

物理 (問題用紙 1)

解答に必要な式や答えは解答用紙の指定されたところに書きなさい。

I 以下の空欄 ~ に適切な表式, 値を入れよ。また, は解答欄にグラフを記入せよ。

図1のように質量がないばね定数が k のばねにつながれた小球A, Bについて考えよう。ばねの右端に質量 M の小球A, 左端に質量 m の小球Bをつけ, 水平でなめらかな x 軸に沿ったレールにおいた。 x 軸の正の向きを右にとり, 小球Aの位置を x_A , 小球Bの位置を x_B , 小球Aの速度を v_A , 小球Bの速度を v_B とする。なお, 速度は速度ベクトルの x 成分で記す。

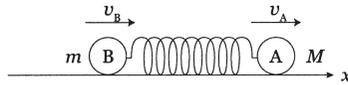


図1

(1) まず, 時刻 $t = 0$ でばねを自然長から $a (> 0)$ 縮ませて静かに離れた。ばねがはじめて自然長に戻ったときの速度は $v_A =$, $v_B =$ である。

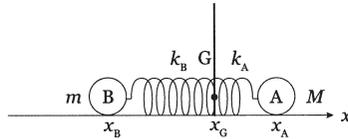


図2

図2のように2球の重心 G の位置を x_G とする。重心 G は, ばねを $x_G - x_B : x_A - x_G =$: $1 -$ に内分する。運動量保存の法則から重心 G は動かないので, ばね定数 k_A の重心 G の右側のばねに小球Aがついた運動と, ばね定数 k_B の左側のばねに小球Bがついた運動の2つに分けて考えてみよう。

ばねの各部分にはたらく力は同じで, 左側のばねは全体のの比率で伸縮するので, ばね定数 k_B は $\times k$ である。よって, 小球Bの質量 m を考え, 左側の単振動の角振動数 ω は M, m, k を使って表すとである。

同様に考えると右側の単振動の角振動数もで, 小球2つの伸縮は協調して運動していることが確認できる。

いま, $M = 0.3$ [kg], $m = 0.2$ [kg], $k = 0.12$ [N/m], $a = 0.05$ [m] のとき $\omega =$ [rad/s] となる。

$t = 0$ で $x_A = 0.08$ [m], $x_B = 0.03$ [m] のとき, グラフに x_A, x_B, x_G を時間 t ($0 \leq t \leq 2\pi$) [s]の関数として概形を描け。なお, 解答欄のグラフに記載された横軸と縦軸の値に注意せよ。

(2) つぎに, ばねを自然長から $a (> 0)$ 縮ませて, 全体を同じ速度 $V (> 0)$ で打ち出した。この後, 小球Aと小球Bは振動しながら x 軸の正の向きに進む。打ち出した後の小球Aと小球Bの速度をそれぞれ

$$v_A = V_A + V, \quad v_B = V_B + V$$

と書き直そう。ここで, V_A と V_B は重心 G と同じ速度 V で平行移動する人が見たときのそれぞれの小球の速度である。重心 G の速度は V , 全運動量は $(M + m)V$ で一定であるから次の関係式が成立する。

$$MV_A + mV_B = 0$$

これを考慮すると, 全運動エネルギー K から, 重心 G に2つの小球の質量が集まったと考えたときの運動エネルギー $K_G = \frac{1}{2}(M + m)V^2$ を差し引いたエネルギー $K - K_G$ を M, m, V_A を用いると

$$K - K_G =$$

と計算される。ばねが自然長になったときの $K - K_G$ の値は, $t = 0$ での弾性力による位置エネルギーの値と等しくなる。

(1) の M, m, k, a の数値を用いると, $0 < V <$ [m/s] のとき, 小球A, 小球Bは行ったり戻ったりを繰り返しながら進む。 [m/s] $< V <$ [m/s] のとき, 小球Aは x 軸の正の向きだけに進むが, 小球Bは行ったり戻ったりを繰り返しながら進む。 [m/s] $< V$ のとき, 小球A, 小球Bとも x 軸の正の向きだけに進み, 戻らない。

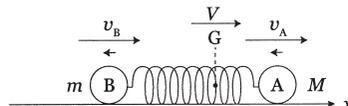


図3

物 理 (問題用紙 2)

解答に必要な式や答えは解答用紙の指定されたところに書きなさい。

II 以下の空欄 ～ に適切な式や数値または文章を入れよ。ただし、 については解答欄中の適切な語句を選択せよ。また、数値については有効数字2桁で答えよ。

(1) 図1は電球に電圧を加えた場合の、電球を流れる電流 I と電圧 V の関係を示したものである。図中破線は、電流0における接線である。スイッチを入れた直後ではオームの法則にしたがって、 I と V の関係は破線のような直線で表せる。一方、十分に時間が経過すると、 I が V に比例せず、実線のような曲線になる。その理由は (40字以内)である。

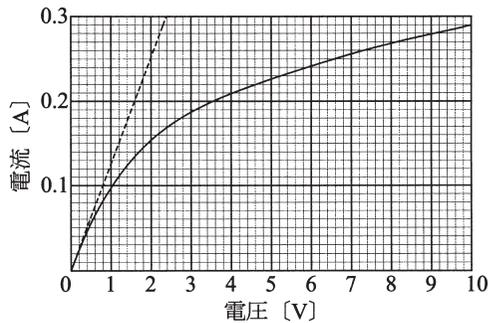


図1

いま、フィラメントが室温の状態にある。図2のように抵抗値 $20\ \Omega$ の抵抗を電球と $9.0\ \text{V}$ の電池に直列につないだ。電池の内部抵抗およびスイッチと導線の抵抗は無視できるものとする。スイッチを閉じた直後での電球の抵抗は Ω であり、その時の電流値は A である。スイッチを閉じた後、電球は明るくなるにしたがって、電流の値は (増加または減少) する。十分に時間が経過すると、回路に流れる電流は一定になる。このとき、回路に流れる電流 I と電球にかかる電圧 V の関係を表す式は $I =$ になる。これと図1より、平衡状態での電球に流れる電流は A であり、電球にかかる電圧は V である。一方、フィラメントが室温の状態で図3のように電球と抵抗を並列につないだ場合、スイッチを閉じた直後での電球の抵抗は Ω であり、その時の電流値は A である。また、十分に時間が経過した時に電球に流れる電流は A となる。

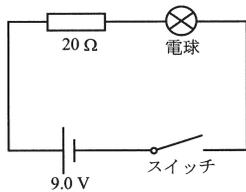


図2

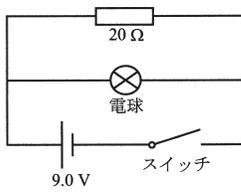


図3

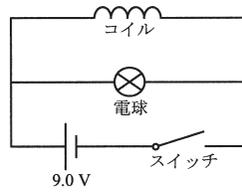


図4

(2) 図4のように、自己インダクタンス $L = 3.0\ \text{H}$ で抵抗値 $20\ \Omega$ のコイルを電球と並列に接続した。スイッチを入れて十分に時間が経過すると、コイルに流れる電流は A、電球に流れる電流は A になる。また、このとき電球の抵抗は Ω である。最後に回路のスイッチを切ると、電球に起こる現象は (40字以内)である。

物 理 (問題用紙 3)

解答に必要な式や答えは解答用紙の指定されたところに書きなさい。

III 以下の空欄 から に適切な数式、値、語句を入れよ。

(1) 原子核の崩壊について考える。 α 崩壊では α 粒子が放出されるので、原子の質量数が だけ減少し、原子番号が だけ減少する。また、 β 崩壊 (β^- 崩壊) は原子核中の1個の が と電子と反ニュートリノに変わることによって起こる。このときに、放出される電子の流れが β 線である。この場合、質量数は変わらず、原子番号が だけ増加する。 α 崩壊または β 崩壊した原子核は別の原子核となるが、その原子核も不安定である場合が多く、安定な原子核となるまで崩壊を続ける。このように次々と α 線、 β 線を放出して崩壊していく一連の放射性同位体の原子核の系列のことを崩壊系列とよぶ。例えば、ウラン系列では放射性同位体 ${}^{238}\text{U}$ (ウラン) は 回の α 崩壊と 回の β 崩壊により安定な ${}^{206}\text{Pb}$ (鉛) となる。

(2) 次に α 粒子の速さとエネルギーについて考える。静止している原子核A (質量 M_A [kg]) が α 崩壊して別の原子核B (質量 M_B [kg]) に変わる。質量とエネルギーの等価性および崩壊の前後での運動量保存の法則から、 α 粒子 (質量 m [kg]) の速さは [m/s] と求められる。ただし、真空中の光速度を c [m/s] とする。例えば、静止している質量数200の原子核Aが α 崩壊した時、 α 粒子の運動エネルギーは崩壊後の原子核Bの運動エネルギーの 倍となる。

(3) 次にRa (ラジウム) 原子核からRn (ラドン) 原子核への崩壊の時間変化を考える。時刻 t [s] でのRaの原子核数を $N_A(t)$ 個とすると、時刻 $t=0$ でのRaの原子核数 N_0 個および定数 λ [s^{-1}] を用いて

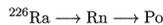
$$N_A(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

と表される。原子核数 $N_A(t)$ が $1/2$ なるまでの時間を半減期といい、 T [s] と記せば、 $\lambda =$ である。時刻 t と時刻 $t + \Delta t$ の間に減少するRaの原子核数は λ を用いて

$$\Delta N_A =$$
 $\times N_A(t)$

となる。ただし、 Δt は $1/\lambda$ より十分小さいものとし、関数 e^{-x} は x が1より十分小さい場合には $e^{-x} \approx 1 - x$ と近似しよ。

(4) 下のウラン系列のRa (ラジウム) は α 崩壊をしてRn (ラドン) に、さらに α 崩壊をしてPo (ポロニウム) になる。



N_A をRa (ラジウム) の原子核数、 N_B をRn (ラドン) の原子核数とする。Ra (ラジウム) の半減期 ($T_A = 1600$ 年) がRn (ラドン) の半減期 ($T_B = 3.8$ 日) に比べて非常に長いとき、密封された容器の中にRa (ラジウム) だけを入れてある程度時間が経った後では、微小時間 Δt にRn (ラドン) が生成される数と崩壊する数が等しくなる。つまり、

$$\frac{\Delta N_A}{\Delta t} = \frac{\Delta N_B}{\Delta t}$$

の関係がある。このとき、Ra が 6.0×10^{23} 個あったとすると、Rn の原子核数は 個ある。ただし、1年は365日で計算せよ。

化 学 (問題用紙 1) 問題用紙は 3 枚

必要があれば次の値を使用せよ。アボガドロ定数 $N_A = 6.022 \times 10^{23} / \text{mol}$, $1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$, 原子量 $\text{H} = 1.00$, $\text{C} = 12.0$, $\text{N} = 14.0$, $\text{O} = 16.0$, $\text{F} = 19.0$, $\text{S} = 32.1$, $\text{K} = 39.1$, $\text{Ca} = 40.1$, $\text{Mn} = 55.0$, $\sqrt{2} = 1.414$, $\sqrt{3} = 1.732$

I 次の問(1), 問(2)に答えよ。

問(1) 次の表は, 金属イオンの水溶液に対する試薬との反応をまとめたものである。空欄 (A) ~ (C) に該当する金属イオンを, 下記の金属イオンの中から答えよ。また, 空欄 (D) ~ (G) に当てはまる最も適切な反応の様子を, 下記の選択肢 ① ~ ⑧から一つ選んで番号で答えよ。同様に, 空欄 (H) ~ (J) に当てはまる最も適切な反応の様子を, 下記の選択肢 ①あるいは⑨ ~ ⑫から一つ選んで番号で答えよ。ただしいずれも同じ番号を複数回選んでも良い。

[金属イオン] Ag^+ , Al^{3+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Mn^{2+} , Na^+ , Pb^{2+}

[反応の様子] ①変化しない ②白色沈澱が生成し, その後変化しない ③緑白色沈澱が生成し, その後変化しない ④青白色沈澱が生成し, その後変化しない ⑤暗褐色沈澱が生成し, その後変化しない ⑥白色沈澱が生成し, その後沈澱は溶けて無色溶液となる ⑦青白色沈澱が生成し, その後沈澱は溶けて深青色溶液となる ⑧暗褐色沈澱が生成し, その後沈澱は溶けて無色溶液となる ⑨白色沈澱が生成する ⑩黒色沈澱が生成する ⑪黄色沈澱が生成する ⑫淡桃色沈澱が生成する

試薬との反応 \ 金属イオン	Zn^{2+}	(A)	(B)	(C)
希塩酸を加え, その後加熱する	変化しない	変化しない	白色沈澱が生成し, その後沈澱は溶けて無色溶液となる	変化しない
少量のNaOH水溶液を加え, その後過剰のNaOH水溶液を加える	白色沈澱が生成し, その後沈澱は溶けて無色溶液となる	青白色沈澱が生成し, その後変化しない	(D)	白色沈澱が生成し, その後沈澱は溶けて無色溶液となる
少量のアンモニア水を加え, その後過剰のアンモニア水を加える	(E)	(F)	白色沈澱が生成し, その後変化しない	(G)
酸性で硫化水素水を加える	(H)	黒色沈澱が生成する	(I)	変化しない
塩基性で硫化水素水を加える	(J)	黒色沈澱が生成する	黒色沈澱が生成する	白色沈澱が生成する

問(2) 以下の文章を読み, 設問(a)~(h)に答えよ。答えの有効数字は3桁とする。

市販のオキシドール中の過酸化水素の濃度を調べるために, 実験テキストに従い, 以下の滴定操作を行った。

過マンガン酸カリウム約 1.6 g を上皿天秤で秤取り, 水 500 mL を加えて溶解させた。一方, シュウ酸二水和物 $(\text{COOH})_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ を 1.26 g 正確に秤量し, 100 mL メスフラスコに移して水で溶解し, 標線まで水を加えてシュウ酸水溶液を調製した。a このシュウ酸水溶液から 15.0 mL をビーカーにとり, 希硫酸を加えて酸性にしたのち約 70°C に温め, 先の過マンガン酸カリウム水溶液をビュレットから滴下したところ, 28.5 mL 加えた時に過マンガン酸カリウムの赤紫色がわずかに残る状態になった。次に, 市販のオキシドール 10.0 mL を 200 mL メスフラスコに入れ, 標線まで水を加えて 200 mL とした。b このオキシドール水溶液から 15.0 mL をビーカーにとり, 先ほどの過マンガン酸カリウム水溶液を用いて滴定したところ, 溶液中に褐色の沈澱が生成し, c 途中で過マンガン酸カリウム水溶液の滴下をやめても泡がしばらく出続けた。d その後, 滴下を再開し, 先の滴下量と合わせて 4.5 mL 滴下したところで, 過マンガン酸カリウムの赤紫色がわずかに残る状態になった。ここで, 実験テキストの記述と様子が異なることから, 希硫酸を加えていないことに気づいた。そこで, 先程と同様の実験を希硫酸で酸性にしたのち行なったところ, 褐色の沈澱が生成することもなく, 12.4 mL 滴下したところで過マンガン酸カリウムの赤紫色がわずかに残る状態になった。

- シュウ酸水溶液の濃度は何 mol/L か。
- 下線部 A の滴定において, 起こっている反応を化学反応式で表せ。
- 過マンガン酸カリウム水溶液の濃度は何 mol/L か。
- 下線部 B の滴定において, 過マンガン酸イオンの還元反応は中性においては酸化マンガン (IV) を生じる。このときの過マンガン酸イオンと過酸化水素の化学反応式をかけ。
- 下線部 C で, 起こっている反応を化学反応式で表せ。
- 下線部 B および D で, 過マンガン酸イオンと反応した過酸化水素は何 mol か。
- 下線部 B, C, D の一連の実験で発生した酸素は合計何 mol か。
- この実験に用いた市販のオキシドール中の過酸化水素の質量パーセント濃度は何%か。オキシドールの密度を 1.01 g/cm^3 とする。

化 学 (問題用紙 2)

II 次の問(1), 問(2)に答えよ。

問(1) 次の文章を読み, 以下の設問(a)~(c)に答えよ。

電気を導く性質をもつ物質には, (ア) 価電子が隣接する原子の最外殻を伝わって自由に動くものと (イ) 陽イオンと陰イオンが移動するものがある。次の物質A~Tには, 常温常圧 (25°C, 1気圧) で電気を導く性質をもつものと電気をほとんど流さないものがある。また, 固体のものもあれば液体や気体のものもある。

A ダイヤモンド	B グリセリン	C タングステン	D ナトリウム	E 炭酸水素ナトリウム
F オゾン	G 酸化鉄 (III)	H トルエン	I 酢酸エチル	J 希硝酸
K ネオン	L 銀	M 水酸化ナトリウム	N フッ素	O アンモニア水
P 塩化水素	Q 水銀	R 黒鉛	S アルミナ	T 硫酸銅 (II) 五水和物

- (a) 常温常圧で電気を導く性質をもつ物質を A~Tの中から7つ選び, 解答欄に○を記せ。
 (b) (a)で選んだ物質を, それぞれ下線部 (ア) または下線部 (イ) のどちらかの場合に分類し, A~Tの記号で答えよ。
 (c) 常温常圧で固体の物質は, A~Tの中にいくつあるか。

問(2) 次の説明を読み, 以下の設問(a)~(d)に答えよ。

フッ化カルシウムは光学レンズの材料に使われ, その組成式は (ア) である。図1は, フッ化カルシウムの単位格子を表したものである。黒い球のみに着目するとその配列は面心立方格子である。白い球はそれぞれ4個の黒い球に接している。フッ化カルシウムの単位格子には, 黒い球で示された (イ) が (ウ) 個, 白い球で示された (エ) が (オ) 個含まれる。

図2は, 図1の単位格子の頂点A, B, Cを含む断面を描いたものである。単位格子の立方体の最も離れた2つの頂点を結ぶ体対角線AB上では, 陽イオンと陰イオンが2箇所で見られる。単位格子の辺の長さを a とすると, 結合距離にあたる線分ADの長さは a を用いて (カ) と表すことができる。フッ化カルシウムの結合距離は0.233 nmなので, 単位格子の辺の長さは $a =$ (キ) nm である。単位格子の体積は $a^3 = 1.56 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$ なので, フッ化カルシウムの密度は (ク) g/cm^3 である。

- (a) (ア) にあてはまる組成式を答えよ。
 (b) (イ) と (エ) にあてはまる化学種の名称と化学式を答えよ。また, (ウ) と (オ) に入る適切な数を答えよ。
 (c) (カ) にあてはまる式を答えよ。
 (d) (キ) と (ク) にあてはまる数値を答えよ。有効数字を3桁とする。

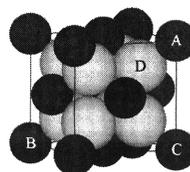


図1

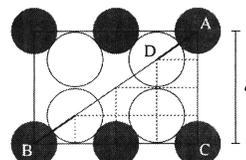


図2

III 次の問(1), 問(2)に答えよ。

問(1) 次の文章を読み, 以下の設問(a)~(c)に答えよ。

メタンはアルカンの中で最も簡単な構造をもつ空気よりも軽い無色無臭の引火性のある気体であり, 天然ガスの主成分として多量に産出され, 都市ガスに利用されている。実験室では, メタンは, 酢酸ナトリウムを水酸化ナトリウムとともに熱すると得られ, 水に溶けにくいので [1] で捕集する。

メタンハイドレートは, 水分子のつくるカゴ状構造の中にメタン分子が取り込まれた固体物質 (組成式 $4\text{CH}_4 \cdot 23\text{H}_2\text{O}$) であり, 外見は氷やドライアイスと似ている。メタンハイドレートに点火するとメタンが燃え, 二酸化炭素と水が生成する。メタンハイドレートは炭素含有量が低いので, 燃焼時に排出される二酸化炭素の量は, 石炭に比べて少ない。メタンハイドレートは深海の海底面下や極地方の永久凍土などに多量に存在し, 将来のエネルギー資源として注目されている。

- (a) [1] にもっとも適切な語句を入れよ。
 (b) メタンハイドレートが生成する条件として最も適当なものを次の解答群から1つ選べ。

【解答群】 低温・低圧 低温・高圧 高温・低圧 高温・高圧

- (c) 下線部Aを化学反応式で示せ。
 (d) 下線部Bを化学反応式で示せ。

化 学 (問題用紙3)

III (つづき)

(e) 下線部Cに関連して、石炭の組成式が近似的に $C_{135}H_{96}O_9NS$ と表される場合、石炭が完全燃焼したときに生成する二酸化炭素は、同じ重量のメタンハイドレートが完全燃焼したときに生成する二酸化炭素の何倍か。小数点第1位まで解答せよ。

問(2) アミノ酸に関する次の文章を読み、以下の設問(a)~(d)に答えよ。

アミノ酸は、酸性を示すカルボキシ基と塩基性を示すアミノ基をもち、酸と塩基の両方の性質を示す。a**酸触媒存在下**でアミノ酸にアルコールを作用させると、カルボキシ基の部分が [1] に変わり、酸としての性質を失う。また、b**無水酢酸**を作用させると、アミノ基の部分が [2] に変わり、塩基としての性質を失う。

アミノ酸は水溶液中で陽イオン・双性イオン・陰イオンが平衡状態にあり、平衡混合物として存在する。その組成はpHによって変化する。図1のように、外部から塩基を加えると H^+ を失って平衡が右に移動し、酸を加えると H^+ と結合して平衡が左に移動する。この平衡は、酸性アミノ酸であるアスパラギン酸と塩基性アミノ酸であるアルギニンでは、少し複雑になる。

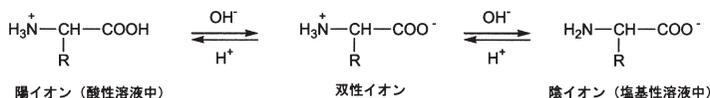


図1 アミノ酸の電離平衡 (Rは側鎖をあらわす)

アスパラギン酸は、図2に示

すように、強い酸性溶液中では①が多く存在し、pHが大きくなるにつれて多く存在するイオンが②→③→④の順に変化する。アスパラギン酸の2個のカルボキシ基を比較すると、側鎖Rに含まれるカルボキシ基の方が弱い酸性を示す。

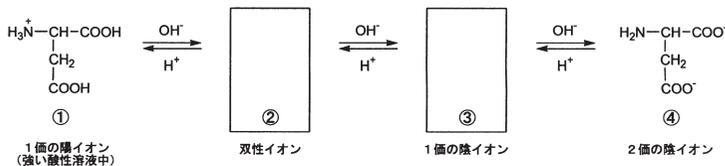


図2 アスパラギン酸の電離平衡

一方、アルギニンは、図3に示すように、強い酸性溶液中では⑤が多く存在し、pHが大きくなるにつれて多く存在するイオンが⑥→⑦→⑧の順に変化する。アルギニンの2個の塩基性の解離基(アミノ基とグアニジル基)を比較すると、側鎖Rのグアニジル基の方が強い塩基性を示す。

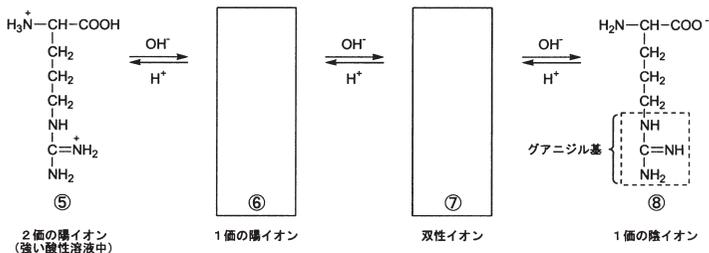


図3 アルギニンの電離平衡

アミノ酸の水溶液が特定のpHになると、陽イオン・双性イオン・陰イオンの電荷の総和が全体として0となる。このようなpHを [3] という。アミノ酸はそれぞれ固有の [3] をもち、この特性を利用してアミノ酸を分離し、種類を特定できる。

(a) [1] ~ [3] にもっとも適切な語句を入れよ。

(b) 下線部Aについて、アスパラギン酸およびアルギニンに酸触媒存在下でメタノールを作用させて得られる生成物の構造式をそれぞれ書け。

(c) 下線部Bについて、アスパラギン酸およびアルギニンに無水酢酸を作用させて得られる生成物の構造式をそれぞれ書け。ただし、アルギニンの側鎖のグアニジル基は反応しない。

(d) ②, ③, ⑥, ⑦として考えられるイオンの構造式を書け。

生 物 (問題用紙 1)

< 問題用紙は3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.

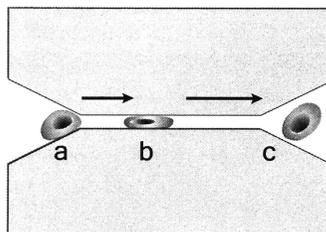
次の文章を読んで下の問いに答えよ。

健康なヒトの血液中には、 1mm^3 あたりおよそ [ア] 万個の赤血球が存在する。成人では赤血球は [イ] で産生され、その細胞質基質には酸素分子の運搬に関わる [ウ] が高い濃度で含まれている。[ウ] は、[エ] と呼ばれる鉄イオンを含む色素分子と、[オ] と呼ばれるタンパク質から成る複合体である。健康なヒトでは、赤血球を含む血球成分が血液の体積のおよそ [カ] %を占めている。

ヒトの赤血球は周囲を細胞膜に囲まれた、直径約 [キ] μm で円盤状の細胞であるが、その中央部は凹んでいる。

① 赤血球は染色体DNAを包む [ク] や細胞の呼吸に必要な [ケ] などの細胞小器官を欠くが、[ウ] の機能を正常に維持するためにも細胞質基質のイオン濃度を保つ必要があり、その細胞膜には能動輸送の働きがある。

ヒトの組織に血液を運ぶ毛細血管は、一層の [コ] で縁取られており、最も細いところではその内径が赤血球の直径を下回る。従って、赤血球は円盤状の形を維持したまま毛細血管の中を通り抜けることはできない。赤血球が毛細血管の中を通り抜ける様子を再現するため、細胞膜に傷害を与えない透明な材料を用いて右の図のような血管系の模型を作製し、その中に血液を流してみた。経路の最も細い部分の断面は、赤血球の直径の半分の長さを一辺とする正方形である。② 図の向かって左から流れ込んだ赤血球(a)は、経路の細い部分でbのように円筒状に変形したが、細い経路を通り抜けるとcのように中央部の凹んだ円盤状に戻った。



問 1. 文章中の [ア] ~ [コ] に入る最も適切な語句または数値を、解答欄に記入せよ。但し、[ア]・[カ]・[キ] の数値については、以下の値から選んで答えること。

1, 2, 4, 8, 12, 30, 45, 65, 80~100, 200~250, 400~500, 800~1000

問 2. 下線部①について、[ケ] を欠く赤血球が能動輸送の機能を保つためには、細胞質基質のみでATPを産生する必要がある。赤血球の細胞質基質に存在し、ATPの産生に関わる代謝系は何か。

問 3. 健康なヒトの血液中を流れている赤血球の寿命はどのくらいか。

問 4. 赤血球が球状ではなく、中央部の凹んだ円盤状の形態を持つことは、その機能の上でどのような利点があるか。40字以内で答えよ。

問 5. 赤血球が中央部が凹んだ円盤状の形態を維持しているのは、その細胞質基質に太さや構成するタンパク質が互いに異なる複数種類の繊維状構造物が存在し、それらが互いにつながり合って細胞膜の下に枠組みのような構造を形成しているからである。細胞の形の維持に関与する、この繊維状構造物を一般に何と呼ぶか。また、これに属するタンパク質繊維の名称を二つ挙げよ。

問 6. 下線部②のように、狭い通路を通るとき大きく変形した赤血球が、通路を出ると元の円盤状に戻ったのは、赤血球の細胞膜のすぐ内側にある繊維状構造物が、押し潰されても元に戻るような並び方をしているためであると考えられる。赤血球に下線部②のような性質を与えるためには、細胞膜のすぐ内側にある繊維状構造物がどのように並んでいけば良いか。50字以内で答えよ。

問 7. 赤血球の細胞膜のすぐ内側にある繊維状構造物を構成するタンパク質の遺伝子に異常があると、赤血球が中央部の凹んだ円盤状の形態を保つことができず、球形になってしまうことがある。これを遺伝性球状赤血球症と呼ぶ。遺伝性球状赤血球症患者の赤血球は、毛細血管を通過したあと元の形に戻ることができず、しばしば小さく引きちぎられるようになる。また、この疾患の患者は血液中の赤血球数が減少した貧血が続くことが多いが、胃の横にあるひ臓と呼ばれる器官を手術によって摘出すると貧血が改善する。このことから、ひ臓は普段どのような働きをしていると考えられるか。25字以内で答えよ。

(次頁に続く)

生 物 (問題用紙 2)

II.

次の文章を読んで下の問いに答えよ。

眼は光刺激を受容する感覚器である。ヒトの眼では、外界からの光は角膜、前眼房、瞳孔、水晶体、ガラス体を順に通過して網膜に達し、網膜に並んでいる視細胞で受容される。網膜に入る光の量は、瞳孔を囲む [ア] の伸縮により、瞳孔の大きさを変えることで調節され、暗い場所では瞳孔が [イ] する。遠方の物体からの光は、ほとんど平行光線として眼に入射し、①途中で屈折して、網膜上に焦点を結ぶ。近くの物体を見るときは、水晶体の周辺部にある [ウ] が収縮して、水晶体を引っ張っている [エ] がゆるみ、水晶体が [オ] になって、網膜上に像を結ぶように調節する。

網膜で生じた興奮は、視神経によって脳へ伝えられる。視神経は、網膜の各部分から伸びてくる多数の視神経繊維によって構成されている。②視神経繊維が束になって出ていく部分の網膜には、視細胞が分布していない。

視神経が脳内に入ると、間脳の直前で視神経繊維の半分が左右交差して反対側へ向かう。左右それぞれの眼の、鼻側の網膜からの視神経繊維は交差して、反対側の間脳へ向かう。耳側の網膜からの視神経繊維は交差しないで、そのまま同側の間脳へ向かう。左右の間脳からは、そのまま同側の大脳皮質視覚野へ信号が伝えられる。したがって、右の視覚野へは、左眼の網膜の [カ] 半分に映った像と、右眼の網膜の [キ] 半分に映った像が伝えられることになる。

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。ただし、[カ] と [キ] には、左または右のいずれかを入れよ。

問 2. 下線部①に関して、水晶体以外に眼に入射した光の屈折に関わっているのはどこか。角膜、前眼房、瞳孔、ガラス体より一つ選べ。

問 3. 網膜には、2種類の視細胞が存在する。そのうち、色の区別に関与するのは何細胞か。また網膜の周辺部に多く分布しているのは何細胞か。

問 4. 明るい場所から暗い場所に入るとすぐは物が見えにくい、やがて視細胞の感度が上昇して、しだいに見えるようになる。この現象を何と呼ぶか。また、このとき、最初に感度が上昇する視細胞は何か。

問 5. 下線部②の、視細胞が分布していない網膜の部分は何と呼ぶか。

問 6. 右の視覚野が損傷すると、外界の見え方はどのようにになると考えられるか。10字以内で答えよ。

III.

次の文章を読んで下の問いに答えよ。

カエルの未受精卵は予め極性を持っており、動物極-植物極軸は将来の胚の [ア] 軸となる。[イ] の密度が低く黑色素の多い [ウ] 極側から精子が侵入して受精が起こると、精子侵入点の反対側の卵表面の色が変化して [エ] を生じる。これにより精子侵入点を [オ] 側とする [カ] 軸が決定される。これと同時に卵の左右も決まるが、実際に左右軸に沿った非対称構造が形づくられるのは、原腸形成の後期からである。この時期には、原口背唇にノード流と呼ばれる右から左への一定方向の細胞外液の流れが生じる。次頁の図Aは、カエル胚の原口背唇に相当するマウス(ハツカネズミ)胚の原始結節(ノード)領域の左右軸断面の模式図である。ピット細胞やクラウン細胞がもつ繊毛の運動によってノード流が生じ、下流にあるクラウン細胞の繊毛が、水流による①機械的な刺激を受容し細胞内の信号に変える。これが、体の左側をつくる最初のスイッチとなると考えられている。②クラウン細胞が受容した情報は側板中胚葉に送られ、ノーダルの発現を促す。ノーダルは、カエルの胞胚で [キ] を誘導する物質としても知られる分泌タンパク質である。③ノーダルは、ノーダル遺伝子の発現促進に働き、自らの発現量を迅速に増やすとともに、左側に特徴的な内臓の形作りを進めるための調節タンパク質の発現を促す。

非対称な左右をつくる上で、ノードの繊毛や液流が果たす役割を調べるため、以下のような実験を行った。

(次頁に続く)

生 物 (問題用紙 3)

(前頁から続く)

【実験 1】 図 B のように、正常なノード流と逆向きの人工的な流れを与えると、右側の側板中胚葉にのみノードルの発現がみられた。

【実験 2】 微小管と相互作用するモータータンパク質には、キネシンや ク がある。キネシンの一つを欠損した遺伝子改変マウスでは、図 C のように、ノードの繊毛が形成されない。このマウスでは、側板中胚葉におけるノードルの発現が見られなかった。

【実験 3】 上の実験 2 と同じ遺伝子改変マウスのノードに、図 D のように人工的な左向きの流れを与えた場合、側板中胚葉におけるノードルの発現は見られなかった。

【実験 4】 ビット細胞でのみ繊毛を欠く遺伝子改変マウスを作成した。このマウスでは、左側の側板中胚葉にノードルの発現が見られた。

	側板中胚葉のノードル発現
(A)	左側に発現
(B)	右側に発現
(C)	発現なし
(D)	発現なし

問 1. 文章中の ア ~ ク 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のように、繊毛などの細胞の突起物が物理的な刺激を受容する例は、ヒトの感覚器にもみられる。その例となる感覚器の名前と刺激を受容する細胞名を、解答欄に記入せよ。

問 3. 下線部②に関して、次の(1)の a ~ g の中で主に側板中胚葉に由来するものを 全て 選び、解答欄に記号で答えよ。また、腸を構成する(2)の a ~ g の中で、側板中胚葉に由来するものを 全て 選び、解答欄に記号で答えよ。

- (1) a. 表皮 b. 脊髄 c. 脊索 d. 骨格筋 e. 腎臓 f. 心臓 g. 肝臓
 (2) a. 腸上皮 b. 結合組織 c. 血管 d. リンパ管 e. 内臓筋 f. 腸管神経 g. 腸間膜

問 4. 下線部③のように、ある反応系の産物が上流の反応に働きかけて産物の生成を高める方向に働く調節を何と呼ぶか。
 問 5. ノードの繊毛基部は、中心粒と同じ微小管の配置を示す。微小管の配置がわかるような繊毛基部の断面図を、解答欄に描け。

問 6. 実験 1 ~ 4 の結果の解釈として適切なものを次の a ~ e の中から 全て 選び、解答欄に記号で答えよ。ただし、実験 2 ~ 4 の遺伝子改変によって直接影響を受けるのは、ノードの繊毛の形成の有無だけであることが、他の実験から確かめられているものとする。

- a. クラウン細胞だけではノード流は起こらない。
 b. ビット細胞だけではノード流は起こらない。
 c. 側板中胚葉におけるノードルの発現にビット細胞の繊毛は必須でない。
 d. クラウン細胞の繊毛がノード流の受容に必須である。
 e. 実験 4 のマウスのノードに、左から右への人工的な流れを与えると、ノードルの発現は見られないと予想される。

(以上)