

生 物

I 以下の問いに答えよ。

問 1 30～20 億年前の地球において、大量の酸素を発生させたと考えられている生物として最も

適切なものを①～⑤から1つ選べ。

- ① アゾトバクター ② 化学合成細菌 ③ 嫌気性細菌
④ 好気性細菌 ⑤ シアノバクテリア

問 2 以下の図は生物の分類の階層を表し、①～⑥には「科」、「界」、「綱」、「属」、「目」、「門」のいずれかが当てはまる。哺乳類や鳥類という分類はどの階層に当てはまるか、適切なものを①～

⑥から1つ選べ。

問 3 動物の体細胞分裂中期の特徴として最も適切なものを①～⑤から1つ選べ。

- ① 核膜が出現する。
② 核膜が消失する。
③ 細胞がくびれる。
④ 核内の DNA が複製される。
⑤ 赤道面に染色体が配置される。

問 4 腸の上皮組織において、上皮組織の外側から内側にさまざまな分子が入り込むことを防いでいる細胞同士の結合はどれか、最も適切なものを①～⑤から1つ選べ。

- ① ギャップ結合 ② 固定結合 ③ 接着結合
④ デスモソーム ⑤ 密着結合

問 5 ①～⑤に示した人類を出現した順に並べた時、3番目に出現したものはどれか、最も適切なものを選べ。

- ① アウストラロピテクス・アファレンシス
② ホモ・エレクトス
③ ホモ・サピエンス
④ ホモ・ネアンデルターレンシス
⑤ ホモ・ハイデルベルゲンシス

問 6 被子植物において、胚のう母細胞とまったく同じ遺伝情報を持つ細胞として最も適切なものを①～⑤から1つ選べ。ただし、変異や乗換えは起きないものとする。 カ

- ① 珠皮の細胞
- ② 助細胞
- ③ 中央細胞
- ④ 胚乳細胞
- ⑤ 反足細胞

問 7 ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つための条件として不適切なものを①～⑤から1つ選べ。 キ

- ① 突然変異が起こる。
- ② 自由な交配で有性生殖をする。
- ③ 注目する形質に自然選択が働いていない。
- ④ 他の集団との間で遺伝子の流入・流出がない。
- ⑤ 集団の大きさが十分に大きく、遺伝的浮動の影響を無視できる。

問 8 ヒトの脊髄において、背根を通っている神経と腹根を通っている神経はどれか、最も適切な組み合わせを①～⑥から1つ選べ。 ク

- | | |
|----------------|--------------|
| ① 背根：運動神経と交感神経 | 腹根：感覚神経 |
| ② 背根：感覚神経と交感神経 | 腹根：運動神経 |
| ③ 背根：運動神経と感覚神経 | 腹根：交感神経 |
| ④ 背根：運動神経 | 腹根：感覚神経と交感神経 |
| ⑤ 背根：感覚神経 | 腹根：運動神経と交感神経 |
| ⑥ 背根：交感神経 | 腹根：運動神経と感覚神経 |

問 9 生態系に関する記述として最も適切なものを①～④から1つ選べ。 ケ

- ① 生態系の中で食物連鎖の頂点に立つ種をキーストーン種という。
- ② 湖や海の富栄養化により赤潮やアオコが発生することを自然浄化という。
- ③ 個体群密度の上昇が個体群の成長に促進的に働く現象をアリー効果という。
- ④ 海洋や湖沼において植物プランクトンの光合成量と動物プランクトンの呼吸量が釣り合う深度を補償深度という。

問10 動物の発生に関する記述として最も適切なものを①～⑤から1つ選べ。

コ

- ① ウニでは中胚葉は形成されない。
- ② カエルでは母性因子が胚の発生に影響を与える。
- ③ 脊椎動物の脊椎骨は、初期発生の過程で形成される脊索から分化する。
- ④ 哺乳類では、未分化な細胞がゲノムの一部を失った結果、表皮や筋肉など異なる細胞に分化する。
- ⑤ シュペーマンらが行ったような両生類における原口背唇部の移植によって生じる二次胚は、主に移植片の細胞によって構成される。

問11 サトウキビやトウモロコシなどの植物はC₄植物と呼ばれている。C₄植物に関する説明として最も適切なものを①～④から1つ選べ。

サ

- ① C₄植物は、カルビン・ベンソン回路を用いずに炭酸同化を行う。
- ② C₄植物は、CO₂とC₅化合物からホスホグリセリン酸をつくれない。
- ③ C₄植物は、維管束鞘細胞でCO₂とC₃化合物からC₄化合物をつくる。
- ④ C₄植物は、葉肉細胞内のCO₂濃度が低下した状態でも二酸化炭素を効率よく固定する。

II 以下の問いに答えよ。

問 1 窒素には ^{14}N と、それよりも質量の大きい同位体 ^{15}N が存在する。 ^{14}N のみを窒素源として含む培地(培地 A)と ^{15}N のみを窒素源として含む培地(培地 B)を用いて、下記の 2 つの条件で大腸菌の培養を行った。ただし、これらの培地の組成は窒素以外全て同じである。

- (1) 培地 A で何世代にもわたり培養した大腸菌を、培地 B に移した。培地 B で 4 回の DNA 複製を行なった大腸菌から DNA を抽出し、密度勾配遠心法で DNA を比重によって分離した。この時、 ^{14}N のみで構成される軽い DNA、 ^{14}N と ^{15}N で構成される中間の重さの DNA、 ^{15}N のみで構成される重い DNA の比率はどのようになるか、下記の ~ に当てはまる最も適切な値を①~⑨からそれぞれ 1 つ選べ。

$$[^{14}\text{N のみ}] : [^{14}\text{N と } ^{15}\text{N}] : [^{15}\text{N のみ}] = \text{ア} : \text{イ} : \text{ウ}$$

- ① 0 ② 1 ③ 2 ④ 3 ⑤ 4
⑥ 5 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 15

- (2) 培地 A で何世代にもわたり培養した大腸菌を、培地 B に移した。培地 B で 2 回の DNA 複製を行なった大腸菌を、再び培地 A に移した。培地 A で新たに 2 回の DNA 複製を行なった大腸菌から DNA を抽出し、密度勾配遠心法で DNA を比重によって分離した。この時、 ^{14}N のみで構成される軽い DNA、 ^{14}N と ^{15}N で構成される中間の重さの DNA、 ^{15}N のみで構成される重い DNA の比率はどのようになるか、下記の ~ に当てはまる最も適切な値を①~⑨からそれぞれ 1 つ選べ。

$$[^{14}\text{N のみ}] : [^{14}\text{N と } ^{15}\text{N}] : [^{15}\text{N のみ}] = \text{エ} : \text{オ} : \text{カ}$$

- ① 0 ② 1 ③ 2 ④ 3 ⑤ 4
⑥ 5 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 15

問 2 植物 X と植物 Y に、それぞれいろいろな強さの光を当て続けた。図 1 は、この時の光の強さと葉の単位面積あたりの二酸化炭素の吸収速度の関係を表したものである。ただし、実験中は温度(20℃)と CO₂ 濃度(0.04%)の変化はないものとする。

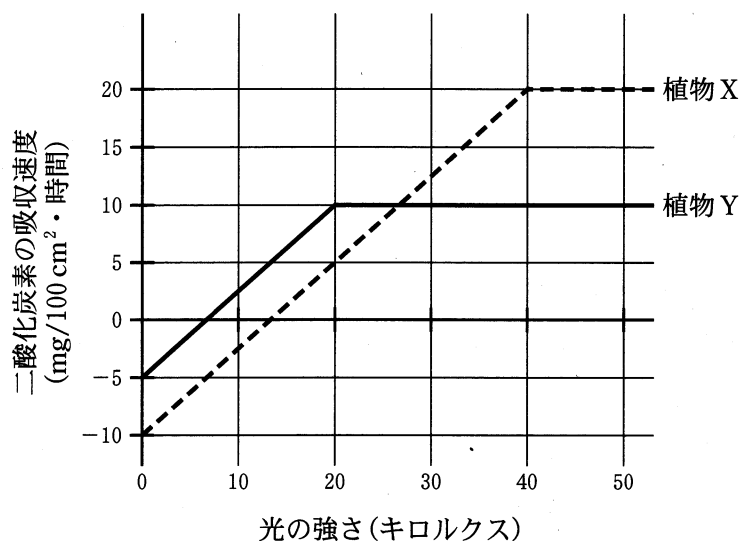


図 1

(1) 植物 X と植物 Y の光合成速度が等しい光の強さを以下の①~⑤から 全て 選べ。

- ① 10 キロルクス ② 20 キロルクス ③ 30 キロルクス
 ④ 40 キロルクス ⑤ 50 キロルクス

(2) 植物 X に 50 キロルクスの光を 6 時間照射した時、植物 X の 200 cm² の大きさの葉が 同化する グルコースの量は何 mg か、小数点第 2 位を四捨五入した値で答えよ。ただし、実験中は温度(20℃)と CO₂ 濃度(0.04%)の変化はないものとし、原子量は H = 1, C = 12, O = 16 とする。例えば、

値が 12.34 mg の場合は、 . とせよ。
 . mg

(3) 植物 Y に 20 キロルクスの光を 4 時間照射したのち、植物 Y を暗闇(0ルクス)に 4 時間おいた。この時、植物 Y の 100 cm² の大きさの葉は、この 8 時間の間にグルコースの量を何 mg 増加させたか、小数点第 2 位を四捨五入した値で答えよ。ただし、葉と他の部位との間でグルコースの移動はないものとする。また、実験中は温度(20℃)と CO₂ 濃度(0.04%)の変化はないものとし、原子量は H = 1, C = 12, O = 16 とする。例えば、値が 12.34 mg の場合は、

. とせよ。
 . mg

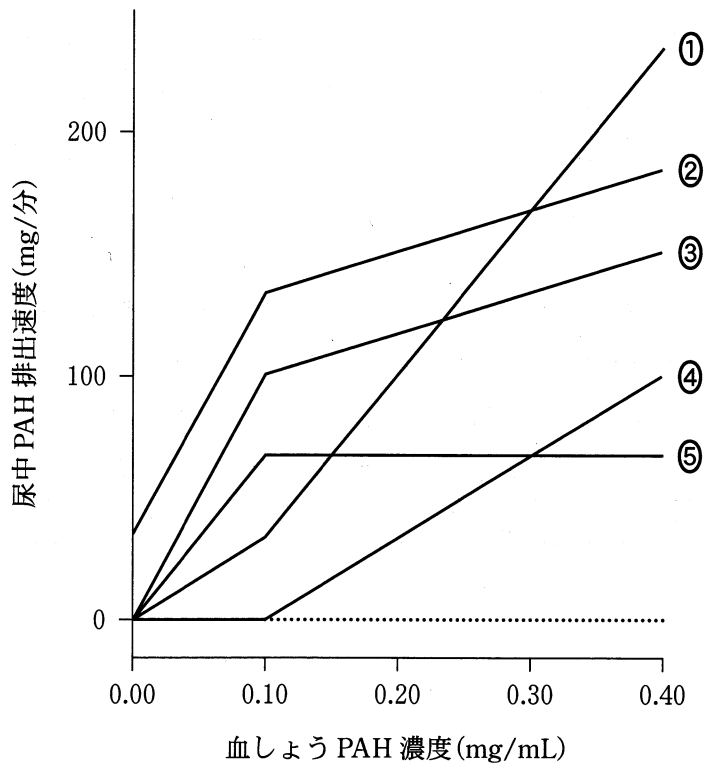
Ⅲ 以下の問いに答えよ。

問 1 腎臓に流入した血液は糸球体に送られ、そこでタンパク質を除く血しょうの約 20 % がろ過されて原尿となる。残りの 80 % はろ過されずに細尿管周囲の毛細血管へと進む。パラアミノ馬尿酸 (PAH) は腎臓の糸球体でろ過される。また、PAH がろ過されずに細尿管周囲の毛細血管に達した場合、血しょうから能動的に細尿管内に輸送されて尿中に排出される。血しょう中の PAH 濃度が低い時 (0.10 mg/mL 以下)、PAH の細尿管への能動輸送の速度は血しょう中の PAH 濃度に比例して増加し、腎臓に流入した PAH の 90 % が尿中に排出される。しかしながら、輸送速度は血しょう中の PAH 濃度が 0.10 mg/mL の時に最大となり、血しょう中の PAH 濃度がこれ以上高くなっても輸送速度は増加しない。

- (1) 健康なヒトの静脈に PAH を継続的に注射し、血しょう中の PAH の濃度が一定となった後に血しょう中および尿中の PAH 濃度を測定した。この結果、血しょう中の濃度は 0.02 mg/mL、尿中の濃度が 13.80 mg/mL であった。尿の生成速度が 0.9 mL/分、血液中に占める血球の体積の割合が 45 % であった時、1 分あたりに腎臓に流入する血液量は何 mL か答えよ。小数点第 1 位を四捨五入した値で答えよ。例えば、答えが 123.4 mL の場合は

とせよ。
 mL

- (2) 血しょう中の PAH 濃度を変化させた時に、尿中への PAH の排出速度はどのように変化するか、最も適切なものを図の①～⑤から 1 つ選べ。



問 2 ラットのグルコース輸送体 Y は細尿管の上皮細胞のみに局在し、原尿中のグルコースの再吸収を担う。この輸送体は、Na イオンの濃度勾配に従って Na イオンとグルコースを同時に同方向に輸送する。

グルコース輸送体 Y の性質を調べるために、カエルの卵母細胞の細胞膜にグルコース輸送体 Y を発現させた。この卵母細胞を様々な濃度のグルコースと十分量の Na イオンを含む溶液に浸し、卵母細胞内に取り込まれたグルコースの量から取り込み初速度を算出した。その結果、グルコース濃度と取り込み初速度の関係は図 1 のようになった。

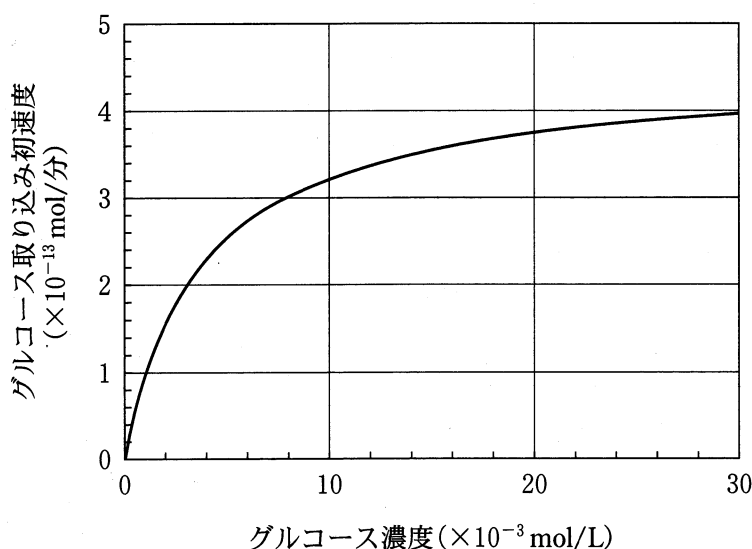


図 1

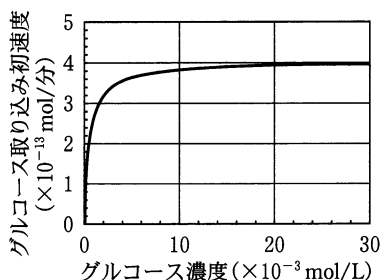
一般にグルコース輸送体におけるグルコース濃度と取り込み初速度の関係は、酵素反応における基質濃度と反応初速度の関係と同様に考えることができる。取り込み初速度の最大値を V_{\max} 、取り込み初速度が V_{\max} の半分となる時のグルコース濃度を K_m とする時、以下の問いに答えよ。

- (1) グルコース輸送体 Y は Na イオン 1 つを輸送すると同時にグルコース 1 分子を輸送する。グルコース輸送体 Y が 1 g のグルコースを輸送するとき、同時に輸送される Na イオンは何 g の NaCl から得られるか。小数点第 3 位を四捨五入した値で答えよ。ただし原子量は $H = 1$, $C = 12$, $O = 16$, $Na = 23$, $Cl = 35.5$ とする。例えば、値が 1.234 g の場合は、
- . とせよ。 . g

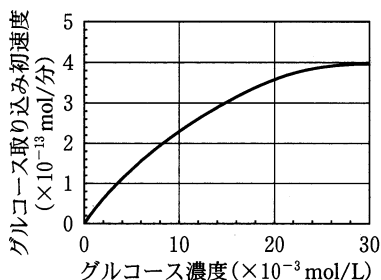
- (2) 酵母細胞の細胞膜にあるグルコース輸送体 Y の量が半分になると、グルコース濃度と取り込み初速度の関係はどのようになるか。最も適切なグラフを①～⑤から1つ選べ。

ケ

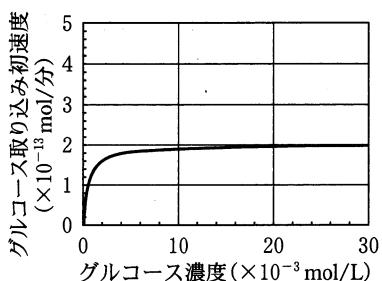
①



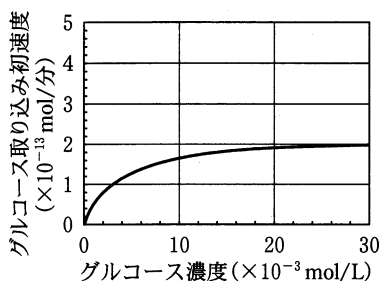
②



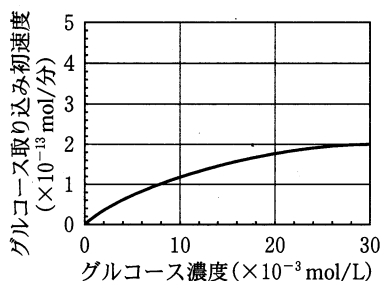
③



④



⑤



- (3) 薬物 X はグルコース輸送体 Y の機能に影響を与える。薬物 X 存在下で、グルコース輸送体 Y についてグルコース濃度とグルコース取り込み初速度の関係を本文中の下線部と同様の方法で調べた。その結果、一定濃度の薬物 X 存在下では、薬物 X が存在しない場合と比較して、 V_{max} は変わらなかったが、 K_m は2倍高くなった。

尿中にグルコースを排出する糖尿病のラットに薬物 X を投与すると、尿中に排出されるグルコース量と血糖値に変化が見られた。薬物 X はグルコース輸送体 Y にもみ作用とした場合、このラットに薬物 X を投与した時の変化として最も適切なものを①～④から1つ選べ。

コ

- ① 尿中のグルコース量が減少し、血糖値が下がった。
- ② 尿中のグルコース量が減少し、血糖値が上がった。
- ③ 尿中のグルコース量が上昇し、血糖値が下がった。
- ④ 尿中のグルコース量が上昇し、血糖値が上がった。

物 理

I にあてはまる最も適当な数字をマークすること。数値で解答する問題には有効数字2桁で答えよ。 シ の解答は最も適当なものを該当する解答群から一つ選べ。

(1) 地面からの高さが9.8 mの位置で、物体を水平方向と斜め上方30°をなす方向に初速度9.8 m/sで投げ上げた。重力加速度の大きさを $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $\sqrt{3} = 1.7$ とすると、物体が地面に落下するまでにかかる時間は ア, イ s であり、地面に落下するまでの物体の水平方向の移動距離は ウエ m となる。また、物体が最高点に達するまでの物体の水平方向の移動距離は オ, カ m である。

(2) (a) 80 °C で4200 gのアルミの容器に20 °Cで90 gの水を入れた。じゅうぶん時間が経過するとアルミ容器と水の温度は キク °C になる。ただし、熱は容器と水の間でのみ移動するものとし、アルミと水の比熱はそれぞれ0.90 J/(g・K), 4.2 J/(g・K) とする。

(b) 銅の線膨張率を $1.7 \times 10^{-5} / \text{K}$ とすると、0 °C のとき30 mの長さの銅の棒は30 °C になると ケ, コ $\times 10^{- 四}$ m だけ伸びる。

(3) 図のように、2枚の平面ガラスを重ねて、ガラスが接している点Oから $L = 0.15 \text{ m}$ の位置に厚さ D (m) の薄い紙をはさむ。真上から波長 $\lambda = 6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光を入射させ上から見ると、暗線の間隔が Δx (m) の明暗の縞が見えた。 Δx を L , D , λ を用いて表すと シ となる。また、 $\Delta x = 1.5 \text{ mm}$ であるとする、 $D =$ ス, セ $\times 10^{- 四}$ m となる。

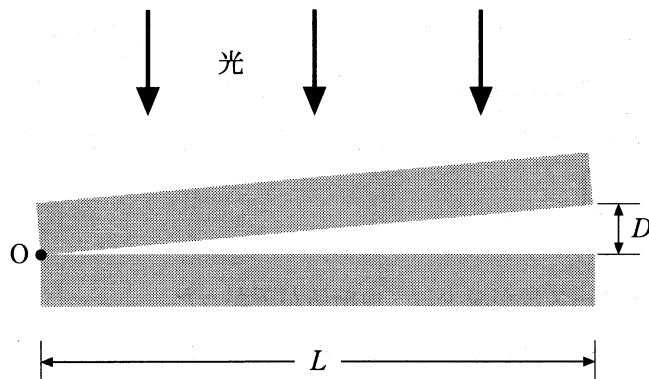


図1

シ の解答群

- ① $\frac{L\lambda}{D}$ ② $\frac{L\lambda}{2D}$ ③ $\frac{D\lambda}{L}$ ④ $\frac{D\lambda}{2L}$ ⑤ $\frac{DL}{\lambda}$ ⑥ $\frac{DL}{2\lambda}$

II にあてはまる最も適当な数字をマークすること。整数以外の数値で解答する問題には有効数字2桁で答えよ。

- (1) 図のように、原点Oから0.20 m離れたx軸上の点Pと点Qに、それぞれ $-6.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ と $+6.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ の電荷を置く。原点Oから0.15 m離れたy軸上の点をA、原点から0.40 m離れたx軸上の点をBとする。クーロンの法則の比例定数を $k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ とすると、点O、Aにおける電場の大きさはそれぞれ、. $\times 10^{\text{ウ}}$ N/C、. $\times 10^{\text{カ}}$ N/Cとなる。また、点Bと点Oの電位差は . $\times 10^{\text{ケ}}$ Vである。

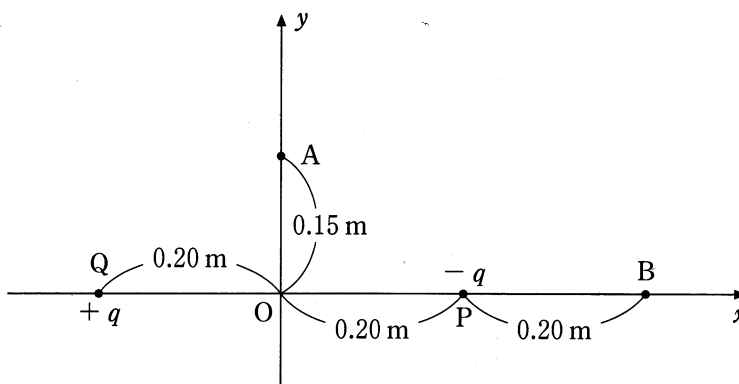


図1

- (2) 速さ $3.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ で動く電子の電子波の波長は . $\times 10^{-\text{シス}}$ mである。ただし、電子の質量を $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、プランク定数を $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、真空中の光の速さを $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。真空中で静止した電子を加速してこの速さの電子を得るには V の加速電圧が必要である。
- (3) 核融合反応 ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^3_2\text{X} + {}^1_0\text{n}$ で得られる原子核Xの質量数Aと原子番号Zはそれぞれ と である。 ${}^2_1\text{H}$ と ${}^3_2\text{X}$ の核子1個当たりの結合エネルギーをそれぞれ 1.1 MeV と 2.8 MeV とすると、この反応で放出されるエネルギーは . MeVとなる。

III にあてはまる最も適当なものに対応する解答群の中から一つずつ選べ。ただし、 ア , イ , および キ ~ コ については、最も適当な数字をマークすること。分数形で解答する問題には既約分数(それ以上約分できない分数)で答えよ。根号を含む形で解答する問題には、根号の中に現れる自然数が最小となる形で答えよ。

質量 M 、長さ L で密度が一様な細い剛体棒がある。図 1 のように、棒は地面上の点 O のまわりに自由に回転できるよう、その一端が固定されており、他端に取り付けられた軽い糸で水平方向に引かれて、地面とのなす角 θ を保ち静止している。

剛体棒に接触する位置に、水平方向になめらかに移動できる質量 $3m$ の台車があり、台車には質量 m の小球が載せられている。台車左端の点 A から台車の床上の点 B を結ぶ曲線は、 B の真上の点 C を中心とする半径 h 、中心角 90° の円弧であり、点 B から台車右端の点 D までは水平な床である。

重力加速度の大きさを g 、小球は台車床上を摩擦なく移動できるものとして、以下の問いに答えよ。

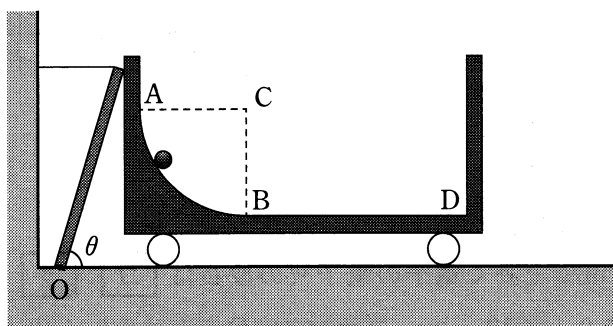


図 1

(a) 剛体棒の重心の位置と点 O の距離は $\frac{\text{ア}}{\text{イ}} L$ であり、小球も台も静止しているとき糸の張力を T とすると、この力による点 O のまわりの力のモーメントの大きさは $\text{ウ} \times TL$ となる。棒が静止しているとき、糸の張力は $T = \text{エ} \times Mg$ と表わされる。

ウ , エ の解答群

- ① $\sin \theta$ ② $3 \cos \theta$ ③ $2 \tan \theta$ ④ $\frac{1}{2} \sin \theta$ ⑤ $\frac{1}{3} \cos \theta$
 ⑥ $\frac{1}{4} \tan \theta$ ⑦ $\frac{2}{\sin \theta}$ ⑧ $\frac{1}{\cos \theta}$ ⑨ $\frac{1}{2 \tan \theta}$

(b) 小球を台車左端の点Aから初速0で台車上进行運動させたところ、小球が点Bまで滑り降りて点Dに至るまで剛体棒を引っ張る糸はたるむことなく、台車は静止したままであった。

$\angle PCB = \phi$ となる円弧AB上の点をPとすると、この点を通過する小球の速さは $V_P = \sqrt{\text{オ} \times gh}$ 、点Pで小球が台車から受ける垂直抗力の大きさは $\text{カ} \times mg$ である。小球が点Aから点Bまで滑り降りるまでの間、糸の張力が最小となるのは

$\phi = \frac{\text{キ}}{\text{ク}} \pi$ となる点Pを通過するときである。

オ 、 カ の解答群

- | | | |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| ① $\sin \phi$ | ② $\cos \phi$ | ③ $\sin \phi + \cos \phi$ |
| ④ $2 \sin \phi$ | ⑤ $2 \cos \phi$ | ⑥ $2 \sin \phi + \cos \phi$ |
| ⑦ $3 \sin \phi$ | ⑧ $3 \cos \phi$ | ⑨ $3 \sin \phi + 2 \cos \phi$ |

(c) 小球が点Bを通過して台車右端の点Dまで達した後、小球は台車の右端の壁に接触したまま

台車と共に速さ V_D で運動した。 $V_D = \frac{\sqrt{\text{ケ}}}{\text{コ}} \times \sqrt{gh}$ であり、台車が動きはじめる前後

において、小球と台車に対し サ 。

サ の解答群

- ① 力学的エネルギーと運動量が保存される
- ② 力学的エネルギーは保存されるが、運動量は保存されない
- ③ 力学的エネルギーは保存されないが、運動量は保存される
- ④ 力学的エネルギーも運動量も保存されない

(d) 剛体棒の質量が $M < m_1$ (ただし, $m_1 = \boxed{\text{シ}} m$) を満たすほど軽い場合, 小球が AB 間を滑り降りる間に棒を引っ張る糸はたるみ, 台車が小球の反動を受けて移動する。

$M > m_1$ のとき, 小球が点 A から初速 0 で滑り降り点 B を通過する速さを v_1 , $M < m_1$ のとき, 小球が点 A から初速 0 で滑り降り点 B を通過する速さを v_2 とすると, $\boxed{\text{ス}}$ 。ただし, v_1, v_2 は地面に対する速さである。

$\boxed{\text{シ}}$ の解答群

- ① $\sin \theta$ ② $2 \cos \theta$ ③ $3 \tan \theta$ ④ $\frac{1}{2} \sin \theta$ ⑤ $\frac{1}{3} \cos \theta$
 ⑥ $\frac{1}{4} \tan \theta$ ⑦ $\frac{1}{\sin \theta}$ ⑧ $\frac{1}{2 \cos \theta}$ ⑨ $\frac{1}{3 \tan \theta}$

$\boxed{\text{ス}}$ の解答群

- ① $v_1 < v_2$ が成り立つ
 ② $v_1 = v_2$ が成り立つ
 ③ $v_1 > v_2$ が成り立つ
 ④ 剛体棒を立てかけた角度 θ に依存して v_1 と v_2 の大小関係が変わる
 ⑤ 糸がたるみはじめる時間に依存して v_1 と v_2 の大小関係が変わる
 ⑥ 点 A の床からの高さに依存して v_1 と v_2 の大小関係が変わる

IV にあてはまる最も適当なものを対応する解答群から一つずつ選べ。ただし、 オ ~ コ , および シ ~ ソ については、最も適当な数字をマークすること。分数で解答する問題には既約分数(それ以上約分できない分数)で答えよ。真空の透磁率を μ_0 とする。

(1) 半径 a , 長さ d , 全巻き数 N で電気抵抗の無視できるソレノイドに電流 I が流れている。ただし、長さ d は半径 a に比べて十分大きいとする。ソレノイド内部の磁場 H の強さは ア $\times I$ である。ソレノイドの自己インダクタンスは ア \times イ と表すことができる。

ア , イ の解答群

- | | | | |
|---------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| ① N | ② $\mu_0 N$ | ③ $\frac{N}{d}$ | ④ $\frac{\mu_0 N}{d}$ |
| ⑤ $\pi(Na)^2$ | ⑥ $\mu_0 \pi(Na)^2$ | ⑦ $N\pi a^2$ | ⑧ $\mu_0 N\pi a^2$ |

(2) 断面積 S , 長さ d で透磁率 μ の鉄心に、全巻き数 N_1 で導線を巻いたソレノイドがある。ただし、鉄心は十分長いとする。ソレノイドに電流 I を流したとき、鉄心内部の磁束密度の大きさは ウ $\times I$ である。ソレノイドのまわりに全巻き数 N_2 で導線を巻いたコイルを二次コイルとする。ソレノイドと二次コイルを貫く磁束が等しいとすると、2つのコイルの相互インダクタンスは ウ \times エ と表すことができる。

ウ の解答群

- | | | | | | |
|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|
| ① $\mu_0 N_1$ | ② μN_1 | ③ $\mu_0 N_2$ | ④ μN_2 | ⑤ $\frac{\mu_0 N_1}{d}$ | ⑥ $\frac{\mu N_1}{d}$ |
|---------------|-------------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|

エ の解答群

- | | | | | | |
|---------|---------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| ① N_1 | ② N_2 | ③ $N_1 S$ | ④ $N_2 S$ | ⑤ $\frac{N_1 S}{d}$ | ⑥ $\frac{N_2 S}{d}$ |
|---------|---------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|

- (3) 図1に示すように、自己インダクタンス L のコイル L 、抵抗値がそれぞれ R 、 $3R$ 、 R の抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 、起電力 E の直流電源 E 、およびスイッチ S からなる回路を考える。コイルや導線の電気抵抗および直流電源の内部抵抗は無視できる。はじめスイッチ S は開いており、回路に電流は流れていない。

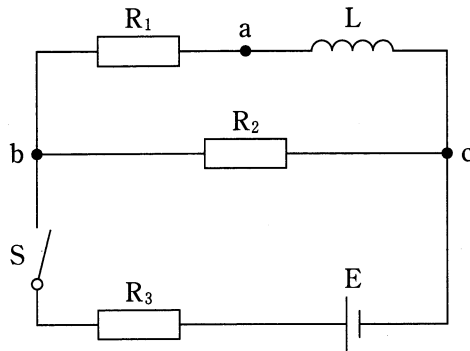


図1

- (a) 時刻 $t = 0$ においてスイッチ S を閉じた。この直後に抵抗 R_2 を流れる電流の大きさは

$\frac{\text{オ}}{\text{カ}} \times \frac{E}{R}$ である。 S を閉じてじゅうぶん時間が経過し電流が一定になったあと、

抵抗 R_1 を流れる電流の大きさは $\frac{\text{キ}}{\text{ク}} \times \frac{E}{R}$ であり、点 b の電位は点 c の電位に比べて $\frac{\text{ケ}}{\text{コ}} \times E$ だけ サ 。

- (b) (a) でスイッチ S を閉じてじゅうぶん時間が経過したあと、時刻 $t = T$ において S を開いた。直後に抵抗 R_2 を流れる電流の大きさは $\frac{\text{シ}}{\text{ス}} \times \frac{E}{R}$ である。このとき点 b の電位は点 c の電位に比べて $\frac{\text{セ}}{\text{ソ}} \times E$ だけ タ 。

サ 、 タ の解答群

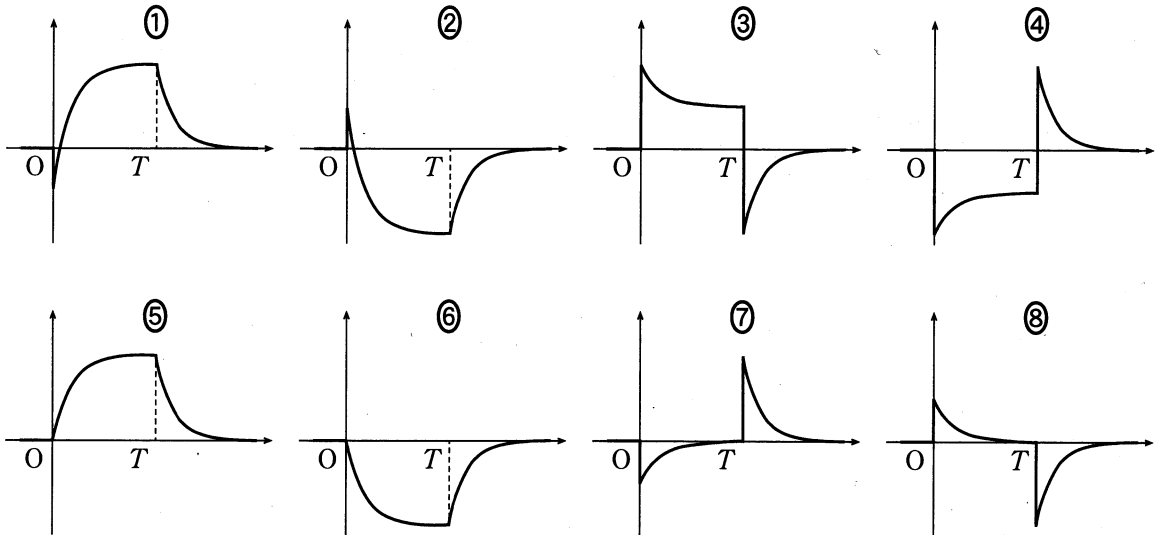
① 高い

② 低い

(c) (a), (b)の過程において、横軸に時刻 t 、縦軸に抵抗 R_1 を流れる電流をとったグラフは である。ただし、電流の向きは b から a の向きを正とする。

また、横軸に時刻 t 、縦軸に点 c に対する点 a の電位をとったグラフは である。

, の解答群



化 学

解答上の注意事項

数値の解答は、各問の解答形式に指定されている桁数に従うこと。

例1：解答欄が指数形式の場合、320は . × 10、32は . × 10、
3.2は . × 10、0.032は . × 10⁻と解答する。

例2：解答欄が2桁の場合、7は 、17は と解答する。

例3：解答欄が3桁の場合、7は 、17は 、
107は と解答する。

原子量、定数は以下の値を使用すること。

原子量 H : 1.00 C : 12.0 N : 14.0 O : 16.0 Na : 23.0 Mg : 24.0 S : 32.0 Cl : 35.5

Cu : 63.5

気体定数 : $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ または、 $8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / (\text{K} \cdot \text{mol})$

標準状態 ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 273 K) における 1 mol の気体の体積 : 22.4 L

I 以下の間に答えよ。〔解答欄 ~ 〕

問1 酸素原子の原子半径を a、水素原子の原子半径を b、水分子の酸素原子と水素原子の中心間の距離を c とする。a、b、c の関係として正しいものを下の①~③より1つ選べ。

- ① $a + b = c$ ② $a + b > c$ ③ $a + b < c$

問2 下の①~⑤のうち、イオン結合からなるものをすべて選べ。

- ① CO ② CsCl ③ H₂ ④ HCl ⑤ NaF

問3 115 g の気体 A と 5.0 g の気体 B からなる混合気体が 10 L の密閉容器に入っている。この容器内の混合気体の圧力を 27 °C で測定したところ、 $1.2 \times 10^6 \text{ Pa}$ であった。この混合気体の平均分子量を整数で答えよ。

問 4 下の化合物①~⑦のうち、水に溶けにくく、ヘキサンに溶けやすい物質を3つ選べ。

オ

- ① イソプレン ② キシレン ③ グルコース ④ 二硫化炭素
 ⑤ フッ化水素 ⑥ 硫化水素 ⑦ 硝酸ナトリウム

問 5 図1は、純水、グルコース水溶液、塩化ナトリウム水溶液の蒸気圧曲線である。A, B, Cの曲線はそれぞれの溶液に該当するか。正しい組み合わせを①~⑥より選べ。なお、グルコース水溶液および塩化ナトリウム水溶液は希薄溶液で、質量モル濃度は等しい。

カ

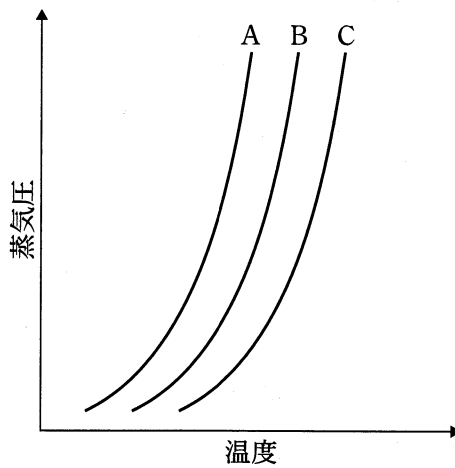
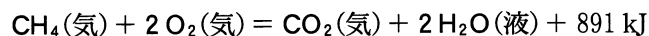
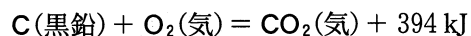
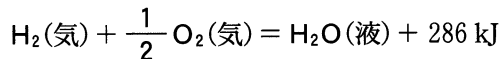
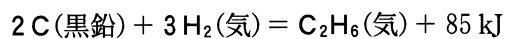
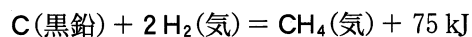
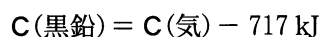
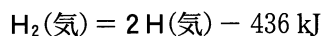


図1

	A	B	C
①	純水	グルコース水溶液	塩化ナトリウム水溶液
②	純水	塩化ナトリウム水溶液	グルコース水溶液
③	塩化ナトリウム水溶液	グルコース水溶液	純水
④	塩化ナトリウム水溶液	純水	グルコース水溶液
⑤	グルコース水溶液	純水	塩化ナトリウム水溶液
⑥	グルコース水溶液	塩化ナトリウム水溶液	純水

問 6 共有結合 C-H の結合エネルギーの大きさを、以下の反応熱などの値を用いて求めよ。



キ ク ケ kJ

問 7 可逆反応に関する以下の①～⑦の記述のうち、触媒の有り無しで変化しないものをすべて選べ。 コ

- ① 反応熱の大きさ
- ② 逆反応の反応速度
- ③ 単位時間あたりの反応物の変化量
- ④ 活性化状態のエネルギーの大きさ
- ⑤ 平衡状態に達した時の生成物の量
- ⑥ 正反応と逆反応の反応速度定数の比
- ⑦ 逆反応の活性化エネルギーの大きさ

問 8 図 2 は酸化マグネシウムの結晶の単位格子を示している。以下の問に答えよ。

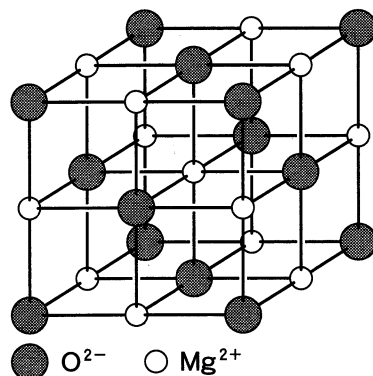


図 2

(1) マグネシウムイオンと酸化物イオンの配位数はそれぞれいくつか。

マグネシウムイオン サ
 酸化物イオン シ

(2) 単位格子の一辺が 4.0×10^{-8} cm である場合、酸化マグネシウムの結晶の密度を小数点以下1桁で求めよ。ただし、アボガドロ定数は 6.0×10^{23} /mol を用いよ。

ス . セ g/cm³

問 9 図3に示したような装置に直流電流を流して電気分解を行った。電解槽 I から発生した気体を全て捕集したところ、気体の体積は標準状態で 560 mL であった。以下の間に答えよ。ただし、発生した気体の電解質溶液への溶解はなく、NaCl、CuSO₄ は電気分解の終了まで十分に存在すると考えよ。

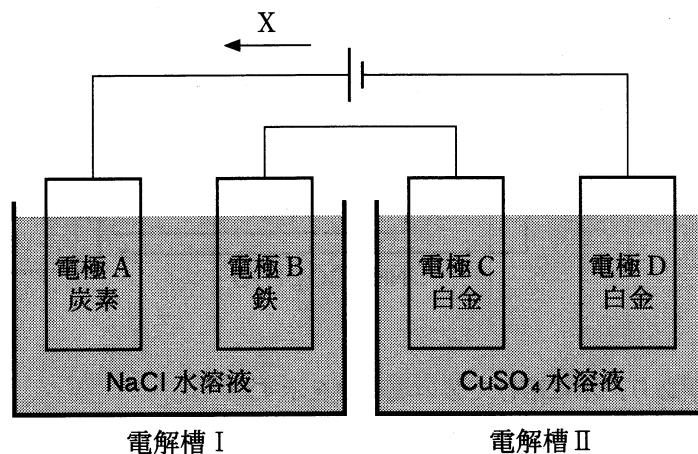


図 3

(1) 電解槽に関する下の①～⑥の記述のうち、正しいものをすべて選べ。

ソ

- ① 電極 A は負極と呼ばれる。
- ② 電極 B は陽極と呼ばれる。
- ③ 電極 C では酸化反応が起こる。
- ④ X で示した矢印は電子の流れる方向である。
- ⑤ X で示した矢印は電流の流れる方向である。
- ⑥ 電極で析出する物質の物質量は、流れた電気量に反比例する。

(2) 電極 D に析出する金属の質量はいくらか。小数点以下2桁で求めよ。

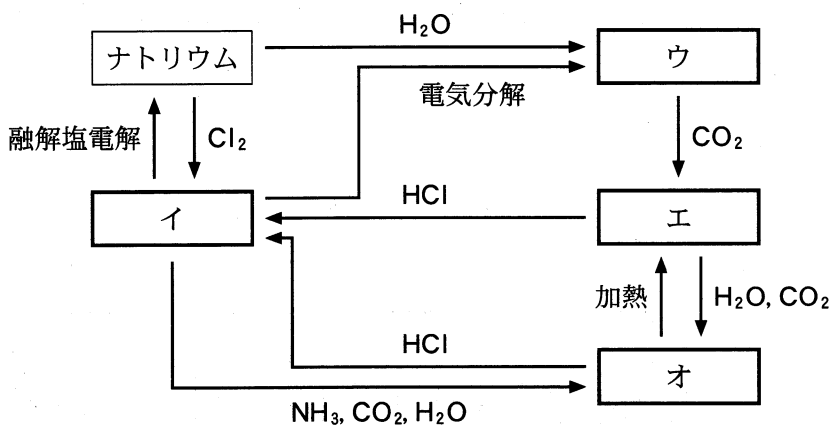
タ . チ ツ g

II 以下の問に答えよ。〔解答欄 ~ 〕

問 1 下の化合物①~⑧のうち、酸とは反応しないが、水とも塩基とも反応するものはどれか。すべて選べ。

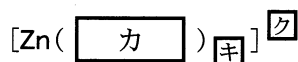
- | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| ① Al_2O_3 | ② CaO | ③ MnO_2 | ④ Na_2O |
| ⑤ NO | ⑥ P_4O_{10} | ⑦ SO_2 | ⑧ ZnO |

問 2 ナトリウムとその化合物に関する反応を下に示した。物質 ~ の各々についてあてはまる文章を、下の①~⑦よりそれぞれ1つずつ選べ。



- ① 潮解性があり、水に溶けて強い塩基性を示す。
- ② 潮解性があり、水に溶けて中性を示す。乾燥剤などに用いられる。
- ③ 水に難溶で、大理石などの主成分として天然に存在する。
- ④ 水にわずかに溶けて強い塩基性を示す。酸性土壌の中和剤に用いられる。
- ⑤ 水に溶けて塩基性を示す。ガラスの原料となる。
- ⑥ 水に溶けて中性を示す。海水中に多量に含まれる。
- ⑦ 水に溶けて弱い塩基性を示す。ベーキングパウダーに用いられる。

問 3 亜鉛(II)イオンを含む水溶液にアンモニア水を加えると水酸化亜鉛の沈殿が生じる。さらにアンモニア水を加え続けると、その沈殿は錯イオンとなって溶け、無色の水溶液となる。この錯イオンの化学式を、空欄 ~ に適当な配位子、配位数、価数を入れて完成させよ。, には、下の選択肢より適当なものを1つずつ選べ。 には適当な数字をマークせよ。ただし、通常は表記を省略する1の場合は①をマークせよ。



配位子

- | | | | |
|------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| ① H_2O | ② H_3O^+ | ③ NH_2 | ④ NH_3 |
| ⑤ NH_4^+ | ⑥ OH | ⑦ OH^- | |

価数

- | | | | |
|-----|------|------|------|
| ① + | ② 2+ | ③ 3+ | ④ 4+ |
| ⑤ - | ⑥ 2- | ⑦ 3- | ⑧ 4- |

問 4 以下の文章の空欄にあてはまる適当な数字をマークせよ。

ジメチルベンゼンにはメチル基が結合する位置の違いにより、 種類の構造異性体が存在する。

問 5 下の示性式で示した①~⑦の物質のうち、不斉炭素原子を持つものはどれか。すべて選べ。

- | | | |
|---|--|---|
| ① $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ | ② $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$ | ③ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ |
| ④ $\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$ | ⑤ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ | ⑥ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{COOH}$ |
| ⑦ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{COOH}$ | | |

問 6 下の化合物①~⑥のうち、構成する全ての原子が常に同一平面上に配置されるものはどれか。あてはまるものをすべて選べ。

- | | | |
|------------|--------|-----------|
| ① アセチレン | ② エチレン | ③ シクロヘキサン |
| ④ ジメチルエーテル | ⑤ トルエン | ⑥ ベンゼン |

Ⅲ サリチル酸とその関連化合物に関する文Ⅰと文Ⅱを読み、問に答えよ。〔解答欄 ア ~ ス〕

文Ⅰ

古代から、ヤナギ(柳)の樹皮には解熱鎮痛作用をもつ成分が含まれることが知られてきた。この成分はサリシンと呼ばれる化合物であり、図4にその構造式を示した。サリシンを摂取すると、体内でまずサリチルアルコールとグルコースへ加水分解される。さらにサリチルアルコールが酸化されてサリチル酸になることで、解熱鎮痛作用を発揮する。

サリチル酸は19世紀中頃にその合成法が開発され、その誘導体とともに医薬品として使用されてきた。サリチル酸を得るためには、まずフェノールに水酸化ナトリウムを作用させ、ナトリウムフェノキシドとする。次に高温・高圧下で ア を作用させると、サリチル酸ナトリウムが生成する。さらにその水溶液を酸性にすることでサリチル酸が得られる。サリチル酸メチルは、サリチル酸と イ に少量の濃硫酸を加えて加熱することで合成される。また、アセチルサリチル酸は、サリチル酸と ウ を酸触媒とともに加熱することで合成される。

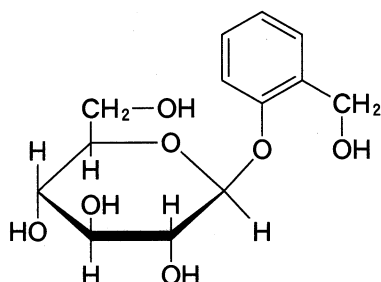


図4

問1 文中の ア ~ ウ として最も適当な化合物を、下の①~⑧よりそれぞれ選べ。

- | | | |
|------------|---------|------------|
| ① アセトアルデヒド | ② エタノール | ③ 酢酸メチル |
| ④ シュウ酸 | ⑤ 二酸化炭素 | ⑥ ホルムアルデヒド |
| ⑦ 無水酢酸 | ⑧ メタノール | |

問2 グルコースの水溶液とサリシンの水溶液で異なる反応性を示すものはどれか。下の①~⑦から1つ選べ。 エ

- | | | |
|---------------|-------------|------------|
| ① キサントプロテイン反応 | ② 銀鏡反応 | ③ ニンヒドリン反応 |
| ④ ビウレット反応 | ⑤ ヨウ素デンプン反応 | ⑥ ヨードホルム反応 |
| ⑦ 該当なし | | |

文Ⅱ

アセチルサリチル酸は、水酸化ナトリウムと反応させた後、未反応の水酸化ナトリウムを酸で滴定することでその量を決定できる。この方法により鎮痛剤に含まれるアセチルサリチル酸について調べた。以下にその実験の内容と結果を示した。なお、鎮痛剤にはアセチルサリチル酸以外の成分も含まれるが、それらの影響は考えなくてよい。

【実験Ⅰ】

鎮痛剤の錠剤を乳鉢と乳棒を用いて十分にすりつぶし、その全量を試験管に移した。この試験管に 0.500 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 10.0 mL を正確に加え、試料を溶解した。次に 10 分間穏やかに加熱した。冷却後、反応液に指示薬としてフェノールフタレインを加え、未反応の水酸化ナトリウムを 0.100 mol/L 硫酸水溶液を用いて直ちに滴定した。フェノールフタレインの色が無色になったところを終点とし、硫酸水溶液の滴下量を求めた。

【実験Ⅱ】

反応液と実験に用いる水酸化ナトリウム水溶液には空気中から二酸化炭素などが溶け込む。この影響を除くため、鎮痛剤の錠剤を用いずに実験Ⅰと同様の実験を行い、硫酸水溶液の滴下量を求めた。

【結果】

実験Ⅰ、実験Ⅱにおける硫酸水溶液の滴下量は、それぞれ 16.8 mL 、 24.8 mL であった。これらの量の硫酸水溶液を加えた時点で反応液中の水酸化ナトリウムと硫酸は過不足なく反応し、終点に達した。なお、実験Ⅰでは下線部の加熱後、鎮痛剤に含まれる全てのアセチルサリチル酸は完全に反応していた。また、滴定終了時においては、フェノール性 OH 基は電離していなかった。

問 3 下線部の加熱を行わず、10 分間室温に放置した場合、実験Ⅰにおける硫酸水溶液の滴下量は、加熱をした場合の滴下量 16.8 mL に比べてどのように変化するか。下の①～③から1つ選べ。ただし、加熱の有無にかかわらず、実験Ⅱにおける硫酸水溶液の滴下量は 24.8 mL で同じであったとせよ。

- ① 減少する ② 変化しない ③ 増加する

問 4 鎮痛剤に含まれるアセチルサリチル酸と反応した水酸化ナトリウムの物質量を有効数字3桁で求めよ。

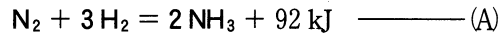
. mmol

問 5 実験に用いた鎮痛剤に含まれるアセチルサリチル酸(分子量 180.0)は何 g か, 有効数字3桁で求めよ。ただし, 解答欄の は符号とし, +の時は①を, -の時は②をマークせよ。また, ゼロ乗のときは, +0とせよ。

. $\times 10^{\text{シ} \text{ズ}}$ g

IV 以下の文章を読み、問に答えよ。〔解答欄 ~ 〕

窒素は周期表の 15 族に属する典型元素で、非金属元素と共有結合し、さまざまな化合物を作る。アンモニアと硝酸は工業的に重要な窒素化合物であり、肥料の原料や火薬、医薬品の製造に広く使われている。アンモニアの工業的な製造には、 が用いられ、その反応は次の熱化学方程式(A)で表される。反応には、 を主成分とした触媒が使われている。



硝酸の工業的な合成には、 が用いられる。この方法は 3 段階の反応、すなわち、 を触媒として用いたアンモニアの空気酸化、一酸化窒素の酸化、二酸化窒素の水への溶解、で構成される。硝酸は強い酸化力を持ち、水素よりイオン化傾向の小さい金属とも反応する。しかし、 は不動態を形成するため、ほとんど反応しない。

問 1 文中の , に入る適当な語を、下の①~⑦よりそれぞれ選べ。

- | | | |
|--------------|-----------|-----------|
| ① アンモニアソーダ法 | ② ウィンクラー法 | ③ オストワルト法 |
| ④ クメン法 | ⑤ 接触法 | ⑥ テルミット反応 |
| ⑦ ハーバー・ボッシュ法 | | |

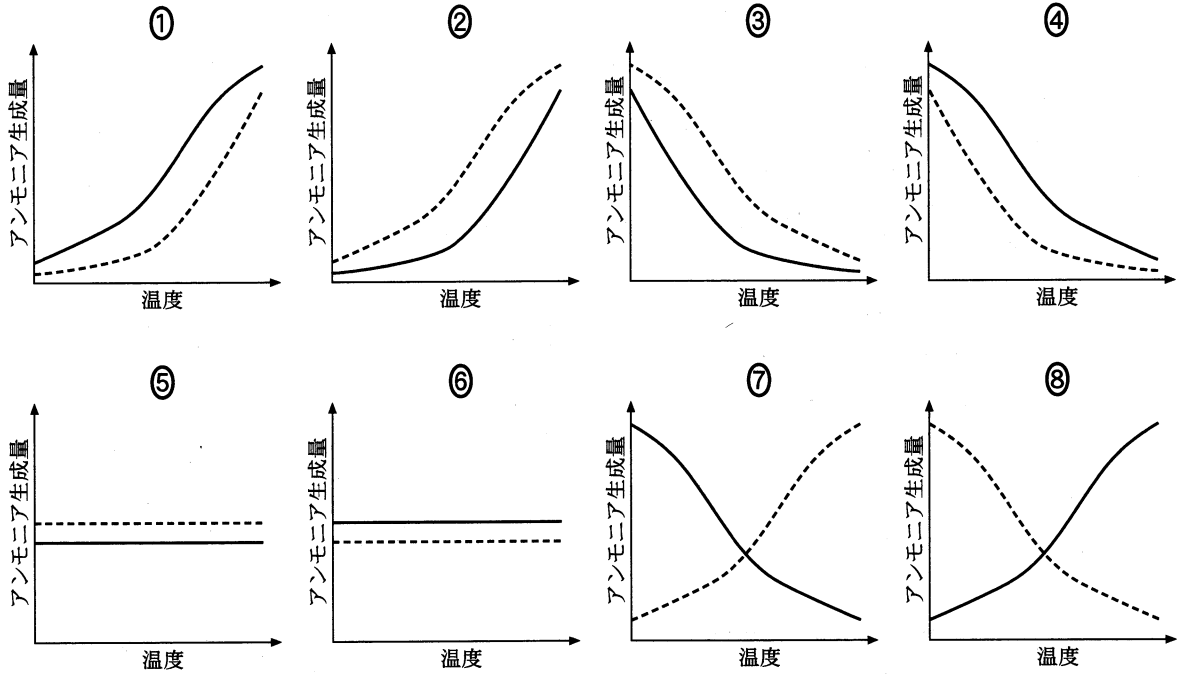
問 2 文中の , に入る適当な物質を、下の①~⑧よりそれぞれ選べ。

- | | | |
|-----------|---------------|-----------|
| ① 塩化銅(II) | ② 塩化パラジウム(II) | ③ 酸化バナジウム |
| ④ 鉄 | ⑤ ニッケル | ⑥ 白金 |
| ⑦ マンガン | ⑧ 硫酸水銀(II) | |

問 3 文中の に入る適当な金属を、下の①~⑩より 3 つ選べ。

- | | | | |
|--------|----------|---------|-----|
| ① 亜鉛 | ② アルミニウム | ③ カルシウム | ④ 銀 |
| ⑤ スズ | ⑥ 鉄 | ⑦ 銅 | ⑧ 鉛 |
| ⑨ ニッケル | ⑩ マグネシウム | | |

問 4 熱化学方程式(A)は可逆反応である。下のグラフ①～⑧は、アンモニアを生成させる時の反応温度とアンモニアの生成量の関係を示したものである。実線は反応時の圧力を $3 \times 10^7 \text{ Pa}$ とした場合、破線は $1 \times 10^7 \text{ Pa}$ とした場合を示している。アンモニアの生成量と温度の関係を示すグラフとして正しいものを1つ選べ。ただし、アンモニアの生成は、反応時の温度と圧力を除いてすべて同じ条件で行ったとして考えよ。 カ



問 5 実験室でのアンモニアの製法について以下の問に答えよ。

(1) この製法に必要な2つの試薬を下の①～⑩より選べ。 キ

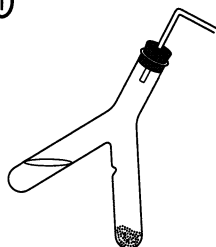
- | | | |
|-----------|--------------|------------|
| ① 亜鉛 | ② 塩化アンモニウム | ③ 塩化カルシウム |
| ④ 塩化ナトリウム | ⑤ 酸化マンガン(IV) | ⑥ 水酸化カルシウム |
| ⑦ 炭酸カルシウム | ⑧ 濃塩酸 | ⑨ 濃硝酸 |
| ⑩ 濃硫酸 | | |

(2) (1)の試薬を用いる製法において、最適な気体の発生方法、乾燥剤、捕集法はそれぞれどれか。

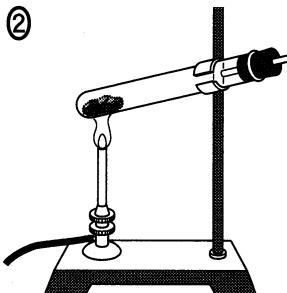
発生方法

ク

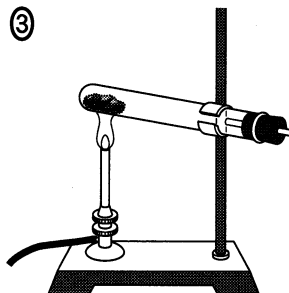
①



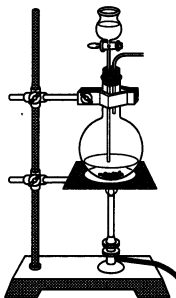
②



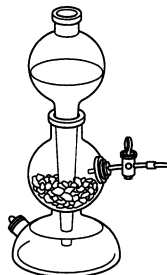
③



④



⑤



乾燥剤

ケ

① 塩化カルシウム

② 十酸化四リン(五酸化二リン)

③ ソーダ石灰

④ 濃硫酸

捕集法

コ

① 上方置換

② 下方置換

③ 水上置換

問 6 気体の二酸化窒素に関する記述として正しいものを、下の①~⑦より3つ選べ。

サ

- ① 毒性がある。
- ② 黄緑色である。
- ③ 刺激臭がある。
- ④ 空気より密度が小さい。
- ⑤ 空気中ですぐに酸化される。
- ⑥ 銅と希硝酸を反応させると発生する。
- ⑦ 常温ではその一部が無色の気体に変化する。