

〔「物理基礎・物理」「化学基礎・化学」「生物基礎・生物」〕

(時間：1 出題科目 60 分 2 出題科目 120 分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 3 出題科目のうちから、あらかじめ届け出た科目について解答しなさい。
- 3 各科目の問題冊子のページ、解答用紙および計算用紙の枚数は、下表のとおりです。

出 題 科 目	問題冊子(ページ)	解 答 用 紙	計 算 用 紙
「物理基礎・物理」	1～5	3 枚	1 枚
「化学基礎・化学」	6～11	3 枚	1 枚
「生物基礎・生物」	12～16	2 枚	

- 4 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 5 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 6 問題冊子の余白は適宜利用して構いません。
- 7 試験終了後、解答用紙および計算用紙(物理、化学)を回収します。

物理基礎・物理

〔 1 〕 以下の問 1 ～ 3 に答えよ。

問 1 万有引力定数を G ，地球の質量を M ，地球の半径を R ，地球の自転周期を T として，赤道上空を速さ V ，周期 T で等速円運動する静止衛星の軌道半径 r を次の手順(1)～(6)に従って求めよう。

- (1) V を r ， G ， M を用いて表せ。
- (2) V を r と T を用いて表せ。
- (3) r を G ， M ， T を用いて表せ。
- (4) 地上での重力加速度の大きさ g を G ， M ， R を用いて表せ。
- (5) r を g ， R ， T を用いて表せ。
- (6) g/π^2 を 1.0 m/s^2 と，400 を $(7.4)^3$ と近似できることを用いて， r を有効数字 2 桁で求めよ。ただし， $R = 6.4 \times 10^3 \text{ km} = 2^6 \times 10^5 \text{ m}$ ， $T = 24 \text{ h} = 2^2 \times 6^3 \times 10^2 \text{ s}$ とし，解答欄には計算過程も示せ。

問 2 次の文章の空欄 ア ～ ク を適切に埋めよ。ただし，ア ・ イ ・ エ には語句が，それ以外の空欄には式が入る。

気体に関する「熱力学の第一法則」とは，「気体の ア の変化 ΔU は，外部より気体に加えられた熱量 Q と外部より気体に加えられた仕事 W の イ に等しい」という法則である。これを Q ， W ， ΔU を用いて等式で表すと ウ となる。この関係は，「気体が外部からの熱を吸収したり，外部より エ をされたりすると，気体の ア が変化する」ことを意味している。

また，気体が外部にした仕事 w は W を用いて オ と表せることから，ウ は w ， Q ， ΔU を用いて $Q =$ カ と表せる。この関係は，「気体に熱が加えられると，気体は外部に エ をしたり気体の ア が変化したりする」ことを意味している。

Q ， W ， ΔU の中から必要なものを用いると，熱力学の第一法則は定積変化では キ，断熱変化では ク と表せる。

問 3 虹は大気中に浮かんだ無数の水滴で太陽光が分散することによって生じる自然現象である。水滴に入射した太陽光が水滴中で1回だけ反射して大気中に出てくる場合に見られる虹を主虹と呼ぶ。この主虹が見える原理について考えよう。

図1は、水滴の中心Oを含む平面を描いており、光が大気中から水滴の表面の点Aに入射し、Aで屈折して水滴内を進み、点Bで反射した後、点Cで再び屈折して大気中に出ていった経路を示している。Aでの入射角を i 、屈折角を r 、水滴に入射する光と大気中に出てきた光のなす角を θ (ここでは θ を反射角と呼ぶ)とし、大気中に浮かぶ水滴を完全な球体とみなすと、 θ は i と r を用いて $\theta =$ ア と表せる。

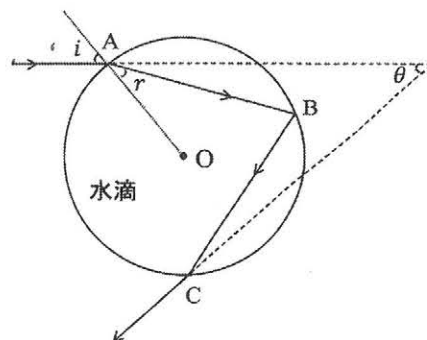


図1

図2は、波長の異なる2種類の単色光aと単色光bが進む経路を模式的に示したものである。波長と水の屈折率の関係(図3)を参考にとすると、aはbより波長が イ ことがわかる。よって、aの反射角 θ_a とbの反射角 θ_b の関係は ウ となり、図4のような形状の主虹では、aはbよりも エ に見える。

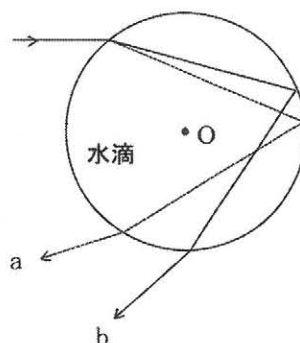


図2

- (1) 文章中の空欄 ア ・ イ を適切に埋めよ。
- (2) 文章中の空欄 ウ ・ エ に入る式と語の組み合わせとして適切なものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、図4の色の濃淡と虹の色は関係ない。

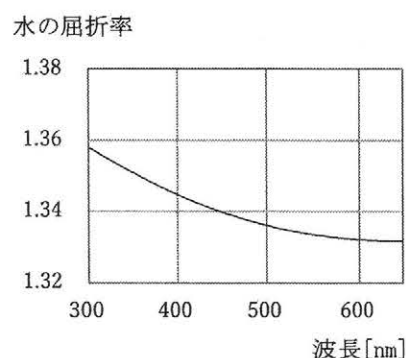


図3

	ウ	エ
①	$\theta_a < \theta_b$	外側
②	$\theta_a < \theta_b$	内側
③	$\theta_a = \theta_b$	外側
④	$\theta_a = \theta_b$	内側
⑤	$\theta_a > \theta_b$	外側
⑥	$\theta_a > \theta_b$	内側

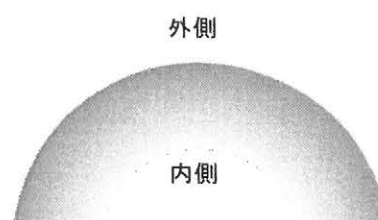
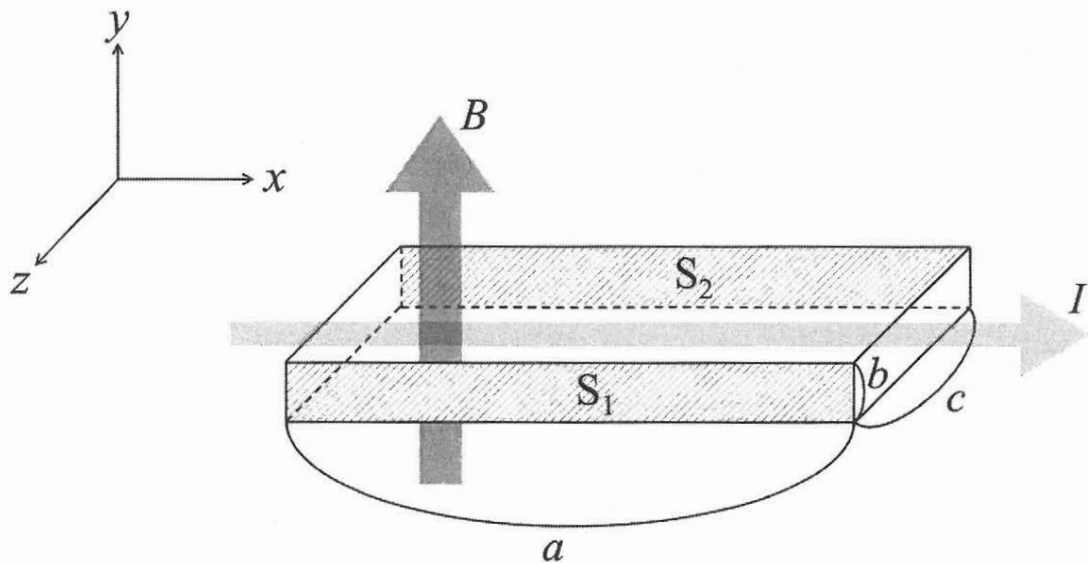


図4

- 〔2〕 半導体に関する次の文章を読み、以下の問1～4に答えよ。ただし、半導体内の荷電粒子の電気量の大きさを q 、荷電粒子の単位体積あたりの数を n とする。

図のような x 、 y 、 z 方向の辺の長さがそれぞれ a 、 b 、 c の直方体の半導体 (n 型または p 型) がある。まず、この半導体に対して x 軸の正の向きに電流 I ($I > 0$) を流した。次に、 y 軸の正の向きに磁束密度の大きさが B の磁場 (磁界) を加えた。磁場を加えて十分に時間が経過した後、半導体の側面 S_1 に対する側面 S_2 (それぞれ xy 平面に平行な面) の電位差は V ($V > 0$) となった。電位差 V による電場 (電界) の向きに着目すると、この半導体の内部を自由に移動して電流の担い手となる ア と呼ばれる荷電粒子は、 イ であることがわかる。したがって、この半導体は ウ 型半導体であるといえる。また、この半導体の ア の電気量は、 q を用いて エ と表すことができる。電流の流れている半導体に、電流と垂直に磁場を加えたとき、半導体の両側に電位差が生まれる現象を オ 効果という。



図

問 1 文章中の空欄 ア ~ オ を適切に埋めよ。

問 2 下線部①のとき、荷電粒子の x 軸方向の平均速度 v を a, b, c, n, q, I のうち必要なものを用いて表せ。

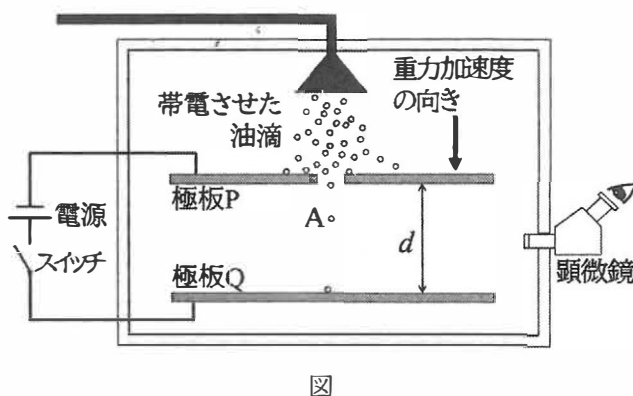
問 3 下線部②のとき、1 個の荷電粒子が受ける磁場によるローレンツ力の向きおよび大きさを答えよ。ただし、向きを答える際には、「 x 軸の正の向き」のように軸と正負を明記し、大きさを答える際には、 a, b, c, n, q, B, I のうち必要なものを用いよ。

問 4 下線部③のとき、電位差 V によって S_1S_2 間に一様な電場が生じており、荷電粒子に作用する電場による静電気力と磁場によるローレンツ力はつりあうようになる。

- (1) このときの電場の大きさを a, b, c, n, q, B, I のうち必要なものを用いて表せ。なお、解答欄には簡潔な説明を付けよ。
- (2) 電位差 V を a, b, c, n, q, B, I のうち必要なものを用いて表せ。

- 〔 3 〕 ミリカンの油滴実験は、一様な電場(電界)の中で帯電している微小な油滴の運動を観察することにより、電気量の最小単位である電気素量 e を測定したものである。以下の問 1・2 に答えよ。

問 1 図のように密閉された容器の天井から油滴を落下させた。その後、電気量 q に帯電した質量 m の油滴 A の動きを顕微鏡で観察した。極板 PQ の距離は d である。ここでは、重力加速度の大きさを g 、空気抵抗は速さに比例し、その比例定数を k 、鉛直上向きを正の向きとし、油滴にはたらく浮力は重力に比べて非常に小さいため無視できるものとする。



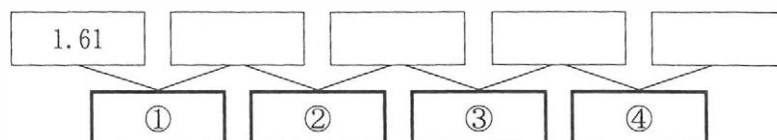
- (1) A は落下を始めるとすぐに終端速度に達し一定の速度となった。このときの終端速度の大きさを v_0 として、以下の等式を完成させよ。また、A の速度が一定となる理由を述べよ。

$$\boxed{} - mg = 0$$

- (2) 次に、スイッチを入れ PQ 間に電圧 V をかけたところ、A は上昇し、すぐに終端速度に達し一定の速度となった。このときの終端速度の大きさは v_1 であった。A の電気量 q を d, k, v_0, v_1, V を用いて表せ。なお、解答欄には簡潔な説明をつけよ。

問 2 この実験において、いくつかの油滴の電気量を測定したところ、測定値は $1.00 \times 10^{-19} \text{ C}$ の 9.62, 3.21, 12.82, 4.81, 1.61 倍となり、このあとの測定でも 1.60 倍を下回るものはなかった。

- (1) 測定された 5 つの電気量を 1.61 から小さい順に並び変え、隣り合った電気量の差①～④を $1.00 \times 10^{-19} \text{ C}$ の単位で示せ。



- (2) これらの測定値が電気素量 e の整数倍であると仮定し、 e を有効数字 3 桁で求めよ。なお、解答欄には計算過程も示せ。

化学基礎・化学

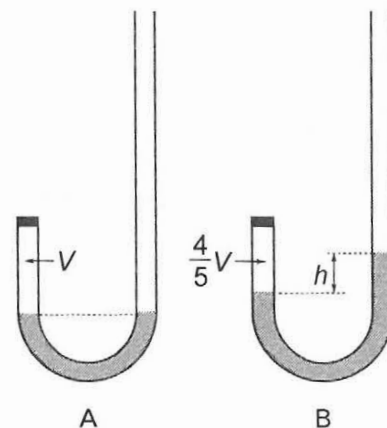
〔1〕 次の各問に答えよ。

問 1 不揮発性物質が溶解した希薄溶液における溶媒のモル分率を x_0 とすると、その溶液の蒸気圧 p は溶媒の蒸気圧 p_0 を用いて次のように表される。

$$p = x_0 \cdot p_0$$

蒸気圧降下度 Δp ($\Delta p = p_0 - p$) を溶質のモル分率 x_1 と溶媒の蒸気圧 p_0 を用いて表せ。

問 2 短い方の管の先端が閉じた断面積が一定の J 字管に、長短両方の管の水銀の液面が同じ高さになるように長い方の管から水銀を注ぎ入れた (A)。この時、管に閉じ込められた空気の体積を V とする。さらに、水銀を注ぎ入れたところ、閉じ込められた空気の体積は $\frac{4}{5}V$ になった (B)。この時の二つの管の水銀の液面の高さの差 h (cm) を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、空気は理想気体とみなし、気圧は 1 atm (760 mmHg)、温度は一定とし、水銀の蒸気圧は無視できるものとする。



問 3 以下のコロイド (a)~(e) のうち、分散媒が固体で分散質が気体であるものを 1 つ選び、記号で書け。

- (a) ゼリー (b) マシュマロ (c) 雲 (d) 牛乳 (e) 墨汁

問 4 グリセリン (分子式: $C_3H_8O_3$) は種々のオキシ酸と反応してエステルとなるが、硝酸エステルであるニトログリセリンは火薬や狭心症治療薬として用いられる。ニトログリセリンの分子式を書け。

問 5 以下の語句 (1), (2) の意味を説明せよ。

(1) 潮解

(2) 融解

問 6 水のイオン積の値は温度が高くなるほど大きくなる。この理由を以下のキーワードをすべて用いて説明せよ。

キーワード：電離，ルシャトリエの原理，平衡

問 7 以下の記述を読み，(1)～(5)の各問に答えよ。

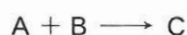
濃度不明の過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液のモル濃度を求めるため，滴定を行うことにした。 $1.50 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ のシュウ酸 $(\text{COOH})_2$ 標準溶液 10.0 mL をコニカルビーカーにとり，希硫酸を加えて酸性にしてから 50°C 程度に加温し，ビュレットから過マンガン酸カリウム水溶液を滴下したところ，滴定の終点までに 12.0 mL を要した。

- (1) この滴定でおきる反応を化学反応式で書け。
- (2) この滴定において酸化された原子を元素記号で答えよ。またその原子の反応前および反応後の酸化数を答えよ。
- (3) この滴定の終点においてコニカルビーカー内の液体にどのような色の変化が観察されるか書け。
- (4) この滴定において硫酸のかわりに塩酸を用いると正確な結果が得られない理由を説明せよ。
- (5) この過マンガン酸カリウム水溶液のモル濃度を有効数字 2 桁で求めよ。

〔2〕 次の記述〔I〕,〔II〕を読み,問1～問7に答えよ。

〔I〕

化学反応の反応速度は,反応物の濃度の関数として表すことができる。すなわち以下の反応におけるCの生成速度 v は,A,Bの濃度を $[A]$, $[B]$,反応速度定数を k とすると, $v = k[A]^a[B]^b$ と表されるが,濃度の指数 a , b の値は実験値からしか求めることができない。反応物A,Bの初濃度($[A]_0$, $[B]_0$)を変えて一定温度で反応を行ったところ,反応開始直後のCの生成速度 v_0 との間に,表に示すような関係が得られた。



実験番号	$[A]_0(\text{mol/L})$	$[B]_0(\text{mol/L})$	$v_0(\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s}))$
1	0.10	0.10	9.0×10^{-3}
2	0.10	0.20	1.8×10^{-2}
3	0.20	0.10	3.6×10^{-2}
4	(ア)	0.10	8.1×10^{-2}

問1 a , b の値(整数)を求めよ。

問2 表の(ア)に当てはまる数値を有効数字2桁で求めよ。

〔II〕

過酸化水素水は室温である程度安定であるが,酸化マンガン(IV)を少量加えると,過酸化水素の分解反応^(a)がおこり酸素が発生する。この反応における過酸化水素の分解速度 v は,過酸化水素の濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$,反応速度定数 k ,反応次数 x を用いて, $v = k[\text{H}_2\text{O}_2]^x$ と表すことができる。そこで,実験によって, x および k の値を求めることとした。

0.900 mol/Lの過酸化水素水 10.0 mLに少量の酸化マンガン(IV)を加え,1.00分ごとに,それまでに発生した酸素の総量を測定したところ,以下の結果が得られた。なお,この実験は一定温度(20℃)で行い,反応中の過酸化水素水の体積変化は無視できるものとする。

時間[min]	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
発生した酸素[mol]	0	9.20×10^{-4}	1.67×10^{-3}	2.26×10^{-3}	2.72×10^{-3}	3.08×10^{-3}

反応速度は単位時間あたりの濃度変化量に相当するので、2つの時刻(t_1 , t_2)における過酸化水素の濃度が分かれば、 t_1 から t_2 における過酸化水素の平均の分解速度 $\bar{v}$ を求めることができる。本来反応速度は時々刻々と変化するが、この反応において t_1 と t_2 の間隔が1分間程度であれば、 t_1 から t_2 における過酸化水素の平均濃度 $\overline{[H_2O_2]}$ と平均の分解速度 $\bar{v}$ との間にも近似的に $\bar{v} = k\overline{[H_2O_2]}^x$ の関係が成り立つと仮定する。

0分～1.00分間に発生した酸素の量から、この1分間に分解した過酸化水素の量は (イ) mol, 反応開始後1.00分における過酸化水素の濃度は (ウ) mol/Lである。0分～1.00分における過酸化水素の濃度の減少量から $\bar{v}$ は (エ) mol/(L・min)であり、0分と1.00分の濃度の平均値である $\overline{[H_2O_2]}$ は (オ) mol/Lである。

同様に考えると、3.00分～4.00分における $\bar{v}$ は (カ) mol/(L・min), $\overline{[H_2O_2]}$ は (キ) mol/Lである。0分～1.00分および3.00分～4.00分の $\bar{v}$ と $\overline{[H_2O_2]}$ との関係を比較することで、反応次数 x は整数値である A と判断できる。そして、0分～1.00分における $\bar{v}$ と $\overline{[H_2O_2]}$ の関係から反応速度定数 k を計算すると、 B となる。

問 3 下線部(b)の反応を化学反応式で書け。

問 4 下線部(a)の酸化マンガン(IV)の働きを以下のキーワードをすべて使用して説明せよ。

キーワード：触媒, 反応速度, 活性化エネルギー

問 5 空欄(イ)～(キ)に当てはまる数値を有効数字2桁で求めよ。計算の過程も書くこと。

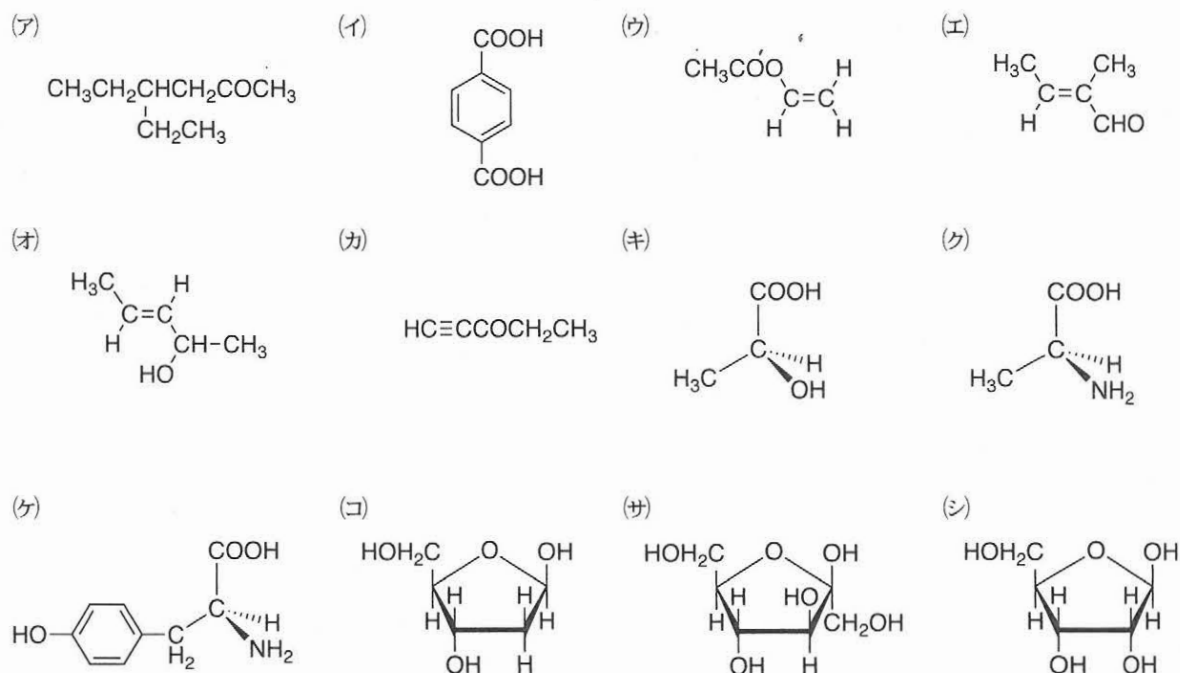
問 6 Aに当てはまる整数値を書け。

問 7 Bに当てはまる反応速度定数を有効数字2桁で求め、単位とともに書け。

計算の過程も書くこと。また、単位は「mol」, 「L」, 「min」のうち、必要なものを用いて表すこと。

〔 3 〕 以下の化合物 (ア)～(シ) に関する各問に答えよ。

ただし、(キ)～(ケ) の構造では、くさび形で表された結合の太い実線 (—) は紙面の手前側へ、破線 (……) は紙面の向こう側へ向かう結合を示す。



問 1 以下の記述を読み、(1)～(3) の各問に答えよ。

化合物 A～E は、(ア)～(シ) のうちのいずれかの化合物であり、以下のような特徴を有する。

- 化合物 A～E のうち、化合物 A, B のみが フェーリング液を還元する。
- 化合物 A～E のうち、化合物 A, C のみが臭素水を脱色する。
- 化合物 A～E のうち、化合物 C, E のみがヨードホルム反応に陽性を示す。
- 化合物 A～E のうち、2 つの化合物が不斉炭素原子を持たない。
- 化合物 A～E の中には ショ糖の加水分解によって生成する化合物が含まれる。
- 化合物 A～E の中にはキサントプロテイン反応とニンヒドリン反応共に陽性を示す化合物が含まれる。

(1) A～E を特定し、(ア)～(シ) の記号で答えよ。

(2) 下線部 (a) について、還元されることによって生成する沈殿物の化学式を書け。

(3) 下線部 (b) について、ショ糖の加水分解においてこの化合物とともに生成する化合物の名称を書け。

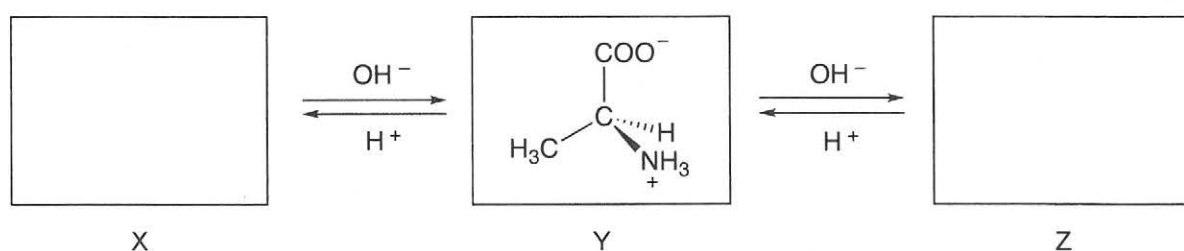
問 2 以下の記述(1)~(4)それぞれに当てはまる化合物を(ア)~(シ)の中から選び、記号で答えよ。

答えは1つとは限らない。

- (1) 付加重合を経てビニロンの原料となる。
- (2) 炭素原子間の不飽和結合を持ち、かつ幾何異性体が存在する。
- (3) 核酸の構成要素である。
- (4) ヨーグルトなどの乳製品に含まれており、激しい運動をした後に体内に蓄積する。

問 3 化合物(ク)についての以下の記述を読み、(1)~(4)の各問に答えよ。

化合物(ク)は、水溶液中でイオン X, Y, Z の形で存在する。



X, Y, Z の割合は水溶液の液性によって変化するが、これらの平衡混合物の電荷が全体として0となる時のpHを等電点という。X, Y, Zは式①, ②に示す平衡状態にある。



- (1) 化合物(ク)の名称を書け。
- (2) XおよびZの構造をYにならって書け。
- (3) 等電点における水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を電離定数 K_1 , K_2 を用いた式で表せ。導出の過程も書くこと。
- (4) 化合物(ク)の等電点を有効数字2桁で求めよ。

生物基礎・生物

〔1〕 次の文章を読み、問1～問7に答えよ。

19世紀にはメンデルが遺伝の法則を発見し、20世紀に入ると遺伝情報を担う遺伝子の本体が何であるか調べられた。肺炎球菌には、外側にさやをもつS型菌と、さやをもたないR型菌がある。この肺炎球菌を用いたグリフィスの実験では、S型菌をマウスに注射すると、マウスは肺炎を発病して死んだが、R型菌を注射しても発病しなかった。一方で、加熱殺菌したS型菌を注射してもマウスは死ななかったが、加熱殺菌したS型菌をR型菌に混ぜて注射すると、マウスは発病し、その体内からはS型菌^(あ)が見つかった。この実験結果から、何らかの物質により肺炎球菌の病原性が変化^(い)したと考えられた。こうした変化に関して、1952年には、バクテリオファージを用いた実験が行われた。バクテリオファージはウイルスの一種でDNAとタンパク質からなり、大腸菌に寄生して増殖する。ハーシーとチェイスはまず、放射性同位体を用いてバクテリオファージのDNAまたはタンパク質を標識^(う)し、それらを別々に大腸菌に感染させたのち、その培養液を攪拌、遠心分離して大腸菌を沈殿させ培地と分離する実験を行った。この実験により、遺伝子の本体がDNAであることが確実となった。1953年には、ワトソンとクリックによって、DNAが二重らせん構造をとり、塩基が相補的に対を形成することが提唱された。DNAの複製^(え)は1つの複製起点から両側に向かい行われるが、2本のヌクレオチド鎖は逆向きに配列しているので、合成されるヌクレオチド鎖の一方はDNAがほどこけていく方向と同じ向きに連続的に合成され、もう一方は逆向きに不連続^(お)に合成される。この不連続に合成された短いDNA断片がつながって、新たな1本のDNA鎖となる。DNA合成には足場となる短いヌクレオチド鎖が必要であり、DNA合成に先立ちRNAからなるプライマーが合成される。その後DNA合成に伴って最終的にはRNAからなるプライマーは分解され、DNA鎖に置き換わる。^(か)

問1 下線部(あ)について、以下の設問に答えよ。

何らかの物質により肺炎球菌の病原性が変化^(い)したと考えられるが、この現象を何というか。

問2 下線部(い)について、病原性の変化に関わる物質を調べるため、S型菌をすりつぶした抽出液をR型菌に加えると、R型菌の中にS型菌が現れた。さらに以下の実験を行った場合、S型菌が出現すると考えられるのはどれか。以下の①～④からすべて選び、番号で答えよ。

- ① S型菌をすりつぶした抽出液中のDNAを分解したのち、R型菌に加える。
- ② S型菌をすりつぶした抽出液中のRNAを分解したのち、R型菌に加える。
- ③ S型菌をすりつぶした抽出液中の炭水化物を分解したのち、R型菌に加える。
- ④ S型菌をすりつぶした抽出液中のタンパク質を分解したのち、R型菌に加える。

問 3 下線部(う)について、以下の設問の解答として最も適したものを以下の語群①～⑥から選び、それぞれ番号で答えよ。

(1) DNA とタンパク質の標識に用いた放射性同位体はそれぞれ何か。

(2) 大腸菌に感染させた際に大腸菌内に挿入された放射性同位体は何か。

【語群】

① ^{14}C , ② ^3H , ③ ^{16}N , ④ ^{19}O , ⑤ ^{32}P , ⑥ ^{35}S

問 4 下線部(え)について、以下の設問に答えよ。

(1) 2 本鎖 DNA を構成する塩基のアデニン(A)の含有量が 30 % の場合、シトシン(C)、グアニン(G)、チミン(T)の含有量はそれぞれ何%か。

(2) ヒトの体細胞 1 個に含まれる DNA が 12×10^9 塩基からなるとしたとき、ヒトの体細胞の DNA の全長は約何 m になるか小数第 2 位まで求めよ。なお、DNA の 10 塩基対の長さは 3.4 nm である。

問 5 下線部(お)について、連続的に、または逆向きに不連続に合成されるヌクレオチド鎖を、それぞれ何というか。また、不連続に合成された短い DNA 断片は発見者の名前にちなんで何と名付けられたか。その名称を答えよ。

問 6 下線部(か)について、RNA からなるプライマーは最終的に分解されて DNA に置き換わる必要がある。線状である真核生物の染色体 DNA の複製においては、環状である原核生物の染色体 DNA の複製にはみられない問題が起こることが考えられるが、どのような問題か。20 字以内で答えよ。

問 7 次の文を読み、設問に答えよ。

DNA 複製が半保存的複製であることは、メセルソンとスタールによって示された。大腸菌を $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ を含む培地で何代も培養すると、相補的な 2 本のヌクレオチド鎖の窒素がすべて ^{15}N に置き換わった重い DNA (^{15}N と ^{15}N) をもつ大腸菌が得られる(親世代)。彼らは、この大腸菌を $^{14}\text{NH}_4\text{Cl}$ を含む培地に移し培養を続け、各代ごとに DNA を抽出して、遠心分離法でその DNA の重さを調べる実験を行い、半保存的複製の証明に至った。この実験において、親世代を 0 代目、1 回分裂後を 1 代目としたとき、2 代目と 3 代目の DNA の重さの分離比、重い DNA (^{15}N と ^{15}N) : 中間の重さの DNA (^{15}N と ^{14}N) : 軽い DNA (^{14}N と ^{14}N) はそれぞれどのようなようになるか答えよ。

〔2〕 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

微生物は様々な物質を生産することから、我々人類は古くより「ものづくり」に微生物を利用してきた。例えば、乳酸菌や納豆菌のような細菌^①、あるいは酵母や麹菌を利用し、納豆、酒、味噌などの発酵食品を作ってきたことは広く知られている。20世紀には青カビからペニシリンが発見されたことで抗生物質の生産にも利用されるようになり、近年では遺伝子を人工的に操作して微生物から様々な有機化合物を生産させることが可能となっている。「ものづくり」に利用される多くの微生物は従属栄養生物^②であり、発育に必要な有機物や無機物を外から取り込み、自分に必要な有機物に作り替えている。このような生体内で生じる化学的変化の過程を代謝と呼び、この代謝システムを解明することで人類に有益な有機物や酵素を見つけ出してきた。近年では、ペットボトルに使用されるポリエチレンテレフタレート(PET)を栄養源として生存できる細菌からPET分解に関与する酵素が発見されるなど、バイオテクノロジーを利活用した持続可能な社会の実現に向け益々研究が盛んになっている。代謝は、単純な分子から複雑な分子が合成される代謝(同化)と複雑な分子が単純な分子へと分解される代謝(異化)に大別される。生物は代謝におけるエネルギーの吸収と放出の仲立ちにATP^③を利用し、このATPのエネルギーを能動輸送や筋肉の収縮のようなさまざまな生命活動^④に利用している。微生物の中には酸素を利用せずにエネルギーを得る発酵と呼ばれる代謝を行うものもあり、ヒトに病原性を示す肺炎球菌は乳酸発酵にのみエネルギー合成を依存している。

問1 下線部①について、細菌の特徴として正しいものに○を、誤っているものに×を書け。

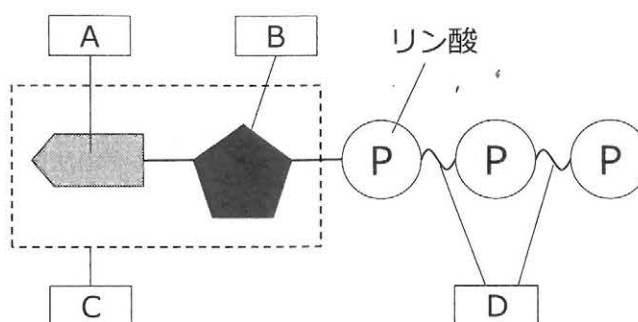
- (a) 細菌は、核をもたない
- (b) 細菌は、原核生物である
- (c) 細菌は、細胞膜をもたない
- (d) 細菌は、リボソームをもたない
- (e) 細菌は、ミトコンドリアをもたない

問2 下線部②について、従属栄養生物に対して、自ら無機物より有機物を合成できる生物を独立栄養生物と呼ぶ。

- (1) 独立栄養生物のうち緑色硫黄細菌やシアノバクテリアは光合成色素を持ち光合成を行うことができる。それぞれ何と呼ばれる光合成色素を持つか答えよ。
- (2) 化学エネルギーを用いて有機物を合成する細菌を化学合成細菌と呼ぶ。化学合成細菌のうち、亜硝酸菌と硝酸菌はそれぞれ何イオンを酸化した化学エネルギーを用いるか、イオン式で答えよ。イオン式の例) Na^+ 、 Cl^-

問 3 下線部③について、以下に ATP の模式図を示す。

- (1) A～C の名称と、D の結合名を答えよ。



(ATP 模式図)

- (2) 酸素を利用して ATP を得る代謝を呼吸と呼び、3つの反応系に大別される。3つの反応系の名称と、その反応系が進行する細胞内の場所をそれぞれ答えよ。
- (3) 上記(2)で答えた3つの反応系を1つにまとめ、グルコースを基質とした呼吸の反応式を書け。ただし、得られるエネルギー(ATP)は反応式に含める必要はない。
- (4) ある微生物の呼吸を測定したところ、二酸化炭素が6.6 mg 発生した。この時、消費されたグルコースの質量を求めよ。ただし、上記(3)の反応式以外の反応は起きなかったこととし、原子量は $H = 1$, $C = 12$, $O = 16$ として計算せよ。

問 4 下線部④について、下記の問いに答えよ。

- (1) グルコースを基質とした乳酸発酵の反応式を書け。ただし、得られるエネルギー(ATP)は反応式に含める必要はない。
- (2) ヒトの筋肉でも、酸素の供給が不十分な場合には、乳酸発酵と同じ過程で乳酸と ATP が生じる。ヒトの組織内で起こるこの反応を何と呼ぶか答えよ。
- (3) 発酵には乳酸発酵の他に、エタノールを生成するアルコール発酵がある。グルコースを基質としたアルコール発酵の反応式を書け。ただし、得られるエネルギー(ATP)は反応式に含める必要はない。
- (4) 酵母は酸素の供給が不十分な場合には、呼吸とアルコール発酵の両方を行う。酸素の供給が不十分な環境でグルコースを基質として酵母を培養したところ、酸素 64 mg を吸収し、二酸化炭素 220 mg を放出した。この場合、エタノールは何 mg 生成すると考えられるか答えよ。ただし、問 3(3)、および問 4(3)の反応式以外の反応は起きなかったこととし、原子量は $H = 1$, $C = 12$, $O = 16$ として計算せよ。

〔3〕 次の文章を読み、問1～問3に答えよ。

生物の遺伝の仕組みを研究する学問である遺伝学の分野において、1908年にイギリスの数学者ハーディーとドイツの医学者のワインベルグは、別々に次の発見をする。「一定の理想的な状況のもとでは、有性生殖をおこなう集団における対立遺伝子の頻度は、世代を越えて一定に保たれる。また、^①遺伝子型の頻度は、この遺伝子型を構成する遺伝子の頻度の積で表すことができる。」^②という発見である。現在、「ハーディー・ワインベルグの法則」と呼ばれるこの法則の発表によって、生物集団を対象として遺伝的構造を支配する法則の探究を行う集団遺伝学の基礎が築かれた。

問1 下線部①について、以下の設問に答えよ。

実際の生物集団において、ハーディー・ワインベルグの法則が成立しない要因を4つ挙げよ。

問2 以下の文章を読み、次の(1)～(3)に答えよ。

有性生殖を行う、ある2倍体の生物の個体群において、ハーディー・ワインベルグの法則が成立しているとする。この個体群の遺伝子座にある対立遺伝子 A と a があり、 A の遺伝子頻度は p 、 a の遺伝子頻度が q ($p + q = 1$) とする。

(1) $AA : Aa : aa$ の比率をそれぞれ p 、 q を用いて答えよ。

(2) この個体群 800 匹の遺伝子を調べたところ、 aa の遺伝子型を持つ個体が 72 個体であった。この個体群の A の遺伝子頻度 p 、および a の遺伝子頻度 q を答えよ。

(3) (2)の個体群から aa の遺伝子型を持つ個体を全て取り除いた際に、次の世代における A の遺伝子頻度を小数第2位まで求めよ。

問3 下線部②について、以下の設問に答えよ。

ハーディー・ワインベルグの法則は、一対の対立遺伝子が関係する場合のみではなく、複数の対立遺伝子が関係する場合においても拡張することができる。

ヒトの血液型を分類する際、一般的にABO式血液型が用いられ、A型、B型、AB型、O型の4つの表現型に分けられる。この血液型に関して、あるヒトの集団1000人における血液型は、O型が250人、B型が240人であった。ハーディー・ワインベルグの法則が成り立つ場合、この集団のA型とAB型の人数をそれぞれ求めよ。