

物 理 (一般問題用紙1)

I 図1のように、固定されたなめらかで水平な不導体の台の上に、固定台と面積 S [m²] の正方形の金属極板 A, B がある。極板 A, B は、常に水平な台に垂直になつたまま平行を保つように、不導体でできた透明でなめらかな A, B に垂直な壁面に接しており、極板面積が S [m²] の平行平板コンデンサーとしてはたらく。

最初 AB 間の距離を l_0 [m] にして A, B ともにストッパーで固定している。なお、AB 間の距離は、A, B の向かい合った面の間の距離である。

A には、ばね定数 k [N/m] の不導体でできた軽いつるまきばねをつなぎ、ばねの他端は固定台につないでいる。ばねは常に水平に保たれ、A が図の位置にあるとき自然長である。

全体が真空中に置かれており、真空の誘電率は ϵ_0 [F/m] である。

A, B に電荷が蓄えられたとき、電荷は A, B の向かい合った面に一様に分布し、そのとき A, B の向かい合った面と垂直壁面で囲まれる直方体の空間には A, B に垂直で一様な電場 (電界) ができ、その直方体の空間からの電場のもれはないものとする。

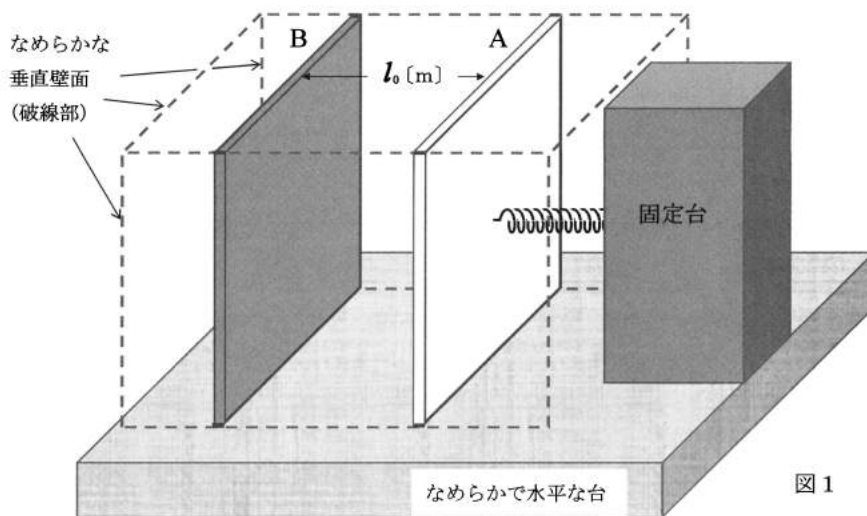


図 1

[i] AB 間に電池をつないで電圧 V_0 [V] を加え、しばらくしてから電池をはずした。このとき、A に電気量 $+Q_0$ [C], B に電気量 $-Q_0$ [C] ($Q_0 > 0$) の電荷が分布した。以下の問いに答えよ。

- (1) AB 間に加えられた電圧 V_0 [V] はいくらか。 S , l_0 , ϵ_0 , Q_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) AB 間にできている電場の強さ [V/m] と向きを答えよ。電場の強さについては、 S , l_0 , ϵ_0 , Q_0 の中から必要なものを用いて表せ。

物 理 (一般問題用紙2)

[ii] その後、B はそのまま固定し、図2のように、A が x 方向に自由に動けるようにする。 x 軸は A、B に垂直で A から B に向かう向きを正とし、最初の A の位置を原点 $x = 0$ [m] とする。なお、A の位置は、A の B 側の面の位置で表すものとする。 $x = 0$ [m] のときばねの長さは自然長である。A の質量は m [kg] である。

A のストッパーをすばやくはずしたところ、A は B と平行な状態を保ったまま x 方向に運動し、A、B が衝突することはなかった。

A のストッパーをはずしたときの時刻 $t = 0$ [s] として、以下の問いに答えよ。

ただし、以下の(3)、(4)、(6)では、 S 、 ϵ_0 は用いず、 l_0 、 Q_0 、 V_0 、 m 、 k 、 x の中から必要なものを用いて表せ。

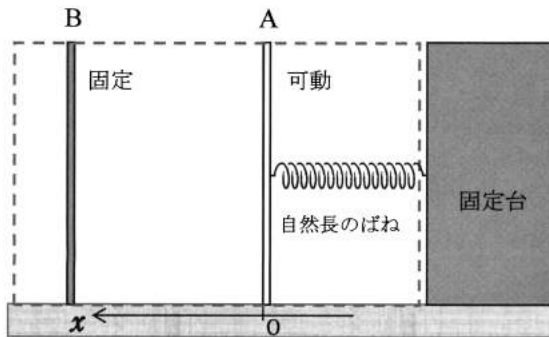


図 2

- (3) 運動中、A の位置が x [m] のとき、A にはたらく合力 [N] はいくらか。
- (4) A にはたらく合力が 0 になるときの A の位置 x_0 [m] はいくらか。
- (5) A の運動は何という運動か。運動の名称を答えよ。
- (6) A が(4)の位置を通過するときの速さ [m/s] はいくらか。

以下の(7)~(10)では、円周率を π とし、また、(4)の位置を x_0 [m] とし、 l_0 、 V_0 、 m 、 k 、 x_0 、 π 、 t の中から必要なものを用いて表せ。

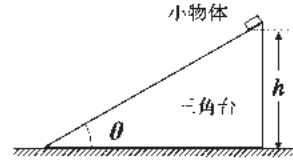
ただし(10)では x_0 を用いずに答えよ。

- (7) 時刻 t [s] ($t \geq 0$) における A の位置 x [m] はいくらか。
- (8) B の電位を 0 とするとき、時刻 t [s] ($t \geq 0$) における A の電位 V [V] はいくらか。
- (9) A の位置の時間変化のグラフ (横軸: 時刻 t [s], 縦軸: 位置 x [m]) をかけ。ただし、 $t = 0$ [s] から、A の速さが 2 回目に 0 になるまでについてのグラフとせよ。
- (10) B の電位を 0 とし、A の電位の時間変化のグラフ (横軸: 時刻 t [s], 縦軸: A の電位 V [V]) をかけ。ただし、 $t = 0$ [s] から、A の速さが 2 回目に 0 になるまでについてのグラフとせよ。また、A が B に最も近づくときの AB 間距離が $\frac{1}{2} l_0$ [m] となるような設定のときのグラフとせよ。

物 理 (一般問題用紙3)

II 傾きが θ のなめらかな斜面をもつ質量 M の三角台がなめらかな水平面上にある。図のように、台の斜面に質量 m の小物体をのせ、水平面からの小物体の高さが h の位置で、台にも小物体にも力を加えて全体を静止させておく。

重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗はないものとして、以下の問いに答えよ。



[i] 台に水平方向に力を加えて静止させたまま、小物体に力を加えるのをやめて、小物体が台の斜面上を自由に運動できるようにしたところ、小物体は初速0で動き始めた。

(1) 小物体が台の斜面上を運動しているときについて、次の問いに答えよ。

① 台が静止するように台に加えている水平方向の力の向きと大きさを答えよ。

ただし、向きについては、右、または左、と答えよ。

② 台が水平面から受けている垂直抗力の大きさはいくらか。

(2) 小物体が動き始めてから水平面に達するまでの時間はいくらか。

[ii] 最初の状態に戻し、今度は小物体と台が静止するように支えていた力を加えるのを同時にやめて、小物体と台がどちらも初速0で自由に運動するようにしたところ、小物体は台から離れることなく台の斜面上を運動し、台は水平方向に一定の加速度で運動した。

(3) このときの台の加速度の大きさを A 、小物体が台の斜面から受ける垂直抗力の大きさを N とし、次の問いに答えよ。

① 台から見たとき、小物体は台の斜面を直線運動し、台の斜面に垂直な方向については静止し、力がつりあっているように見える。この、台から小物体を見たときの台の斜面に垂直な方向の力のつりあいをもとに、

N を求め、 m 、 g 、 A 、 θ で表せ。

② 台の水平方向の運動方程式をかけ。ただし、左辺は MA とし、右辺は N と θ だけで表せ。

③ ①、②より A を計算して、 M 、 m 、 g 、 θ で表せ。

(4) 小物体と台が同時に動き始めてから、小物体が水平面に達するまでの時間はいくらか。 M 、 m 、 g 、 θ 、 h で表せ。

(5) 小物体が水平面に達した瞬間、台は静止していたときの位置からどれだけ距離を移動しているか。 M 、 m 、 θ 、 h で表せ。

物 理 (一般問題用紙4)

III 質量 M [k g] の原子がある。励起状態 (エネルギー準位 E_2 [J]) にある原子が基底状態 (エネルギー準位 E_1 [J]) に移るとき光子を放出した。原子の状態が変化しても原子の質量は M [k g] のまま変化しないものとし、プランク定数を h [J・s]、真空中の光の速さを c [m/s] とし、重力の影響はないものとして、以下の問いに答えよ。

[i] 原子が固定された状態にあるとき、エネルギー準位の差に等しいエネルギーを持った光子が放出される。

(1) このとき、放出される光子の振動数 ν_0 [Hz] はいくらか。

[ii] 原子が自由に動くことができる状態で原子のエネルギー準位が E_2 [J] から E_1 [J] に変化し、光子を放出するとき、物体の分裂のように、変化前 (原子だけ) と変化後 (原子と光子) の運動量とエネルギーが保存される形で光子が放出される。

そのような状況で、静止した原子のエネルギー準位が E_2 [J] から E_1 [J] に変化したとし、変化後の原子の速さを V_1 [m/s]、放出された光子の振動数を ν_1 [Hz] とする。

(2) 運動量保存を、 M 、 V_1 、 h 、 c 、 ν_1 で表せ。

(3) エネルギー保存を、 E_1 、 E_2 、 M 、 V_1 、 h 、 ν_1 で表せ。

(4) (2) と (3) から V_1 を消去し、その式を、 E_1 、 E_2 のかわりに [i] の ν_0 を用いて表せ。

ただし、その式は ν_1 についての 2 次方程式になっているので、

$$\nu_1^2 + \alpha \nu_1 + \beta = 0 \quad (\text{ただし、}\alpha, \beta \text{ は } M, h, c, \nu_0 \text{ を組み合わせた文字式}) \text{ の形で表せ。}$$

(5) (4) の 2 次方程式を解いて、 ν_1 [Hz] を求めよ。

なお、式の中に出てくる $\frac{2h\nu_0}{Mc^2} \ll 1$ とし、 $|x| \ll 1$ のとき、 $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2$ と近似できるの

でこの近似式を用いて、 $\nu_1 \approx \nu_0 \cdot (1 - \gamma)$ の形 (ただし、 γ は M 、 h 、 c 、 ν_0 を組み合わせた文字式) で表せ。

[iii] [ii] のように原子が自由に動くことができる状態で、原子が速さ V_2 [m/s] で運動しているときエネルギー準位が E_2 [J] から E_1 [J] に変化し、原子は進行方向と逆向きに振動数が ν_2 [Hz] の光子を放出し、原子の速さが V_2' [m/s] に変化したとする。

この場合も、[ii] 同様、運動量保存とエネルギー保存が成り立つ。

(6) 運動量保存を、 M 、 V_2 、 V_2' 、 h 、 c 、 ν_2 で表せ。

(7) エネルギー保存を、 E_1 、 E_2 、 M 、 V_2 、 V_2' 、 h 、 ν_2 で表せ

(8) (6) と (7) を用いて ν_2 [Hz] を求めよ。

なお、 $\frac{V_2 + V_2'}{2} = \bar{V}_2$ とし、 \bar{V}_2 、 c 、[i] の ν_0 を用いて表せ。

化 学 (問題用紙1)

必要があれば、次の値を使用せよ。

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

原子量 $\text{H} = 1.0$, $\text{C} = 12$, $\text{N} = 14$, $\text{O} = 16$, $\text{S} = 32$, $\text{Fe} = 56$, $\text{Ni} = 59$, $\text{Cu} = 64$, $\text{Ag} = 108$,

$\text{Pb} = 207$

$\log_{10}2 = 0.30$, $\log_{10}3 = 0.48$, $\sqrt{5} = 2.2$, $\sqrt{4.01} = 2.0$

I 次の文を読み、後の各問いに答えよ。

銅は赤みを帯びた金属光沢をもち、展性・延性に富んでいる。電気・熱の伝導性は(ア)に次いで二番目に大きい。銅は単体で利用されるだけでなく、①数々の合金の材料としても広く利用されている。

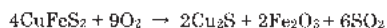
銅を製造する工程は次の通りである。②黄銅鉱 CuFeS_2 を空気とともに強熱すると、硫化銅(Ⅰ)、酸化鉄(Ⅲ)が生成し、③酸化硫黄が発生する。④生成した硫化銅(Ⅰ)に空気を吹き込み還元させることで、銅が遊離する。遊離した銅は、微量の不純物を含み、粗銅とよばれる。その銅の純度を高めるために、硫酸酸性の硫酸銅(Ⅱ)水溶液に、厚い粗銅板を(イ)極、薄い純銅板を(ウ)極として浸し、約0.3 Vの低電圧で電気分解すると、純銅が得られる。この電解法は④電解精錬とよばれている。

銅の単体は希硫酸には溶けないが、⑤酸化力のある熱濃硫酸には溶ける。この水溶液から硫酸銅(Ⅱ)五水和物の青色結晶が得られる。⑥この結晶を水に溶かすと、錯イオン [a] を生成するので青色の水溶液になる。この水溶液に過剰のアンモニア水を加えると、深青色の錯イオン [b] を生成して溶ける。この錯イオンの濃度が大きい溶液のことを(エ)試薬といい、セルロースを溶かす性質を持っている。このセルロースを溶かした溶液を希硫酸中に押し出して製造される再生繊維を(オ)といい、それはケンプラともよばれる。

- (1) 文中の(ア)には適当な金属の化学式、(イ)～(オ)には適当な語句、[a]、[b]には適当な化学式をそれぞれ答えよ。
- (2) 銅を低温にしていくと、電気抵抗の大きさはどのように変わっていくか。「大きくなっていく」なら(A)、「小さくなっていく」なら(B)、「変わらない」なら(C)と、記号で答えよ。
- (3) 銅は、二酸化炭素を含む湿った空气中に放置すると、表面に緑色のさびを生じる。このさびを何というか。漢字で答えよ。
- (4) 下線部①より、銅に約10%のスズを含む合金を何というか。

化 学 (問題用紙 2)

- (5) 下線部②の反応は次のように表される。



2.76 kg の黄銅鉱から発生した二酸化硫黄をすべて利用して、質量パーセント濃度 98.0% の濃硫酸を製造する。濃硫酸は何 kg 製造できるか、有効数字 3 桁で答えよ。

- (6) 下線部③を化学反応式で記せ。

- (7) 純銅と不純物としてニッケル、銀、鉛を含む粗銅を用いて、9.65 A の電流を 3 時間 20 分 流し、下線部④を行ったところ、粗銅の下に沈殿物が生じた。

(a) 粗銅の下に生じる沈殿物を化学式ですべて答えよ。

(b) 純銅の増加量は何 [g] か。小数第 1 位まで求めよ。

- (8) 下線部⑤を化学反応式で記せ。

- (9) 下線部⑥より、0.10 mol/L の硫酸銅(II)水溶液を 200 mL 作ったとする。以下、この水溶液を水溶液 A とし、水溶液 A の密度は 1.1 g/cm³ とする。

(a) 水溶液 A を作る方法を下記の記入例にならって 6 0 ~ 8 0 字の間で記述せよ。ただし、下記の装置や器具の中から使用に必要なものを必ず抜き出して記述すること。

【ホールビペット、メスシリンダー、メスフラスコ、枝つきフラスコ、三角フラスコ、ビーカー、漏斗、ガスバーナー、電子天秤】

<記入例> 数字、アルファベット、記号、小数点、句読点は 1 文字として記すこと。

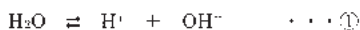
塩	化	鉄	(III)	水	溶	液	1
2	.	5	m	L	を	滴	下	し	,

- (b) 水溶液 A の質量モル濃度を有効数字 2 桁で答えよ。

化 学 (問題用紙 3)

II 次の文を読み、後の各問いに答えよ。

純水はごくわずかに電離して、次の①式のような電離平衡にある。



平衡状態における H^+ 、 OH^- 、 H_2O のモル濃度をそれぞれ $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$ 、 $[\text{H}_2\text{O}]$ とすると、平衡定数 K は次のように表すことができる。

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

ここで $[\text{H}_2\text{O}]$ の値は $[\text{H}^+]$ や $[\text{OH}^-]$ に比べて非常に大きいため、ほとんど一定とみなしてよい。したがって、次式が成立する。

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K[\text{H}_2\text{O}] = K_w \text{ (mol}^2\text{/L}^2\text{)}$$

この K_w を水のイオン積といい、温度が変わらなければ一定の値となる。右表に水のイオン積と温度の関係を示す。

温度 (°C)	K_w (mol ² /L ²)
20	6.8×10^{-15}
25	1.0×10^{-14}
30	1.5×10^{-14}

純粋な水に酸または塩基を溶かすと、ルシャトリエの原理により①式の電離平衡は左に平衡が移動し、水の電離度は純粋な水の

場合にくらべて小さくなる。1 価の強酸を水に溶解させたとき、水溶液中では水素イオンと陰イオンに完全に電離していると考えられ、水の電離によって生じる $[\text{H}^+]$ が無視できる範囲においては、強酸により生じる $[\text{H}^+]$ により、水溶液の pH が決まる。ただし、非常に希薄な水溶液の場合は水の電離によって生じる $[\text{H}^+]$ を無視することができなくなる。同様に強塩基の場合も濃度の大きさにより水の電離による $[\text{OH}^-]$ を無視できなくなることがある。そのため、酸や塩基の水溶液を水で希釈すると、それぞれの水溶液が酸性や塩基性を弱めて中性に近づくが、水の電離による影響のため、水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度が等しい水溶液にすることはできない。

- (1) 25°C における水の電離度を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、25°C における純水の密度は 1.0 g/cm^3 とする。
- (2) 30°C の純水の pH を有効数字 2 桁で答えよ。

化 学 (問題用紙 4)

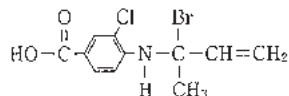
- (3) 0.10 mol/L の 1 価の弱酸水溶液がある。この 1 価の弱酸水溶液の 25°C における電離定数 K_a は $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。
- (a) この水溶液の pH を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、電離度は 1 に比べて極めて小さいものとする。
- (b) この水溶液を純水で 10 倍に希釈したときの pH の値は、(a) の値と比べてどれだけ変化するか。増・減をつけて有効数字 2 桁で答えよ。
- (c) この水溶液を 10^4 倍に希釈したときの希釈溶液の電離度を有効数字 2 桁で答えよ。
- (4) 25°C における $1.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ の水酸化ナトリウム水溶液中の $[\text{H}^+]$ を有効数字 2 桁で答えよ。

化 学 (問題用紙 5)

Ⅲ 次の問(1)と問(2)の文を読み、後の各問いに答えよ。

ただし、問(2)の(d)、(e)については、

<構造式の例>



右の例にならって答えること。

問(1) 最も簡単な炭化水素であるメタンは、天然ガスから得られるほかに、一酸化炭素と水素を反応させることによって、工業的に大量生産されている。また、実験室においては、①酢酸ナトリウムと水酸化ナトリウムを混合し、加熱することによって発生させることができる。

メタンの分子構造は正四面体形である。このように考えられたのは、オランダのフアントホッフが提唱した「炭素四面体説」が確立されたことによる。その「炭素四面体説」が確立されたきっかけとなったのは、メタン CH_4 の一置換体 CH_3X や二置換体 CH_2X_2 の異性体が共に1種類しかないという実験事実からである。メタンの正四面体構造では、各 C-H 結合距離が等しく、各 H-C-H の結合角が等しい。しかし、メタンの立体構造が正四面体ではないと考えたとき、いくつかの異性体が考えられる。次の各問いに答えよ。ただし、(b)、(c)の一置換体 CH_3X に結合している2つの置換基($-\text{X}$)は、同じ原子であるとする。

- (a) 下線部①を化学反応式で示せ。
- (b) メタンの立体構造が、図1に示すような正方形の底面をもつ四角すい構造であったとしたら、二置換体 CH_2X_2 にはそれぞれどのような異性体が存在することになるか。考えられる構造異性体を下の図にならってすべて示せ。ただし、水素原子が原子 X に置換したとしても、図1の四角すい構造を維持するものとする。

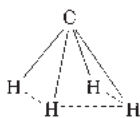


図 1

- (c) メタンの立体構造が、図2に示すような長方形の底面をもつ四角すい構造であったとしたら、二置換体 CH_2X_2 には立体異性体も考慮すると何種類の異性体が存在することになるか。ただし、水素原子が原子 X に置換したとしても、図2の四角すい構造を維持するものとする。

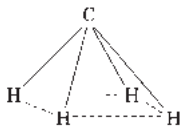


図 2

化 学 (問題用紙 6)

問(2) 人口甘味料としても利用されている化合物 A の構造を決定するため、次のような実験を行った。

化合物 A の元素分析を行ったところ、構成する成分元素の割合は、炭素 57.2%、水素 6.10%、窒素 9.50%、酸素 27.2% であることが判明した。A をベンゼン(モル凝固点降下: 5.12 K·kg/mol) に溶かし、凝固点降下法によって分子量を測定したところ、分子量は 300 以下であることが分かった。A を適当な酸で完全に加水分解したところ、3 種類の化合物 B、C、D が得られた。

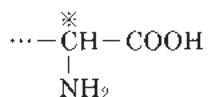
化合物 B を過マンガン酸カリウムで酸化させたところ、化合物 E となった。①E は炭酸水素ナトリウム水溶液に気体を発生させながら溶解し、②アンモニア性の硝酸銀水溶液を加えると、銀の単体が析出した。

化合物 C と D は、共に不斉炭素原子をもつ(α)α-アミノ酸であり、それぞれの等電点を測定したところ、C の等電点は 2.77、D の等電点は 5.48 であった。また、キサントプロテイン反応を試みたところ、C では全く変化が見られなかったが、D では黄色の呈色を確認することができ、D はベンゼン環を有することが明らかになった。D のベンゼン環は置換体であった。

化合物 D の分子量を測定するために、凝固点降下法を用いた。3.30 g の D をベンゼン 200 g に溶かし、凝固点を測定したところ、ベンゼンの凝固点より 0.512 K 低い値となった。

化合物 A にアミド結合だけを選択的に加水分解する酵素を加えると、2 種類の化合物 C と F が得られた。また別の調査によって、アミド結合は、共に(β)β位の炭素に結合しているアミノ基とカルボキシ基の間で結合していることも確認された。

(注) 1 つの分子内に、カルボキシ基とアミノ基を持っている化合物をアミノ酸といい、この 2 つの官能基が、同一の炭素原子に結合したものを α-アミノ酸という。また、2 つの官能基が結合している炭素原子(下記の構造の※の炭素)を、α位の炭素とよぶ。



- 化合物 A の分子式を求めよ。
- 下線部①に関して、このとき生じる変化を化学反応式で示せ。
- 下線部②に関して、この反応を示す官能基の名称を答えよ。
- 化合物 C および化合物 D の構造式を示せ。
- 化合物 A の構造式を示せ。

生 物 (問題用紙 1)

< 問題用紙は4枚ある >

< 漢字の生物用語は、原則として正しい漢字を用いて解答すること。 >

I. 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

遺伝形質を決定する因子である遺伝子の本体はDNAである。真核生物の核内の二本鎖DNAは、**ア**と呼ばれるタンパク質に巻きつき折りたたまれて **イ** を形成し、それが①「糸に通したビーズ状」に連なった構造である **ウ** を形成する。**ウ** はさらに折りたたまれ **エ** を形成している。

遺伝子本体であるDNAと遺伝子発現に関わるRNAを、あわせて核酸と呼ぶが、核酸は **オ** が多数鎖状に結合してきた生体高分子である。**オ** は糖と塩基が結合してできる **カ** に **キ** が結合したものである。DNAを構成する糖は **ク** で、RNAを構成する糖は **ケ** である。

二本の **オ** 鎖が、内側に突出した相補的な塩基間で **コ** を介して結合することにより、二本鎖DNAが形成される。この際、AとTの塩基対は **サ** か所で、GとCは **シ** か所で **コ** を形成する。DNAは物理的的刺激に対して比較的安定であるが、②二本鎖DNAを高温あるいはアルカリで処理すると、変性により一本鎖DNAとなる。

1個の受精卵から形作られる多細胞生物のほとんど全ての細胞は、同一のゲノムを保持しているにもかかわらず、それぞれ固有の構造と機能を有している。これは、主として細胞特異的な遺伝子発現パターンが巧妙に制御されていることによる。遺伝子発現は、それぞれの遺伝子が有する調節DNA領域とその **ス** を認識して結合する転写調節因子により制御されている。DNAを鋳型として、核内で合成された真核生物のmRNA前駆体には、タンパク質をコードする **セ** とタンパク質をコードしない **ソ** が混在しているが、その修飾過程で **ソ** が取り除かれ、**セ** がつなぎ合わされて、完成したmRNAができる。

問 1. 文章中の **ア** ~ **ソ** に入る最も適切な語句または数字を、解答欄に記入せよ。

問 2. 下線部①で、一つのビーズに相当する **イ** は直径 10 nm (ナノメートル) で、147 bp (塩基対) のDNAと **ア** から構成される。DNAを **ア** に巻きつけることにより、ビーズの直径に対するDNAの長さの比はいくつになるか。ただし、DNA二重らせんの長さは、0.34 nm/bpとする。

問 3. 下線部②の変性条件は、塩基配列により異なる。以下の a) ~ c) の塩基配列を持つ18塩基対の二本鎖DNAを含む溶液の温度を徐々に上昇させると、これらの二本鎖DNAはどの順番で変性するか。解答欄に、変性が早い順に左から記号を並べよ。

- a) 5'-AGAGTCTTCTTAGCAGTA-3'
3'-TCTCAGAAGAATCGTCAT-5'
- b) 5'-TTTAGTCTTAAACAGTAAT-3'
3'-AAATCAGAATTGTCATTA-5'
- c) 5'-CGAGTCGTACGGCAGCA-3'
3'-GCTCAGCAGTGCCGTCGT-5'

問 4. ヒトゲノムには約25,000個の遺伝子が存在しているが、ヒトの体内で実際に作られるタンパク質は10万種類以上である。その理由を、下線部③のmRNAの修飾過程を踏まえ、40字以内で説明せよ。

(次頁に続く)

生 物 (問題用紙 2)

II. ヒトの肝臓や腎臓に関する次の文章を読んで、下の問いに答えよ。

肝臓や腎臓は体内環境を調節し、体液の成分を維持するのに主要な役割を果たしている。① 肝臓へ供給される血液は、肝動脈から1/3、胃・腸管・脾臓や、不要な血球を処理する役割を有する [ア] からの血液が集まる [イ] から2/3の割合となっている。肝小葉の間の組織に、肝動脈と [イ] 及び [ウ] が並走している。肝臓は、多くの物質の生成・貯蔵・分解を担うことにより、体内ホメオスタシスに寄与する。肝機能が著しく障害される疾患では、糖代謝に異常がみられる。これは、肝臓がグリコーゲンの貯蔵や糖新生に関わることにより、 [エ] の調節に重要な働きをするためである。肝臓はまた、② 血管内に水分を引きつけることに寄与する [オ] や、③ 血液凝固に関連するフィブリンノーゲンなど、多くのタンパク質を合成する。さらに、④ 赤血球の主要成分であるヘモグロビンから生成される [カ] は肝臓に運ばれ、胆汁として排泄される。その他、肝臓は薬物や有害物質の代謝にも重要である。

一方、腎臓は血液から不要な物質を排泄し、血液の成分を調節することにより、体内環境の維持に必須の役割を果たしている。腎小体は、腎臓に特異的な毛細血管である [キ] とそれを包み込む [ク] から構成される。血液は、 [キ] でのろ過され、原尿ができる。 [キ] の機能が著しく低下する [ケ] と呼ばれる状態では、人工透析が必要となることがある。

⑤ 原尿は細尿管に送られ、再吸収と排出が行われて、血液中の水分量や、グルコース・アミノ酸・無機塩類の体液濃度が一定に保たれる。生成された尿は、ぼうこうに貯められ、排尿される。この時、 [コ] を神経伝達物質とする副交感神経が排尿を促進する。

問 1. 文章中の [ア] ~ [コ] に入る最も適切な語句を、解答欄に記入せよ。

問 2. 下線部①について、全身の血液配分に対する肝臓への血液供給量の割合は、運動時にはどうなるか。

問 3. グルコース利用に関わる解糖系の最終産物で、細胞質基質からミトコンドリアに運ばれる物質は何か。

問 4. 解糖系では、グルコース1分子に対して、正味何分子のATPが生成されるか。

問 5. 下線部②で、血管内に水分を引きつける駆動力になっている力は何か。

問 6. 細胞を低張液に入れた場合、細胞の体積はどうなるか。

問 7. 下線部③について、血液凝固反応に関連した右の流れの A ~ C に入る最も適切な物質名を、解答欄に記入せよ。

問 8. 血液凝固反応に必須のイオンは何か。

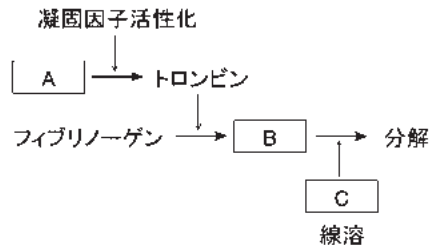
問 9. 線溶の目的は何か。40字以内で答えよ。

問 10. 下線部④について、ヘモグロビンでは、一つのポリペプチドから酸素が離れると、他のポリペプチドからも酸素が離れやすくなるが知られている。この要因は何か。

問 11. 下線部⑤について、次の物質のうち、細尿管での再吸収がほとんど起こらないもの一つを選び、記号で答えよ。

- a. 尿酸 b. ナトリウムイオン c. カリウムイオン d. カルシウムイオン e. クレアチニン

問 12. 集合管で水の再吸収を促進するホルモンで、脳内で産生されるものは何か。また、このホルモンが集合管で増加させる水チャネルは何か。



(次頁に続く)

生 物 (問題用紙 3)

III.

次の文章を読んで下の問いに答えよ。

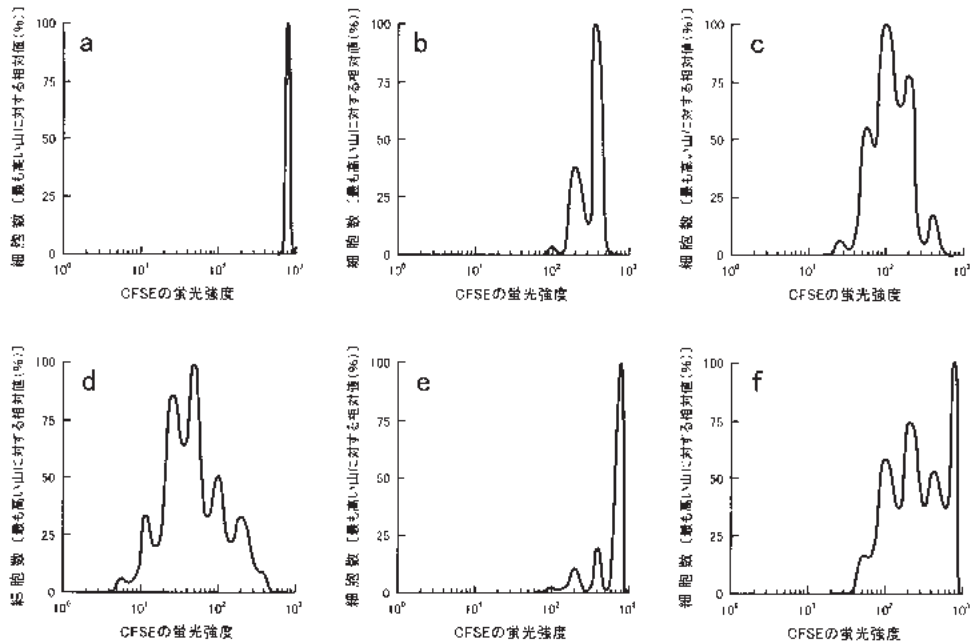
体内に侵入した異物の構造をこれに特異的な受容体によって認識し、その異物の排除後も同じ受容体を持った細胞が長く留まって、二度目の侵入に対してより速くより強い反応を起こすことにより、速やかに異物の排除を行うのが「ア」免疫反応である。ワクチンによって感染症の発症を予防できるのは、「ア」免疫反応が存在するからである。「ア」免疫反応を担うのは、「イ」と「ウ」と呼ばれる2種類の「コ」である。「ウ」の産生する抗体分子が、異物の表面に直接結合し、これを無毒化したり、マクロファージなどの「オ」細胞によって認識されやすくなりするのに対し、「イ」の持つ受容体である「カ」は、異物の構造を直接認識することはない。ウイルスに感染した細胞では、細胞内でウイルスの遺伝子産物である非自己のタンパク質が合成される。非自己タンパク質が分解されて生じた断片は、「キ」に結合して細胞表面に運ばれ、「カ」が「キ」と非自己タンパク質の断片の結合したものを認識することで、「イ」は活性化し、感染細胞を破壊する。一つの「イ」は、ただ一組の「キ」とタンパク質断片の結合物を認識する「カ」を細胞表面に出しており、体内に多数の「イ」が存在することにより、全体として侵入してくるような異物に対しても、どれかの「イ」が反応できるようになっている。ハツカネズミでは、自己の「キ」に結合したある特定の異物タンパク質断片を認識できる「イ」の割合は、およそ100万個に1個と見積もられている。このため、ある異物が初めて体内に侵入した時、これを認識した「イ」の反応を検出することは容易ではない。

特定の異物タンパク質断片を認識する「カ」の遺伝子を受精卵に導入することにより、体内の全ての「イ」が同一の異物構造に反応するようにしたハツカネズミがある。このハツカネズミの「イ」を集め、CFSEと呼ばれる色素分子を取り込ませた。無色のCFSEは細胞膜を通過して細胞内に取り込まれるが、細胞質の酵素によって分解され、強い緑色の蛍光を発するようになる。また、CFSEは安定な物質で、しかも細胞質のタンパク質と強く結合するため、いったん細胞内に取り込まれて蛍光を発するようになると、細胞分裂が起こっても細胞質分裂に際し娘細胞に均等に分配されていく。

問1. 文章中の「ア」～「キ」に入る最も適切な語句を、解答欄に記入せよ。

問2. 下線部の細胞は何と呼ばれるか。

問3. ニワトリの卵白アルブミンタンパク質に特異的な「カ」の遺伝子を導入したハツカネズミから、「イ」だけを集めてCFSEを取り込ませ、取り込まれなかったCFSEを洗い流した後、直ちに蛍光セルソーターで解析したところ、下の図aのような結果が得られた。横軸はCFSEの蛍光強度、縦軸は特定の蛍光強度を示す細胞の数を表す。こうしてCFSEを取り込ませた卵白アルブミン特異的「イ」集団に、卵白アルブミンタンパク質を加えて3日間培養した。培養後の蛍光セルソーター解析結果はどのようになるか。図a～dより一つ選べ。



(次頁に続く)

生 物 (問題用紙 4)

(Ⅲ. の続き)

問 4. 問3のようにCFSEを取り込ませた、卵白アルブミン特異的 を持つ に、同じハツカネズミの脾臓から集めた樹状細胞やマクロファージを加え、卵白アルブミンを入れて3日間培養した。培養後の蛍光セルソーター解析結果は、c のようであった。培養2日目と4日目の蛍光セルソーター解析結果はどのようであると考えられるか。図の a ~ d より一つずつ選べ。

問 5. 卵白アルブミン特異的な を持つ を卵白アルブミンと共に培養した時の反応に、問3と問4の間で違いが見られるのはなぜか。25字以内で答えよ。

問 6. 卵白アルブミンに特異的な を導入したハツカネズミの を集めて、CFSEを取り込ませた。一方で、同じハツカネズミから脾臓の樹状細胞を集め、一定濃度の卵白アルブミンを加えて1時間培養した後、よく洗って細胞の外にある卵白アルブミンを取り除いた。CFSEを取り込ませた卵白アルブミン特異的 10万個と、卵白アルブミンと培養した樹状細胞3万個を混ぜ合わせて3日間培養し、蛍光セルソーターで解析した。樹状細胞の培養時に加える卵白アルブミンの濃度が1 mlあたり0.01 μg (1 μg は、100万分の1グラム)の場合と、0.1 μg の場合で、解析結果はそれぞれ図の e と f のようであった。

e でも f でも、a と同じ蛍光強度の山が最も高いことから何が言えるか。50字以内で答えよ。

問 7. e と f とで、CFSEの蛍光強度が 8×10^3 よりも小さい山の数や高さが異なることから何が言えるか。60字以内で答えよ。

(以上)