.22×10^{-16} ④ 1.00×10^{-16}
⑤ 6.67×10^{-12} ⑥ 1.50×10^{-12} ⑦ 1.22×10^{-12} ⑧ 1.00×10^{-12}

(c) 滴定過程において第1中和点を過ぎてpHが7になったとき、 $[H_2X] : [HX^-] = 1 : 10^3$ であったとすると、 K_1 はいくつになるか。最も近い値を①～⑧の中から一つ選びなさい。 mol/L

- ① 1.00×10^{-3} ② 1.00×10^{-4} ③ 1.00×10^{-5} ④ 1.00×10^{-6}
 ⑤ 1.00×10^{-7} ⑥ 1.00×10^{-8} ⑦ 1.00×10^{-9} ⑧ 1.00×10^{-10}

(d) 第2中和点のpHはいくつになるか。最も近い値を①～⑧の中から一つ選びなさい。

ただし、 $[OH^-]$ は $[Na^+]$ より十分に小さいとする。

- ① 10.1 ② 10.3 ③ 10.5 ④ 10.7
 ⑤ 12.1 ⑥ 12.3 ⑦ 12.5 ⑧ 12.7

問2 ある分子 $H_2N-Y-COOH$ は水溶液中のpHに依存して電荷状態が変化し、+1, 0, -1のいずれかをとる。この分子の酸性水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で滴定すると2価の酸 H_2X と同様に2段階の中和反応が起きるので、 $H_2N-Y-COO^-$ を Z^- とすると ${}^+H_3N-Y-COOH$ は H_2Z^+ と書き換えられ、電離定数 K_I および K_{II} は図2のように示すことができる。次の問い(a)～(c)に答えなさい。

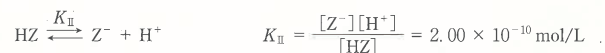
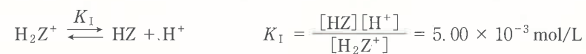
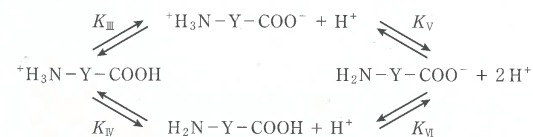


図2

(a) 平衡混合物の電荷が全体としてゼロとなるときのpHを等電点という。等電点はいくつになるか、最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。

- ① 2.3 ② 5.6 ③ 6.0 ④ 7.0 ⑤ 7.4 ⑥ 9.7

$H_2N-Y-COOH$ の水溶液中の実際の平衡状態と電離定数は図3のように示すことができる。



$$K_{III} = \frac{[{}^+H_3N-Y-COO^-][H^+]}{[{}^+H_3N-Y-COOH]}$$

$$K_{IV} = \frac{[H_2N-Y-COOH][H^+]}{[{}^+H_3N-Y-COOH]}$$

$$K_V = \frac{[H_2N-Y-COO^-][H^+]}{[{}^+H_3N-Y-COO^-]}$$

$$K_{VI} = \frac{[H_2N-Y-COO^-][H^+]}{[H_2N-Y-COOH]}$$

図3

(b) K_{II} を K_{III} , K_{IV} , K_V , K_{VI} で表すとどのようなになるか。正しいものを①～⑩の中から一つ選びなさい。ただし、 K_{III} , K_{IV} , K_V , K_{VI} すべての文字を使用するとは限らない。

- ① $K_{III} + K_{IV}$ ② $\frac{1}{K_{III} + K_{IV}}$ ③ $\frac{K_{III}K_{IV}}{K_{III} + K_{IV}}$ ④ $\frac{K_{III} + K_{IV}}{K_{III}K_{IV}}$
 ⑤ $K_V + K_{VI}$ ⑥ $\frac{1}{K_V + K_{VI}}$ ⑦ $\frac{K_VK_{VI}}{K_V + K_{VI}}$ ⑧ $\frac{K_V + K_{VI}}{K_VK_{VI}}$
 ⑨ $K_{III}K_{IV}K_VK_{VI}$ ⑩ $\frac{1}{K_{III}K_{IV}K_VK_{VI}}$

(c) 等電点のときを考える。次の問い(i)~(iv)に答えなさい。ただし、 K_{IV} は K_{III} より充分に小さく、 K_V は K_{VI} より充分に小さいとする。

(i) $[^+H_3N-Y-COO^-]$ は $[^+H_3N-Y-COOH]$ の何倍か。最も近い値を①~⑧の中から一つ選びなさい。 倍

- ① 1.00×10^{-8} ② 5.00×10^{-5} ③ 1.00×10^{-4} ④ 5.00×10^{-3}
 ⑤ 5.00×10^3 ⑥ 1.00×10^4 ⑦ 5.00×10^5 ⑧ 1.00×10^8

(ii) $[^+H_3N-Y-COOH]$ が $[H_2N-Y-COOH]$ の 1.00×10^2 倍であった。 K_{VI} はいくつか。最も近い値を①~⑧の中から一つ選びなさい。 mol/L

- ① 1.00×10^{-8} ② 5.00×10^{-5} ③ 1.00×10^{-4} ④ 5.00×10^{-3}
 ⑤ 5.00×10^3 ⑥ 1.00×10^4 ⑦ 5.00×10^5 ⑧ 1.00×10^8

(iii) $[^+H_3N-Y-COO^-]$ は $[H_2N-Y-COOH]$ の何倍か。最も近い値を①~⑧の中から一つ選びなさい。 倍

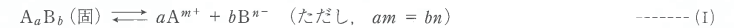
- ① 1.00×10^{-8} ② 5.00×10^{-5} ③ 1.00×10^{-4} ④ 5.00×10^{-3}
 ⑤ 5.00×10^3 ⑥ 1.00×10^4 ⑦ 5.00×10^5 ⑧ 1.00×10^8

(iv) K_{VI} はいくつか。最も近い値を①~⑧の中から一つ選びなさい。 mol/L

- ① 1.00×10^{-8} ② 5.00×10^{-5} ③ 1.00×10^{-4} ④ 5.00×10^{-3}
 ⑤ 5.00×10^3 ⑥ 1.00×10^4 ⑦ 5.00×10^5 ⑧ 1.00×10^8

II 次の各問の答えを解答用紙に記しなさい。

一般に A_aB_b で表される難溶性塩を水に加えてよくかき混ぜると、ごく一部が溶解して飽和溶液になり、(I)式の溶解平衡が成り立つ。



このときの溶解度積 K_{sp} は(II)式で表され、温度が変わらなければ常に一定に保たれる。

$$K_{sp} = [A^{m+}]^a [B^{n-}]^b \quad \text{----- (II)}$$

この難溶性塩 A_aB_b の飽和溶液へ A^{m+} もしくは B^{n-} を加えると、 A_aB_b が沈殿する。このように難溶性塩の構成イオンを添加することにより、難溶性塩の溶解度がくなる現象をという。この沈殿生成反応を利用した沈殿滴定によって特定のイオン濃度を求めることができる。以下の実験のように塩化物イオン濃度を求める方法をモール法という。

未知濃度の塩化ナトリウム水溶液X 20 mLにクロム酸カリウムを加えたのち、水を加えて100 mLの試料溶液Yを調製した。Yに 1.0×10^{-1} mol/Lの硝酸銀水溶液を滴下すると、まずの白色沈殿が生じ始めた。塩化物イオンがほぼ完全にとして沈殿し終わると同時にの赤褐色沈殿が生じ始めた。このとき用いた硝酸銀水溶液は25 mLであり、終点と当量点は同じであった。ただし、このときの温度は一定であり、溶液のpHは中性付近である。との溶解度積をそれぞれ $1.8 \times 10^{-10}(\text{mol/L})^2$ 、 $3.6 \times 10^{-12}(\text{mol/L})^3$ とする。必要なら、 $\sqrt{1.8} = 1.3$ 、 $\log 1.3 = 0.1$ を用いなさい。

問1 および に当てはまる語句をそれぞれ記しなさい。

問2 および に当てはまる化合物の化学式をそれぞれ記しなさい。

問3 滴定開始前のYにおける塩化物イオン濃度指数 $pCl = -\log[Cl^-]$ はいくつか。数値を記しなさい。

問4 縦軸にpCl、横軸に使用した硝酸銀水溶液の液量として滴定曲線の概図を描きなさい。

問5 塩化ナトリウム水溶液Xの濃度は何 mol/Lか。数値を記しなさい。

問6 Yに含まれていたクロム酸カリウムの濃度は何 mol/Lか。数値を記しなさい。

問7 塩基性条件下ではモール法を用いた塩化物イオンの定量ができない。この理由を50文字以内で記しなさい。ただし、化学式は用いず、句読点は1文字として数えなさい。

生 物

I

第1問 世界および日本のバイオームに関する以下の各問い(問1～3)に答えよ。

[解答番号 1 ～ 25]

問1 次の文の空欄A～Hに当てはまる最も適当な語を、下の語群よりそれぞれ一つずつ選べ。

1 ～ 8

バイオームに大きな影響を与える気候要素は気温と降水量である。世界のバイオームについて、年平均気温が25℃を超える地域では、降水量が少ない方から多い方へ向かい、
 [A] → [B] → [C] → [D] へと変化する。一方、年平均気温と森林のバイオームの関係を、各温度帯でもっとも降水量の多い地域に限ってみると、年平均気温の高い方から低い方へ向かい、
 [D] → [E] → [F] → [G] → [H] へと変化する。

[語群]

- | | | | |
|---------|----------|--------|--------|
| ① 熱帯多雨林 | ② 亜熱帯多雨林 | ③ 雨緑樹林 | ④ 夏緑樹林 |
| ⑤ 照葉樹林 | ⑥ 針葉樹林 | ⑦ 硬葉樹林 | ⑧ サバンナ |
| ⑨ ツンドラ | ⑩ ステップ | ⑪ 砂漠 | |

問2 次の文中の空欄に当てはまる最も適当な語または数値を、下に示したそれぞれの選択肢のうちから一つずつ選べ。 9 ～ 24

標高の違いに対応したバイオームの分布を垂直分布と呼ぶ。垂直分布帯の境界となる標高は、[ア] で高く、[イ] では低くなる。日本の本州中部におけるバイオームの垂直分布では、標高 [あ] m くらいまでが [ウ] で、[a]、アラカシ、ヤブツバキなどを優占種とする [エ] が分布している。[あ] ～ [い] m くらいの間は [オ] で、[b]、ミズナラなどが優占種となる [カ] が生育している。[い] ～ [う] m くらいの間は [キ] で、オオシラビソ、[c] などの [ク] が分布している。[う] m 付近には森林限界があり、それより高い [ケ] には [d] などの低木とコマクサなどの高山植物が生育している。垂直分布の [ウ] から [ケ] への変化は、水平分布の [ア] から [イ] へのバイオームの移り変わりによく似ている。

[空欄ア～ケ]

- | | | | |
|---------|---------|--------|--------|
| ① 夏緑樹林 | ② 雨緑樹林 | ③ 針葉樹林 | ④ 照葉樹林 |
| ⑤ 亜高山帯 | ⑥ 高山帯 | ⑦ 山地帯 | ⑧ 丘陵帯 |
| ⑨ 低緯度地方 | ⑩ 高緯度地方 | | |

[空欄あ～う]

- | | | |
|-----------|--------|-------------|
| ① 500～700 | ② 1000 | ③ 1500～1700 |
| ④ 2000 | ⑤ 2500 | ⑥ 3000 |

[空欄 a～d]

- | | | |
|--------|------------|--------|
| ① ハイマツ | ② オオバヤシャブシ | ③ ブナ |
| ④ ヤマユリ | ⑤ コメツガ | ⑥ スダジイ |

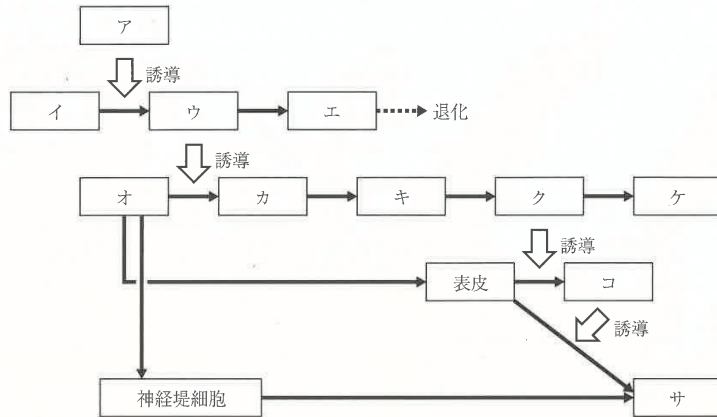
問3 次の文①～③のうちから正しいものを一つ選べ。 25

- ① 日本の照葉樹林帯は黒潮による温暖化の影響を受ける地域に育つため、関東から九州の太平洋側の地域に発達し、中国、九州の日本海側には存在しない。
- ② 紀伊半島や四国はほとんどが山岳地帯で標高が高いため、森林の大部分を夏緑樹林が占めている。
- ③ スペインのマドリードと東京はほぼ同じ緯度にあり、年平均気温もほぼ同じだが、降水量の少ないマドリードでは優占種は硬葉樹林となり、降水量の多い東京では照葉樹林となる。

第2問 両生類の発生に関する以下の各問い(問1, 2)に答えよ。

[解答番号 ~]

問1 眼の形成過程に関する次の模式図を参考に以下の(1)~(4)の各問いに答えよ。なお、図中の実線の矢印は分化を、点線の矢印は退化を表す。



(1) 空欄ア~エに最も適当なものを、次の①~⑦のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

~

- ① 予定外胚葉域の細胞群
- ② 予定内胚葉域の細胞群
- ③ 背側の中胚葉
- ④ 腹側の中胚葉
- ⑤ 神経管
- ⑥ 脊索
- ⑦ 脊髄

(2) 空欄オ~サに最も適当なものを、次の①~⑨のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

~

- ① 外胚葉
- ② 内胚葉
- ③ 中胚葉
- ④ 神経管
- ⑤ 脳
- ⑥ 眼胞・眼杯
- ⑦ 角膜
- ⑧ 水晶体
- ⑨ 網膜

(3) シュペーマンとマンゴルトは初期原腸胚の一部を別の初期原腸胚の腹側赤道部に移植する実験を行った。この実験で二次胚を生じたのはどの領域の一部を移植した時か。最も適当なものを、次の①~⑪のうちから一つ選べ。

- ① ア
- ② イ
- ③ ウ
- ④ エ
- ⑤ オ
- ⑥ カ
- ⑦ キ
- ⑧ ク
- ⑨ ケ
- ⑩ コ
- ⑪ サ

(4) 胞胚では、アおよびイはそれぞれどこに位置するか。最も適当なものを、次の①~④のうちからそれぞれ一つずつ選べ。 ,

- ① アニマルキャップ(動物極の周辺)
- ② 植物極側
- ③ 帯域(動物極側の半球と植物極側の半球の境界付近)
- ④ 胚の全域

問2 下の(1)~(9)の組織や器官の由来として最も適当なものを、次の①~⑥のうちからそれぞれ一つずつ選べ。同じものを繰り返し選んでもよい。 ~

- ① 中胚葉・体節
- ② 中胚葉・腎節
- ③ 中胚葉・側板
- ④ 外胚葉・表皮
- ⑤ 外胚葉・神経管
- ⑥ 内胚葉

- (1) 骨格筋
- (2) 内臓筋
- (3) 肺
- (4) 心臓
- (5) 腎臓
- (6) すい臓
- (7) 真皮
- (8) 大腸の上皮
- (9) 感覚器(受容器)

第3問 次の文を参考に、ある昆虫を用いた交配実験に関する以下の各問い(問1～5)に答えよ。

(解答番号 ～)

ある昆虫の性染色体の構成は、ヒトと同じく雄はXY、雌はXXであるが、哺乳類の雌にみられるX染色体の不活性化は起きない。また、X染色体に遺伝的変異を持つ場合、雄ではその変異が潜性(劣性)であっても形質にあらわれるが、雌ではその潜性(劣性)の変異がホモ接合でない形質にはあらわれない。さらに、この昆虫の雄の配偶子形成過程では乗換えが生じないことがわかっている。

この昆虫の複眼では、生存や発生に影響しない、朱色と褐色の2つの色素がそれぞれ独立に合成されており、これらの色が合わさることで通常は赤眼に見える。両方の色素が合成されない個体は白眼であるが、両方の色素が合成されても、それらの定着に関わる遺伝子が働かない場合は白眼になる。

いま、それぞれ単一遺伝子座に遺伝的変異を持つことで、白眼、褐色眼、朱色眼になった3つの純系(ここでは、全ての遺伝子座がホモ接合した状態の個体群とする)を用いて以下の交配実験を行った。なお、それぞれの交配は十分な個体数を用いて理想的な条件で行った。

[実験1]

- 1-1. 朱色眼の純系の雌に白眼の純系(以下、白A)の雄を交配すると、 F_1 (子世代)は全て赤眼になった。
- 1-2. F_1 どうしを交配して得た F_2 (孫世代)を眼色に着目して分類した時の個体数の比(分離比)は下の表のようになった。

実験1	赤眼	白眼	朱色眼
雄	3	4	1
雌	6	0	2

[実験2]

- 2-1. 白Aの雌と褐色眼の純系の雄を交配すると、 F_1 では雄は全て白眼に、雌は全て赤眼になった。
- 2-2. F_1 どうしを自由交配から得た F_2 の分離比は下の表のようになった。

実験2-2	赤眼	白眼	褐色眼
雄	3	4	1
雌	3	4	1

[実験3]

- 3-1. 褐色眼の純系の雌と朱色眼の純系の雄を交配すると F_1 はすべて赤眼になった。
- 3-2. F_1 どうしを自由交配から得た F_2 の分離比は下の表のようになった。

実験3-2	赤眼	朱色眼	褐色眼
雄	2	1	1
雌	2	1	1

- 3-3. F_2 の褐色眼の雌を全て集め、朱色眼の雄の全てと交配して F_3 を得た。
- 3-4. 実験3-1～3-3を数度繰り返したところ、 F_3 では平均して64匹あたり1匹の割合で白眼の個体が得られた。
- 3-5. 得られた白眼のハエどうしを集めて数世代にわたって自由に交配させながら眼色を観察し続けると、子孫は全て白眼であった。そこで、この白眼の集団を白Bと名付けた。

[実験4]

- 4-1. 白Aの雌と白Bの雄を交配すると、 F_1 の雌はすべて赤眼になった。
- 4-2. F_1 の雌を全て集めて白Bの雄と交配して F_2 を得た。

問1 白Aの持つ遺伝的変異にあてはまるものはどれか。次の①～⑤のうちから最も適当なものを選び、 を選ぶ。

- ① X染色体上にあつて、顕性(優性)を示す変異
 ② X染色体上にあつて、潜性(劣性)を示す変異
 ③ Y染色体上にあつて、潜性(劣性)を示す変異
 ④ 常染色体上にあつて、顕性(優性)を示す変異
 ⑤ 常染色体上にあつて、潜性(劣性)を示す変異

問2 褐色眼と朱色眼の原因となる遺伝的変異は、それぞれどの染色体上にあるか。次の①～⑤のうちから最も適当なものを選び、 を選ぶ。

- ① 褐色眼の変異も朱色眼の変異もX染色体上に存在する。
 ② 褐色眼の変異はX染色体上に、朱色眼の変異は常染色体上に存在する。
 ③ 褐色眼の変異は常染色体上に、朱色眼の変異はX染色体上に存在する。
 ④ 褐色眼の変異も朱色眼の変異も同一の常染色体上に存在する。
 ⑤ 褐色眼の変異と朱色眼の変異は別の常染色体上に存在する。

問 3 下の表は実験4-1で得られたF₁の雄の眼色に関する分離比を示したものである。ア〜ウに当てはまる最も適当な数値を下の選択肢から選べ。該当する表現型の個体得られない場合には0を選択せよ。同じ選択肢を何度選んでも良い。 ~

実験4-1	赤眼	白眼	朱色眼	褐色眼
雄	ア	1	イ	ウ

[選択肢]

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 6
 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 10 ⑪ 11 ⑫ 12
 ⑬ 13 ⑭ 14 ⑮ 15 ⑯ 16 ⑰ 0

問 4 下の表は実験4-2の交配から得られたF₂の雌の眼色に関する分離比を示したものである。エ〜カに当てはまる最も適当な数値を下の選択肢から選べ。該当する表現型の個体得られない場合には0を選択せよ。同じ選択肢を何度選んでも良い。 ~

実験4-2	赤眼	白眼	朱色眼	褐色眼
雌	エ	オ	カ	1

[選択肢]

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 6
 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 10 ⑪ 11 ⑫ 12
 ⑬ 13 ⑭ 14 ⑮ 15 ⑯ 16 ⑰ 0

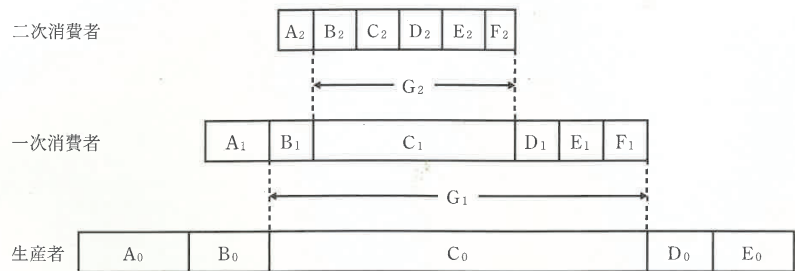
問 5 下の表は実験4-2の交配から得られたF₂の雄の眼色に関する分離比を示したものである。キ〜ケに当てはまる最も適当な数値を下の選択肢から選べ。該当する表現型の個体得られない場合には0を選択せよ。同じ選択肢を何度選んでも良い。 ~

実験4-2	赤眼	白眼	朱色眼	褐色眼
雄	キ	ク	1	ケ

[選択肢]

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 6
 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 10 ⑪ 11 ⑫ 12
 ⑬ 13 ⑭ 14 ⑮ 15 ⑯ 16 ⑰ 0

II 図は生態系における各栄養段階の有機物の収支を模式的に表したものである。以下の各問い(問1, 2)に答えよ。解答は記述式解答用紙に記入せよ。



問 1 図を参考に、以下の(1)~(3)の各問いに答えよ。

- 図中のD(D₀~D₂)は枯死量、死滅量を示している。A, B, C, E, F及びGは何を示すか。最も適当な語を記入せよ。
- 太陽からの入射エネルギーのうち、ある一定期間に光合成で固定されるエネルギーを B₀ + C₀ + D₀ + E₀ で表す場合、生産者の総生産量と純生産量を、同様に図中の記号を用いて示せ。
- 生産者の総生産量、純生産量に相当する量を、消費者ではそれぞれ 、 という。X, Yに最も適当な語をそれぞれ記入せよ。また、一次消費者におけるX, Yの量を、図中の記号を用いて記せ。

問 2 ある湖沼におけるエネルギー量を栄養段階ごとに示した下の表を参考に、以下の(1)~(3)の各問いに答えよ。

(1) 表の空欄ア~サに当てはまる数値を、必要に応じて小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで求めよ。なお、生態系に入射した太陽の光エネルギーは $497360 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ とする。

表 ある湖沼におけるエネルギー収支の例

栄養段階	総生産量 あるいはX	純生産量 あるいはY	B	C	D	E	F	エネルギー 効率(%)
生産者	465.7	ア	イ	64.0	9.6	97.9	-	ケ
一次消費者	61.9	ウ	エ	オ	1.3	18.5	カ	コ
二次消費者	13.0	5.5	キ	0	0	ク	0.8	サ

エネルギー効率以外の単位は $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$

(2) 各栄養段階の総生産量(あるいはX)を生産者から順に重ねた図はピラミッド型になる。その理由を30字以内で述べよ。

(3) 各栄養段階の個体数や生物量を順に重ねると、ピラミッドが逆転する場合がある。30字以内で1例を示せ。

