

医学科 前期一般選抜入試問題

2月1日 実施

物理 (全2の2)

2 熱気球は、風船内部の空気を加熱することで上昇することができる。気球の風船部分は伸び縮みしない薄い断熱性の素材で作られていて、常に体積Vの球形で変形しないものとする。

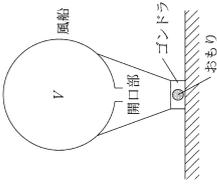


図2のように気球には小さなゴンドラなどが取り付けられているが、空気の浮力ははたらくのは、風船部分だけであるとする。風船部の下部には開口部があり、風船内部の圧力は一律で常に外気と等しい圧力に保たれているものとする。浮力ははたらくが、風船部の大きさの範囲では、外気と等しい圧力に一定とみなせるとする。また、風船部の大きさの範囲では、内外の密度はそれぞれ一定とみなせるとする。内部と外部とは密度は異なっているが、外気の密度は高温度によらずにT_0で一定であり、初期の状態では、気球の内部の温度もT_0であるとする。温度は絶対温度で表記するものとする。内部の空気も外部の空気も同じ理想気体で、1molあたりの質量をmとし、気体定数をRとする。初期はゴンドラにはおもりが載せられており、これによって気球は地表に留められている。この状態では、風船部の空気を除いた気球の質量は、おもりを含めてM_1である。重力加速度の大きさをgとする。

I. 地表の空気の圧力をP_gとする。

(1) 風船部に、物質質量n_0の空気が入っていると、風船内の空気の圧力と体積の積P_g Vは、n_0、T_0、Rを用いてどのように表されるか。

(2) 初期の風船内の密度を、m、R、P_g、T_0を用いて表せ。

(3) 風船内の空気を加熱すると、風船内の物質質量は大きくなるか、小さくなるか、それとも変わらないか。

(4) 初期の風船内の密度をrho_0とし、風船内の空気を温度Tに加熱したときの風船内の密度をrho、T_0、Tを用いて表せ。

(5) 風船内の空気の温度をT_1としたときに、気球は地面を離れて上昇を始めた。このときの風船内の密度をrho_1とする。気球にかかる浮力の大きさを、気体定数を用いずに、rho_1、V、M_1、gを用いて表せ。

(6) 気球が上昇を始める温度を、初期の風船内の密度rho_0、V、M_1、T_0を用いて表せ。

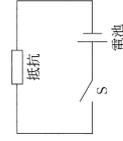
II. 風船部の温度を気球が上昇を始める温度T_1で固定し、ゴンドラからおもりを取り除くと、気球は静かに上昇し、ある高さで静かに止まった。おもりを取り除いたとき、風船部の空気を除いた気球の質量はM_2である。気球が止まった高さでの風船外部の密度をrho_2、風船内部の密度をrho_1とする。

(7) T_1 - T_0は、初期の風船内の密度rho_0、V、M_1を用いてどのように表されるか。

(8) 気球が止まった高さでの風船内外の密度差の大きさは、M_2、Vを用いてどのように表されるか。

(9) 気球の外部でも風船と同じ体積の領域を考えると、風船内外の密度の比rho_2/rho_1をT_0とT_1を用いて表せ。

(10) 気球が止まったときの風船内の密度rho_2を、初期の風船内の密度rho_1およびM_1、M_2、T_0、T_1を用いて表せ。



3 図3のように、起電力がEで内部抵抗がrの電池と電気抵抗RとスイッチSをつないだ。薄線の抵抗は無視できるとする。特に指定がない場合、スイッチは閉じているものとする。

I. 抵抗Rの抵抗値をRとする。

(1) スイッチが開いているとき、電池の端子電圧はいくらか。

(2) スイッチが閉じているとき、電池の端子電圧はいくらか。

(3) 抵抗Rに流れる電流はいくらか。

(4) 抵抗Rで消費される電力はいくらか。

II. 抵抗Rの値を変化させて消費電力を調べた。抵抗Rでの消費電力が最大になるときの抵抗値Rの値はいくらか。

(1) 抵抗Rの値を変化させて、抵抗Rを流れる電流Iと電池の端子電圧Vを測定すると、I = 0.20 AのときV = 1.50 V、I = 0.60 AのときV = 1.30 Vとなっていた。数値には単位をつけて答えよ。

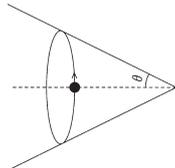
(2) 電池の内部抵抗の値はいくらか。

(3) 抵抗Rを調節して、回路を流れる電流が1.20 Aとなるようにした。このとき、抵抗Rの消費電力はいくらか。

(4) (7)での抵抗Rは、1.00 OhmとR(Ohm)の抵抗が並列につながれた回路からなる抵抗であったとする。R_1の値はいくらか。

物理 (全2の1)

物理の空間を通して、ある小間での定義される物理量の記号を他の小間の解答で用いないように注意せよ。円周率をpiとす。解答に既約分数や根号や根号を用いてよい。



1 図1-1のように内部がなめらかな円錐形の容器が頂点Oを下にして固定されている。容器の中心軸は鉛直で、鉛直軸と側面のなす角はtheta(0 < theta < pi/2)である。この円すいの内面を、質量mの小球Aが速さv_0で等速円運動をしている。頂点Oは重力による位置エネルギーの基準水平面にあるとし、高さはこの基準水平面からはかるものとする。空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさをgとする。

I. 小球Aは一定の高さを保って等速円運動をしているものとして以下の問いに答えよ。

(1) 小球Aが円すいの内面から受ける垂直抗力の大きさはいくらか。m、g、thetaを用いて答えよ。

(2) 小球Aにはたらく向心力の大きさはいくらか。m、g、thetaを用いて答えよ。

(3) 小球Aの等速円運動の加速度の向きとして最も適切なものを次の切からの中から一つ選んで記号で答えよ。

(4) 斜面上向き

(5) 斜面上向き

(6) 鉛直上向き

(7) 鉛直下向き

(8) 鉛直下向き

(9) 鉛直上向き

(10) 加速度はない

(11) 小球Aの等速円運動の半径はいくらか。

(12) 小球Aの等速円運動の周期はいくらか。

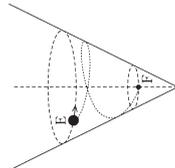
(13) 小球Aの2倍の位置エネルギーをもつ質量mの小球Bが円すいの内面を等速円運動をしているとき、小球Bの運動エネルギーはいくらか。

(14) 小球Aの16倍の力学的工作エネルギーをもつて、質量mの小球Cが円すいの内面を等速円運動をしているとき、小球Cの高さはいくらか。

II. 図1-2のように高さがh_1の点Eで小球Dを水平方向に速さv_1で滑らせたところ、小球Dは円すいの内面に沿って回りながらすべり降り、高さがh_2の点Fまで到達した。図1-2は模式的に表されている。

(15) 点Eでの速さをv_1、点Fでの速さをv_2とすると、点Eと点Fで高さv_1と速さの積は互いに等しくh_1 v_1 = h_2 v_2となっていた。v_1はいくらか。h_1、h_2、gを用いて答えよ。

(16) 点Eと点Fで高さv_1と速さの積は互いに等しく、E点では小球Dの重力による位置エネルギーは運動エネルギーの6倍であった。E点、F点の高さをそれぞれv_1とgを用いて表せ。



化学 (全2の1)

全問とおして、必要があれば次の原子量を用いよ。H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16

1 以下の問いに答えよ。

- 次の物質のうちから、常圧で融点が高い単体を選び、その化学式を答えよ。
塩化ナトリウム、黒鉛、鉄、ナフタレン、ヨウ素
- 水溶液Aに硝酸銀水溶液を加えると溶液が白く濁った。この結果から、水溶液Aには成分元素として何が含まれていることがわかるか。元素名で答えよ。
- 高分子化合物を選び番号で答えよ。
(ア) アミノコース (イ) ガラクトース (ウ) スクロース (エ) マルトース (オ) ラクトース
- 気体の状態方程式において、物質質量と圧力が一定の場合の関係を示す法則名は何か。
- 次の塩のうち、正塩をすべて選び番号で答えよ。
(ア) CH_3COONa (イ) CuCl_2 (ウ) MgCl(OH) (エ) NaHCO_3 (オ) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

2 過マンガン酸イオン MnO_4^- は酸性溶液中で強い酸化剤として知られ、マンガン(II)イオン Mn^{2+} になる。一方、シュウ酸 $(\text{COOH})_2$ は酸化剤との反応により二酸化炭素 CO_2 へと分解される。また、過マンガン酸カリウムはシュウ酸以外にも多くの化合物と反応し、それらの定量化に用いることができる。過マンガン酸カリウムを用いた次の実験について、以下の問いに答えよ。ただし、次の実験で用いる化合物AとBは、1g当たりそれぞれ0.10 molと0.15 molの過マンガン酸カリウムと反応する。また、温度は一定で、混合により有機溶媒と水の体積に変化はないものとする。数値を有効数字2桁で答えよ。

実験1: 0.10 mol/Lのシュウ酸ナトリウム水溶液15 mLに3.0 mol/Lの硫酸5.0 mLを加えた。ここに濃度未知の過マンガン酸カリウム水溶液を滴下したところ、2.5 mLを加えたところで全てのシュウ酸が反応した。

実験2: 水溶液にベンゼンを加えよく混ぜると、溶質は水相からベンゼン相へと移動し平衡に達する。この時、水相の溶質濃度 c_1 とベンゼン相の溶質濃度 c_2 の比は分配係数 $K = c_1/c_2$ とよばれ、化合物ごとに一定の値を示す。1.0 gの化合物Aを水100 mLに溶かしたのち、ベンゼン100 mLで抽出を行った。抽出後の水溶液100 mLに対して0.50 mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液で滴定を行ったところ、50 mLを加えた時点で反応が完了した。

実験3: 化合物Aと化合物Bを1.0 gずつ100 mLの水に溶解したのち、50 mLのベンゼンで抽出を行った。抽出後の水溶液に対して0.50 mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液で滴定を行ったところ、140 mLを加えた時点で反応が完了した。

- 過マンガン酸イオン MnO_4^- が Mn^{2+} へと還元される際のMnの酸化数の変化を例にならなくて答えよ(例: $+2 \rightarrow +4$)。
- 下線部①について、1分子のシュウ酸が酸化される際に放出される電子数を答えよ。
- 硫酸性条件における、過マンガン酸カリウムとシュウ酸の反応について、イオンを含む化学反応式を答えよ。
- 実験1で用いた過マンガン酸カリウム水溶液のモル濃度を求めよ。
- 実験1において、硫酸の代わりに塩酸を使用することはできない。理由を答えよ。
- 実験2において、全てのシュウ酸が反応したことをどのように確認するが答えよ。
- 化合物Aの分配係数 K_1 を求めよ。
- 実験3において、抽出後に水相に存在する化合物Aの質量を答えよ。
- 化合物Bの分配係数 K_2 を求めよ。
- 実験3と同様に化合物AとBをそれぞれ1.0 gずつ溶解した100 mLの水に対して、50 mLのベンゼンによる抽出を2回行った。この抽出操作後の水溶液を完全に酸化するために必要となる0.50 mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液の体積を求めよ。

化学 (全2の2)

3 鉄は鉄鉱石とコークスおよび石灰石などを溶鉱炉で加熱して製錬される。Fe₂O₃を主成分とする鉄鉱石は、コークスの燃焼によって発生した気体Xによって還元され鉄となる。硫酸を転写し入れて硫酸を吹き込み、炭素の含有量を少なからずと調整が得られる。鉄は還元された状態で酸化されてきてやすいが、(ア)を12%以上含む鉄の合金であるステンレス鋼はさびにくい。また、鉄は希硫酸や塩酸とは反応しない(イ)をつくるため反応が内部まで進行しない。

硫酸鉄(II)七水合物を水に溶かすと、鉄(II)イオンを含む(ウ)色の水溶液になる。この溶液に(ア)水溶液を加えると、濃黄色沈殿(ターンブル色)が生成する。また、塩化鉄(III)を水に溶かすと、鉄(III)イオンを含む(エ)色の水溶液になる。この溶液に(バ)水溶液を加えると血赤色の溶液となる。

鉄は様々な化学反応の触媒としても利用されている。例えば、炭化カルシウムに水を加えることによって発生する(オ)が、赤熱した鉄触媒の存在下で加熱するとベンゼンが得られる。ベンゼンに鉄粉を触媒として塩素を作用させると(カ)が得られる。(キ)は白色の昇華しやすい固体で防虫剤として用いられる。またハーバー・ボッシュ法によるアンモニアの製造では、(ク)から生じた鉄を主成分とした触媒が用いられる。

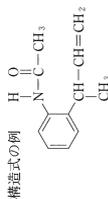
鉄はヒトの必須元素でもある。血液中の鉄素の運搬を担うヘモグロビンは1分子あたり(キ)個の鉄原子を含んでいる。肝臓や赤血球に多く含まれるカタラーゼは活性部位の一部として鉄を含み、生体内で(ク)反応を触媒する酵素として働いている。以下の問いに答えよ。

- (ア)~(キ)にあてはまる適切な語句または数字を答えよ。
- (ク)にあてはまるのは次の①~⑤のどれか、番号で答えよ。
① 加水分解 ② 合成 ③ 酸化還元 ④ 脱離 ⑤ 転移
- (ア)~(ク)にあてはまる適切な化学式を答えよ。
- 転炉中で鉄鉄1.2 × 10⁴ kgに高温で酸素を吹き込んだところ、鉄鉄に含まれる炭素の一部が二酸化炭素に変化し、鉄鉄の質量が3.0%減少した。このとき生じた二酸化炭素の体積は0℃、1.013 × 10⁵ Paにおいて何Lか。有効数字4桁で答えよ。ただし、炭素のみが反応を起しており、反応した炭素は全て二酸化炭素となつたとする。
- 下線部(a)の気体Xは、実験室では干電池に亜硫酸を加えて加熱すると得られる。この実験室での反応を化学反応式で記せ。
- 下線部(b)の気体Yは毒性が強い。その理由を説明せよ。
- 下線部(b)の水溶液に酸性条件下で酸化水素を通じると、どのような変化が観察されるか説明せよ。

4 合成高分子化合物であるポリエチレンテレフタラート(PET)は、芳香族化合物Aと化合物Bとの縮重合によって合成される。化合物Aは、分子量106の芳香族酸化水素Cから触媒を用いた酸化で作られる。また、化合物Bは無色の高い不揮発性の液体であり、工業的にはC₂H₄を原料として作られる。

化合物Cの構造異性体である化合物Dを、塩基性の過マンガン酸カリウム水溶液を用いて酸化すると安息香酸カリウムが得られる。また、化合物CやDの構造異性体である化合物Eを、触媒を用いて酸化すると芳香族化合物Fが生成する。化合物Fを加熱すると分子内で脱水が起こり、酸無水物Gが生成する。この酸無水物Gは、酸化バナジウム(V)を触媒を用いてナフタレンを酸化しても得られる。一方、化合物Fにメタノールと少量の濃硫酸を加えて加熱すると、化合物Hができる。以下の問いに答えよ。ただし、構造式は例にならなくて記すこと。

- 化合物AとE、Hは何か。それぞれの構造式を答えよ。
- 化合物BとC、Dは何か。それぞれの名称を答えよ。
- 下線部(a)について、化合物Dと同様の反応で安息香酸カリウムを与える。分子量が110以下の芳香族化合物の名称をひとつ答えよ。
- 下線部(b)の反応について、構造式を用いた化学反応式で表せ。
- 下線部(c)の反応で、化合物Hに新たに生じる結合の名称を答えよ。
- 100 gのPETを完全に燃焼するとき、発生する二酸化炭素の質量は何gか。有効数字2桁で答えよ。



生 物 (全4の3)

3 図2はヒトの心臓の断面図を示している。ヒトの心臓は左右の心房・心室の4つの部屋からなるが、左心室壁は右心室壁に比べて厚いという特徴がある。

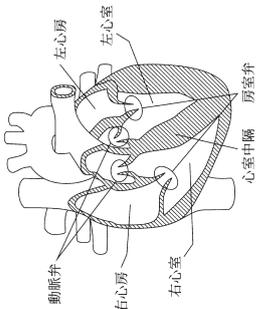


図2

心臓は、血液を送り出すポンプとしてはたらき、全身への酸素の供給と、全身からの二酸化炭素の回収に重要な役割を担っている。心臓がポンプの機能を果たすために、心筋が収縮と弛緩を繰り返している。しかしこのはたらきだけで全身の血液の流れの方向が決まるわけではない。血液が体内を一定の方向に流れるのは、心房と心室の収縮のタイミングのずれと、血管及び心臓内にある弁のはたらきによる。心臓内の弁として、心房と心室の間に房室弁、心室と動脈の間には動脈弁があり、血液の逆流を防いでいる。

心房と心室の収縮のタイミングのずれは、心臓での興奮の伝達を担う特殊な心筋細胞によって担われている。心臓の自動能を担うペースメーカーで発生した心筋細胞の興奮は房室結節に到達する。房室結節では興奮の伝達速度が遅くなるため、心室中隔から心室筋へと興奮が伝わるのに遅延が生じ、心房と心室が収縮するタイミングにずれが生じる。

図3には、左心房、左心室、およびそれにつながる大動脈の内圧と、左心室の容積、心音、心電図の時間変化を示している。心電図に現れるP波は心房筋の興奮によって生じる電位変化、QRS波は心室筋が興奮し始めてから心室内を興奮が伝播する際に生じる電位変化を示している。

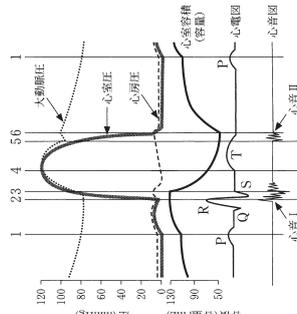


図3

問1 下線(a)について、この特徴が心臓の収縮力とどのような関係があるか、25字以内で答えなさい。

問2 下線(b)について、心臓の自動能を担うペースメーカーが存在するのは心臓の4つの部屋のうちのどれか、答えなさい。

問3 心音は心臓の弁が閉じるときに発生する。心音I、心音IIはそれぞれどの弁が閉じるときに生じるか答えなさい。

問4 図3内の3のタイミングで左心室の内圧と大動脈の内圧が等しくなった後、心臓の弁がどのように変化し、血液の流れがどのように変化するか50字以内で答えなさい。

生 物 (全4の4)

4 藻類は、植物のように酸素を発生する光合成を行う独立栄養生物であり、ほとんどが水中で生活する。藻類の体制や生殖様式は多様で、体のつくりは単細胞体から多細胞体まであり、生殖様式も分裂あるいは胞子による無性生殖を行うもの、有性生殖を行うもの、両方の生殖を行うものがある。藻類は、光合成色素の違いなどによって紅藻類、緑藻類、褐藻類、ケイ藻類などに分けられる。

光合成を行うさまざまな藻類や種子植物、原核生物であるシアノバクテリアが有する光合成色素を抽出して、それらをTiC(薄層クロマトグラフィー)によって分離したところ、図4のような結果が得られた。図4のAからEは、それぞれ以下の生物から抽出した光合成色素を分離した結果である。

- A: 種子植物
- B: シアノバクテリア
- C: 緑藻
- D: 褐藻
- E: 紅藻

またこの分離条件下で、さまざまな光合成色素の原点からの移動率(Rf値)を表1のとおりである。

図4

色素	Rf値(平均)	色素	Rf値(平均)
クロロフィルa	0.77	カロテン	0.97
クロロフィルb	0.68	キサントフィル	0.65
クロロフィルc	0.14	フコキサンチン	0.57
フィコビリリン	0.01		

図4の結果を元にシアノバクテリア、藻類、種子植物の進化に伴う光合成色素の種類の変遷について考察をしたところ、下の図5のような系統樹を抽出することができた。

問1 図4のBからEの各生物は、図5のAからEのうちのどれにあてはまるか、それぞれ記号で答えなさい。

問2 図5の(a)から(d)にあてはまる光合成色素の名称を以下の(a)から(e)の中から各一つ選び記号で答えなさい。

- (ア) クロロフィルa (イ) クロロフィルb
- (ウ) クロロフィルc (エ) フィコビリリン
- (オ) キサントフィル (カ) カロテン

問3 ミドリムシは細胞内に葉緑体を有しており、ミドリムシの葉緑体に含まれる光合成色素の種類は種子植物と同じである。しかしミドリムシの葉緑体は、種子植物の葉緑体と異なり、3枚の膜で細胞質と隔てられていることが知られている。ミドリムシはどのような進化の過程を経て葉緑体を獲得したか推論して、50字以内で答えなさい。

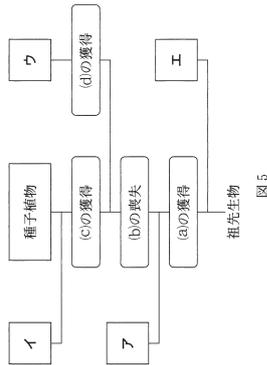


図5

生 物 (全4の3)

3 図2はヒトの心臓の断面図を示している。ヒトの心臓は左右の心房・心室の4つの部屋からなるが、左心室壁は右心室壁に比べて厚いという特徴がある。

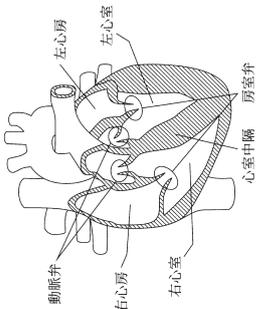


図2

心臓は、血液を送り出すポンプとしてはたらき、全身への酸素の供給と、全身からの二酸化炭素の回収に重要な役割を担っている。心臓がポンプの機能を果たすために、心筋が収縮と弛緩を繰り返している。しかしこのはたらきだけで全身の血液の流れの方向が決まるわけではない。血液が体内を一定の方向に流れるのは、心房と心室の収縮のタイミングのずれと、血管及び心臓内にある弁のはたらきによる。心臓内の弁として、心房と心室の間に房室弁、心室と動脈の間には動脈弁があり、血液の逆流を防いでいる。

心房と心室の収縮のタイミングのずれは、心臓での興奮の伝達を担う特殊な心筋細胞によって担われている。心臓の自動能を担うペースメーカーで発生した心筋細胞の興奮は房室結節に到達する。房室結節では興奮の伝達速度が遅くなるため、心室中隔から心室筋へと興奮が伝わるのに遅延が生じ、心房と心室が収縮するタイミングにずれが生じる。

図3には、左心房、左心室、およびそれにつながる大動脈の内圧と、左心室の容積、心音、心電図の時間変化を示している。心電図に現れるP波は心房筋の興奮によって生じる電位変化、QRS波は心室筋が興奮し始めてから心室内を興奮が伝播する際に生じる電位変化を示している。

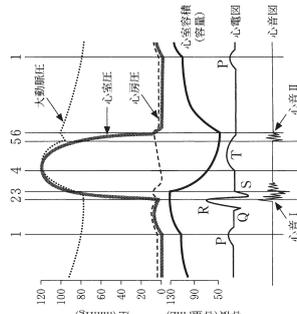


図3

問1 下線(a)について、この特徴が心臓の収縮力とどのような関係があるか、25字以内で答えなさい。

問2 下線(b)について、心臓の自動能を担うペースメーカーが存在するのは心臓の4つの部屋のうちのどれか、答えなさい。

問3 心音は心臓の弁が閉じるときに発生する。心音I、心音IIはそれぞれどの弁が閉じるときに生じるか答えなさい。

問4 図3内の3のタイミングで左心室の内圧と大動脈の内圧が等しくなった後、心臓の弁がどのように変化し、血液の流れがどのように変化するか50字以内で答えなさい。