

令和4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4年2月4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分野(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)を一番上にのせ、挙手し、監督者の許可を得てから、試験問題(冊子)、受験票、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分野の解答用紙、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，N：14.0，O：16.0，Na：23.0，S：32.0，Ar：40.0，

Cu：64.0

1 以下の文を読み、問いに答えよ。

分子内にアミノ基とカルボキシ基の両方を持つ化合物をアミノ酸とよぶ。生体のタンパク質を構成する主要なアミノ酸は20種類存在し、塩基性のアミノ基および酸性のカルボキシ基が共存するため、水溶液中ではpHの条件によっては同一分子内に正の電荷と負の電荷が同時に存在することになる。このように分子内に正負両方の電荷を持ちながら全体としては電氣的に中性となるイオンを(①)とよぶ。ヒトのタンパク質の大部分を占める α -アミノ酸の多くは鏡像異性体を有するが、例外的にグリシンは鏡像異性体を持たない。また、一部のアミノ酸はヒトの体内において合成できないため、食物から摂取する必要がある。このようなアミノ酸を必須アミノ酸とよぶ。

アミノ酸が数個から数十個程度結合したものをペプチドとよぶ。単にアミノ基とカルボキシ基が結合した場合は(②)結合とよばれるが、 α -アミノ酸同士の結合は(③)結合と呼ばれ、両者は区別される。ペプチドは多種多様であり、中にはさまざまな生理活性を有するものも存在する。

100個程度を超えるアミノ酸が連結してできた高分子化合物をタンパク質とよぶ。この際アミノ酸の配列順序をタンパク質の一次構造という。タンパク質は複雑な立体構造を有することが知られ、二次構造の代表例としては α -ヘリックスや β -シートがよく知られている。また、タンパク質の三次構造を形成するうえで重要なものの一つは2組のチオール基を介する(④)結合であり、このチオール基(—SH)はアミノ酸である(⑤)に由来している。

問 1 ①~⑤に適切な語句を記入せよ。いずれも略称は不可とする。

問 2 ここで未知のアミノ酸 AA₁, AA₂, AA₃ について考える。各アミノ酸の電離定数は表 1 に示した。

1) AA₁ は側鎖に 1 つのカルボキシ基を有する酸性アミノ酸である。AA₁ 溶液の等電点における水素イオン濃度 [H⁺] を電離定数 $K_1 \sim K_3$ (各アミノ酸の塩酸塩を多価の酸とみなしたときの多段階の電離定数) を用いて示せ。また、AA₁ の等電点を求めよ。この際常用対数 $\log_{10} 2$ は 0.30, $\log_{10} 3$ は 0.48 で計算することとし、四捨五入のうえ小数第二位まで求めよ。

2) AA₂ は側鎖に 1 つのアミノ基を有する塩基性アミノ酸である。AA₂ 溶液の等電点における水素イオン濃度 [H⁺] を電離定数 $K_1 \sim K_3$ (各アミノ酸の塩酸塩を多価の酸とみなしたときの多段階の電離定数) を用いて示せ。また、AA₂ の等電点を求めよ。この際常用対数 $\log_{10} 2$ は 0.30, $\log_{10} 3$ は 0.48 で計算することとし、四捨五入のうえ小数第二位まで求めよ。

3) AA₃ は中性アミノ酸である。AA₃ の水溶液を pH 7 に調整した場合の陽イオン AA₃⁺ と陰イオン AA₃⁻ の存在比 $[AA_3^+]/[AA_3^-]$ を求めよ。なお、電離定数 K_1 および K_2 は各アミノ酸の塩酸塩を多価の酸とみなしたときの多段階の電離定数とし、四捨五入のうえ有効数字 2 桁で解答せよ。

4) AA₁, AA₂, AA₃ が 1 つずつ含まれる鎖状ペプチドとして考えられる構造は何種類あるか。ただし、鏡像異性体は考慮しないものとする。

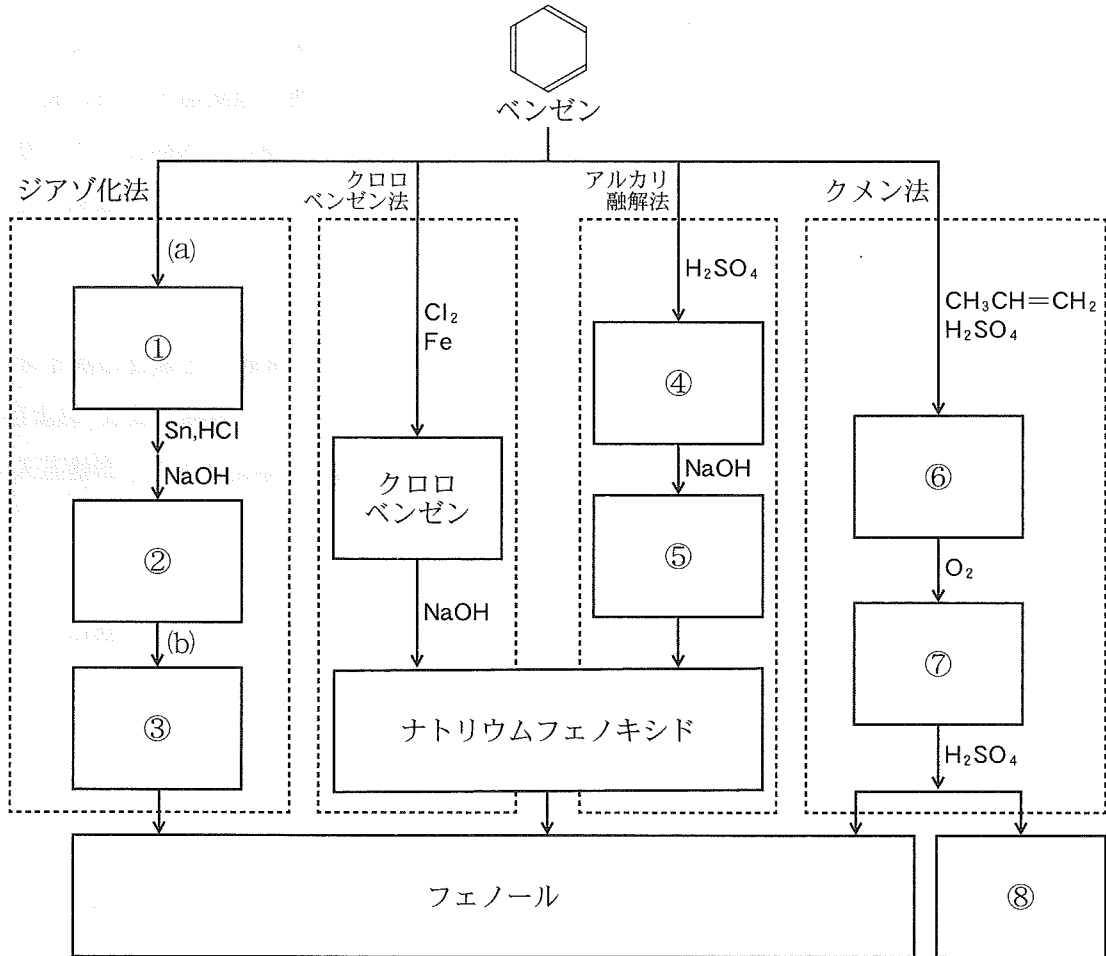
表 1 アミノ酸の電離定数

	K_1 (α 炭素に結合する COOH)	K_2 (α 炭素に結合する NH ₃ ⁺)	K_3 (側鎖)
AA ₁	3.0×10^{-2} mol/L	2.0×10^{-10} mol/L	2.0×10^{-4} mol/L
AA ₂	6.0×10^{-3} mol/L	1.0×10^{-9} mol/L	1.5×10^{-11} mol/L
AA ₃	4.0×10^{-3} mol/L	4.0×10^{-10} mol/L	—

2 以下の文を読み、問いに答えよ。

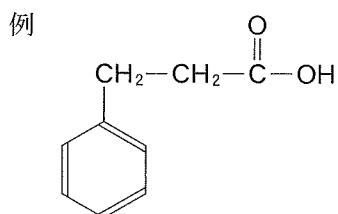
ベンゼン環にヒドロキシ基が直接結合した化合物をフェノール類とよぶ。この中で、単一のヒドロキシ基以外の官能基を持たないものがフェノールであり、合成樹脂や医薬品の原料などとして広く利用されている。

問 1 ベンゼンを原料とした代表的なフェノールの合成法を示す。



1) 図中の①～⑧に入る正しい化合物の名称を答えよ。

2) 次の例を参照し、③および⑦の構造式を書け。



- 3) (a)および(b)について、次の選択肢から加える試薬と手順の組み合わせとして最も適切なものを選び。なお、試薬に関しては1種類とは限らない。

試薬

- (ア) 酸素
- (イ) 窒素
- (ウ) 希塩酸
- (エ) 濃塩酸
- (オ) 濃硫酸
- (カ) 濃硝酸
- (キ) スズ
- (ク) 塩化鉄(Ⅲ)
- (ケ) 水酸化ナトリウム
- (コ) 亜硫酸ナトリウム
- (サ) 亜硝酸ナトリウム
- (シ) 硫酸アンモニウム

手順

- (ア) 290—300℃に加熱する。
- (イ) 加圧条件で100℃に加熱する。
- (ウ) 約60℃で加熱する。
- (エ) 室温で反応させる。
- (オ) 0—5℃で反応させる。

問 2 フェノールに水酸化ナトリウム水溶液を加えると溶解する。さらにこの溶液に二酸化炭素を十分に通じると白濁する。下線部の反応式を書け。また、5.00 g のフェノールから得られたナトリウム塩と過不足なく反応する標準状態の二酸化炭素の体積(L)を計算し、四捨五入のうえ小数第二位まで求めよ。なお、理想気体の標準状態におけるモル体積を22.4 L/mol とする。

問 3. フェノールはさまざまな医薬品の原料となる。フェノールを(①)と反応させ、生じた結晶を(②)条件下で(③)と反応させ、さらに反応液に(④)を作用させるとサリチル酸が生じる。(⑤)溶液にサリチル酸を加え、さらに少量の濃硫酸を加えて加温すると医薬品 X が生じる。

1) 次の語群から、①～④に該当する適切な語句を選べ。

[語群]

- | | | |
|---------------|--------------|--------------|
| (ア) 氷 冷 | (イ) 常 温 | (ウ) 高温・高圧 |
| (エ) 煮 沸 | (オ) 酸 素 | (カ) 窒 素 |
| (キ) 二酸化炭素 | (ク) 塩 素 | (ケ) 希硫酸 |
| (コ) 濃硫酸 | (サ) 水酸化ナトリウム | (シ) 硝酸アンモニウム |
| (ス) 炭酸水素ナトリウム | (セ) 塩化鉄(Ⅲ) | (ソ) ・ス ズ |

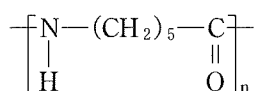
2) 医薬品 X の可能性として、サリチル酸メチルとアセチルサリチル酸が挙げられる。それぞれの化合物を合成するのに適する⑤の名称を答えよ。

化 学 (その2)

3 合成繊維に関する以下の問に答えよ。

重合体の構造式を記す場合は、次の例にならい、高分子鎖の末端部の構造は省略して記すこと。

(例) ナイロン6



A. ポリエステルはジカルボン酸と2価のアルコールが縮合重合することにより生成される。代表的なポリエステルであるポリエチレンテレフタレートは、(a)をジカルボン酸として、(b)を2価のアルコールとして原料に用いている。

問1 上記の文章中の(a)と(b)に入る物質の名前を答えよ。

問2 ポリエチレンテレフタレートの重合度をnとして、上記の(a)と(b)からポリエチレンテレフタレートが生成される反応式を書け。

問3 直鎖状のポリエチレンテレフタレートを85.1g生成したところ、分子鎖の両端がヒドロキシ基となった。このポリエチレンテレフタレートを完全にけん化するのに必要な水酸化ナトリウムは理論量で35.2gであった。このポリエチレンテレフタレートの平均分子量とけん化によって生じる物質(b)の質量[g]をそれぞれ四捨五入の上、有効数字3桁で答えよ。

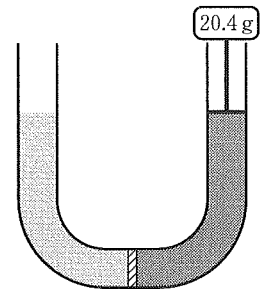
B. 紡糸したポリビニルアルコール100gをアセタール化してビニロンを生成した。ビニロンの生成においては、元のポリビニルアルコールのx%のヒドロキシ基がアセタール化されたものとする。以下の問に答えよ。

問1 ポリビニルアルコールの重合度をnとして、元のポリビニルアルコールのx%のヒドロキシ基がアセタール化されてビニロンを生成する反応式を書け。

問2 生成されたビニロンは、元のポリビニルアルコールよりも6.00g質量が増加していた。元のポリビニルアルコールの持つヒドロキシ基のうち何%がアセタール化されたか整数で答えよ。小数点以下の値が出た場合には四捨五入せよ。

4 以下の問に答えよ。

問 1 U字管の中央部を半透膜で左右対称に仕切り、右側には液面から受ける力(重さ)を計測できる重量計を設置した。この重量計自体の質量は無視でき、液面には重量計の重さがかからないものとする。U字管の半透膜の両側に純水を入れて重量を計測すると、重量計は 0.0 g の値を示した。



U字管の左側には上部を開放したまま 50.0 mL の純水を入れ、右側には電離も会合も起こすことのない物質を 0.50 g 溶かした水溶液 50.0 mL を入れて全体を 27.0 °C に保ち、しばらく放置したところ、右側の重量計は 20.4 g の値を示して値が安定した。その際、U字管内の液面の高さに変化は生じていないものとする。この物質の分子量を四捨五入のうえ有効数字 3 桁で答えよ。U字管の断面積は 3.00 cm²、この水溶液および純水の密度はいずれも 1.00 g/cm³ とする。

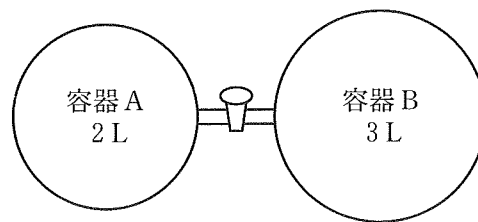
また、必要があれば次の数値を用いよ。

水銀の密度は 13.6 g/cm³、大気圧は 1.0×10^5 Pa (= 76.0 cmHg)、気体定数 $R = 8.30 \times 10^3$ Pa·L/(K·mol) とする。

問 2 一定の温度と圧力のもとで窒素と酸素とアルゴンを混合して空気に近い混合気体を作った。酸素原子の数はアルゴン原子の数の 44 倍であり、混合気体の見かけの分子量は 28.95 だった。混合気体中の窒素の体積パーセントが 78.15 % であるとき、アルゴンの体積パーセントはいくつか。四捨五入のうえ小数点以下第 2 位まで求めよ。

問 3 スキューバダイビングで使用するボンベには、減圧症の予防のため通常の空気に酸素を加えることで、減圧症の原因となる窒素の分圧を変えているものがある。ボンベ内の気体が窒素と酸素の 2 種類のみで構成されているとし、その混合気体の密度が標準状態で 1.309 g/L である場合、混合気体中の酸素の体積パーセントを四捨五入のうえ小数点以下第 1 位まで求めよ。なお、標準状態における気体 1 mol の体積を 22.4 L とする。

問 4 内容積が 2 L の容器 A と 3 L の容器 B は図のようにコックの部分で接続されている。容器 A には 27 °C において圧力 2.0×10^5 Pa の窒素が詰められている。一方容器 B は真空中で、現在コックは閉じられている。コックを開けた



後、容器 A を 27 °C に、容器 B を 77 °C にそれぞれ保つと、両容器内の圧力が等しくなり平衡に達した。このときの容器全体の圧力は何 Pa となるか。四捨五入のうえ有効数字 2 桁で答えよ。

なお、コックや接続管の容積は無視でき、気体は理想気体として扱うことができ、気体定数 $R = 8.3 \times 10^3$ Pa·L/(K·mol) とする。

問 5 無水硫酸銅(II) CuSO_4 の水 100 g に対する溶解度は 60 °C で 40、20 °C で 20 とする。いま、60 °C の硫酸銅(II)の飽和水溶液 140 g を 20 °C まで冷却すると、何 g の硫酸銅(II)五水和物の結晶 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) が析出するか。四捨五入のうえ小数点以下第 1 位まで求めよ。

生 物 (その1)

1 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

生体内では、さまざまな化学反応が進行している。これらの化学反応は酵素とよばれるタンパク質によって促進されている。化学反応が進行するために、物質はエネルギーの高い反応しやすい状態になる必要がある。この状態になるために必要なエネルギーを(ア)という。生体内では酵素の働きにより(ア)が小さくなり、化学反応が容易に進行する。

酵素が作用する物質を「基質」といい、反応によって作られた物質を「生成物」という。酵素は特定の「基質」にしか作用しない。この性質を(イ)という。一般的に温度が高いほど反応速度は上昇する。しかし、ある一定温度以上になると反応速度は急に低下する。酵素が最もよくはたらく温度を「最適温度」という。また酵素の活性は pH によっても影響を受ける。活性が最大になる pH を「最適 pH」といい、酵素により異なる。

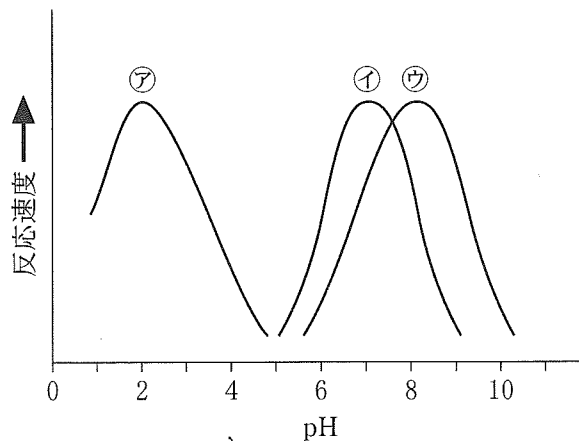
酵素の活性部位に基質が結合して(ウ)が形成されると、基質は酵素の影響を受けて生成物になる。基質以外の物質が酵素に結合し、酵素反応の速度を低下させることがある。このような物質は、阻害物質と呼ばれる。阻害物質には、基質の構造とよく似たものがある。このような阻害物質は、基質との間で酵素の活性部位を奪い合い、酵素と基質の結合を阻害する。この作用を(エ)という。

問 1 (ア)～(エ)に適切な語句を入れなさい。

問 2 下線部(a)の理由を 20 字以内で答えなさい。

問 3 下線部(b)の理由を 12 字以内で答えなさい。

問 4 下線部(c)についてヒトの消化液に含まれるアミラーゼ、トリプシン、ペプシンの pH と反応速度に関するグラフを示す。アミラーゼ、トリプシン、ペプシンは曲線㉗、㉘、㉙のいずれに相当するか、またそれぞれの酵素の基質は何か答え、解答用紙の表を完成させなさい。曲線㉗、㉘、㉙はそれぞれ 1 回ずつ使用する。



問 5 下線部(d)について以下の文章を読み、小問(1)~(3)に答えなさい。

基質濃度と生成物の生成速度の関係式を考える。①式に示す酵素反応を仮定する。E を酵素、S を基質、P をその生成物とし、 k_1 、 k_{-1} 、 k_2 を速度定数とする。



物質の濃度を [] で囲んで表すと [ES] の経時変化は②式で表される。

$$\frac{d[ES]}{dt} = k_1[E][S] - (k_{-1} + k_2)[ES] \quad \dots \textcircled{2}$$

反応が定常状態になっていると仮定すると③式が成り立つ。定常状態とはどちらの方向の反応も生じているが [ES] が変化しない状態をいう。

$$\frac{d[ES]}{dt} = 0 \quad \dots \textcircled{3}$$

②式と③式から④式になる。

$$k_1[E][S] - (k_{-1} + k_2)[ES] = 0 \quad \dots \textcircled{4}$$

④式を変形し⑤式になる。 k_1 、 k_{-1} 、 k_2 は定数であるので、新たな定数 k_m を定義する(⑥式)。

$$\boxed{\textcircled{A}} = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1} \quad \dots \textcircled{5}$$

$$\boxed{\textcircled{A}} = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1} = k_m \quad \dots \textcircled{6}$$

P の生成速度 (v) は⑦式で表される。

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_2[ES] \quad \dots \textcircled{7}$$

ここで全酵素量を E_t とすると⑧式が得られる。

$$[E_t] = \boxed{\textcircled{B}} \quad \dots \textcircled{8}$$

⑥式と⑧式から⑨式になる。

$$[ES] = \frac{[E_t]}{\frac{k_m}{[S]} + 1} \quad \dots \textcircled{9}$$

⑦式の [ES] に⑨式を代入すると⑩式になる。

$$v = \frac{d[P]}{dt} = \frac{k_2[E_t]}{\frac{k_m}{[S]} + 1} \quad \dots \textcircled{10}$$

ここで $k_2[E_t]$ は P 生成の最大速度と考えられるため V_{\max} とし、式を整理すると⑪式になる。

$$v = \frac{V_{\max} \cdot [S]}{[S] + k_m} \quad \dots \textcircled{11}$$

- (1) ㉔, ㉕に入る式を答えなさい。
- (2) 基質濃度が k_m のときの P の生成速度を答えなさい。
- (3) 縦軸に P の生成速度 (v) を, 横軸に基質濃度 ($[S]$) をとり, その関係を実線で描きなさい。ただし $v > 0$, $[S] > 0$ とし, 軸の適切な部位に 0 と V_{\max} の目盛りをつけなさい。また小問(2)で求めた値を「・」でグラフ内にプロットし, 座標の値を明記しなさい。補助線は点線で描き, フリーハンドで丁寧に描けばよい。

2 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

多くの被子植物の花は、花柄、がく片、花弁、おしべ、めしべから構成される。めしべは柱頭、花柱、子房に分けられ、子房の中に胚珠がある。花柄の先端は花托あるいは花床と呼ばれる。

花粉母細胞は花が小さなつぼみのときに、おしべの葯の中で花粉四分子になる。花が開く頃になると花粉四分子のそれぞれは不均等な細胞分裂によって花粉管細胞とその中にある雄原細胞に分かれ、やがて成熟した花粉となる。めしべの柱頭に付着した花粉は発芽して胚珠の方向に花粉管を伸ばす。そして花粉管内で雄原細胞が分裂し2個の精細胞になる。

一方、胚のう母細胞は子房内にある胚珠で胚のう細胞になる。その後、胚のう細胞は3回の核分裂を行って8個の核を生じる。8個の核のうち3個は珠孔側で1個の卵細胞の核と2個の助細胞の核となる。また他の3個の核は珠孔の反対側に移動してそれぞれ反足細胞の核となる。残り2個の核は胚のうの中央に集まり(ア)と呼ばれる中央細胞の核となる。このようにして卵細胞を持つ胚のうが胚珠内に形成される。

珠孔に達した花粉管はふつう助細胞のうち1つを破壊して胚のう内へ侵入する。花粉管から放出された2個の精細胞のうち1個は卵細胞と合体して受精卵となる。残りの1個は中央細胞と合体して(イ)細胞を形成する。このような現象は(ウ)と呼ばれ、被子植物に特有な現象である。

受精卵は不等分裂によって大きさの異なる2つの細胞になる。大きな細胞は一方向の分裂を繰り返し(エ)と呼ばれる構造になる。一方、小さな細胞は盛んに分裂をくり返し(オ)が作られる。(オ)はやがて幼芽、子葉、胚軸、幼根から構成される胚を形成する。(エ)は胚とそれに隣接する組織をつなぎ胚に栄養を運ぶ通路となる。珠皮は種皮になり、種子が形成される。

問1 (ア)～(オ)に適切な語句を入れなさい。

問2 問題文から配偶子を示す語を全て選び、記入しなさい。

問3 以下の細胞分裂のうち減数分裂はどれか。㊶～㊸の中から正しいものを全て選択し、㊶～㊸の記号で答えなさい。

- ㊶ 雄原細胞から精細胞への細胞分裂
- ㊷ 受精卵になった後の最初の細胞分裂
- ㊸ 花粉母細胞から花粉四分子への細胞分裂
- ㊹ 胚のう母細胞から胚のう細胞への細胞分裂
- ㊺ 花粉四分子から花粉管細胞と雄原細胞への細胞分裂
- ㊻ 胚のう細胞から3回の核分裂を経て卵細胞、助細胞、反足細胞、中央細胞になるまで

問 4 カキとダイズの子の断面の模式図を図 1 に示す。カキの子と同様の構造をもつ子の総称、ダイズの子と同様の構造をもつ子の総称、①、②の部位の名称を答えなさい。

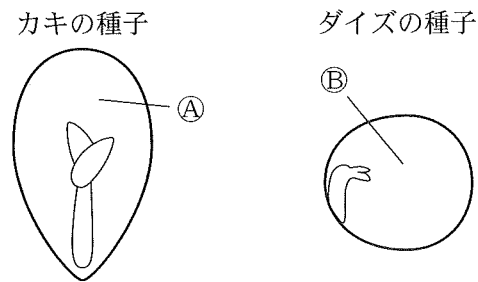


図 1

生 物 (その2)

3 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

生物の遺伝情報は主に DNA が担っている。DNA が複製される際、(ア)と呼ばれる酵素によって特定部分の塩基間の(イ)結合が切断されて、部分的に1本ずつのヌクレオチド鎖になる。このような複製の開裂起点となる領域は複製起点(複製開始点)と呼ばれる。DNA の複製では鋳型鎖の複製開始部に相補的な配列を持つ短い RNA が合成される。このような複製の開始点となるヌクレオチド鎖は(ウ)と呼ばれる。この(ウ)に(エ)が作用し、次々とヌクレオチドが結合していく。(エ)は DNA のヌクレオチドの3'の炭素と次のヌクレオチドの(オ)とを結合させる。

DNA の複製では開裂が進む方向と同じ向きに連続的に合成されるヌクレオチド鎖と開裂が進む方向とは逆向きに不連続に合成されるヌクレオチド鎖とがある。不連続に合成されるものは(カ)と呼ばれ、^(A)複数の短いヌクレオチド鎖が、^(B)(キ)によって次々に連結される。

問 1 (ア)~(キ)に適切な語句を入れなさい。

問 2 下線部(A)、(B)で示されるヌクレオチド鎖の名称をそれぞれ答えなさい。

問 3 図1に示す四角で囲んだaの部分において新しく合成されているヌクレオチド鎖はどのようなになっているか。開裂が進む方向と同じ向きに連続的に合成されるヌクレオチド鎖と開裂が進む方向とは逆向きに不連続に合成されるヌクレオチド鎖の区別とそれぞれのヌクレオチド鎖の合成方向がわかるように解答欄の図中に示しなさい。

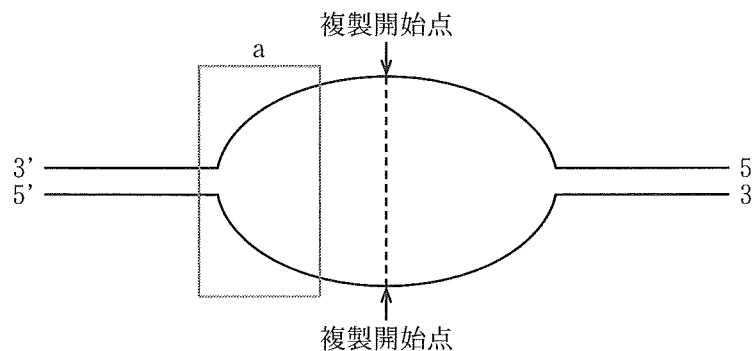


図 1

問 4 1958年にメセルソンとスタールによって証明された DNA の複製様式の名称を答えなさい。

問 5 メセルソンとスタールの研究では、窒素(^{14}N)の同位体である ^{15}N のみを窒素源とする培地を用いて大腸菌を培養し、DNA の窒素が ^{15}N に全て置き換わった大腸菌を作成した。次に ^{14}N を窒素源とする培地でこの大腸菌を培養し、1, 2, 3, 4 ……………, n 回と細胞分裂が起こった後で DNA を抽出した。この DNA の比重を密度勾配遠心法で比較した。この結果、DNA の窒素が ^{15}N に全て置き換わった大腸菌の DNA は重く、これに対し ^{14}N を含む培地で何世代も培養した大腸菌の DNA は軽いものであった。また、1 回目の分裂を終えた大腸菌の DNA は両者の中間の重さを示した。

- (1) DNA の窒素が ^{15}N に全て置き換わった大腸菌の重い DNA を ($^{15}\text{N} + ^{15}\text{N}$)、 ^{14}N を含む培地で何世代も培養した大腸菌の軽い DNA を ($^{14}\text{N} + ^{14}\text{N}$)、 ^{14}N を含む培地で培養し、両者の中間の重さの DNA を有する大腸菌の DNA を ($^{15}\text{N} + ^{14}\text{N}$) とした場合、2 回目の分裂を終えた大腸菌の DNA の量比を求めなさい。
- (2) 同様に n 回目の分裂を終えた大腸菌の DNA の量比を求めなさい。
- (3) この系において ^{14}N を含む培地で培養した大腸菌が何回分裂すると ($^{15}\text{N} + ^{14}\text{N}$) が全体の 0.1% 以下となるか答えなさい。

問 6 問 4 で問われている DNA 複製様式とは異なり、仮に鋳型となる元の DNA がそのまま残り、新たな 2 本鎖 DNA ができるという DNA 複製様式があった場合、 ^{14}N を含む培地で 3 回目の分裂を終えた大腸菌の DNA の量比はどうか答えなさい。

問 7 真核細胞の DNA の末端には特殊な塩基配列があり、細胞分裂で DNA の複製を繰り返すたびに、この部分が短くなることが知られている。また、この特殊な塩基配列の長さが一定以下になると細胞分裂が停止することも分かっている。

- (1) 下線部(C)に関して、この特殊な塩基配列は何と呼ばれているか答えなさい。
- (2) この特殊な塩基配列が DNA の複製を繰り返すたびに、短くなる理由を簡単に答えなさい。
- (3) 下線部(D)において、この現象は細胞にどのように関わっていると考えられるか。20 字以内で答えなさい。

4 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

生物は呼吸によって有機物を分解してエネルギーを得ているが、この有機物の大部分は植物が光合成によって無機物から作り出したものである。C₃植物における光合成の過程は葉緑体の(ア)で起こる反応とストロマで起こる反応の大きく2つに分けられる。葉緑体のストロマの部分では発見者の名前をとって(イ)・(ウ)回路と呼ばれる回路状の反応が起こる。

C₃植物の光合成の仕組みを解明するにあたり以下に示す研究が行われた。イギリスの(エ)はハコベをすり潰して密閉容器に入れ、シュウ酸鉄を加えて光を照射すると、二酸化炭素がなくても酸素が発生することを観察した。この反応は(エ)反応と名付けられ、発生する酸素は水に由来すると考えられた。酸素が水の分解に由来することは、アメリカの(オ)が酸素の(カ)である¹⁸Oを含む水と¹⁸Oを含む二酸化炭素を別々にクロレラに与え、光を照射した時に発生する酸素を調べて、酸素が水の分解に由来することを示した。しかしながら、現在では(オ)の実験については正確性と再現性に疑問が持たれている。アメリカの(イ)と(ウ)らは、炭素の放射性(カ)である¹⁴Cを含む二酸化炭素をクロレラに与え、5秒間光合成を行わせた後に二次元ペーパークロマトグラフィーによって放射線を出す物質を調べると、¹⁴Cはホスホグリセリン酸(PGA)に取り込まれていることを明らかにした。照射時間を変えて同様な実験を繰り返すことにより、時間とともに¹⁴Cがどのような物質に移るかを追跡した結果、取り込まれた¹⁴Cはいくつかの物質を経由して再びPGAに取り込まれることがわかった。また(イ)らは最初に二酸化炭素と結合する化合物は(キ)であることも示した。

問1 (ア)~(キ)に適切な語句を入れなさい。

問2 (オ)の実験においてH₂¹⁸OとC¹⁶O₂を与えたクロレラを光照射した場合、発生する酸素は¹⁸O₂と¹⁶O₂のどちらか答えなさい。

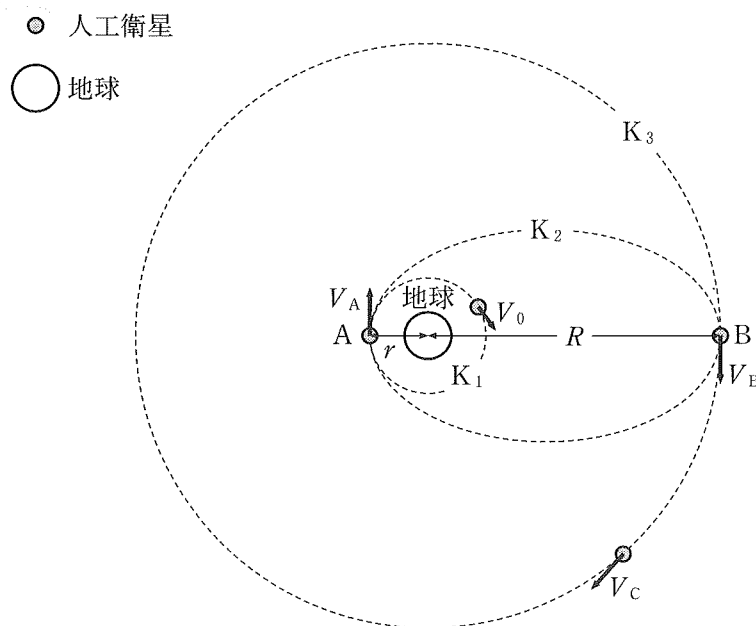
問3 下線部(A)の二次元ペーパークロマトグラフィーとはどのような方法であるか。簡単に説明しなさい。

問4 (イ)と(ウ)の実験系において光合成を行わせておき、急に光の照射を止めた場合や二酸化炭素を急に欠乏させた場合に、PGAおよび(キ)の量はどうか簡単に説明しなさい。なお、解答には(キ)という記号ではなく、問1で問われた適切な語句を用いて答えなさい。

問5 C₃植物において光合成の結果、グルコースが300gできた場合、二酸化炭素が使われる量はいくらか。molで答えなさい。1molは、ある物質を構成する原子、あるいは分子がアボガドロ定数(6.02 × 10²³)個だけ集まった質量のことである。また、原子量はH = 1, C = 12, O = 16とする。

物 理 (その1)

- 1 下図のように地球を中心とする半径 r の円軌道 K_1 を周遊する人工衛星があった。人工衛星は大気の抵抗を受けないものとし、地球の質量を M 、人工衛星の質量を m 、万有引力定数を G とする。以下の問いに答えなさい。なお、物理量が問われたときは、 G 、 M 、 m 、 R 、 r の中から必要なものを用いて表しなさい。

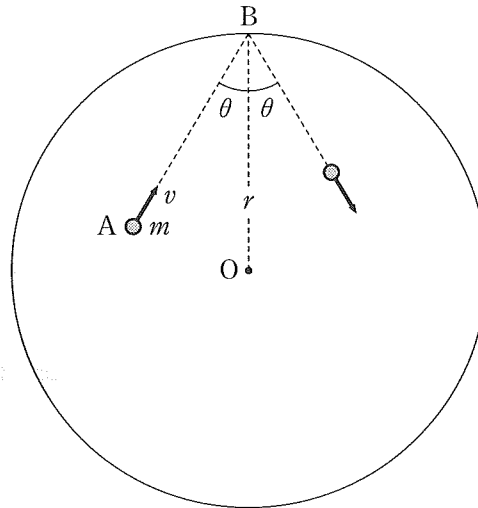


- (1) 円軌道 K_1 を周遊する時の人工衛星の速さ V_0 を求めなさい。
- (2) 人工衛星の円軌道 K_1 の周期 T_1 を求めなさい。

次に、点 A で人工衛星の速さを V_0 から、瞬時に V_A まで加速したところ、人工衛星は AB を長軸とする楕円軌道 K_2 上を周遊した。地球の中心から最も速い地点 B までの距離は R であった。

- (3) 点 A における人工衛星の速さ V_A ならびに点 B における人工衛星の速さ V_B を求めなさい。
- (4) 楕円 K_2 の半短軸を求めなさい。
- (5) 人工衛星の円軌道 K_2 の周期 T_2 を求めなさい。
- (6) さらには、人工衛星が点 B を通る瞬間に速度を変化させて、地球中心から半径 R の円軌道 K_3 に移した。この時の速さ V_C を求めなさい。また、点 B で人工衛星の速さを V_C にするために必要なエネルギーを求めなさい。

- 2 半径 r の球形容器に、質量 m の単原子分子の理想気体が n mol 入っている。分子はさまざまな速さと方向をもって互いに衝突することなく容器中を動き回り、容器の壁と完全弾性衝突を繰り返している。図は、容器内の点 A にある 1 個の分子が速さ v 、入射角 θ で壁上の点 B に衝突する様子を示している。点 O は容器の中心を示す。以下の問いに答えなさい。なお、気体の絶対温度を T 、アボガドロ数を N_A 、気体定数を R とする。また重力の影響は無視できるものとする。



- (1) この分子が、1 回の衝突で壁に与える力積はいくらか。
- (2) この分子が、点 B に衝突してから、次に壁に衝突するまでに進む距離はいくらか。
- (3) 分子全体が、十分に長い時間 t の間に壁に与える力積はいくらか。ただし容器内全体で、分子の速さを 2 乗したものの平均を $\overline{v^2}$ としなさい。
- (4) この気体の圧力はいくらか。
- (5) 気体分子 1 個の運動エネルギーの平均値を ϵ 、 N_A 、 T 、 r 、 R の中から必要なものを用いて表しなさい。

物 理 (その2)

- 3 図1のように、2枚の平板ガラスA、Bを合わせて置き、その一端に薄いアルミ箔をはさむ。ガラス板Bの面に真上から垂直に単色光を当てて真上から観察すると、等間隔の平行な縞模様が見えた。2枚のガラスが接する位置からアルミ箔までの長さを L 、アルミ箔の厚さを D とする。このとき以下の問いに答えなさい。ただし、空気の屈折率は1.0としてよい。必要なら0と正の整数を表す m を用いなさい。

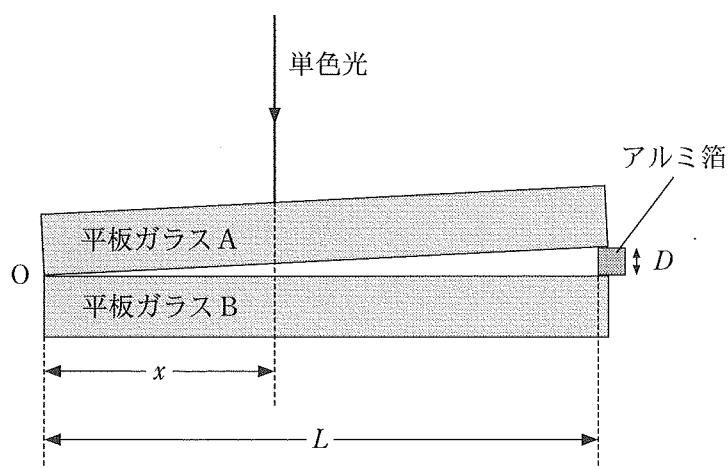


図1

まず、2枚のガラスの間に空気のみがある場合について考える。

- (1) くさび形の頂点 O から水平方向に x だけ離れたガラスBの上面の位置 P と、その真上のガラスAの下面の位置 Q を考える。このとき P で反射された光と Q で反射された光の経路の差を求めなさい。
- (2) 単色光の波長を λ としたとき、 P の位置に明線ができるための条件式を表しなさい。
- (3) 隣り合う明線と明線の間隔はいくらか。
- (4) 青色の単色光に比べて、赤色の単色光を用いたとき、明線の間隔はどう変わるかを60字以内で述べなさい。
- (5) 波長 660 nm の単色光を用いたとき、明線の間隔が 1.0 mm であった。 L が 10 cm としたらアルミ箔の厚さ D はいくらか。

次に、くさび形の空間に液体を入れた場合について考える。

(6) このとき、同じ波長の単色光を用いると、明線の間隔が 0.67 mm であった。この液体の屈折率を求めなさい。

再び空気層に戻して、図2のように、ガラスAとアルミ箔の位置をそのままに保ち、ガラスBを水平に保ったまま鉛直下方にゆっくりと下げていった。干渉縞の位置が移動していくのが観測された。

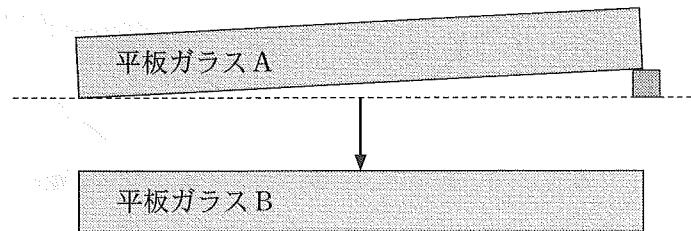
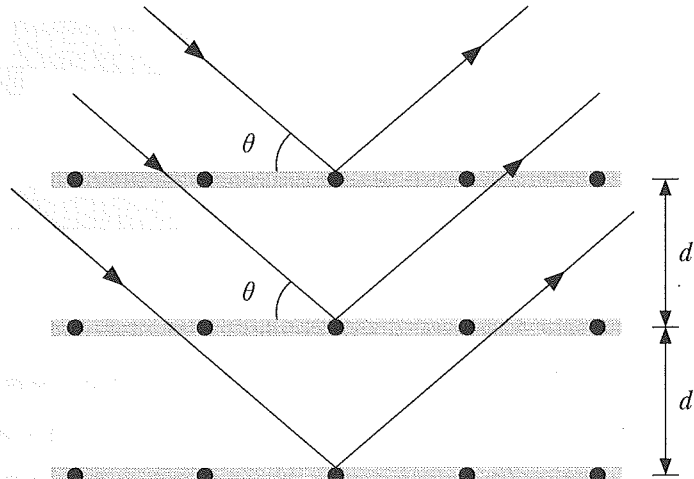


図2

(7) ガラスBの下降とともに、干渉縞の間隔は、変化するかあるいは変化しないかを答えなさい。変化すると答えた場合、しだいに大きくなるか、しだいに小さくなるかを答えなさい。

(8) ガラスBを鉛直下方に距離 Δy 動かしたとき、ガラスBを動かす前に位置Pにあった明線は、水平方向に距離 Δx だけ移動した。距離 Δy を D , L , Δx を用いて表しなさい。

- 4 電子線を結晶に当てると、電子線は規則正しく並んだ原子の配列面(格子面)で散乱し、干渉して特定の方向に強く反射することがある。このとき、入射した電子線は、各格子面上に並んだ原子によって鏡面のように反射すると考えられる。図のように、電子線をある原子からなる結晶の格子面に対して角度 θ で入射させた。このとき以下の問いに答えなさい。ただし格子面間隔を d とする。電子の質量 $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, 電気素量 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C, プランク定数 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s とする。



図

- (1) 隣り合う2つの格子面で反射された電子線が作る経路の差を求めなさい。
- (2) 反射電子線が互いに強め合う条件を、電子線の波長 λ , 自然数 n を用いて表しなさい。
- (3) 静止している電子を 11.4×10^2 Vの電圧で加速した時の電子の速さと電子の波長を求めなさい。単位も書きなさい。

この電子線を角度 $\theta = 50^\circ$ で入射させ、そのあと θ を増加させた。格子面間隔 $d = 1.80 \times 10^{-10}$ mであった。また $\sin 50^\circ = 0.766$ とする。

- (4) 最初に強い反射が起こる角度を θ_1 としたとき、 $\sin \theta_1$ を求めなさい。