

# 令和6年度 入学試験問題

## 医学部 (I期)

### 理科

#### 注意事項

1. 試験時間 令和6年2月2日, 午後1時30分から3時50分まで
2. 配付した試験問題(冊子), 解答用紙の種類はつぎのとおりです。
  - (1) 試験問題(冊子, 左折り)(表紙・下書き用紙付)
    - 化学(その1), (その2)
    - 生物(その1), (その2)
    - 物理(その1), (その2)
  - (2) 解答用紙
    - 化学(その1) 1枚(上端赤色)(右肩落し)
    - 〃 (その2) 1枚(上端赤色)(左肩落し)
    - 生物(その1) 1枚(上端緑色)(右肩落し)
    - 〃 (その2) 1枚(上端緑色)(左肩落し)
    - 物理(その1) 1枚(上端青色)(右肩落し)
    - 〃 (その2) 1枚(上端青色)(左肩落し)以上の中から選択した2科目(受験票に表示されている)が配付されています。
3. 下書きが下書き用紙で足りなかったときは, 試験問題(冊子)の余白を使用して下さい。
4. 試験開始2時間以降は退場を許可します。但し, 試験終了10分前からの退場は許可しません。
5. 受験中にやむなく途中退室(手洗い等)を望むものは挙手し, 監督者の指示に従って下さい。
6. 休憩のための途中退室は認めません。
7. 退場の際は, この試験問題(冊子)を一番上へのせ, 挙手し, 監督者の許可を得てから, 受験票, 試験問題(冊子), 下書き用紙および所持品を携行の上, 退場して下さい。
8. 試験終了のチャイムが鳴ったら, 直ちに筆記をやめ, おもてのまま上から解答用紙〔選択した2科目の解答用紙, 計4枚, 化学(その1), 化学(その2), 生物(その1), 生物(その2), 物理(その1), 物理(その2)〕, 試験問題(冊子)の順にそろえて確認して下さい。

確認が終っても, 指示があるまでは席を立たないで下さい。
9. 試験問題(冊子)と下書き用紙は持ち帰って下さい。
10. 試験終了後の会場退出に当たっては, 誘導の指示に従って下さい。

# 化 学 (その1)

## 注 意 事 項

1. 解答は所定の解答用紙の解答欄に記入せよ。

2. 問題 **1** ~ **4** を通じ、その必要があれば、次の数値を用いよ。

原子量：H：1.00，C：12.0，O：16.0，Na：23.0，S：32.0，Cl：35.5，Cu：63.5，

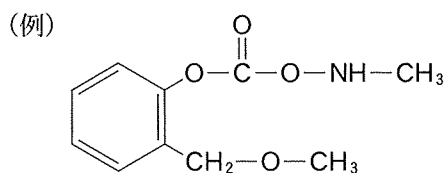
Zn：65.4，Ag：108

**1** 次の設問に答えなさい。

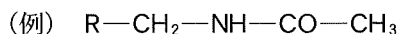
問 1 分子式が  $C_8H_8O_2$  で表されるベンゼン環を持ったエステル化合物には **(ア)** 種類の  
(a) 構造異性体が想定される。これらの構造異性体の中で銀鏡反応陽性の化合物は **(イ)** 種  
(b) 類存在し、ヨードホルム反応陽性の化合物は **(ウ)** 種類存在する。

1) (ア)~(ウ)に入る適切な数値を答えよ。存在しない場合は「0」と答えよ。

2) (a)の構造異性体を1種類だけ精製し、これに鉄粉を触媒として塩素を作用させると分子式  $C_8H_7O_2Cl$  であらわされる塩化物が生じた。この際生じる塩化物の構造異性体の種類が最も少なくなる(a)の構造式を例を参考に答えよ。複数ある場合は全て答えよ。なお、本設問に関して、塩素化の際の配向性は無視できるものとする。



3) (b)について、例を参考にして反応に最低限必要な異性体側の化学構造と、これが反応して変化した後の化学構造を答えよ。また、この反応は構造異性体にある水溶液を加えると起こる。この水溶液の名称を答えよ。



問 2 化合物 X はベンゼン環を有する分子式  $C_9H_{10}O_2$  のエステル化合物であり、次の①～③の特徴を併せ持つ。

- ① 不斉炭素原子を有する。
- ② 加水分解で酸性化合物を生じる。
- ③ 加水分解により生じる芳香族化合物と塩化鉄(Ⅲ)水溶液を反応させても呈色反応は起らない。

1) (c)の名称を答えよ。また、この反応で生じる芳香族化合物のベンゼン環に直接結合するメチル基の数を答えよ。ただし、解答が芳香族化合物の名称であった場合は、置換基のオルト-, メタ-, パラ-配置は特定しなくて良い。

2) 仮に(d)の呈色反応が起こった場合、どのような官能基が存在すると想定されるか答えよ。

メタン、エタン、プロパンのように、すべて単結合でできていて、分子式が一般式  $C_nH_{2n+2}$  (ア) である鎖式飽和炭化水素をアルカンという。

最も簡単なアルカンであるメタンは、無色・無臭であり、工業的には天然ガスとして得られるが、実験室で合成する場合は酢酸ナトリウムの無水物に化合物 X を加えて発生させる。

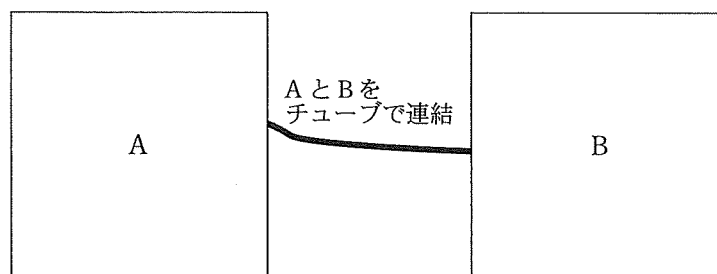
エチレンやプロペンのように炭素原子間に 1 箇所の二重結合を有する鎖式不飽和炭化水素をアルケンと呼び、その分子式は一般式  $C_nH_{2n}$  (イ) で表される。アルケンはその二重結合の特徴から、一部を除いてシス・トランス異性体を有する。

アルカンやアルケンのように共通の一般式で表される化合物群を  $C_nH_{2n+2}$  (ウ) という。  
 (ウ) どうしは化学的性質が似ているが、炭素数が大きくなるにつれて沸点は少しずつ高くなっていく。

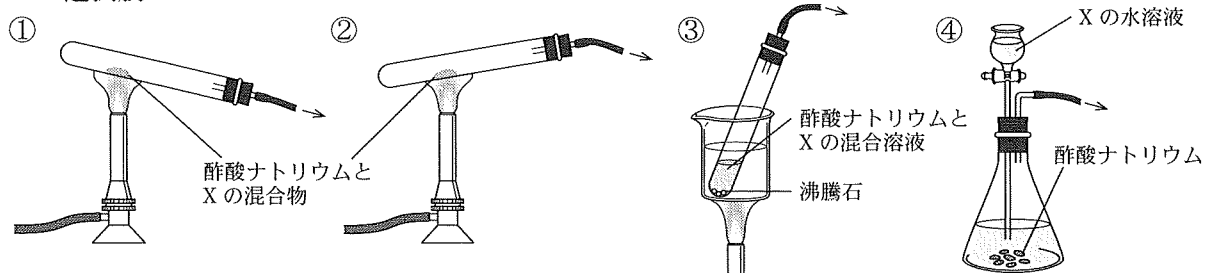
問 1 炭素数を  $n$  とし、(ア)および(イ)に入る一般式を答えよ。また、(ウ)に入る適切な語句を答えよ。

問 2 次の設問に答えよ。

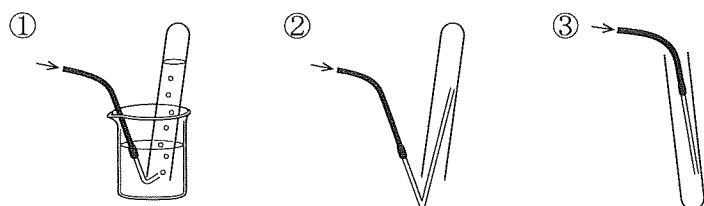
- 1) メタンを効率よく捕集するために、次の図の A および B に組み合わせる実験装置として最も合理的なものを選べ。また、「化合物 X」を推定して、解答欄の空欄を埋め、下線部 (a) の化学反応式を完成させよ。なお、解答欄の  $CH_3COONa$  および  $CH_4$  の直前の空欄には化合物の係数のみを記入するが、係数が 1 の場合は「1」を記入せよ。



A の選択肢



B の選択肢



2) 10.0 g の酢酸ナトリウムをすべてメタンに変換する場合、最低限必要な X は何 g か答えよ。また、反応の結果実際に生じたメタンは標準状態で 2.50 L であった。この反応の収率は何 % か答えよ。なお、気体の標準状態におけるモル体積を 22.4 L/mol とし、解答は四捨五入のうえ有効数字を 3 桁とせよ。

問 3 アルカンは炭素数が増加すると立体異性体を有する場合がある。(ア)の一般式であらわされる立体異性体を有するアルカンの中で最も分子量の小さいものの炭素数を答えよ。

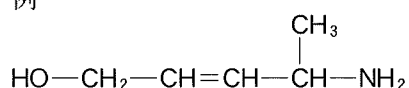
問 4 (イ)の一般式であらわされる炭素数  $n = 2 \sim 6$  のアルケンの中で、シス・トランス異性体を持たない化合物は何種類存在するか答えよ。なお、鏡像異性体は区別しないものとする。

問 5 アルケン Y を適切な条件で過マンガン酸カリウム  $\text{KMnO}_4$  と反応させると、酸化マンガン  $\text{MnO}_2$  の沈殿が生じ、Y は 2 価アルコールの Z に変化した。 精製した Z を 31.0 mg 量り取り、完全燃焼させたら、二酸化炭素が 44.0 mg、水が 27.0 mg 生じた。また、化合物 Z 4.98 g を適切な溶媒 200 mL に溶かすと、0.401 mol/L の濃度になった。Z をさらに硫酸酸性条件で過マンガン酸カリウムと十分に反応させると、Z はジカルボン酸に変化した。

1) 下線部の反応式を答えよ。反応式中の Y, Z は分子式で示せ。

2) 例を参考に Z の構造式を答えよ。

例



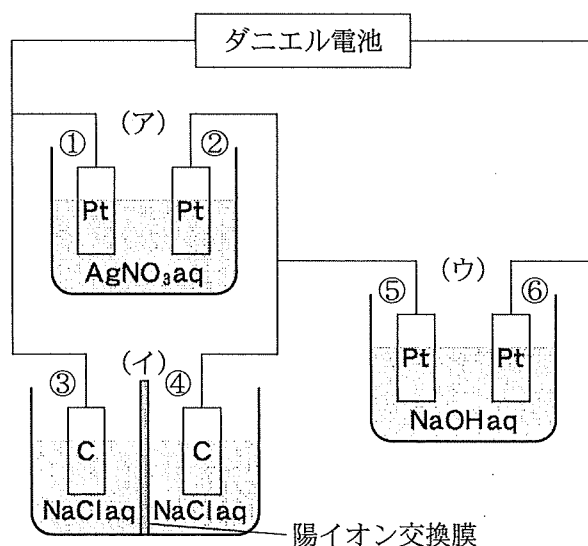
## 化 学 (その2)

3

ダニエル電池を用いて下の図に示す回路内に設置した電解槽にてそれぞれ電気分解を行った。電気分解は 25℃ で行い電気分解により電解槽の温度は変わらず、流れた電流はすべて電気分解に使用されたものとする。以下の問いに答えよ。

なお、電気分解によって発生した気体は電解槽の溶液に溶解せず、理想気体として取り扱えるものとする。

ファラデー定数  $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$



問 1 ダニエル電池の正極側の電解液に用いられている硫酸銅(II)水溶液の濃度は放電により 0.470 mol/L から 0.320 mol/L に減少した。硫酸銅(II)水溶液の体積は 600 mL で、放電前後で体積は変わっていないものとしたとき、電気分解の回路内に流れた電子の物質量 [mol] を小数点以下第 2 位まで求めよ。小数第 3 位以降の値が出た場合には四捨五入せよ。

問 2 電解槽(ア)の電極②からある気体が標準状態で 0.658 L 発生した。同じ電解槽(ア)の電極①に析出する金属の質量 [g] を小数点以下第 2 位まで求めよ。小数第 3 位以降の値が出た場合には四捨五入せよ。

問 3 電解槽(イ)では電極③④の間を陽イオン交換膜で仕切っている。電解槽の陽極側と陰極側の電解液の体積は共に 500 mL とすると、電気分解後の陰極側の電解液の pH を小数点以下第 1 位まで求めよ。小数第 2 位以降の値が出た場合には四捨五入せよ。

必要ならば 25 °C における水のイオン積  $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ ,  $\log_{10} 2 = 0.30$ ,  $\log_{10} 3 = 0.48$  を用いよ。

問 4 電解槽(ウ)では電極⑤, ⑥からそれぞれ異なる気体が発生した。⑤, ⑥から発生した気体の分子式と標準状態での体積(L)を小数点以下第 3 位まで求めよ。小数第 4 位以降の値が出た場合には四捨五入せよ。

問 1 気体 A を密閉容器に入れ一定の条件で保つと、解離度  $\alpha$  で  $A \rightleftharpoons 2B$  の分解反応が起こり気体 B を生じて平衡状態となる。ある条件下において平衡状態となった気体 A と気体 B の混合気体の全圧は  $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$  となり、その温度での圧平衡定数が  $3.2 \times 10^4 \text{ Pa}$  であるとき、解離度  $\alpha$  を小数点以下第 2 位まで求めよ。小数第 3 位以降の値が出た場合四捨五入せよ。なお解離度とは A が解離して B となった割合を指すものとする。

問 2 水酸化ナトリウム (NaOH) を  $0.035 \text{ mol/L}$ 、炭酸ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) を  $0.045 \text{ mol/L}$  の濃度で含む混合水溶液  $70 \text{ mL}$  に対して、 $0.20 \text{ mol/L}$  の希塩酸 (HCl 水溶液) を用いて滴定をおこなったところ、( a ) mL を滴下したところで第 1 中和点となった。そのまま滴定を続けると希塩酸を合計 ( b ) mL 滴下したところで第 2 中和点に達した。

上記の文章の a, b に入る値を小数点以下第 2 位まで答えよ。小数第 3 位以降の値が出た場合四捨五入せよ。

問 3 容積が  $100 \text{ m}^3$  の部屋のなかに温度  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $80 \%$  の空気が満たされている。相対湿度とは水の飽和蒸気圧に対する水蒸気の割合 [%] を表す。部屋の温度を  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  にした場合、何 g の水が凝縮するか整数で答えよ。小数点以下の数字が出た場合には四捨五入せよ。ただし、部屋と外部との間に空気の入りはなく、水の飽和蒸気圧は  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  で  $4.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、 $15 \text{ }^\circ\text{C}$  で  $1.7 \times 10^3 \text{ Pa}$  とする。

また気体定数  $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$  とする。

問 4 以下の実験を標準大気圧下で行った。

硫酸ナトリウム十水和物  $9.66 \text{ g}$  を水  $200 \text{ g}$  に溶かした水溶液を  $-2.00 \text{ }^\circ\text{C}$  まで冷却すると、何 g の氷が析出するか小数点以下第 1 位まで求めよ。小数第 2 位以降の値が出た場合には四捨五入せよ。水溶液中で温度と濃度によらず硫酸ナトリウムは完全に電離するものとする。

また水のモル凝固点降下  $K_f = 1.85 \text{ K} \cdot \text{kg} / \text{mol}$  とする。

問 5 メタン ( $\text{CH}_4$ ) とプロパン ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) の混合気体が標準状態で  $15.68 \text{ L}$  あり、これを空気中で完全燃焼させたところ  $889 \text{ kJ}$  の熱量が発生した。空気は  $\text{N}_2$  と  $\text{O}_2$  の体積比  $4 : 1$  の混合気体であり、この燃焼で空気中の  $\text{O}_2$  は過不足なく反応したとする。

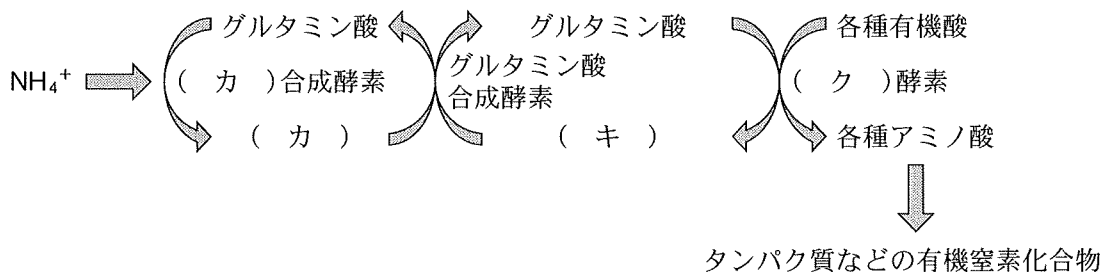
メタンの燃焼熱を  $890 \text{ kJ/mol}$ 、プロパンの燃焼熱を  $2220 \text{ kJ/mol}$ 、標準状態の気体  $1 \text{ mol}$  の体積を  $22.4 \text{ L}$  とするとき、この完全燃焼に必要な空気の標準状態での体積 [L] を整数で求めよ。小数点以下の値が出た場合には四捨五入せよ。



# 生 物 (その1)

1 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

タンパク質の成分のアミノ酸や核酸の成分のヌクレオチドには、多くの窒素が含まれており、これらは有機窒素化合物と呼ばれる。植物では、これら有機窒素化合物が、(ア)と呼ばれる反応を経て合成されている。大気中の窒素の一部は、ある種の細菌によって $\text{NH}_4^+$ に変換される。<sup>(a)</sup>この反応を(イ)と呼ぶ。また、生物の遺体や排出物の分解によって生じた $\text{NH}_4^+$ は土壌中の(ウ)細菌のはたらきによって $\text{NO}_3^-$ に変換される。<sup>(b)</sup>植物は、 $\text{NH}_4^+$ や $\text{NO}_3^-$ を根から吸収し、 $\text{NO}_3^-$ は植物体内で(エ)されて $\text{NH}_4^+$ となる。<sup>(c)</sup> $\text{NH}_4^+$ から、図に示す過程を経て、各種のアミノ酸がつくられる。このような(ア)のおもな過程は、細胞小器官の(オ)で行われる。



問 1 (ア)~(オ)に適切な語句を入れなさい。

問 2 図中(カ)~(ク)に適切な語句を入れなさい。

問 3 下線部(a)のある種の細菌に当てはまる生物を次からすべて選びなさい。

- ① 根粒菌
- ② クロストリジウム
- ③ アゾトバクター
- ④ ネンジュモ
- ⑤ 乳酸菌

問 4 下線部(a)~(c)で化学エネルギーが放出される反応をすべて選びなさい。

問 5 根から吸収された窒素の 70 % がタンパク質に取り込まれ、タンパク質が 20 g 生成されたとき、吸収された硝酸イオンは何 g か計算しなさい。ただし、根から吸収された窒素はすべて硝酸イオンとし、タンパク質の窒素含量を 16 %、 $\text{N} = 14$ 、 $\text{O} = 16$  とする。答えは小数点以下を四捨五入しなさい。

問 6 動物が行う(ア)に関して、植物との違いを説明しなさい。

2 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

異なる系統のマウス A、マウス B、および A と B の雑種第一代マウス  $F_1$ 、ヌードマウス C を用いて皮膚移植や骨髄移植の実験を行った。骨髄移植とは、放射線照射を行い骨髄細胞(造血幹細胞)や白血球を死滅させた個体に、他の個体の骨髄細胞を移植する操作である。移植において、ドナーとは臓器を提供する側の個体であり、レシピエントとは臓器を提供される側の個体である。

<実験 1 >

マウス A、B、 $F_1$  をドナーまたはレシピエントとして皮膚の一部を移植し、移植された皮膚の状態を観察した。

<実験 2 >

ヌードマウス C にマウス A、B、 $F_1$  の皮膚を移植し、移植された皮膚の状態を観察した。

<実験 3 >

マウス A、B、 $F_1$  をドナーまたはレシピエントとして、放射線をレシピエントに照射後、骨髄移植をした。骨髄細胞生着後、実験 1 と同様に皮膚移植し、移植された皮膚の状態を観察した。

問 1 自己の成分を抗原とするような免疫反応が抑制され、生じなくなっている状態を何とよぶか答えなさい。

問 2 実験 1 に関して、マウス A をドナー、マウス B をレシピエントとした場合、7 日で拒絶反応が起こり、移植片は脱落した。一度マウス A の皮膚移植を受けたマウス B に対して、再度マウス A の皮膚を移植した場合、次のうちどの反応が最も予想されるか。

- a. 移植片は 3 日で脱落する。
- b. 移植片は 7 日で脱落する。
- c. 移植片は 14 日で脱落する。
- d. 移植片は生着する。

問 3 実験 1 に関して、左側をドナー、右側をレシピエントとした次の皮膚移植の組み合わせで生着するのはどれか。すべて答えなさい。

- a. A → A
- b. B → A
- c. A →  $F_1$
- d.  $F_1$  → B
- e.  $F_1$  →  $F_1$

問 4 ノードマウスは胸腺が欠損した免疫不全マウスであるが、実験 2 ではマウス A, B,  $F_1$  から移植された皮膚はすべて生着した。その理由を述べなさい。

問 5 ノードマウスでは、ある物質 X を注射しても物質 X に対する抗体が産生されない。その理由を述べなさい。

問 6 実験 3 でマウス  $F_1$  の骨髄を移植したマウス A にマウス B の皮膚を移植すると生着するか、生着しないかを答え、その理由も述べなさい。

## 生 物 (その2)

3 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

健康な成人男性の肝臓は1 kg 以上もある人体で最も大きい内臓で多くの(ア)からできている。一つの(ア)には約50万個の肝細胞が含まれている。肝臓にはひ臓や消化管からの(イ)と腹部大動脈からの(ウ)の2本の血管から血液が供給される。これらの血液は(ア)の中心にある中心静脈を経て(エ)に集められ、肝臓から出て下大静脈に合流する。肝臓では血液を貯留させて血液の循環量を調節している。肝細胞には物質の合成や分解に関与する酵素が多く含まれており、代謝が活発に行われている。代謝によって発生する熱は体温維持に用いられる。<sup>A</sup>

肝臓は小腸から吸収された栄養分を(イ)から受け取る。肝臓に運ばれたグルコースの一部は(オ)に合成されて肝細胞に貯蔵される。グルコースだけでなく脂質やタンパク質も肝臓で合成と貯蔵が行われ必要に応じて分解される。一方で、アルコールなどの有害物質が血流によって肝臓に運ばれると、肝細胞に存在する酵素の働きによって代謝され、無害な物質へと変えられる。<sup>B</sup>この過程で生じた物質は胆管を経て(カ)に放出される。また腎臓から(キ)成分として排出される場合もある。アミノ酸などが分解されて生じた有害なアンモニアも肝臓で毒性の低い尿素に変えられて排出される。<sup>C</sup>

問1 (ア)～(キ)に適切な語句を入れなさい。

問2 ヒト成人の肝臓の機能として誤っているものを番号で答えなさい。

- ① アルブミンの合成
- ② フィブリノーゲンの合成
- ③ 赤血球の産生
- ④ 赤血球の破壊
- ⑤ 胆汁の生成

問3 食後の安静時に、血中尿素濃度が最も高くなる血管は(イ)、(ウ)、(エ)のうちどれか記号で答えなさい。

問4 下線部Aに関して、熱生産を促進する仕組みには肝臓における代謝以外にどのようなものがあるか。器官名を入れて30字以内で説明しなさい。

問 5 B型・C型肝炎ウイルス感染，多量・長期の飲酒，過栄養，自己免疫などにより起こる肝硬変という病気では，血液が肝臓を迂回して大静脈に直接流れ込む。この疾患の患者が，タンパク質を多く含む食事を摂取すると，意識障害，けいれん，昏睡などの症状を呈することがある。その理由を簡単に説明しなさい。

問 6 下線部Bの働きを何というか答えなさい。

問 7 下線部Cの働きについて

- (1) アンモニアから尿素を生成する反応経路は何と呼ばれているか答えなさい。
- (2) この反応経路をアルギニン，シトルリンという単語を用いて，簡単に説明しなさい。

4 次の文章を読んで以下の質問に答えなさい。

生物が世代を経るに従ってDNAの(ア)配列やタンパク質の(イ)配列は変化する。  
A  
よって、生物の進化は遺伝子やタンパク質を解析することで理解ができる。例えば、ある生物群における特定の遺伝子の(ア)配列やタンパク質の(イ)配列を比較すると、種間で部分的な差異が認められる。この差異は種の分岐後の経過時間に比例して増加する傾向にある。このことは進化の時間をはかる指標として用いられ、(ウ)と呼ばれる。この(ウ)の概念と化石から推定される祖先種の生息年代を用いると、系統樹における種の分岐が起こった年代を推定することができる。また、以前は機能的に重要な遺伝情報ほど(エ)選択の影響が大きく変化の速度は速いはずであると考えられていたが、<sup>B</sup>実際には機能的に重要度が高い遺伝情報は重要度が低い遺伝情報よりも変化の速度が遅いという傾向にある。これは木村資生が提唱した(オ)説によって説明できる。この説では生存に有利な変異が(エ)選択されるだけでなく、(エ)選択に対して有利でも不利でもない変異が偶然的要因である(カ)によって集団内に蓄積し、これが進化の主要な要因とみなされる。

問1 (ア)~(カ)に適切な語句を入れなさい。

問2 下線部Aに関して、このような分子に生じる変化は何と呼ばれているか答えなさい。

問3 下線部Bに関して、(エ)選択による進化の考え方を初めて発表したのは誰か答えなさい。

問4 遺伝子に起こる突然変異の多くは(エ)選択に対して有利でも不利でもない変異である。この理由として、同義置換による変異やタンパク質の機能に影響しない(イ)の変異などが挙げられる。そのほかに考えられる理由を1つ簡単に述べなさい。

問5 遺伝子に起こる突然変異において、一般に遺伝子の挿入や欠失はDNAの非転写領域に多く、DNAの翻訳領域で起こる変化のほとんどは置換である。この理由を簡単に述べなさい。

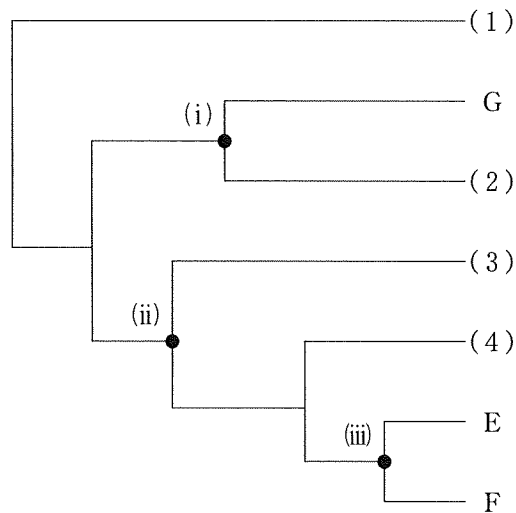
問6 遺伝子やタンパク質などの分子レベルでの解析では、形態や機能ではなく(ア)配列や(イ)配列を対象とすることから、適応放散や収束進化(収れん)の影響を受けない。この適応放散および収束進化とはどのようなものであるか簡単に答えなさい。

問 7 現存する生物種 A~G について、あるタンパク質の(イ)置換数を調べたところ、表 1 のようになった。また表 1 の結果から図 1 の分子系統樹を作成した。分子系統樹の右端は現在(0 年前)を表し、分岐点(i)は 1600 万年前である。この分子系統樹に関して以下の問いに答えなさい。ただし(イ)置換数と分岐後の年数は比例関係にあるとし、また、各生物種における(イ)置換の速度は等しいものとする。

表 1

A	—						
B	25	—					
C	24	18	—				
D	32	33	31	—			
E	25	12	20	32	—		
F	26	12	22	32	8	—	
G	16	25	24	31	26	27	—
	A	B	C	D	E	F	G

図 1

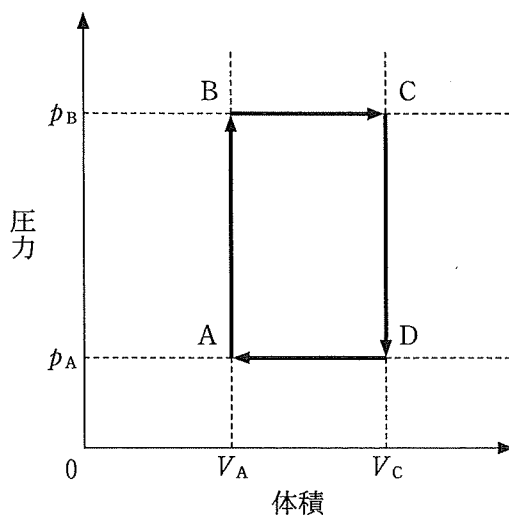


- 系統樹における生物種(1)~(4)に当てはまるものを、A~D からそれぞれ選びなさい。
- 分岐してからの期間が最も短いと推定される生物種は何と何であるか答えなさい。
- 分岐点(ii)の年代はどのくらいであると考えられるか答えなさい。
- 分岐点(ii)から(iii)までの(イ)置換数を推定しなさい。
- 一般的に分子系統樹では位置が離れるにつれて(イ)置換数が増大するが、減少しているような場合にはどのようなことが考えられるか答えなさい。

# 物 理 (その1)

1

A なめらかなピストンを備えたシリンダーに1 [mol]の単原子分子の理想気体を入れ、図Aのように気体の状態をA→B→C→D→Aの順に変化させた。以下の問いに答えなさい。



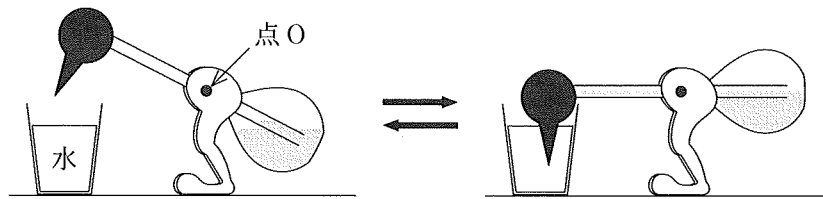
図A

- (1) A→B, B→C, C→D, D→Aの各状態変化での気体が行う仕事、内部エネルギーの変化、気体が吸収した熱量を、 $p_A$ ,  $p_B$ ,  $V_A$ ,  $V_C$ を用いて表しなさい。
- (2) この1サイクルで気体に加えられる熱量および気体から放出される熱量を求めなさい。
- (3) このサイクルを熱機関とみなし、熱効率を求めなさい。
- (4)  $p_B$ ,  $V_C$ の大きさを自由に変えることができるとする。このサイクルの熱効率の上限値を求めなさい。

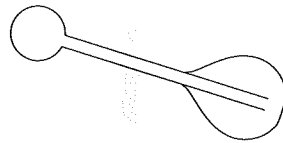


**B** 図Bのような水飲み鳥が、水を吸っては起き上がる動きを続ける原理を200字以内で説明しなさい。

ちなみに水飲み鳥は、図Cのように2つのガラス球をガラス管(鳥の首の部分)でつなぎ、中には気化しやすい液体(ジクロロメタン)が入っている。ガラス管は下側の球の底近くに達しているが、上側の球の端までは達していない。くちばしから頭部(黒色の部分)は吸水性の良いフェルト状の素材で覆われている。一旦くちばし部分に水をつけると、コップの中の水を絶やさなければ点Oを支点に、起き上がりと水を吸う動きを永遠と繰り返す。



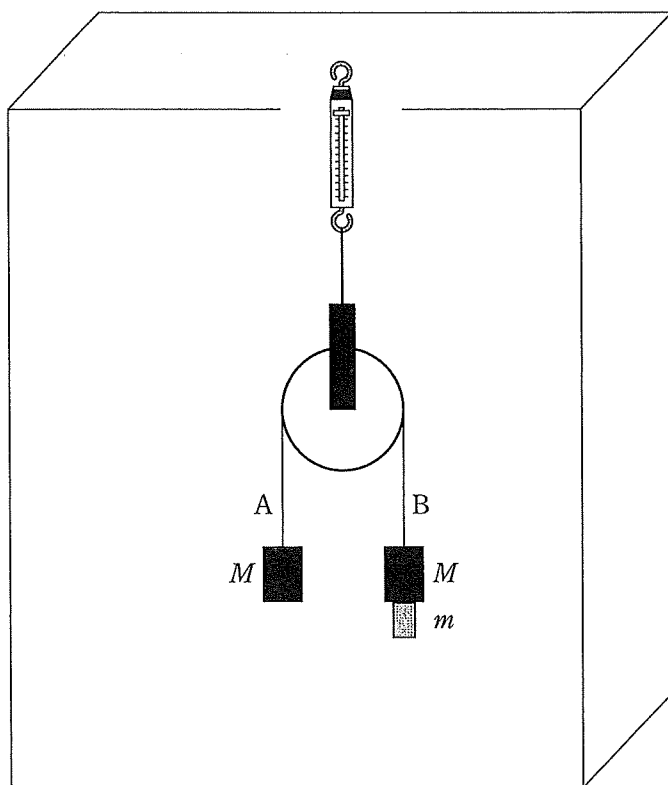
図B



図C

2 下図のように、静止したエレベーターの天井からばねばかりをつり下げた。ばねばかりに滑車をつり下げ、滑車にかけた糸の A 側に質量  $M$  [kg] のおもりをつけ、B 側に質量  $M$  [kg] と  $m$  [kg] のおもりをつけた。滑車や糸の質量、空気の影響は無視できるものとする。滑車と糸の間の摩擦はないものとし、また重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とし、以下の問いに答えなさい。

- (1) A 側のおもりの加速度の大きさ [m/s<sup>2</sup>] はいくらか。
- (2) ばねばかりの値 [kg] はいくらか。
- (3) エレベーターが上向きに  $a_0$  [m/s<sup>2</sup>] の加速度で動くとき、エレベーターに乗った人から見た A 側の加速度の大きさ [m/s<sup>2</sup>] はいくらか。



## 物 理 (その2)

- 3 等しい運動エネルギー  $0.35 \text{ MeV}$  をもつ2個の重水素原子核  ${}^2_1\text{H}$  が正面衝突して、ヘリウム3原子核  ${}^3_2\text{He}$  と中性子  ${}_0^1\text{n}$  が生成される。これは核融合反応と呼ばれ、以下の反応式で表される。



重水素原子核、ヘリウム3原子核、中性子の質量は、統一原子質量単位  $u$  で表すと、それぞれ  $2.0136 u$ ,  $3.0150 u$ ,  $1.0087 u$  である。

ただし、 $1 u = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$ , 光速  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$  とする。

- (1) この反応で発生するエネルギー [MeV] を求めなさい。  
以下、このエネルギーはすべて運動エネルギーになるものとする。
- (2) 衝突後のヘリウム3原子核の速さ  $V$  と中性子の速さ  $v$  の比の値  $V/v$  を求めなさい。
- (3) この反応で発生したヘリウム3原子核の運動エネルギー [MeV] を求めなさい。
- (4) この反応で発生した中性子の運動エネルギー [MeV] を求めなさい。
- (5) この反応は、2つの重水素原子核がお互いに接触するくらいに近づかなければ起こらない。一方、重水素原子核は電荷  $e$  をもっているなので近づけばクーロン力で反発する。従って、反応を起こすためのクーロン力に打ち勝つような重水素原子核1個の運動エネルギー  $K_0$  を求めなさい。ただし、反応は2つの重水素原子核が接触すれば始まるものとする。重水素原子核の半径を  $r_0$ , クーロン定数を  $k_0$  とする。

物理(その2)の試験問題は次に続く。

4 真空の空間に、図1のように座標軸をとり、 $z$ 軸方向は、紙面に垂直で裏から表に向かう方向を正方向とする。電子を加速するための電場(加速用電場)、電子の方向を変えるための電場(偏向用電場)および磁場(偏向用磁場)を用いる。加速用電場は、極板Aと極板B間の電圧によってつくられ、極板Aを出発した電子は、極板Bの穴を速さ $v_0$ で通過して $x$ 軸上を偏向用電場に向かう。偏向用電場は、間隔 $d$ の2枚の平行極板CDによりつくられる。平行極板CDの $x$ 軸方向の長さは $\ell$ であり、 $x$ 軸から $d/2$ 離れた場所に $xz$ 面と平行に置かれている。図2は平行極板CDの様子を拡大したものである。平行極板CDを通過した電子が向かう蛍光面は、 $yz$ 面と平行に置かれている。電子の質量を $m$ 、電子の電気素量を $e$ とする。電子の軌道を破線Sで表す。地磁気および重力の影響は無視できるものとする。

図1のように、平行極板CD間の電位差を $V_1$ ( $V_1 > 0$ )とした時、平行極板CDを速さ $v_1$ 、 $x$ 軸とのなす角 $\theta$ で通過した電子は、 $L_1$ 離れた場所にある蛍光面に到達した。

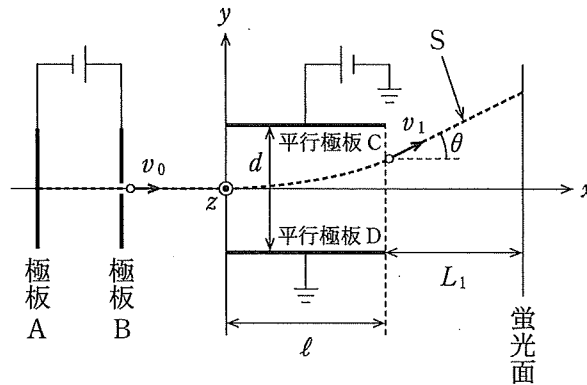


図1

- (1) 平行極板CD間において、電子が電場から受ける力の大きさ $F$ を求めなさい。
- (2) 平行極板CD間における、電子の $y$ 軸方向の加速度 $a$ を求めなさい。
- (3) 図2のように、中心線( $x$ 軸)からの距離を $y_1$ 、平行極板CDの左端からの距離を $x_1$ として、電子が平行極板CDの電場の作用を受けている間に描く軌道の式を求めなさい。
- (4) 平行極板CD間を通過する間の $y$ 軸方向の変位 $y_2$ を求めなさい。
- (5) 電子が平行極板の極板CDに触れることなく、偏向用電場を通過するために必要な $V_1$ の条件を求めなさい。
- (6) 平行極板CDを通過したあとの電子の速さ $v_1$ を求めなさい。

次に、図2のように平行極板 CD 間に磁束密度の大きさ  $B_1$  の偏向用磁場を  $z$  軸の負の方向に  
 かける。平行極板 CD の電位差を  $V_2 (V_2 > 0)$  としたところ、電子は平行極板 CD 間で曲がるこ  
 となく直進し、蛍光面に達した。

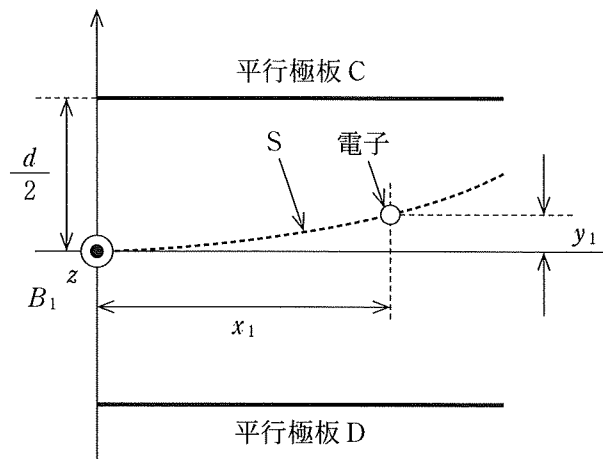


図 2

- (7) 加速用電場を通過した直後の電子の速さ  $v_0$  を  $m, d, B_1, V_2, \ell$  のうち、適切なものを用い  
 て表しなさい。
- (8) 加速用電場の極板 AB 間電圧  $V_0 (V_0 > 0)$  とする。このとき、平行極板 CD 間の電位差  $V_2$   
 を  $m, d, e, V_0, B_1, \ell$  のうち、適切なものを用いて表しなさい。ただし、極板 A から出た  
 電子の初速は 0 とする。