

令和3年度・個別学力検査

理 科 (後)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は23ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 問題選択に関する注意(重要)

「物理」、 「化学」、 「生物」のうち1科目を選択して解答しなさい。

選択しなかった2科目の解答用紙は試験開始後、40分で回収します。それ以後は選択の変更は認めません。

I、 **II**、 **III**、 **IV**、 **V**、 **VI** の解答用紙はそれぞれ1枚とする。

試験開始後、 **I** ~ **VI** の解答用紙6枚ともに氏名(カタカナ)及び受験番号を記入しなさい。受験番号が正しく記入されていない場合は、採点できないことがあります。また、氏名(カタカナ)及び受験番号以外の文字、数字などは、絶対に

令和3年度個別学力検査 後期日程

総合生命理部
理科 問題

名古屋市立大学 学生課入試係 052-853-8020

許可なしに転載、複製
することを禁じます。

◇M12(136-116)

理 科 問 題

物 理	{	I	3 ページ
		II	5 "
化 学	{	III	7 ページ
		IV	11 "
生 物	{	V	16 ページ
		VI	21 "

解 答 用 紙

理科	物理解答用紙	2 枚
理科	化学解答用紙	2 枚
理科	生物解答用紙	2 枚

物 理

I

次の文章中の空欄①～⑧にあてはまる数式を求め、解答欄に記入しなさい。

図1のように、水平な床の上の点Oから、なめらかで鉛直な壁に向かって水平面より角度 θ の方向に速さ v_0 で質量 m の小球を投げ上げた。その後、小球は壁面上の点Bに垂直にあたり、はねかえってなめらかな床の上の点Cに衝突した。点Bおよび点Cにおける衝突のはねかえり係数(反発係数)を1よりも小さい e 、重力加速度の大きさを g とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

投げ上げてから壁面に衝突するまでを考える。このときの小球の位置を点Aとする。点Aにおける小球の速度を \vec{v}_1 とし、その水平成分を v_x 、鉛直成分を v_y とすると、小球の速さ v_1 は、 v_x および v_y を用いて、 $v_1 = (\text{①})$ となる。また、速度 \vec{v}_1 が水平方向となす角 θ_1 と v_x 、 v_y との関係は、 $\sin \theta_1 = (\text{②})$ と表される。小球を投げ上げてから経過した時間を t とすると、 v_y は、 v_0 、 g 、 t 、 θ を用いて、 $v_y = (\text{③})$ となる。したがって、小球が壁に到達する時間 t' は、 v_0 、 g 、 θ を用いて、 $t' = (\text{④})$ となる。

次に、点Bにおける小球の衝突について考える。小球が壁に衝突する直前の速さを v_2 、はねかえった直後の速さを v_2' とすると、 v_2' は、 v_0 、 e 、 θ を用いて、 $v_2' = (\text{⑤})$ となる。また、この衝突で小球が壁から受けた力積の大きさは、 v_0 、 m 、 e 、 θ を用いて、 (⑥) となる。

壁との衝突後、落下した小球は点Cにおいてなめらかな床と衝突し、はねかえった。小球が点Cに衝突する直前の速度を \vec{v}_3 、直後の速度を \vec{v}_3' とする。これらの速度の鉛直成分をそれぞれ v_{3y} 、 v_{3y}' とすると、両者の関係は、 $|v_{3y}'| = (\text{⑦}) |v_{3y}|$ となる。ここで、点Cで衝突した直後の小球の運動エネルギーは、点Oにおいて投げ上げた直後の小球の運動エネルギーの (⑧) 倍となる。

最後に、小球が点Cに引き続く2度目の床との衝突で、ちょうど初期地点O

に戻る条件を考える。地点Oから壁までの距離OD、壁から地点Cまでの距離DC、地点Cから地点Oまでの距離COは、 v_0 、 g 、 e 、 θ を用いて、それぞれ、 $OD = (\text{⑨})$ 、 $DC = (\text{⑩})$ 、 $CO = (\text{⑪})$ となる。このことから、 $e = (\text{⑫})$ が条件であるとわかる。

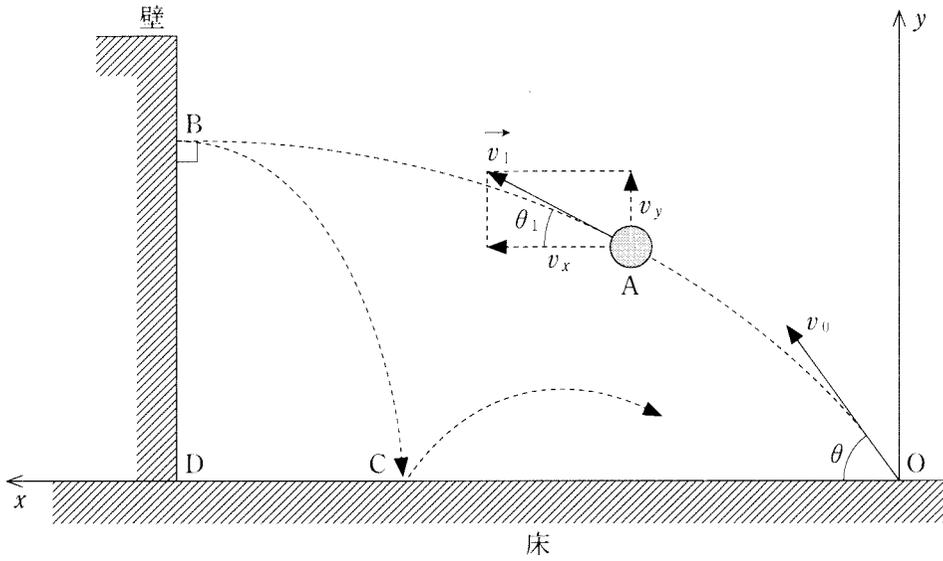


図 1

物 理

II

質量分析装置の基本原理について考察する。図1のように、イオン源から出たイオンの価数 Z 、質量 M の正イオン X が2つの電極間(電位差は V)で加速され直進した後に、一様な磁場(磁束密度 B)が存在する領域(以下、一様な磁場領域とよぶ)を通過して検出器の入射口に到達し、検出される。電気素量を e として、以下の設問に答えよ。

- (1) イオン源から出た正イオン X の初速度がゼロとみなせるとき、電位差 V により加速された正イオン X の速さはいくらになるか。

初速度ゼロでイオン源を出た正イオン X は、2つの電極間で加速された後に一様な磁場領域に入った。正イオン X は、図1のように、ちょうど4分の1の円形軌道を経て、一様な磁場領域を出て直進し、検出器の入射口に達した。したがって、一様な磁場領域に入る直前のイオンの進行方向は、一様な磁場領域を出たときの進行方向と垂直である。正イオン X の軌道は紙面と平行な面内にあり、磁場は紙面に垂直な方向である。

- (2) 磁場の向きは紙面に対して垂直上向きか、垂直下向きかを答えよ。
- (3) 正イオン X が一様な磁場領域で磁場から受ける力の大きさを求めよ。
- (4) 4分の1の円形軌道の半径を求めよ。
- (5) 正イオン X が4分の1の円形軌道を通過するのに要する時間を求めよ。
- (6) イオン源から出るイオンにはイオンの価数 Z のものだけでなく、イオンの価数 $Z + 1$ のものも含まれている。しかしながら、イオンの価数 $Z + 1$ のイオンは、検出器の狭い入射口とは異なる位置に到達するため検出されない。イオンの価数 $Z + 1$ のイオンは、図1の紙面上で検出器の入射口に対して右側に到達するか、左側に到達するかを答えよ。また、その理由も簡潔に記せ。ただし、イオンの質量はイオンの価数 Z のものと同じとする。

イオンの価数が正イオン X と同じで、質量がわずかに大きい別の正イオン Y を、この分析装置で分析してみる。

(7) 正イオン Y (質量 $M + \Delta M$) を上記のイオン X の場合と同じ条件で加速して一様な磁場領域を通過させたところ、正イオン Y は検出器の入射口の位置には到達せず、検出できない。正イオン Y がちょうど検出器の入射口に達するように磁場の強さを調整したい。磁束密度を B の何倍にすべきかを答えよ。

(8) 次に、磁束密度を B のままにして加速電位差を調整し、正イオン Y がちょうど検出器の入射口に達するようにしたい。加速電位差を V の何倍にすべきかを答えよ。

この分析装置で未知の正イオンを分析したところ、加速電位差が V' 、磁束密度が B' のときに、未知の正イオンは検出器の入射口に達して検出できた。

(9) 加速電位差 V' および磁束密度 B' の値によって、未知の正イオンに関して何がわかるかを簡潔に説明せよ。

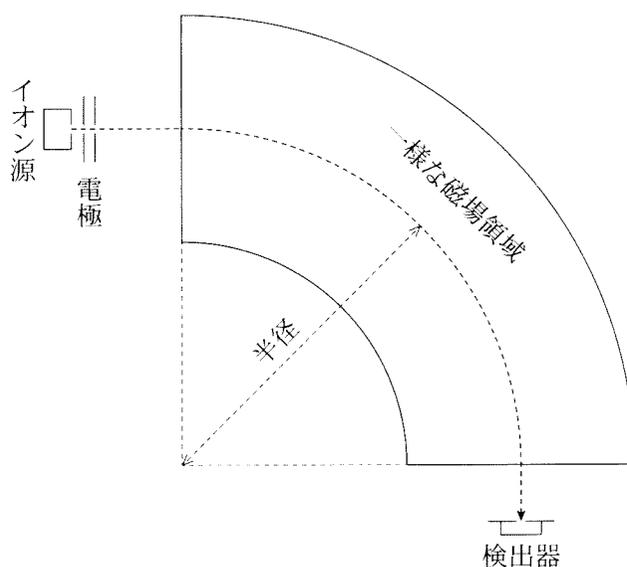


図 1

化 学

Ⅲ

次の文を読み、問1～問11に答えよ。ただし、ファラデー定数を $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ 、原子量を $\text{H} = 1.00$ 、 $\text{O} = 16.0$ 、 $\text{S} = 32.0$ 、 $\text{Cu} = 64.0$ とする。

圧力 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ における水素の燃焼反応は、以下の熱化学方程式で表される。



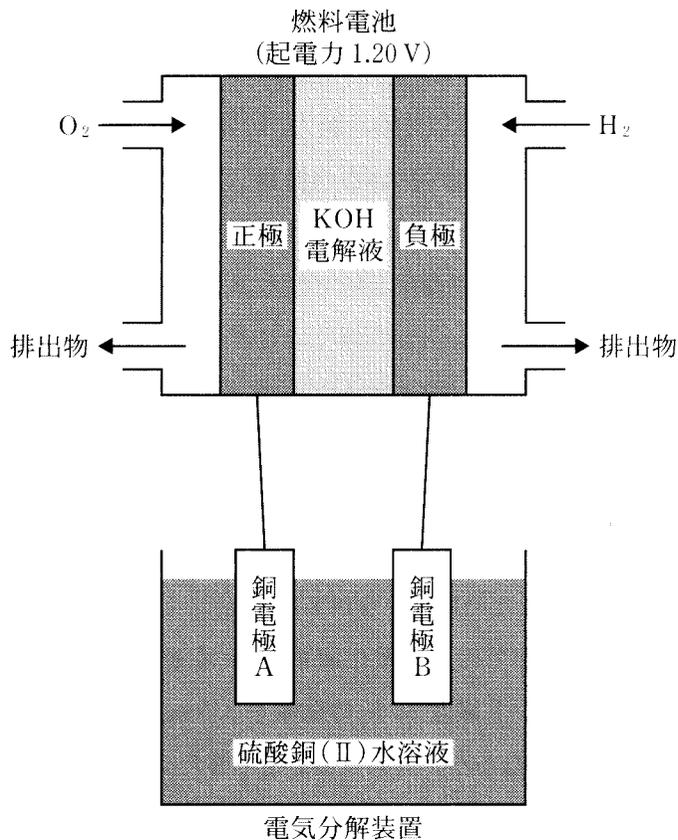
水素-酸素燃料電池は、水素ガスを燃焼させて水を生成するときに放出されるエネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置である。電解質に水酸化カリウム水溶液を用いる燃料電池では、正極で 、負極で の反応が起きる。この燃料電池を作製して、図のように、純銅からなる質量 100 g の銅板2枚を電極に用いた電気分解装置に接続した。このとき燃料電池の 極では酸化反応が起き、電気分解装置に向かって電子が押し出される。一方、電気分解装置の銅電極Aは 極となり、酸化反応が起こる。図の燃料電池(起電力 1.20 V)を20分間稼働させたところ、KOH電解液の体積とその中に存在するカリウムイオンのモル濃度は変化しなかったが、燃料電池の排出物から 9.00 g の水が得られた。このとき銅電極Aと銅電極Bの質量は、それぞれ gと gであった。

図に示したような電気分解の原理を用いて銅の電解精錬を行うことができる。黄銅鉱(主成分 CuFeS_2)、ケイ砂、石灰石、コークスを溶鉱炉に入れて強熱すると、硫化銅(Ⅰ)が生じる。硫化銅(Ⅰ)を取り出して転炉に移し、空気を吹き込みながら加熱すると、純度が99%程度の粗銅が得られる。粗銅は、電解精錬によって、純度99.99%の純銅となる。 0.3 V の低電圧を用いた電解精錬の際に、粗銅に含まれる金、銀、鉄、ニッケルなどの不純物は除去される。

銅は塩酸や希硫酸とは反応しないが、酸化作用の強い希硝酸や濃硝酸、熱濃硫酸

^⑤

と反応して溶ける。また、銅は合金としても広く用いられている。たとえば、銅と亜鉛の合金である は五円硬貨や楽器などに、銅とスズの合金である は銅像や釣鐘などに利用される。水溶液中の銅イオンも様々な化学反応に参与する。硫酸銅(Ⅱ)水溶液に薄い水酸化ナトリウム水溶液を少量加えると、^⑥青白色の沈殿を生じる。この沈殿に過剰のアンモニア水を加えると沈殿は溶けて深青色の水溶液になる。^⑦



図

問 1. と に当てはまる反応式を、電子 e^- を含めたイオン反応式で記せ。

問 2. と に当てはまる数値を、小数点以下を四捨五入した整数値で記せ。

問 3. ~ に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問 4. 下線部①に基づき、圧力 1.01×10^5 Pa, 25°C における水の蒸発熱 (kJ/mol) を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 $\text{H}-\text{H}$, $\text{O}=\text{O}$, 水分子中の $\text{O}-\text{H}$ の結合エネルギーを、それぞれ 436 kJ/mol, 498 kJ/mol, 463 kJ/mol とする。

問 5. 電池から得られる電気エネルギー (J) は、電池の起電力 (V) と流れた電気量 (C) の積で表される。下線部②の燃料電池の運転により得られた電気エネルギー (J) はいくらか。有効数字 3 桁で答えよ。

問 6. 下線部②の燃料電池の運転において、水素の燃焼熱のうち、電気エネルギーに変換された割合は何%となるか。有効数字 2 桁で答えよ。

問 7. 下線部③の操作では二酸化硫黄が生成する。二酸化硫黄は接触法により硫酸を工業的に製造するために用いられている。

1) 下線部③の操作で得た二酸化硫黄の 95 % を接触法で硫酸に変換した場合、質量パーセント濃度 98 % の硫酸を 2.0 kg 得るのに必要な硫化銅 (I) の質量は何 kg となるか。有効数字 2 桁で答えよ。

2) 接触法では、酸化バナジウム (V) を触媒として用いて、二酸化硫黄が三酸化硫黄に変換されるが、この反応は以下のように可逆反応である。



$\text{SO}_2(\text{気})$, $\text{N}_2(\text{気})$, $\text{O}_2(\text{気})$ を物質質量比 1 : 8 : 2 で含む混合気体を一定体積の容器に封入し、一定温度に保ったところ、平衡に到達したときの圧力は、反応開始前の 0.96 倍となった。反応開始前に存在した $\text{SO}_2(\text{気})$ の何% が反応によって $\text{SO}_3(\text{気})$ に変化したか。有効数字 2 桁で答えよ。

問 8. 下線部④に関して、粗銅から純銅を精製する過程で、不純物の金とニッケルが除去される仕組みを簡潔に説明せよ。ただし、解答には[イオン化傾向]と[陽極泥]の2つのキーワードを含めよ。

問 9. 下線部⑤で、1)銅が希硝酸と反応して溶けるときの反応式、2)銅が濃硝酸と反応して溶けるときの反応式を、それぞれ記せ。

問10. 1) 下線部⑥の反応式を記せ。 2) 下線部⑦の反応式を記せ。

問11. 銅の酸化物には、酸化銅(I)と酸化銅(II)が知られている。次の1)―4)の文章のうち、主に酸化銅(I)に関わるものをすべて選び、その番号を記せ。

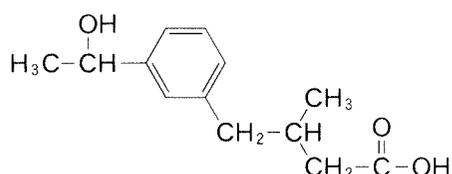
- 1) 常温で黒色の固体である。
- 2) 銅を 1000 °C 以上の高温で加熱すると得られる。
- 3) アルデヒドによるフェーリング液の還元反応で沈殿として得られる。
- 4) 有機化合物の元素分析において助燃剤として用いられる。

化 学

IV

- (1) 次の実験 1～実験 5 の結果に基づいて、問 1～問 4 に答えよ。必要であれば、次の値を用いよ。原子量は、 $H = 1.00$ 、 $C = 12.0$ 、 $N = 14.0$ 、 $O = 16.0$ とする。構造式は記入例にならって記せ。

(記入例)



【実験 1】

異なる 4 種類の有機化合物 A, B, C, D がある。これらの分子量は A, B, C, D の順であり、A が最も小さく、D が最も大きい。同じ物質量の A, B, C, D を含むジエチルエーテル溶液に対して、下に示した(a)～(d)の実験操作を順番に行った。その結果、ベンゼン環をもつ 5 種類の化合物(E, F, G, H, I)が得られた。E, F, G, H, I の物質量の比は 1 : 2 : 3 : 1 : 2 であった。

- (a) A, B, C, D を含むジエチルエーテル溶液に十分な量の水酸化ナトリウム水溶液を加え、かき混ぜながら加熱したところ、A, B, C, D はいずれも完全に加水分解された。反応後の混合物を冷却した後、エーテル層①と水層①に分離した。
- (b) エーテル層①に十分な量の塩酸を加え、エーテル層②と水層②に分離した。エーテル層②からは E が得られた。水層②を水酸化ナトリウム水溶液で塩基性になると F が得られた。

(c) 水層①に塩酸を加えて酸性とし、ジエチルエーテルを加えてよく振り混ぜ、エーテル層③と水層③に分離した。エーテル層③から G, H, I が得られた。

(d) エーテル層③に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えてよく振り混ぜると、G と H は塩となって水層④に移動した。エーテル層から化合物 I が得られた。I は工業的にはクメン法で製造される化合物であった。

【実験 2】

化合物 E の元素分析を行ったところ、質量パーセントで炭素が 77.8 %、水素が 7.4 %、酸素が 14.8 % であった。また、ベンゼン 20 g に 0.20 g の E を溶かして凝固点を測定したところ、凝固点降下度 (Δt) は $4.74 \times 10^{-1} \text{ K}$ であった。ただし、E はベンゼン中で二量体を形成せず単分子で存在する化合物であり、ベンゼンのモル凝固点降下は $K_f = 5.12 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ とする。

【実験 3】

化合物 E を二クロム酸カリウム水溶液によって穏やかに酸化すると化合物 J が生じ、さらに過マンガン酸カリウム水溶液で酸化すると化合物 G を生成した。

【実験 4】

化合物 F を希塩酸に溶かし、 5°C 以下に冷却しながら亜硝酸ナトリウム水溶液を加えると、塩化ベンゼンジアゾニウムが生じた。さらに、ろ過により取り出した塩化ベンゼンジアゾニウムの固体に室温で水を加えると、気泡が発生して化合物 I が生じた。

【実験 5】

化合物 H を加熱すると脱水して化合物 K を生成した。K は工業的には酸化バナジウム(V)を触媒としてナフタレンを酸化することで合成される化合物であった。

問 1. 化合物 E, F, G, J の構造式を記せ。

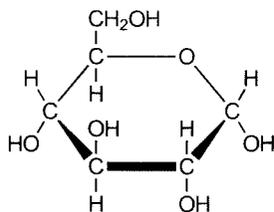
問 2. 実験 4 の下線部について、塩化ベンゼンジアゾニウムと水との反応の式を、示性式を用いて記せ。

問 3. 化合物 H および K の構造式を記せ。

問 4. 化合物 A, B, C, D の構造式を記せ。

(2) 次の文章を読み、問5～問7に答えよ。構造式は記入例にならって記せ。

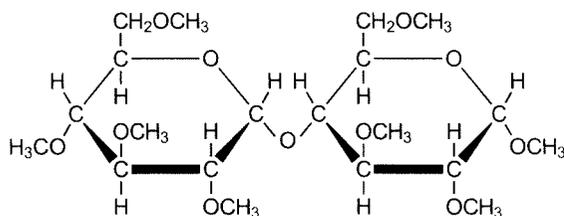
(記入例)



マルトースは、だ液やすい液に含まれる酵素【ア】によって、デンプンを加水分解すると生じる二糖類である。マルトース分子は、 α -グルコース分子の1位の炭素に結合したヒドロキシ基と、 α -または β -グルコース分子の4位の炭素に結合したヒドロキシ基の間で脱水縮合した構造で、希塩酸または酵素【イ】で加水分解するとグルコースを生じる。

マルトースを、過剰のヨウ化メチルと反応させると、すべてのヒドロキシ基がメチル化され、化合物Lが生じた。Lを希硫酸で完全に加水分解すると、1位の炭素にヒドロキシ基、2、3、4、6位の炭素にメトキシ基(-OCH₃)が結合したグルコースの誘導体Mと、1、4位の炭素にヒドロキシ基、2、3、6位の炭素にメトキシ基が結合したグルコースの誘導体Nが生じた。

次に、二糖類OとPをそれぞれ過剰のヨウ化メチルと反応させ、すべてのヒドロキシ基をメチル化させた後、希硫酸で完全に加水分解すると、Oからは化合物MとQが得られ、Pからは化合物Mのみが得られた。QとNはメトキシ基の結合位置のみが異なる異性体であった。化合物Lの構造式は図のとおりであった。



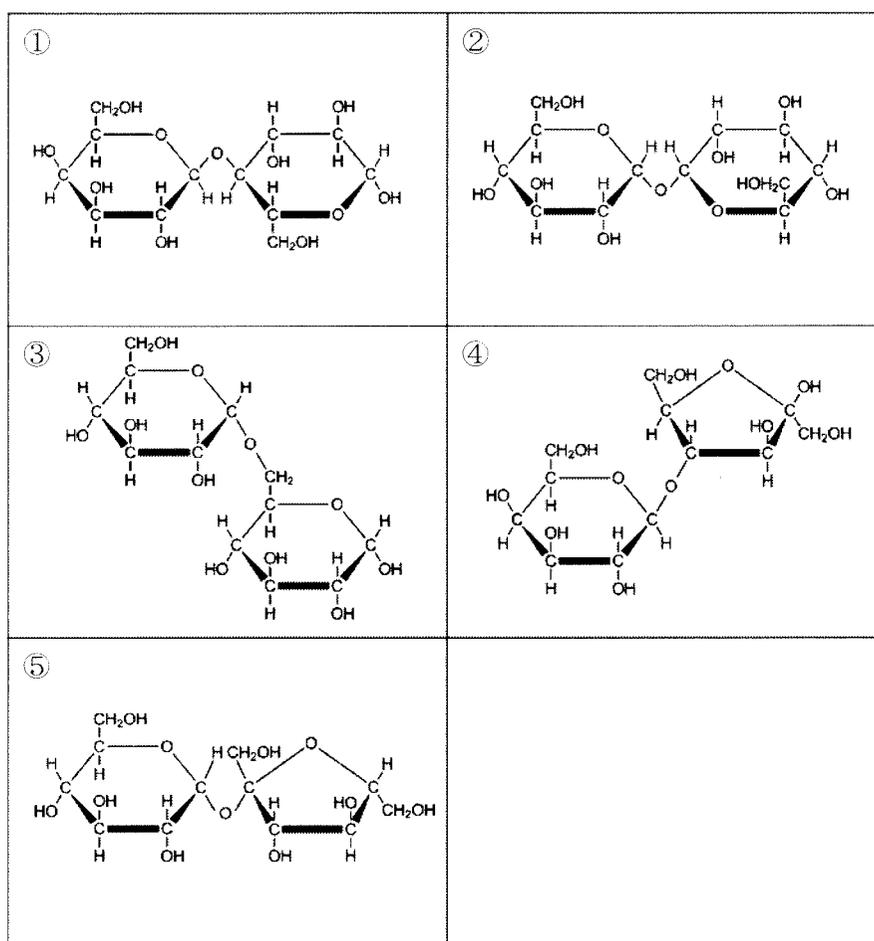
図

問 5. 文中の空欄【 ア 】～【 イ 】に最も適切な酵素の名称を記入せよ。

問 6. 化合物 M と N の構造式を記せ。

問 7. 化合物 O と P は表 1 の①～⑤のいずれかである。それぞれ適する構造式を選んで番号で記せ。また、化合物 Q の構造式を記せ。

表 1



生 物

V

次の文章を読み、問1～問3に答えよ。

動物は外界からの刺激を受容し、それに対する反応や行動を起こす。受容された刺激に対して、動物は運動神経系を使って筋収縮を行うことで移動したり、(①)神経系を使って体内環境を変化させたりする。それらの反応を引き起こすのが筋肉や分泌腺などの器官で、これらを(②)という。受容器から受け取ったさまざまな情報を統合処理しているのが(③)神経系である。

動物の神経系は、ニューロン(神経細胞)とグリア細胞の2種類の細胞から構成される。ニューロンは、核のある細胞体と、多数の突起とからできている。短い多数の突起は、(④)突起といい、他のニューロンからの情報を受けとる。細長く伸びた突起は軸索または神経繊維と呼ばれる。軸索の末端は神経終末といい、他のニューロンや筋肉などの(②)と20～50 nmの隙間をおいて接続している。この部分をシナプスという。シナプスでは、神経終末内部のシナプス小胞から放出される神経伝達物質と呼ばれる化学物質によって、情報が伝達される。神経伝達物質には、アセチルコリン、ノルアドレナリン、グルタミン酸、GABA(γ -アミノ酪酸)などがあり、ホルモンの一部も神経終末から放出される。

甲状腺刺激ホルモンやバソプレシンなどのホルモンはポリペプチドであり、ペプチドホルモンという。ペプチドホルモンは、核において遺伝子としてDNAから転写され、細胞体で翻訳された後に、神経終末まで移動する。細胞体の大きさは一般に数十 μm であるが、軸索はヒトなどでは1mにおよぶこともある。軸索の直径は1～10 μm 程度であるので、これだけ細長い管の中を拡散によってペプチドホルモンが神経終末まで移動することはきわめて困難であり、積極的な輸送のしくみが必要となる。このペプチドホルモンの輸送は、主に一種類の細胞骨格^Aとその上を移動するキネシンというモータータンパク質によって行われる。

細胞内に微小な電極を挿入すると、細胞内外の電位差を測定することができる。この細胞膜を隔てた電位差を膜電位という。細胞がほかの細胞から信号を受け取っていない時の膜電位を静止電位という。また、一定以上の大きさの脱分極が起こると膜電位が急速に上昇するが、これを活動電位という。ニューロンでは^B静止電位は $-70 \sim -60$ mV 程度、また活動電位のピーク値は $+30 \sim +40$ mV 程度であることが多い。ニューロンの興奮が神経終末まで伝導すると、神経伝達物質が放出される。

問 1 文中の空欄(①)~(④)にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問 2 文章中の下線部 A に関して、次の小問(1)~(3)に答えよ。

- (1) この細胞骨格について、特徴的な構造とはたらきを 80~100 字程度で説明せよ。
- (2) もう一種類の細胞骨格であるアクチンフィラメントについて、特徴的な構造とはたらきを 80~100 字程度で説明せよ。
- (3) キネシンに GFP(緑色蛍光タンパク質)を融合させたタンパク質を神経細胞で発現させる実験を行った。その結果、GFP の蛍光が細胞体から神経終末の方へ移動する様子が観察されたが、神経終末で蓄積することも、また細胞体へ戻る様子も観察されなかった。キネシンと GFP の融合タンパク質の蓄積も細胞体へ戻る様子も観察されなかった理由として考えられる仮説を 3 つ考えて、それぞれ 20 字程度で答えよ。

問 3 文章中の下線部Bに関して、次の小問(1)~(3)に答えよ。

静止電位や活動電位の値は、それぞれ K^+ または Na^+ の細胞内外の濃度比によって決まっている。表 1 に、細胞内外の主要なイオン濃度を示した。

表 1 細胞内外のイオン組成(哺乳類の神経細胞の一例)

イオン	細胞内(10^{-3} mol/L)	細胞外(10^{-3} mol/L)
K^+	140	5.0
Na^+	10	145
Cl^-	4.0	110

細胞が静止状態の時、細胞膜の一部の K^+ チャネルは開いており、 K^+ は低濃度である細胞外へ拡散して出ていこうとする。一方、細胞の内側は細胞の外側に対して電氣的に負になって、 K^+ を引き戻そうとする。この結果として、 K^+ が濃度差に従って細胞外へ拡散しようとする力と、電氣的に引き戻そうとする力が釣り合う状態(平衡状態)になる。この平衡状態は電位の値で表され、そのイオンの平衡電位と呼ばれる。そのイオンの細胞内外の濃度(mol/L)をそれぞれ $[C]_{in}$ と $[C]_{out}$ とすると、平衡電位 E (mV) は室温の場合に以下の式で表される。

$$E = \frac{57.5}{n} \times \log_{10} \frac{[C]_{out}}{[C]_{in}}$$

ここで、 n はイオンの正負を含む価数(K^+ の場合は +1)である。

例えば、 K^+ の平衡電位は表 1 の値を上の式に代入することにより、

$$E = \frac{57.5}{+1} \times \log_{10} \frac{5.0 \times 10^{-3}}{140 \times 10^{-3}}$$

として計算できる。ここで、

$$\log_{10} \frac{5.0}{140} = -\log_{10} \frac{140}{5.0} = -\log_{10} 28$$

であり、かつ図1の常用対数のグラフより $\log_{10} 28$ は約 1.4 であると分かる。したがって、 K^+ の平衡電位を四捨五入によって有効数字 2 桁まで求めると、 -81 mV となる。

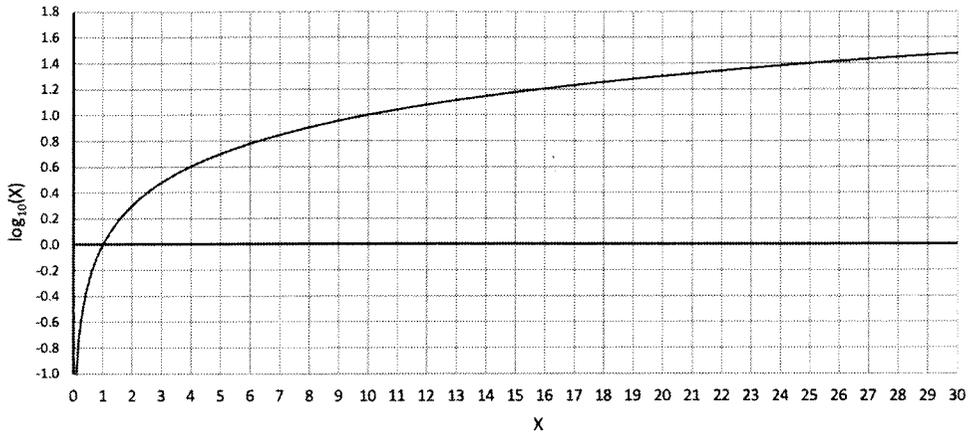


図1 常用対数グラフ

- (1) 表1のイオン組成を持つ細胞における Na^+ の平衡電位を求めよ。ただし、有効数字は2桁とする。解答には計算過程も示せ。
- (2) グルタミン酸を放出する興奮性シナプスでは、興奮が伝導するとシナプス前細胞の神経終末からグルタミン酸が放出される。シナプス後細胞の細胞膜にはグルタミン酸と特異的に結合することでイオンを通すように変化するグルタミン酸依存性イオンチャネルが存在している。グルタミン酸に結合したグルタミン酸依存性イオンチャネルは Na^+ を流入させ、シナプス後細胞の膜電位を脱分極させる。多くの場合、1つの興奮性シナプスで発生する単一の興奮性シナプス後電位(EPSP)は閾値に達するほどの大きさにはならない(図2左, E_1 や E_2)。しかし、時間的または空間的加重が発生した場合は、EPSPが加算によっておよそ -55 mV の閾値を超え、活動電位が発生する(図2右, E_{1+2})。

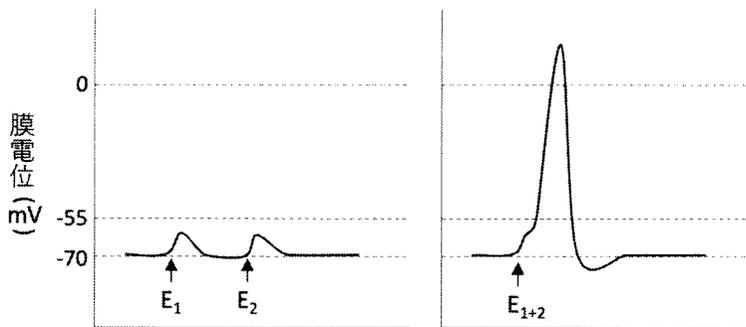


図2 シナプス後電位の加算と活動電位の発生の例。矢印はEPSPの発生時期を示す。グラフの横軸は時間。

一方、神経伝達物質の1つGABAを放出する抑制性シナプスでは、GABAの結合によりシナプス後細胞の細胞膜に存在するGABA依存性イオンチャネルが開く。このイオンチャネルは Cl^- を通す。表1のイオン組成を持つ細胞における Cl^- の平衡電位を求めよ。ただし、有効数字は2桁とする。解答には計算過程も示せ。

- (3) 未成熟のニューロンでは、細胞内 Cl^- 濃度が高い場合があることが知られている。細胞内の Cl^- 濃度が $20 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ であるニューロン(ただしそれ以外の細胞内外のイオン濃度や閾値は表1や図2と同じ)が存在した場合、このニューロンがシナプス前細胞から同時に多くのGABA放出を受けた時にどのような現象が起こると考えられるか。理由と共に80字程度で説明せよ。

生 物

VI

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

一般的な脊椎動物は、減数分裂によって核相が単相(n)の配偶子(卵と精子)をつくり、これらが受精して核相が複相(2n)の新たな個体となる。動物の種類によっては、これとは異なる繁殖様式を持つ。社会性昆虫であるミツバチでは、女王の未受精卵から発生した個体が雄となり、受精卵から発生した個体は雌(次世代の女王と、働きバチ(ワーカー))となる。次世代の女王とワーカーでは役割が異なり、次世代の女王は卵を産むが、ワーカーは同じ巣の血縁者を助ける利他行動をとる。ミツバチの利他行動の進化は、遺伝子の共有率(血縁度)と、特殊な繁殖様式から説明できるとされる。

一般的な脊椎動物が配偶子をつくる時は、2本の相同染色体のうち1本を配偶子に分配するので、一方の親がもっているある遺伝子を子に渡す確率は $1/2$ 、すなわち親からみた子の血縁度は $1/2 = 0.5$ であり、これは雄も雌も同じである。では、兄弟姉妹の血縁度はどのように計算できるのだろうか。同じ両親から生まれた兄弟姉妹がいた時、ある子が持つ2本の相同染色体のうち、片方に乗っている遺伝子Aを母親からもらう確率は $1/2$ 、ほかの兄弟姉妹が母親から遺伝子Aをもらう確率も $1/2$ なので、ある子がもっている母親由来の遺伝子Aがほかの兄弟姉妹にも共有される確率は $1/2 \times 1/2 = 1/4$ と計算される。同様に、父親由来の遺伝子が兄弟姉妹で共有される確率も、 $1/2 \times 1/2 = 1/4$ と計算される。母親経由と父親経由を足すと、 $1/4 + 1/4 = 1/2$ となる。このことから、一般的な脊椎動物の兄弟姉妹間の血縁度は、親からみた子の血縁度と同じ $1/2 = 0.5$ である。

しかしミツバチは特殊な繁殖様式のために、同一巣内*^Bの血縁度が異なる。ミツバチでは、未受精卵が発生、成長して雄になることから、雄は染色体を1セットしかもたない半数体である。雄は、特殊な精子形成を行い、自分と同じ遺伝子セットを持った精子をつくるため、自身の遺伝子の全てが次世代に伝わる。

生物学者のハミルトン博士は、包括適応度という概念を生み出し、ミツバチのワーカーなどで観察される動物の利他行動がなぜ生じるのかを数学的に説明することに成功した。

*1 同一巣内：同じ巣に住む1つの家族内で、同じ両親(女王1匹、雄1匹)を共有していると想定する。

問 1 下線部Aについて、体細胞分裂との相違点分かるように100字程度で説明せよ。

問 2 下線部Bについて、ミツバチの同一巣内における以下1～4の血縁度を整数もしくは小数で答えよ。割り切れない場合には、小数点以下第3位を四捨五入して小数点以下第2位まで答えよ。理由(計算過程を含む)も解答欄に答えよ。女王と雄には血縁関係がなく、女王と交尾した雄は1個体と仮定する。ここでは、遺伝子組換えは考えない。ミツバチの同一巣内の個体関係は図1に示した。

1. ワーカーからみた次世代の女王
2. ワーカーからみた次世代の雄
3. 女王からみた次世代の女王
4. 女王と交尾した雄からみた次世代の雄



図1 ミツバチの同一巣内の個体関係

問 3 次世代の女王を助ける利他行動がミツバチのワーカーで進化したと考えられる理由を、問2の血縁度の計算結果から100字程度で答えよ。

問題補足

科目名 : 物理 (後期)

5ページ 下から 1行目
下線部を追加

… と同じとする。なお、図1の紙面上でイオン源がある側を
検出器の左側とする。