

令和 3 年度
前期日程
理科問題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{ll} \text{物理} & 2 \text{ ページから } 15 \text{ ページ} \\ \text{化学} & 16 \text{ ページから } 26 \text{ ページ} \\ \text{生物} & 27 \text{ ページから } 42 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 5 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはならない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

令和3年度個別学力検査等

問題訂正

【 前期日程 理科（物理） 】

・問題冊子 5 ページ 問4 1行目

(誤)「図3に示すように、半径 r' ($R_1 > r' > R_0$) の位置に・・・」

(正)「図3に示すように、ワイヤー上の半径 r' ($R_1 > r' > R_0$) の位置に・・・」

・問題冊子 13 ページ II. 1行目

(誤)「・・・ただし、外力はさせず、 $F=0$ とする。・・・」

(正)「・・・ただし、外力は作用させず、 $F=0$ とする。・・・」

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物 理 問 題

(解答はすべて物理解答用紙に記入すること)

〔 1 〕 地球を周回する物体の運動について考えよう。

赤道上空の円軌道を地球の自転と同じ向きに同じ周期で周回している人工衛星は静止衛星と呼ばれ、地上からは静止して見える。静止衛星は気象観測や放送・通信など様々な目的に利用されているが、地上から宇宙空間へ到達するワイヤーを静止衛星として周回させることができれば、このワイヤーを使って宇宙空間へ人や物資を運ぶことのできる「軌道エレベーター」を実現できる可能性がある。

ここでは、静止衛星が地球を周回する角速度を ω_s とおき、地球の質量を M 、地球の半径を R_0 、万有引力定数を G とする。さらに、地球の中心からの距離に比べると大きさを無視することのできる小さな静止衛星が、地球を周回する円軌道の半径を R_s と表すことにする。

ただし、万有引力については、地球と地球を周回する物体の間にはたらく引力のみを考え、物体同士にはたらく引力は無視する。地球は球形であるとし、太陽や月など地球以外の天体による影響は考えない。また、地球の大気による影響も無視する。

I. 以下の問に答えよ。

問 1 ω_s の値をラジアン毎秒 [rad/s] の単位で求めよ。ただし、有効数字は1桁とせよ。

問 2 図1のように、質量 m の小さな人工衛星が、静止衛星として地球を周回している。 m , M , G , ω_s のうち、必要なものを用いて R_s を表せ。

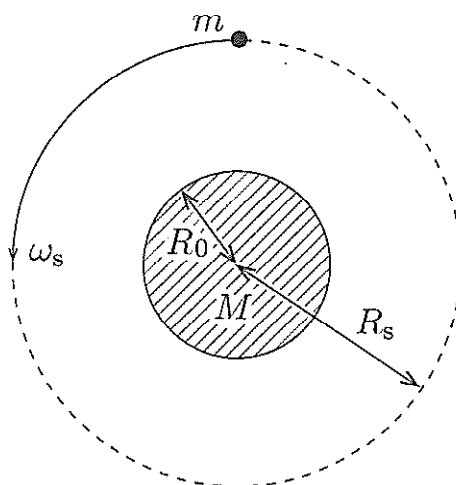


図 1

II. 質量 m の小さな人工衛星を R_s とは異なる半径の円軌道上で運動させると、この人工衛星の運動は、地上から静止して見える静止衛星としての条件を満たさない。しかし、図2に示すように、鉛直で下端が赤道上的の地表面に固定されたワイヤーを、この人工衛星に接続して適切な初速度を与えれば、 R_s よりも大きな半径 R_1 の円軌道上であっても、人工衛星を静止衛星として運動させることができる。

以下の問に答えよ。ただし、ワイヤーは伸び縮みせず、その質量を無視してよいものとする。

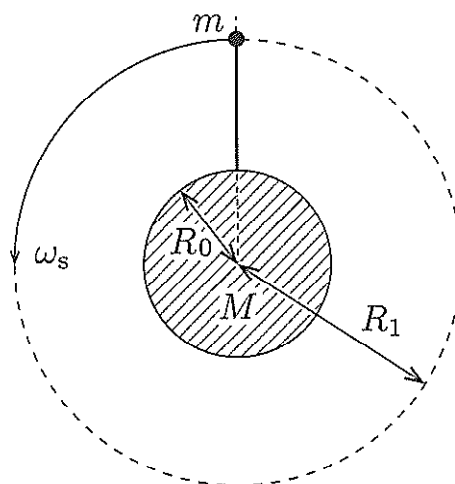


図 2

問 3 図2において、ワイヤーにはたらいっている張力の大きさを R_0 , R_1 , m , M , G , ω_s のうち、必要なものを用いて表せ。

問 4 図3に示すように、半径 r' ($R_1 > r' > R_0$) の位置に質量 m' をもつ小物体をとりつけた。このとき、ワイヤーと人工衛星は地上から見て静止したままであった。このあと、静かに小物体をワイヤーから切り離すと、小物体はワイヤーとは独立に運動し地球から無限遠へと遠ざかった。小物体を、地球を周回する軌道から離脱させ、再び地球へ接近させないために必要な最小の r' を R_0 , R_1 , m , m' , M , G , ω_s のうち、必要なものを用いて表せ。

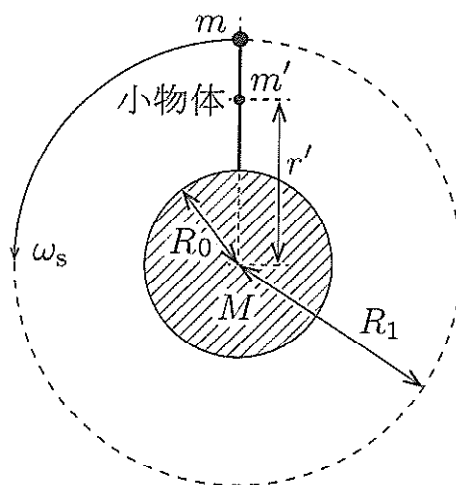


図 3

III. 次に、ワイヤーが質量をもつ場合を考えよう。図4上に示すように、赤道上の地表面から単位長さあたり λ の質量をもつワイヤーが、上空へ向かって伸びている。II での状況とは異なり、ワイヤーは地表面に固定されておらず、ワイヤーの上端に人工衛星は取り付けられていない。このワイヤーは、鉛直を保ったまま伸び縮みすることなく地球の周りを周回しており、ワイヤーの上端は半径 R_2 の円軌道上を運動しているが、地上から見ると静止している。

図4(i) に示すように、ワイヤーを等しい長さ Δr をもつ N 個の要素に分割して考えよう。 N を十分に大きくして Δr を小さくすれば、それぞれの要素を、その重心に質量が集中した質点とみなすことができる。このとき、ワイヤー全体は、図4(ii) に示すように、長さ Δr の質量の無視できる短いひもでつながれた、 N 個の質点の集合となる。地表面から数えて i 番目の質点は半径 $r_i = R_0 + i\Delta r$ の円軌道上を運動する。

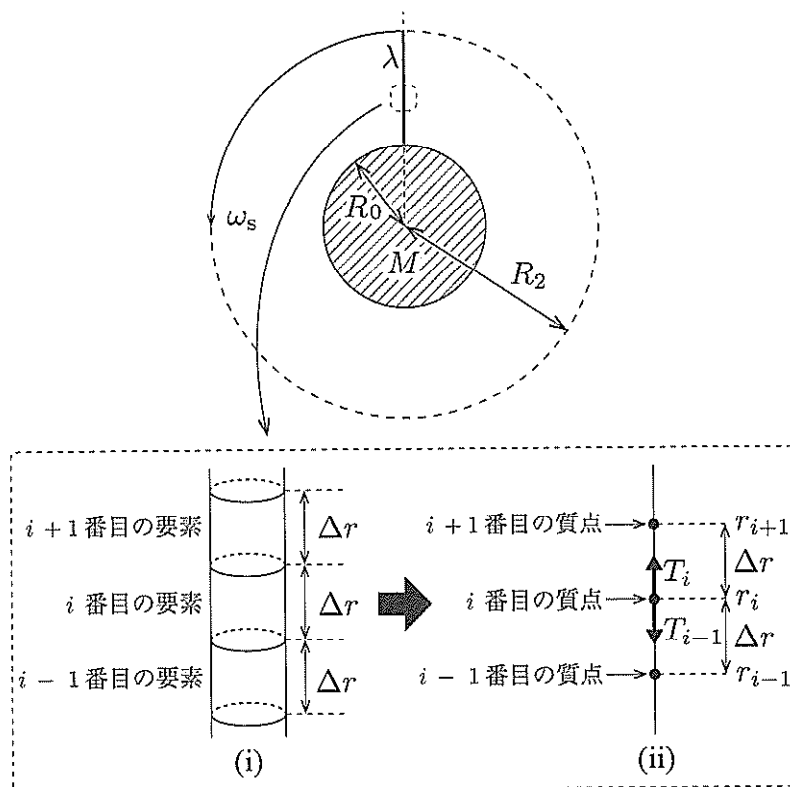


図 4

問 5 次の文章を読んで、(a) ～ (d) に適した式または数字をそれぞれの解答欄に記入せよ。

地表面から数えて i 番目の質点が、ひもから鉛直上向きに受ける張力の大きさを T_i 、鉛直下向きに受ける張力の大きさを T_{i-1} とする。

$$F_i = T_i - T_{i-1}$$

のように T_i と T_{i-1} の差を F_i とおき、質点の質量を Δm とする。質点の運動方程式を考えると、 F_i は G 、 M 、 Δm 、 r_i 、 ω_s を用いて

$$F_i = \boxed{\text{(a)}}$$

と表される。また、 Δm を λ と Δr を用いて表せば

$$\Delta m = \boxed{\text{(b)}}$$

となる。 N が十分に大きいときに $n \neq -1$ に対して成り立つ近似式

$$\sum_{i=1}^N r_i^n \Delta r \doteq \frac{1}{n+1} (R_2^{n+1} - R_0^{n+1})$$

を用いれば、すべての質点に対する F_i の和 F は、 λ 、 G 、 M 、 R_0 、 R_2 、 ω_s を用いて

$$F = \sum_{i=1}^N F_i = \boxed{\text{(c)}}$$

と表すことができる。一方、0 番目と $N+1$ 番目の質点が存在しないことを考えると、 $T_0 = T_N = 0$ であるので、 F は

$$F = \boxed{\text{(d)}}$$

のように数字のみで表すこともできる。

問 6 $\frac{R_2}{R_0}$ を R_0 と問 2 で考えた R_s を用いて表せ。ただし、 $R_2 > R_0$ であることに留意せよ。

また、 $\frac{R_2}{R_0}$ の値に最も近いものを以下の選択肢から選び、(あ)～(こ)の記号で答えよ。ここでは、 $R_s = 7R_0$ と近似してよい。

- | | | | | |
|---------|-------|--------|--------|---------|
| (あ) 2.5 | (い) 5 | (う) 10 | (え) 25 | (お) 125 |
| (か) 3.5 | (き) 7 | (く) 14 | (け) 49 | (こ) 343 |

〔2〕 図1のように、発電所から遠方の電力の消費地へ、2本の送電線を用いて電力を送る場合を考える。送電線には長さに比例した電気抵抗（以降、抵抗という）がある。また、送電線を電極と考え、平板電極の場合と同様に、並んだ2本の送電線はコンデンサーとして考えることができ、長さに比例した電気容量がある。これらの抵抗と電気容量は送電線に一樣に分布している。この電気容量があるため、送電線での消費電力は、送電線の抵抗だけでは決まらない。

そこで、この送電線での消費電力量を考えるため、図2に示すように、抵抗は直列に合成して電線あたりに1個の抵抗とし、電気容量は並列に合成して送電線の消費地側の端に置かれた1つのコンデンサーとして近似する。これは、抵抗と電気容量が一樣に分布している実際の場合をよく近似している。合成した抵抗値をそれぞれ $R[\Omega]$ 、コンデンサーの電気容量を $C[F]$ とし、消費地では抵抗値 $r[\Omega]$ の抵抗で電力を消費しているものとする。発電所から角周波数 $\omega[\text{rad/s}]$ の正弦波の交流で送電する。ただし、 $\omega > 0$ とする。消費地での電圧の最大値を $V[V]$ 、1周期で時間平均した消費電力（以降、時間平均消費電力という）を $\overline{P_A}[W]$ とする。なお、 $\sin^2 \omega t$ や $\cos^2 \omega t$ の時間平均は $\frac{1}{2}$ であることを用いてよい。以下の問に答えよ。

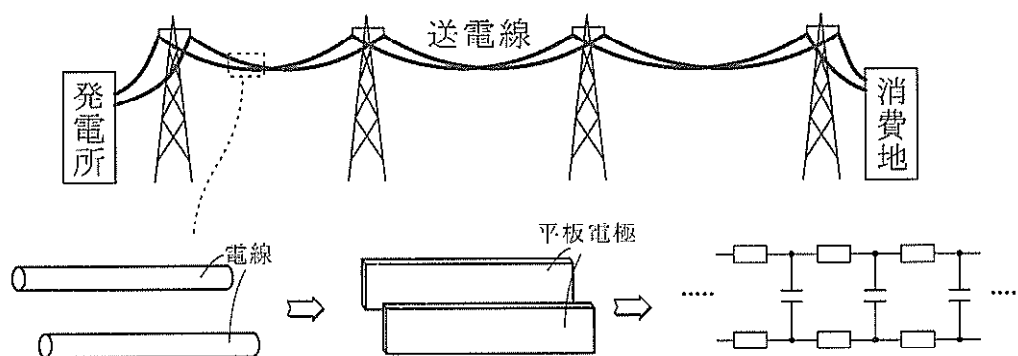


図 1

問 1 消費地での時刻 t での電圧を $v(t) = V \sin \omega t$ とする場合、時刻 t に消費地で消費する電力 $P_A(t)$ を、 V 、 r 、 ω 、 t を用いて表せ。

問 2 図2の消費地の抵抗を流れる電流の最大値 I_r を、 r を用いずに、 V と、消費地での消費電力 $P_A(t)$ の時間平均消費電力 $\overline{P_A}$ を用いて求めよ。

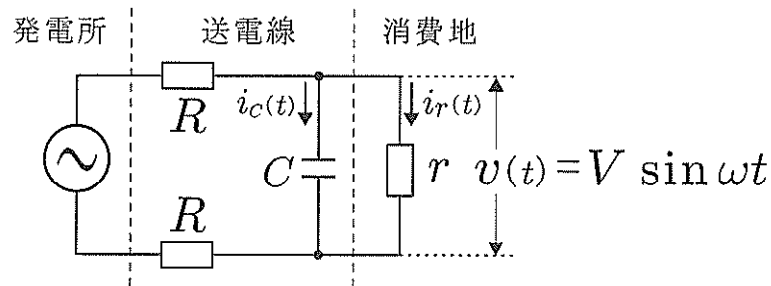


図 2

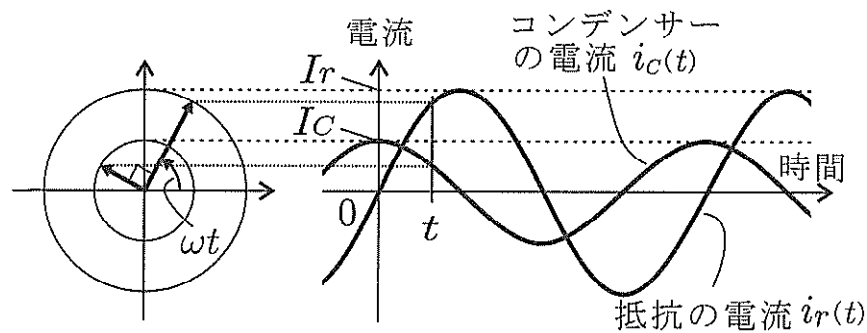


図 3

- 問 3 図 2 のコンデンサーを流れる電流の最大値 I_C を、 ω 、 C 、 V を用いて求めよ。
- 問 4 図 2 の消費地の抵抗を流れる電流とコンデンサーを流れる電流の位相は、図 3 のように $\frac{\pi}{2}$ 異なっている。これらを合成した電流が送電線を流れる。送電線を流れる電流の最大値 I_R を、 ω 、 C 、 V 、 $\overline{P_A}$ を用いて求めよ。
- 問 5 2 本の送電線全体で消費する時間平均消費電力 $\overline{P_B}$ を、 ω 、 C 、 V 、 $\overline{P_A}$ 、 R を用いて求めよ。
- 問 6 $\overline{P_A}$ と ω と C を固定した場合に、送電線で消費する 時間平均消費電力 $\overline{P_B}$ を最小にする V の値 $V_{\min}$ と、そのときの $\overline{P_B}$ を、 ω 、 C 、 $\overline{P_A}$ 、 R のうち、必要なものを用いて表せ。ただし、相加相乗平均の不等式を用いてもよい。

問 7 発電所から 100 km 離れた消費地での交流電圧の最大値が 500 kV になるように、60 Hz の正弦波の交流を送電する。送電線の抵抗は 1 km あたり $0.10\ \Omega$ とする。送電線間の電気容量は 1 km あたりに $0.10\ \mu\text{F}$ とし、図 2 のように 100 km 分合成して消費地側に集めて考えよう。消費地で 100 万 kW の時間平均消費電力を消費しているときの、2 本の送電線全体での時間平均消費電力に最も近いものを、以下の選択肢から選び、(あ)～(け) の記号で答えよ。

- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| (あ) 5 万 kW | (い) 10 万 kW | (う) 15 万 kW |
| (え) 20 万 kW | (お) 25 万 kW | (か) 30 万 kW |
| (き) 35 万 kW | (く) 40 万 kW | (け) 45 万 kW |

(計算用余白)

〔3〕 以下のAとBの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. 空気が入ったゴム風船(図1左)は、外からはたらく圧力や、温度に応じて、大きさが変わる。このふるまいを、以下のように単純化したモデルで考えよう。

図1右のように断面積 S の固定されたシリンダー内に、なめらかに動くピストンがある。シリンダーの底面の位置を原点として、ピストンの位置を x ($x \geq 0$) とする。ピストンはシリンダーの底面とばねでつながれている。このばねは風船のゴムを模した仮想的なもので、その体積は無視できる。また、ばね定数は k ($k > 0$) であり、ピストンは、このばねから大きさ kx の力を x 軸の負の向きに受ける。以下、ピストンとシリンダーとばねを合わせたものを、装置とよぶ。シリンダーには n モルの単原子分子理想気体が入っており、シリンダーの外部は真空である。このピストンに対し、外力 F を作用させる。ただし、外力は図の矢印の向きを正とし、正負どちら向きにもかけられる。 F が負の場合、 F は大気中に置かれた風船に大気が外から及ぼす力を模している。また、気体と装置からなる系全体は常に一様な温度であり、その温度 T は変化させることができる。ただし、装置の熱容量は無視できる。以下ではすべての操作を十分にゆっくりと行う。また気体定数を R とする。以下の間に答えよ。

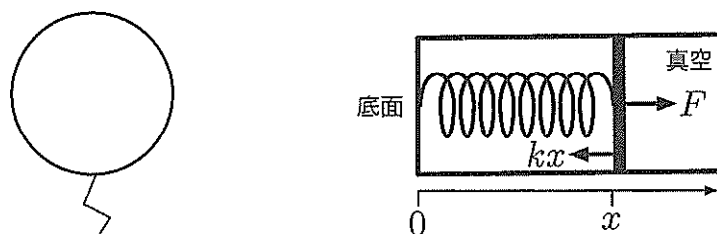


図 1

I. まず、ピストンを固定した場合を考える。

問 1 温度を T から $T + \Delta T$ に微小に変化させたとき、気体に流入する熱量 ΔQ を求めよ。

II. 次に、ピストンを固定せず自由に動けるようにした場合を考える。ただし、外力はさせず、 $F = 0$ とする。

問 2 温度 T において力がつりあい、ピストンが静止した場合の x を、 k , n , R , T を用いて表せ。

問 3 温度を T から $T + \Delta T$ に微小に変化させたとき、気体とばねからなる系全体に流入する熱量 ΔQ を求めよ。また、この結果を用いて、系全体の熱容量 C を求めよ。

III. さらに、ピストンを自由に動けるようにしたまま、外力 F を作用させる場合を考える。必要ならば、 $|X|$ が 1 より十分に小さいとき、 a を正の実数として $(1 + X)^a \approx 1 + aX$, X が 1 より十分に大きいとき、 $(1 + X)^a \approx X^a$ と近似できることを用いよ。

問 4 温度 T , 外力 F の下でピストンが静止している場合の、ピストンの位置 x を求めよ。

問 5 問 4 の結果を図示しよう。 $F = 0$ での x を x_0 とし、 $F_0 = kx_0$ とする。これらを用いて $\frac{x}{x_0}$ を $\frac{F}{F_0}$ だけの関数として表せ。次に、横軸を $\frac{F}{F_0}$, 縦軸を $\frac{x}{x_0}$ として、その概形を解答用紙のグラフに図示せよ。

問 6 温度 T を一定に保ったまま、外力を F から $F + \Delta F$ まで微小に変化させたとき、ピストンの位置が x から $x + \Delta x$ まで微小に変化した。このとき、 $k_{\text{eff}} = \frac{\Delta F}{\Delta x}$ は気体とばねからなる系の、実効的なばね定数とみなせる。なお、 $\left| \frac{\Delta F}{F_0} \right|$ は 1 よりも十分に小さく、 $\frac{\Delta F}{F_0}$ の 2 次の項は無視してよい。

以下の場合について、比 $\frac{k_{\text{eff}}}{k}$ を求めよ。

(a) $\frac{F}{F_0}$ が限りなく大きい場合

(b) $\frac{F}{F_0} = 0$ の場合

B. 図2のように、電氣的に中性の粒子 A と、それと比較して十分に軽い質量 M の荷電粒子 B があり、それらの間に、ある引力がはたらいている物理系を考える。この引力によって、荷電粒子 B は中性粒子 A の周りを半径 r 、速さ v で等速円運動しているとす。その引力の大きさ F は、互いの距離に比例し

$$F = kr \quad (k > 0)$$

で表される。中性粒子 A は原点に静止しているとしてよい。重力の効果は無視する。

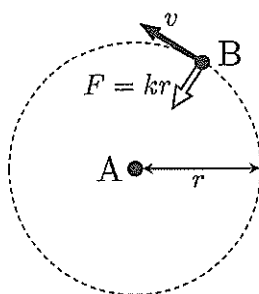


図 2

問 7 以下の文章の空欄 (a)～(h) に入るべき数式を解答欄に記入せよ。

この引力による荷電粒子 B の位置エネルギー U は、原点を基準点にとったとき、

$$U = \boxed{\text{(a)}}$$

と与えられる。一方、荷電粒子 B の回転の中心方向の運動方程式が、

$$\frac{Mv^2}{r} = \boxed{\text{(b)}}$$

と与えられることから、荷電粒子 B の運動エネルギー K も求まる。よって、この荷電粒子 B の力学的エネルギー $E = K + U$ は、 k と r を用いて

$$E = \boxed{\text{(c)}}$$

と表すことができる。

ド・ブロイによると、ミクロな世界では、粒子には波としての性質が現れ、その波長は粒子の運動量の大きさの逆数に比例する。今考えている物理系が原子と

同程度に小さいとすると、荷電粒子 B にも波としての性質が現れてくる。この波の波長 λ_B は、プランク定数を h とおくと、 M , k , h , r を用いて

$$\lambda_B = \boxed{\hspace{1cm}} \quad (\text{d})$$

で与えられる。

さて、ボーアの水素原子の理論の場合にならって、この物理系に量子条件と振動数条件を課すことを考えよう。

まず、次の量子条件を課す。

「荷電粒子 B の軌道の一周の長さが、波長 λ_B の自然数倍 (n 倍) である場合にのみ、定常状態 (定常波) が実現する」

この場合に、許される軌道の半径は、 n に対応した、とびとびの値をとる。これを r_n として、 M , k , h , n を用いて表すと、

$$r_n = \boxed{\hspace{1cm}} \quad (\text{e}) \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

となる。結局、 n 番目の軌道を回る荷電粒子 B のもつ全エネルギー E_n は、 M , k , h , n を用いて、

$$E_n = \boxed{\hspace{1cm}} \quad (\text{f}) \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

と与えられる。

さらに、この物理系において、次の振動数条件を課すとしてよう。

「荷電粒子 B が ℓ 番目の定常状態から、エネルギーがより低い n 番目の定常状態に移る時に、光子 1 個が放出される」

この場合に、 ℓ と n の 2 つの定常状態の間のエネルギー差 $\Delta E_{\ell n} = E_\ell - E_n$ は、 M , k , h , n , ℓ を用いて、

$$\Delta E_{\ell n} = \boxed{\hspace{1cm}} \quad (\text{g}) \quad (\ell > n)$$

となるから、真空中での光の速さを c とすると、放出される光の波長 $\lambda_{\ell n}$ は、 M , k , n , ℓ , c を用いて

$$\lambda_{\ell n} = \boxed{\hspace{1cm}} \quad (\text{h}) \quad (\ell > n)$$

と与えられる。

化 学 問 題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

Hの原子量 = 1.0 Liの原子量 = 6.9 Cの原子量 = 12.0

Nの原子量 = 14.0 Oの原子量 = 16.0 Coの原子量 = 58.9

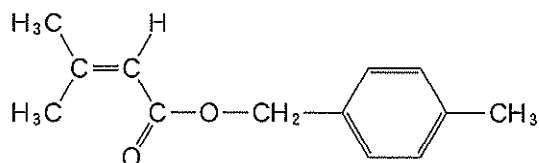
アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$

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

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

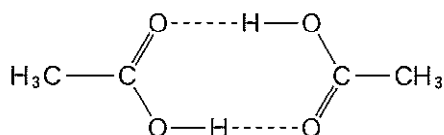
2. 特にことわらない限り、構造式は下の例にならって示すこと。

(例)



3. 水素結合は下の例にならって点線で示すこと。

(例)



4. 体積の単位記号 L は、リットルを表す。
 5. 字数制限のある解答は、下に示す例にならって書くこと。

(例)

L	—	ア	ラ	ニ	ン	を	,	5	.	0	×	1	0	—	²	g
/	L	の	N	a	N	O	₃	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。

〔 1 〕 以下の文章を読み、問 1 ～ 問 6 に答えよ。

近年、Li は電池材料として需要が増大している。Li は塩湖の塩水中に多く含まれ、塩水を濃縮精製して Li_2CO_3 や LiCl が製造される。単体の Li は、 LiCl を原料として、陽極に黒鉛を、陰極に軟鋼(炭素を含む鉄)を用いた溶融塩電解によって得られ、 LiCl 水溶液の電気分解で得ることはできない。

化学電池は、正極と負極のそれぞれで進行する 反応と 反応により、化学エネルギーを エネルギーに変換する装置である。リチウム電池は、正極活物質には MnO_2 、負極活物質には金属 Li、電解液には有機溶媒に Li 塩を溶解させた溶液が用いられ、充電することができない 電池である。放電により、正極活物質中の Mn は 4 価から 3 価に変わる。一方、リチウムイオン電池は、繰り返し充放電が可能な 電池であり、代表的な正極活物質には $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ ($0 < x < 1$)、負極活物質には黒鉛、電解液には有機溶媒に Li 塩を溶解させた溶液が用いられる。充電時には、外部からの電流により正極からリチウムイオンが脱離して負極の黒鉛層間に取り込まれ、放電時には、負極の黒鉛層間からリチウムイオンが移動し、正極に取り込まれることで電流を取り出している。

充電電池を満充電の状態からさらに充電し続けることを過充電とよび、充電電池の性能が劣化する原因の 1 つである。リチウムイオン電池では、過充電により、 $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ が O_2 の発生をともない LiCoO_2 と Co_3O_4 へと分解し、放電容量が減少する。

問 1 ～ にあてはまる最も適切な語句を次の語群の中から選んで書け。

[位置、一次、運動、還元、酸化、太陽、電気、二次、熱、燃料、平衡]

問 2 下線部①において、陽極と陰極で進行する化学変化をそれぞれ電子 e^- を含むイオン反応式で示せ。

- 問 3 下線部②において、単体の Li が得られない理由を 60 字以内で説明せよ。
- 問 4 下線部③において、正極と負極で進行する化学変化をそれぞれ電子 e^- を含むイオン反応式で示せ。
- 問 5 下線部④において、リチウムイオン電池を $8.00 \times 10^{-1} \text{ A}$ の一定電流で 2 時間放電した。この時、負極から移動したリチウムイオンの物質量を有効数字 2 桁で求めよ。また、解答欄には計算過程も示せ。
- 問 6 下線部⑤において、 $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ が $\text{Li}_{0.4}\text{CoO}_2$ のとき、この分解反応の反応式を示せ。また、10.0 g の $\text{Li}_{0.4}\text{CoO}_2$ の 30 % が分解するとき、発生する O_2 の物質量を有効数字 2 桁で求めよ。また、解答欄には計算過程も示せ。

〔 2 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。

揮発性の純物質 A と B は、大気圧($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$)のもと、いずれも 298 K で液体であり、この温度でのそれぞれの蒸気圧は、 $P_A^* = 7.50 \times 10^4 \text{ Pa}$ および $P_B^* = 2.50 \times 10^4 \text{ Pa}$ である。A と B の液体混合物では、混合割合にかかわらず、各成分の蒸気圧(P_A および P_B)が、液体混合物中のモル分率(x_A および x_B)と純物質の蒸気圧(P_A^* および P_B^*)の積にそれぞれ等しくなる($P_A = x_A P_A^*$ および $P_B = x_B P_B^*$)。また、温度一定における混合物の気液平衡では、液体混合物の蒸気圧が、共存する混合気体の体積と液体混合物の量によって変化する。混合気体は、ドルトンの分圧の法則に従う。

A と B の混合物の状態変化を調べるために、温度一定(298 K)のもと、以下の実験を行った。

【実験 1】

298 K において、成分 A のモル分率が z_A となるように、A と B の液体混合物を調製した。このモル分率を「仕込みのモル分率」という。この液体混合物を、 298 K に保った透明な容器に入れ、気体が入らないようにピストンで密閉した(図 1)。このとき、ピストンと壁面との摩擦およびピストンの重さは無視できる。

つぎに、温度を一定に保ったまま、ピストンにかかる圧力をゆっくりと下げていくと、圧力 P_1 で容器内に A と B の混合気体が現れはじめた。さらに、圧力を P_2 まで下げると、混合気体の量が増加し、液体混合物の量が減少した。引き続き、圧力を下げていくと、圧力 P_3 で容器内の液体混合物がすべて消失した。

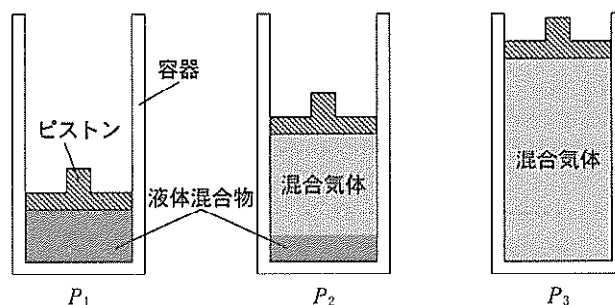


図 1 密閉容器内の A と B の混合物の状態変化の模式図

図2は、容器内の圧力と、混合気体および液体混合物に含まれる成分Aのモル分率をまとめたもので、298 KにおけるAとBの混合物の状態図である。直線①は、液体混合物の蒸気圧とその液体混合物中のAのモル分率との関係を表している。一方、曲線②は、液体混合物と平衡にある混合気体の圧力とその混合気体中のAのモル分率との関係を表している。直線①の上側を領域Ⅰ、曲線②の下側を領域Ⅱとする。

図中の点a, b, cは、実験Ⅰの圧力 P_1 , P_2 , P_3 の状態にそれぞれ対応している。点a-c間では、混合気体と液体混合物が共存する。点aで混合気体が出現し、点a-b-cの変化に対して、混合気体の成分は a'' - b'' - c のように変化する。一方、液体混合物の成分は、 a - b' - c' と変化し、点 c' で液体混合物がすべて消失する。

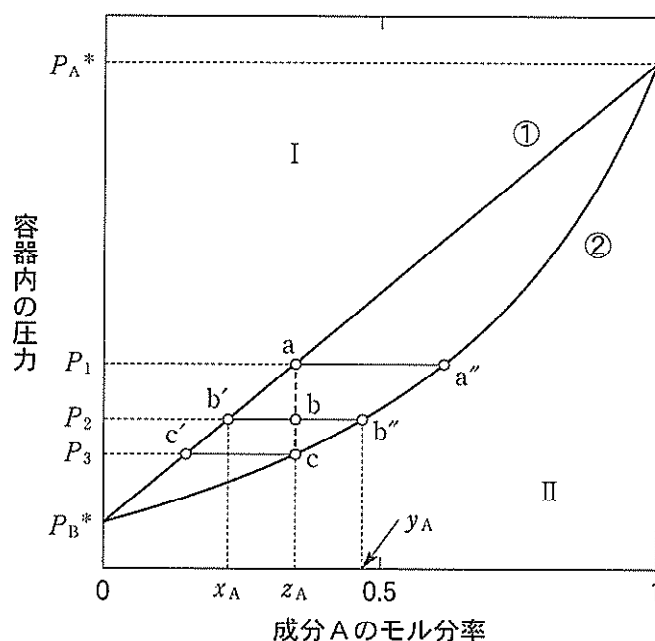


図2 298 KにおけるAとBの混合物の状態図

問1 領域ⅠとⅡのそれぞれにおいて、AとBの混合物が、物質の三態のうち、どの状態をとるか答えよ。

問 2 点 b で気液平衡に達したとき、 P_2 は $3.70 \times 10^4 \text{ Pa}$ であった。A と B の液体混合物(点 b')に含まれる成分 A のモル分率(x_A)を、有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には、計算過程も示せ。

問 3 問 2 において、気液平衡に達した A と B の混合気体(点 b'')に含まれる成分 A のモル分率(y_A)を、有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には、計算過程も示せ。

問 4 点 b で気液平衡にある混合気体と液体混合物の物質量を、それぞれ n_G および n_L とする。これらの物質量の比($\frac{n_G}{n_L}$)を、 x_A 、 y_A および z_A を用いて表せ。解答欄には、導出過程も示せ。

問 5 図 3 は、図 2 の一部分を拡大したものである。仕込みのモル分率が 0.75 の試料において、 n_G と n_L が等しくなる容器内の圧力を、図 3 を使って求めよ。

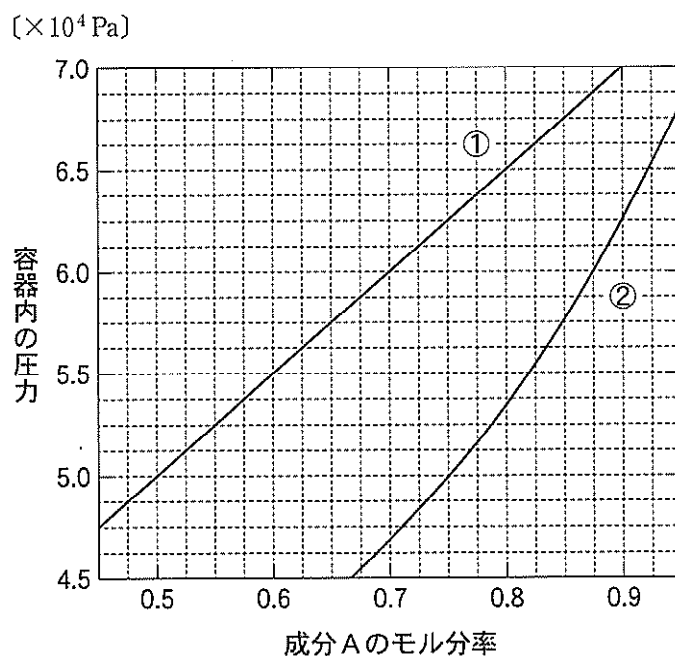


図 3 図 2 の一部分を拡大した図

〔 3 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 7 に答えよ。

【 I 】

ベンゼン環をもつ化合物 A と B は、炭素、水素、酸素からなる同じ組成式をもち、分子量が 136.0 である。化合物 A と B を用いて、以下の実験を行った。

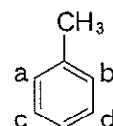
【実験 1】 化合物 A と B の混合物 34.0 mg を、乾いた酸素を通して酸化銅を用いて完全燃焼させ、 ア の入った U 字管と イ の入った U 字管へ順に通したところ、それぞれ 18.0 mg の水と 88.0 mg の二酸化炭素が吸収された。

【実験 2】 化合物 A と B の混合物に炭酸水素ナトリウム水溶液を加え、ジエチルエーテルを用いて分離操作を行った。ジエチルエーテル層から化合物 A が得られた。水層に希塩酸を加えて酸性にし、再度ジエチルエーテルで抽出すると、化合物 B が得られた。

【実験 3】 化合物 A は、銀鏡反応を示した。また、水酸化ナトリウム水溶液中で加水分解が進行した。加水分解で得られた生成物を塩化鉄(Ⅲ)の水溶液に加えても、呈色しなかった。

【実験 4】 化合物 B を過マンガン酸カリウム水溶液とともに加熱したところ、化合物 C が得られた。化合物 C は、分子内に化学的環境の異なる 3 種類の炭素原子をもっていた。^(注) 化合物 C とヘキサメチレンジアミンを反応させると、高分子化合物 D が得られた。

(注) 右図のトルエンを例にすると、炭素原子 a と b は同じ化学的環境にある。また、炭素原子 c と d も同じ化学的環境にある。



【実験 5】 化合物 B に濃硝酸と濃硫酸の混合物を反応させると、一つの水素原子がニトロ基で置換された化合物 E が主生成物として得られた。

問 1 ア と イ にあてはまる最も適切な物質名を書け。

問 2 化合物 A と B に共通する分子式を答えよ。解答欄には導出過程も示せ。

問 3 化合物 A と B の構造式を書け。

問 4 高分子化合物 D の構造式を書け。

問 5 化合物 E の構造式を書け。

【Ⅱ】

二重結合または三重結合を 1 つもつ分子式 C_6H_{10} の脂肪族化合物 F, G, H がある。ただし、いずれの化合物も、炭素原子 3 つや 4 つからなる環構造はもたない。化合物 F, G, H を用いて、以下の実験を行った。

【実験 6】 白金触媒存在下で、化合物 F と水素を物質量の比 1 : 1 で付加させると、枝分かれ構造をもつ化合物が得られた。この化合物には、幾何異性体が存在する。

【実験 7】 化合物 G と臭素を物質量の比 1 : 1 で付加させると、不飽和結合や不斉炭素原子をもたない化合物が得られた。

【実験 8】 化合物 H を硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液と十分に反応させると、枝分かれ構造をもたない化合物 I が得られた。フェーリング液に化合物 I を加えても、変化は起こらなかった。化合物 I とエチレングリコールを反応させると、高分子化合物 J が得られた。

問 6 化合物 F, G, H の構造式を書け。

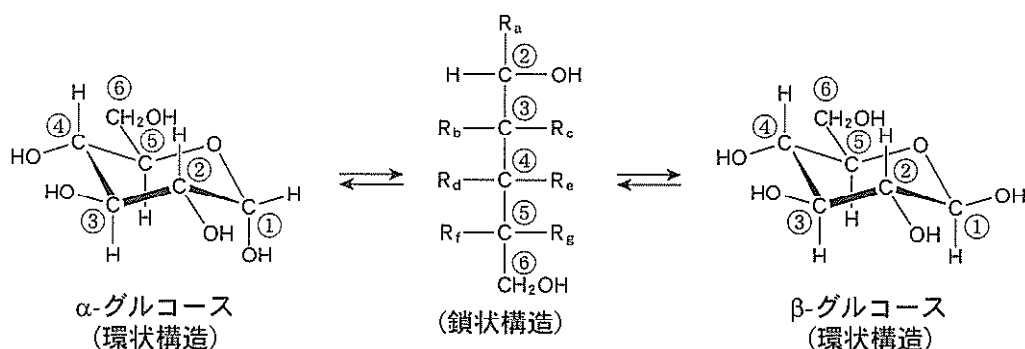
問 7 高分子化合物 J の構造式を書け。

〔 4 〕 以下の文章を読み、問 1 ～ 問 7 に答えよ。

〔 I 〕

グルコースは、水溶液中では、 α -グルコースと β -グルコースの 2 つの環状構造が鎖状構造との平衡状態にある。 α -グルコースと β -グルコースの環を構成する原子は、下の図のような位置関係にあり、同一平面上にはない。このような構造は、いす型構造と呼ばれる。

図中の数字①から⑥は、炭素の番号を示し、太い実線は手前側の結合を示す。鎖状構造中の R_a から R_g は、原子あるいは官能基を示し、①の炭素は官能基 R_a に含まれる。また、図中の鎖状構造では、②から⑤の炭素に関して、それぞれの左右の結合は紙面より手前に、上下の結合は紙面より奥にある。従って、②から⑤の炭素を順番に見ていくと、炭素鎖は紙面の奥に向かう。



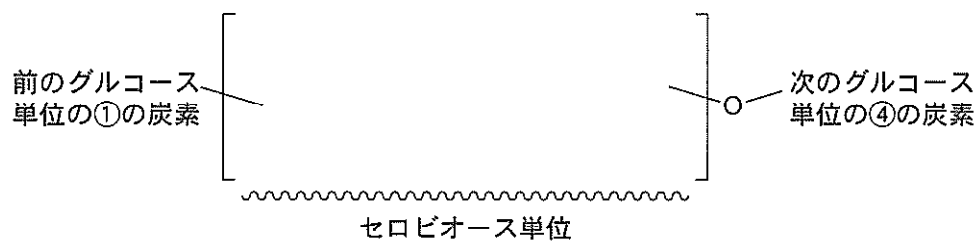
デンプンとセルロースは、いずれもグルコース分子が繰り返し縮合した構造をもっている。このうちデンプンは、80℃の熱水に浸けておくと、溶ける部分と溶けない部分に分かれる。溶ける部分は、ア と呼ばれ、^(a)

イ の①の炭素に結合したヒドロキシ基と④の炭素に結合したヒドロキシ基で次々と縮合した構造をもつ。ア は、らせん構造をとるため、

ウ 反応により鋭敏に濃青色を呈する。一方、セルロースは、^(b)

ア と異なり、エ の①と④の炭素に結合したヒドロキシ基で次々と縮合し、直線状になる。

- 問 1 文中の ア ～ エ に適切な語句を記入せよ。
- 問 2 鎖状構造の立体配置を正確に表すように、 $R_a \sim R_g$ にあてはまる原子または官能基を書け。
- 問 3 下線部(a)の熱水に溶けない部分と ア の構造上の違いを 50 字以内で説明せよ。
- 問 4 セルロースは、下線部(b)のように、全体として直線状になる。それがわかるように、セルロース中のセロビオース単位の構造を書け。ただし、前ページの図を参考にして、それぞれのグルコース単位はいす型構造で書くこと。

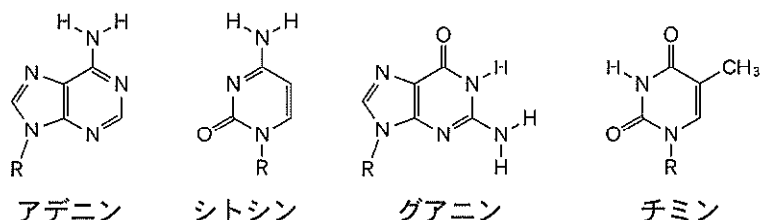


【Ⅱ】

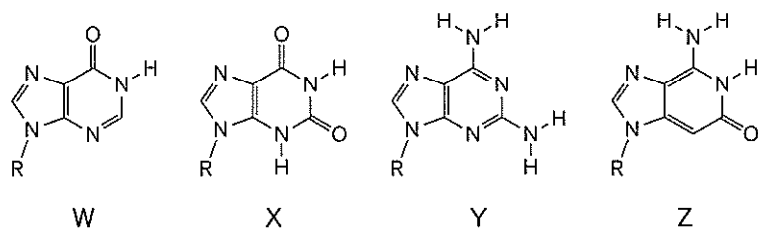
核酸は、生体内に存在する高分子化合物の一種である。環状構造の塩基(核酸塩基)と オ が、炭素原子数が カ 個の単糖に結合した物質を キ とよび、核酸の繰り返し単位となっている。デオキシリボ核酸(DNA)に含まれる核酸塩基は、アデニン、シトシン、グアニン、チミンの4種類である。アデニンはチミンと、グアニンはシトシンと水素結合を介して、
(c)それぞれ塩基対を形成する。このような塩基どうしの関係を相補性といい、相補的な2本のDNAは二重らせん構造をつくる。二重らせん構造をとるDNA(二重鎖DNA)の水溶液をゆっくり加熱すると、ある温度で1本ずつのDNAに解離する。この温度を融解温度とよび、二重鎖DNAの安定性を示す指標となる。

問5 文中の オ ～ キ に適切な語句または数字を記入せよ。

問6 下線部(c)について、二重鎖DNA中におけるそれぞれの塩基対の水素結合の様子を示せ。核酸塩基の化学構造は、下図の表記を用いること。なお、下図中のRは単糖を示す。



問7 二重鎖DNAに含まれるアデニンを、以下のW～Zで置き換えた時、融解温度が上昇するものはどれか、記号で答えよ。また、融解温度が上昇する理由を60字以内で説明せよ。なお、下図中のRは単糖を示す。



生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

【注意】

字数制限のある解答においては、ひらがな、カタカナ、漢字、アルファベット、数字、句読点等の符号等、全ての文字を一つのマスに一つ記入すること。

〔 1 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。

ある生物の特定の遺伝子を取り出し、それを人工的に別の DNA につなぎ込む操作を という。この操作では、制限酵素と が利用される。制限酵素とは、もともと がウイルスなどの外来の DNA を排除するためのもので、DNA の特定の塩基配列を識別して切断する。 は、DNA と DNA をつなぐ、いわば「のり」として利用される。 の操作では、目的の遺伝子の DNA を と呼ばれる遺伝子の運び手に組み込むことが多い。 は、遺伝子を特定の細胞に運び込み、増やす役割をするが、プラスミドがよく用いられる。目的の遺伝子を組み込んだプラスミドを大腸菌に取り込ませたのち、大腸菌を増やすこと^①で、目的の遺伝子を大量に増やすことや組み込んだ遺伝子がコードするタンパク質を大量に産生することができる。このように、細胞に別の種や系統の遺伝子が入ることにより、その遺伝子の形質が発現することを という。

また一般的に、目的の遺伝子がプラスミドに正しく組み込まれているかどうかは、電気泳動法によって確認する。DNA の構成単位である では、塩基、糖、リン酸のうち、 が負の電荷を持っているため、電圧を加えると DNA はアガロースゲルの中を 極に向かって移動する。その際、アガロースゲルを形成している小さな網目構造に妨げられ、長い DNA ほど遅く移動する。

問 1 文中の空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線①のような実験では、プラスミドを取り込んだ大腸菌だけが選択的に増殖できるように、抗生物質耐性の遺伝子がプラスミドに組み込まれている。それによってプラスミドを取り込んだ大腸菌だけが抗生物質を含む培地中で選択的に増殖できるようになるが、その理由を抗生物質耐性の遺伝子が発現するタンパク質の機能に着目し、80 字以内で述べよ。

問 3 図 1 に示すように、ある細菌のタンパク質 X をコードする遺伝子 X を制限酵素 A を用いて切り出した。次に、切り出した遺伝子 X を、プロモーター領域のすぐ後ろを制限酵素 A で切断したプラスミド B とつなぎ合わせたのち、大腸菌に取り込ませ増殖させた。大腸菌からプラスミドを回収したところ、遺伝子 X が組み込まれたプラスミドの長さは全て同じだった。しかし、遺伝子 X が組み込まれたプラスミドを大腸菌に取り込ませても、遺伝子 X からタンパク質 X が産生されるプラスミドもあれば、産生されないプラスミドもあった。タンパク質 X が産生されなかったプラスミドでは、なぜ産生されなかったのか、その理由を 30 字以内で述べよ。ただし、用いたプラスミド B に制限酵素 A が認識する塩基配列は 1 ヶ所しかなかった。また、大腸菌内でプラスミドの塩基配列に変異は生じなかったものとする。

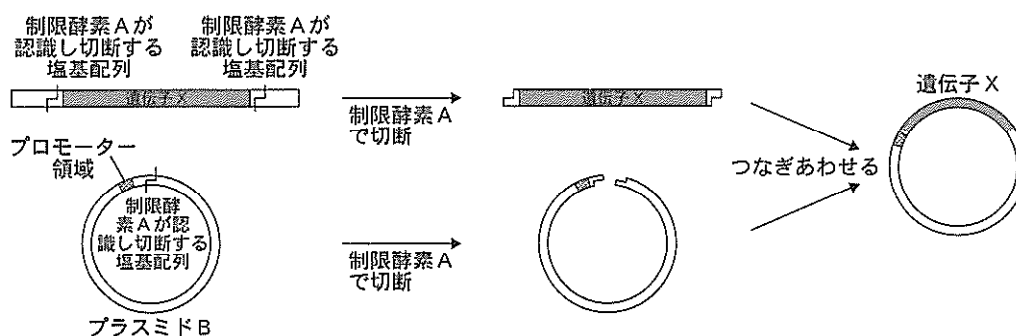


図 1

問 4 ヒトのゲノム DNA から制限酵素を用いて切り出した遺伝子をプラスミドとつなぎ合わせ、大腸菌に取り込ませた場合、遺伝子はプラスミドの適切な部位に挿入されているにもかかわらず、大腸菌内では取り込ませた遺伝子からタンパク質が産生されないことが多い。その理由を、ヒトの遺伝子と大腸菌の遺伝子の構造の違いに着目して 50 字以内で述べよ。

問 5 DNAをつなぎ込む操作を用いて、目的の遺伝子の下流に緑色蛍光タンパク質(GFP)遺伝子を組み込むことで、GFPが融合したタンパク質を産生させることができる。遺伝子Yの後にGFP遺伝子を組み込んでGFPが融合したタンパク質を産生させる場合、遺伝子Yの後およびGFP遺伝子の前をそれぞれの制限酵素を用いて切断し、つないだらよいが、適切な制限酵素を以下の制限酵素a～fの中から1つずつ選択し、記号で答えよ。遺伝子Yの後およびGFP遺伝子の前の塩基配列、制限酵素a～fが認識する塩基配列とその切り口を以下に示す。なお、遺伝子Yの終止コドンは取り除いている。また、終止コドンの塩基配列は、UAA、UGA、UAGである。

ここまで
 遺伝子Y
 遺伝子Y
 GTTAATTAAGATATCGATCG－
 CAATTAATTCTATAGCTAGC－
 遺伝子Yの後の塩基配列

ここから
 GFP遺伝子
 GFP遺伝子
 －TTAATTAACGATCGC
 －AATTAATTGCTAGCG
 GFP遺伝子の前の塩基配列

制限酵素 a	T CTAGA AGATC T	制限酵素 d	G GATCC CCTAG G
制限酵素 b	CGAT CG GC TAGC	制限酵素 e	GC GGCCGC CGCCGG CG
制限酵素 c	GAT ATC CTA TAG	制限酵素 f	TTAAT TAA AAT TAATT

〔 2 〕 以下の文章を読み、問 1 ～ 問 3 に答えよ。

ヒトの体には、病原体などの異物を自己と区別して排除し体内環境を維持するしくみとして、免疫が備わっている。免疫は、自然免疫と獲得免疫(適応免疫とも呼ばれる)に大別される。

マクロファージ、樹状細胞や好中球などによる異物の食作用は、自然免疫において重要な役割を担っている。また、病原体の成分を感知するパターン認識受容体が自然免疫に深く関わることも、^①近年明らかになっている。

一方で、侵入した異物の情報をリンパ球が認識し、その情報にもとづいて特異的に異物を排除するしくみが獲得免疫である。獲得免疫はさらに、細胞性免疫と^②体液性免疫に分けられる。獲得免疫は、排除した異物の情報を記憶し、同じ異物が再び侵入した際に特異的かつ速やかに排除することが出来る。

免疫は生体防御に働き感染症などの発症を防ぐしくみであるが、遺伝的な要因や環境的な要因などによって免疫が過敏に反応し、疾患の発症を引き起こす場合^③もある。

問 1 下線①に関する実験の内容および結果を以下に記す。この実験の結果から導き出される結論として適切なものを、33 ページの選択肢 a ～ hの中から2つ選び、記号で答えよ。

正常な細胞(正常型細胞)においては、ウイルス X の成分を感知するパターン認識受容体がインターフェロン α などのサイトカインの産生を促すため、ウイルス X の増殖が抑制される。この自然免疫に関わると推測される遺伝子 Y および遺伝子 Z について、各々の遺伝子を欠損する細胞を作製した後、実験 1 および実験 2 を行った。なお、細胞が産生するインターフェロン α や人工的に作製したインターフェロン α は、インターフェロン受容体に結合することにより、ウイルス X の増殖を抑制するものとする。

【実験 1】

正常型細胞，遺伝子 Y 欠損細胞，遺伝子 Z 欠損細胞のそれぞれにウイルス X を感染させ，感染から 12 時間後までに細胞外に産生されたインターフェロン α の量を測定した。また，ウイルス X を感染させていない各細胞から 12 時間の間に細胞外に産生されたインターフェロン α の量も測定した。結果を図 1 に示す。

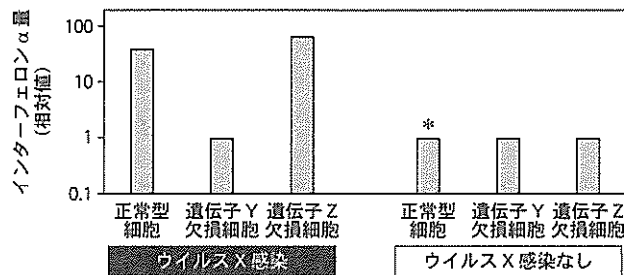


図 1 産生されたインターフェロン α の量(相対値)を示すグラフ。縦軸は対数とする。ウイルス X 感染なしの正常型細胞(*)における値を 1 とする。

【実験 2】

ウイルス X を正常型細胞，遺伝子 Y 欠損細胞，遺伝子 Z 欠損細胞のそれぞれに感染させ，感染から 36 時間後に，細胞外に産生された感染力を有するウイルス X の数を測定した。また，ウイルス X を感染させる前に，人工的に作製したインターフェロン α を作用させ，その後にウイルス X を感染させる実験を行った。感染から 36 時間後に，細胞外に産生された感染力を有するウイルス X の数を測定した。結果を図 2 に示す。

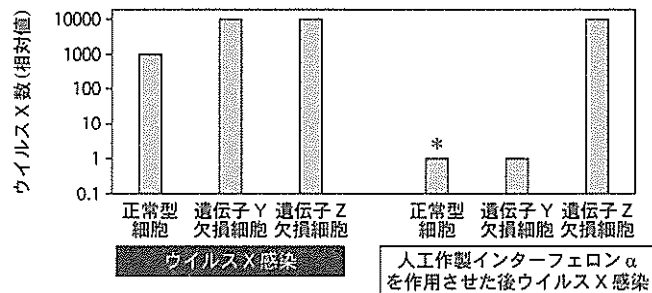


図 2 産生されたウイルス X の数(相対値)を示すグラフ。縦軸は対数とする。人工作製インターフェロン α を作用させた後にウイルス X を感染させた正常型細胞(*)における値を 1 とする。

【選択肢】

- a. 遺伝子 Y は、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要である。
- b. 遺伝子 Z は、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要である。
- c. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要である。
- d. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要ではない。
- e. 遺伝子 Y は、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要である。
- f. 遺伝子 Z は、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要である。
- g. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要である。
- h. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要ではない。

問 2 下線②に関して、細胞性免疫が病原体を排除するしくみを、以下の語句のすべてを用いて 135 字以内で述べよ。

語句：樹状細胞，抗原提示，キラー T 細胞，感染細胞

問 3 下線③に関する以下の文章を読み、空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

生体に不都合な免疫反応の一つとして、アレルギーが知られている。アレルギーを引き起こす抗原は、 と呼ばれる。アレルギーには、 に接触すると直ちに症状が現れる即時型アレルギーと、 に接触してから 1～2 日後に症状が現れる遅延型アレルギーがある。花粉や食物は、即時型アレルギーを引き起こすことがある。

花粉症は次のしくみで起こる。花粉が鼻や眼などの粘膜に付着すると、花粉に含まれる に対して 細胞が特定の を作り出す。この は粘膜上皮の近くに存在するマスト細胞の表面に付着する。再び花粉にさらされるなどして花粉に由来する がマスト細胞の表面上の に結合すると、ヒスタミンが放出される。ヒスタミンは上皮や毛細血管の細胞に作用して、くしゃみ、鼻水、目のかゆみなどのアレルギー症状を引き起こす。

そば、ピーナッツなどの食物を摂取すると、全身性アレルギー症状が現れて、急激な血圧低下や意識障害を引き起こすことがある。これは ショックと呼ばれる状態であり、早期の治療が必要となる。

〔 3 〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問 1 ～問 4 に答えよ。

【A】

両生類の卵は受精後に細胞分裂を開始する。その際、卵細胞の極体が生じる部分を , 反対側を というが、 側に , 側に が形成され、 は帯域と呼ばれる赤道付近の領域を に分化させる。このように、ある領域が隣接する他の領域の分化を引き起こす働きを という。

この作用は臓器の発生中にしばしば連鎖し、例えば眼の発生では、まず脳より生じた眼杯が表皮に作用し となり、次に が表皮に作用し となる。このような の作用を持つ領域を という。また、器官が発生する過程では、決められた時期に決められた細胞が死ぬことで最終的な形態が形作られることが多い。このような、一連の遺伝子により制御されたプログラム細胞死を と呼ぶ。^①

問 1 文中の空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線①について、細胞で観察される形態的変化の様子を 20 字以内で述べよ。

【B】

生体が細胞の増殖および分化を制御する方法のひとつとして、物質の濃度勾配により形態形成を支配する方法がある。

ある両生類の胚より自己増殖および様々な細胞に分化する能力を持つ細胞(これを細胞 A と呼ぶ)^②を採取して、培養皿上で培養し、以下の実験を行った。

培養皿の中央に、ある物質 X を含み、それを放出するビーズを置いた。24 時間後に培養皿を上から観察すると、物質 X の拡散にともない、細胞 A が図 1 のように細胞 B や C に分化した様子が観察された。

なお、物質 X を含まないビーズを培養皿の中央に置いたところ、24 時間後に細胞 A に分化は観察されなかった。

著作権処理中のため、公開できません

図 1

(出典：Scott F. Gilbert, Developmental Biology (2003) より一部改変)

問 3 下線②のような性質を持つ細胞を何というか答えよ。

問 4 図 2 は、24 時間後の培養皿上の細胞 A, B, C の分布と、ビーズからの距離と物質 X の濃度の関係を示している。物質 X の濃度が細胞 A の分化に与える影響について、以下の語句をすべて用いて 50 字以内で述べよ。

語句：濃度 P, 濃度 Q

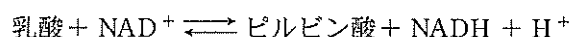
著作権処理中のため、公開できません

図 2

(出典：Scott F. Gilbert, Developmental Biology (2003) より一部改変)

〔 4 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 4 に答えよ。

乳酸脱水素酵素(LDH)は、心臓、肝臓、腎臓、骨格筋、赤血球など様々な組織の細胞に存在する酵素で、以下の化学反応を触媒する。



これらの組織が損傷を受けると、細胞内の LDH が血液中に流出することが知られている。したがって、ヒトの血清中の LDH 活性値は、これらの臓器や組織の障害を診断する際に用いられている。血清とは、遠心分離によって血液試料から血球とフィブリンなどの線維を取り除いた液体成分である。

光がある物質を通った時に、吸収により減衰した程度を示す尺度を吸光度という。吸光度は物質の濃度に比例する。図 1 は同濃度の NAD^+ あるいは NADH の溶液に様々な波長の光をあて、吸光度を調べて得られた吸収スペクトルである。点線は NAD^+ 、実線は NADH の吸収スペクトルを示す。

著作権処理中のため、公開できません

(出典：Victor W. Rodwell 他，イラストレイテッド ハーパー・生化学(2003))

問 1 NAD^+ や NADH のように、酵素の働きを助ける低分子の有機物のことを何と呼ぶか。

問 2 乳酸を基質として血清中の LDH 活性値を調べるため、血清に乳酸、 NAD^+ および緩衝液を加えた。血清中の LDH 活性値を測定するためには、一定時間反応させた後、反応溶液のどの値を用いるのが最も適切か。以下の a ~ d の中から 1 つ選び、記号で答えよ。また、その理由を 50 字以内で述べよ。

- a. 波長 260 nm の吸光度の増加量
- b. 波長 260 nm の吸光度の減少量
- c. 波長 340 nm の吸光度の増加量
- d. 波長 340 nm の吸光度の減少量

問 3 十分量の乳酸と NAD^+ を含む緩衝液に、精製した LDH をある一定量加えて反応させ、問 2 の値(相対値)を測定したところ、図 2 のグラフが得られた。LDH の酵素量(酵素活性)のみを 2 倍にして同様の測定を行った場合、グラフはどのようなになるか、解答用紙のグラフに記入せよ。なお、解答用紙のグラフには、参考として図 2 のグラフが示してある。

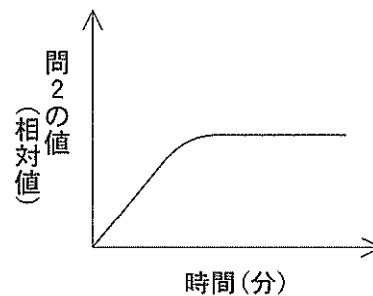
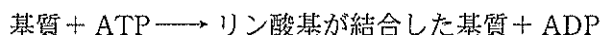


図 2

問 4 赤血球の細胞膜が破れ、中身が流出する現象を溶血という。血清を得る際に溶血が起こると、血清中 LDH 活性の測定値に影響を与える可能性がある。どのような影響があると考えられるか、10 字以内で述べよ。また、その理由を 25 字以内で述べよ。

〔 5 〕 以下の文章を読み、問 1 ～問 4 に答えよ。

細胞が増殖するためには、細胞外にある増殖因子と呼ばれるタンパク質が、細胞膜を貫通する受容体の細胞外の部位に結合し、その受容体の細胞内にある部位に結合する分子(基質)をリン酸化(基質にリン酸基を共有結合させること)して、細胞に増殖を促すシグナルを伝達するケースが多い。基質のリン酸化は以下のような反応で生じ、受容体の中にある基質をリン酸化する部位が、リン酸化酵素としてこの反応を触媒する。



この受容体からのシグナル伝達異常は細胞の異常な増殖を促し、がんの原因になることが知られている。

ある受容体 A には、細胞外の領域に増殖因子 X が結合する部位があり、細胞内の領域に基質 B をリン酸化する部位がある。受容体 A に増殖因子 X が結合すると、受容体同士が結合し 2 分子になる。2 分子になるとリン酸化する部位が活性化し、基質 B をリン酸化することができるようになる(図 1)。基質 B がリン酸化されると細胞の増殖が促進されるため、通常は増殖因子 X の存在する場合のみ、細胞増殖が促進される。

しかし、ある種のがん細胞では、染色体の異常により、受容体 A の遺伝子の細胞外の領域と細胞膜を貫通する部位に対応する部分が他の遺伝子と入れ替わる。一方で、細胞内の基質 B をリン酸化する部位は入れ替わらない。このように、部分的に他の遺伝子と入れ替わった受容体 A を受容体 A' と呼ぶことにする(図 2)。受容体 A' の中の他の遺伝子に由来する部位の一部には互いに結合する部位があることが判明した。また受容体 A' は細胞膜を貫通する部位がないため、細胞内に存在する(図 2)。

著作権処理中のため、公開できません

図 2

(出典：Tri Le, David E. Gerber, Seminars in Cancer Biology (2016) より一部改変)

問 1 受容体 A が受容体 A' に変化した細胞では常に細胞増殖が促進されている。細胞内では受容体 A' によってどのようなことが起きて細胞増殖が促進されるか、以下の語句をすべて用いて 75 字以内で述べよ。

語句：増殖因子 X, 受容体 A', 基質 B

問 2 受容体 A' 内の基質 B をリン酸化する部位は、基質が結合する部位と ATP が結合する部位という各々独立の部位から構成され、受容体 A' に基質 B と ATP の両方が結合することが基質 B のリン酸化に必要である。ATP が結合する部位はくぼんでおり、ATP はそのくぼみの一部に入り込んで結合する(図 3)。このがん細胞の増殖を抑える薬物 C も ATP が入り込むくぼみに入り込んで結合する(図 3)。薬物 C はどのように機能して細胞増殖を抑えると考えられるか、以下の語句をすべて用いて 90 字以内で述べよ。

語句：ATP, リン酸化, 基質 B, 薬物 C

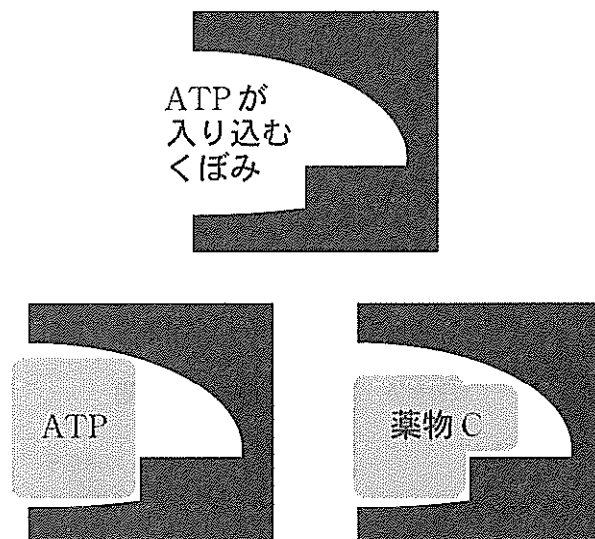


図 3 受容体 A' 内の ATP が結合する部位を拡大したところ
(黒い部分)

問 3 薬物 C を患者に投与したところ、がんの増殖が抑制された。しかし、薬物 C を継続して投与したところ、投与期間中にも関わらず、がんが再度大きくなってしまった。この再度増殖しはじめたがん細胞では、受容体 A' 内の ATP が結合する部位の近くのアミノ酸 1 つが別のアミノ酸 1 つに変化したことが判明した。しかしアミノ酸が変化した受容体 A' が基質 B や ATP と結合する強さは、アミノ酸が変化する前と変わらないことも分かった。薬物 C がこの患者のがんに対して効かなくなって、がんが再度増殖しはじめた原因を、75 字以内で説明せよ。

問 4 薬物 C はある種の肺がんに対してのみ強い増殖抑制効果を持ち、正常な肺や他の組織(臓器)に対する増殖抑制効果が少ない。薬物 C が、この肺がんに対してのみ強い増殖抑制効果を持ち、正常な組織(臓器)に対する増殖抑制効果が弱い理由として可能性が最も高いものを以下の a ~ d の選択肢から 1 つ選び、記号で答えよ。

- a. 受容体 A は正常な組織(臓器)では量(分子の数)が少ない。
- b. 受容体 A 内の ATP が結合する部位の構造が変化した時のみ、薬物 C が受容体に結合できる。
- c. 受容体 A 内の基質 B が結合する部位の構造が変化した時のみ、薬物 C が受容体に結合できる。
- d. 薬物 C はこの肺がん細胞を攻撃する免疫系の細胞を不活性化する。