

2012年度入学試験問題

理 科

(試験時間 10:30～12:10 100分)

1. 解答用紙は、記述解答用紙（物理・化学・生物の3種類）のみです。
2. 問題は、I～IX（物理：I～III、化学：IV～VI、生物：VII～IX）の9題あります。そのうち3題を選択して解答してください。ただし生物は生命科学科受験者のみ選択できます。選択した問題には解答用紙の設問番号の右側の選択欄に○を記入してください。（○の記入がない場合は採点の対象となりませんので注意してください。）
なお、4題以上○を記入した場合は、理科の解答はすべて無効となります。

(記入例)

I	選 択	○
---	-----	---

3. 解答は、必ず解答欄に記入してください。なお、解答欄以外に書くと無効となりますので注意してください。
4. 解答は、HBの鉛筆またはシャープペンシルを使用し、訂正する場合は、プラスチック製の消しゴムを使用してください。
5. 解答用紙には、物理・化学・生物すべてに受験番号と氏名を必ず記入してください。（物理、化学、生物のいずれかについて1題も選択していない場合でも受験番号、氏名は必ずすべての解答用紙に記入してください。試験終了後、物理・化学・生物すべての解答用紙を回収します。）

- 【 次の問題の答えを解答用紙の所定の場所に書きなさい。問2以降に対しては、答えを導出する過程も書きなさい。(50点)】

おおいぬ座のシリウスとよばれる恒星は、シリウスAという主星とシリウスBという伴星とからなる連星である。

シリウスAの質量を m_A 、シリウスBの質量を m_B とし、この2つの星の重心をOとする($m_A > m_B$ である)。以下では、図1に示したように、シリウスAは重心Oを中心とする半径 r_A の円周上等速円運動し、シリウスBは重心Oを中心とする半径 r_B の円周上等速円運動しているものとしよう。これら2つの円軌道は1つの平面(公転面)上にあり、図1のように、シリウスAの中心点、重心O、シリウスBの中心点は常に一直線上に並んでいる。2つの星の角速度は等しく、これを ω と書くことにする。

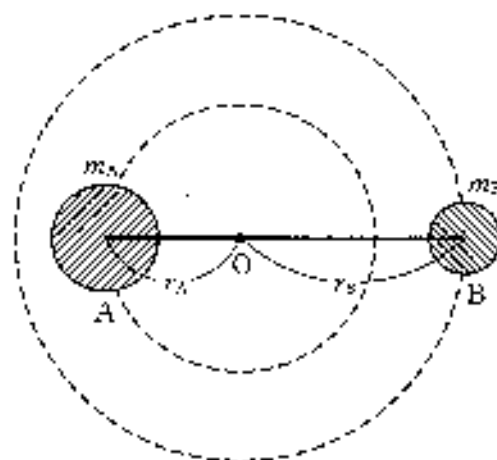


図1

問

1. 以下の空欄に適した数式を答えなさい。

万有引力定数を G とすると、シリウス A と B の間にはたらく引力の大きさは、 G 、 m_A 、 m_B 、 r_A 、 r_B を用いて表すと、 $\frac{Gm_Am_B}{r_A^2+r_B^2}$ である。また、シリウス A の加速度の大きさは r_A と ω を用いて表すと、 $r_A\omega^2$ であり、シリウス B の加速度の大きさは r_B と ω を用いて表すと、 $r_B\omega^2$ である。したがって、運動方程式は

$$m_A \frac{Gm_B}{(r_A+r_B)^2} = r_A\omega^2 \quad (1)$$

$$m_B \frac{Gm_A}{(r_A+r_B)^2} = r_B\omega^2 \quad (2)$$

となる。

2. シリウス A と B の総質量 $m_A + m_B$ を M 、星間距離 $r_A + r_B$ を a 、また、この連星の重心のまわりの公転周期を T とする。 M を G 、 T を用いて表す式を導きなさい。
3. 地球の公転軌道の半長軸を 1 天文単位という。これは約 1.50×10^{11} m である。 a は約 2.00×10^4 天文単位であることが知られている。これは何 m であるか答えなさい。計算は 3 桁で実行し、有効数字 2 桁で答えなさい。
4. T は約 5.01×10^7 年である。これは何 s であるか答えなさい。計算は 3 桁で実行し、有効数字 2 桁で答えなさい。
5. 太陽の質量は約 2.00×10^{30} kg である。問 2 で導いた式に、上の a と T の値を代入して、 M は太陽の質量の何倍であるか計算しなさい。ただし、 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m²/kg² である。また、必要な場合は、円周率 $\pi = 3.14$ としなさい。計算は 2 桁で実行し、有効数字 1 桁で答えなさい。
6. シリウス A と B の軌道半径の比を $R = \frac{r_A}{r_B}$ とする。この値がわかれば、シリウス A とシリウス B それぞれの質量を求めることができる。 m_A と m_B を、それぞれ M と R を用いて表しなさい。観測データより、シリウス A とシリウス B の実際の質量比に約 2 : 1 であることがわかっている。

物理を応用すると、このように、遠い星々の質量を計算することもできるのである。

11 次の問題の答えを導出の過程も含めて、解答用紙の所定の場所書きなさい。

(50点)

電気うなぎは、発電細胞とよばれる細胞が多数集まって外部に大きな電流を流して、水中の魚にショックを与えることができる。1個の発電細胞は図1(a)のように起電力 \mathcal{E} の電池と内抵抗 r が直列につながったものである。細胞が活性化することにより発電細胞の集団が外部抵抗 R に瞬間的に電流を流すことができる。発電細胞の総数を n 個とし、次の問題を考えなさい。

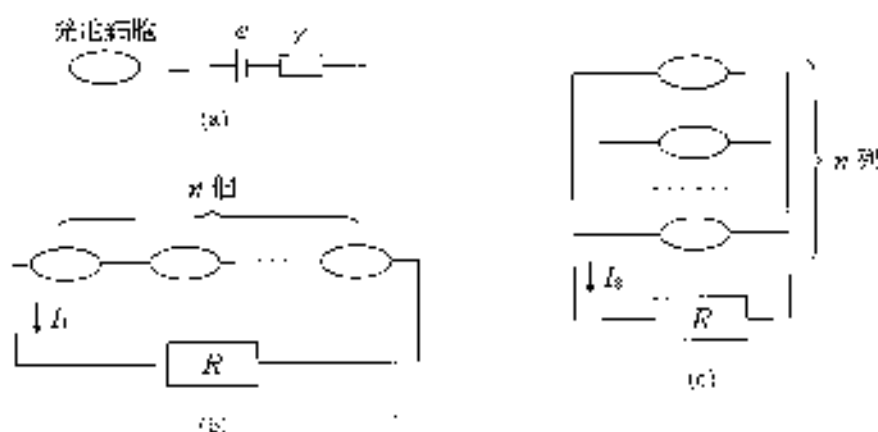


図1：(a)発電細胞の概略、(b)直列接続、(c)並列接続

問い

- 図1(b)のように、 n 個の発電細胞が直列につながっていて、それが外部の抵抗 R とつながっている場合を考えよう。抵抗 R を流れる電流 I_1 はいくらか。ただし n は非常に大きいので、 R は n よりずっと小さいとして、電流 I_1 を \mathcal{E} と r だけで表しなさい。
- 図1(c)のように n 個の細胞が並列に連結されて、それらが外部抵抗 R とつながっているとき、抵抗 R を流れる電流 I_2 はいくらか。ただし $\frac{\mathcal{E}}{r}$ は R よりずっと小さいとして、電流 I_2 を \mathcal{E} と R だけで表しなさい。
- 図1(b)のように p 個の細胞が直列につながったユニットが q 個並列に連結されている。抵抗 R を流れる電流 I はいくらか。

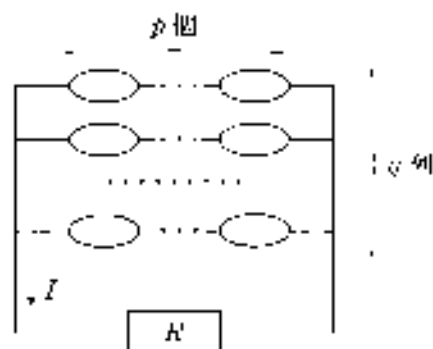


図 2 : 混合接続

4. 問 3 の答えにおいて、細胞の個数 np は n に等しいとしよう。 n を固定した条件の下で、 I を最大にするには p, q をどのように選ばねばよいか。ただし p, q は整数であるか、あたかも連続な数のように取り扱いなさい。そのときの I の値を I_0 とすれば、 I_0 はいくらか。(ヒント: $q = \frac{R}{p}$ を代入することにより I を p だけで表し、 $\frac{a}{p} + bp = \left(\sqrt{\frac{a}{p}} - \sqrt{bp}\right)^2 + 2\sqrt{ab}$ のように式変形をする。)
5. $n = 10^6, \frac{R}{r} = 10^3$ として、 $\frac{I_0}{I_1}, \frac{I_0}{I_2}$ をそれぞれ有効数字 1 桁で答えなさい。その結果は外部に流す電流を大きくするには、混合型の細胞構成がよいことを示している。

III 次の問題の答えを導出の過程を含めて、解答用紙の所定の場所書きなさい。

(50点)

真夏の晴天の日にドライブしていると、アスファルト舗装をされた道路の前方に水たまりがあるように見えることがよくある。ところが、車を走らせて行くとあたかも水たまりが跳ねて行くように見えるので、この現象を逃げ水という。これについて考えてみよう。

逃げ水が見えるときには、道路の表面は強く熱せられて、ときにはアスファルトが柔らかくなるくらいに道路表面の温度が高くなっている。このため、路面のごく近くでは空気の温度が高くなっていて、路面から上に離れるにしたがって低くなる。温度が高いほど空気の密度は小さく、密度が小さいほど屈折率は小さい。したがって、逃げ水が見えるときには、路面から上に行くにしたがって、屈折率がだんだんと増加する。路面のごく近くでの空気の屈折率を n とし、十分上での屈折率を n_0 としよう。すると、 $n_0 > n$ であり、空気の屈折率は道路表面から上に行くにしたがって、 n から n_0 に増加する。

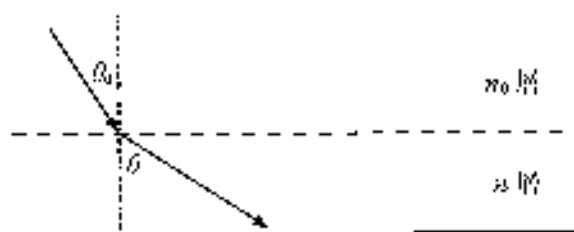


図1

問い

1. 図1のように、路面のすぐ上には屈折率 n の水平な空気の層があり（これを n 層とよぶ）、その上には屈折率 n_0 の別の空気の層がある（これを n_0 層とよぶ）ものとする。図1のように、 n_0 層から入射角 θ_0 で入射した光が n 層に入射角 θ で入るとき、 $n \sin \theta_0$ を n と θ を用いて表しなさい。

2. 図1の場合、 n_0 層と n 層の屈折率は $n_0 > n$ なので、入射角 θ_0 と屈折角 θ の間には不等式 $\theta_0 < \theta$ が成り立つ。したがって、 θ_0 を増すと θ が先に $\pi/2$ に達し、それ以上 θ_0 を増しても、光は n_0 層と n 層の境界面で反射されて n 層の中には入れない。この現象を全反射といい、 θ がちょうど $\pi/2$ になる入射角を臨界角という。これを α とよぶことにしよう。この α と屈折率 n_0 、 n の関係式を求めなさい。

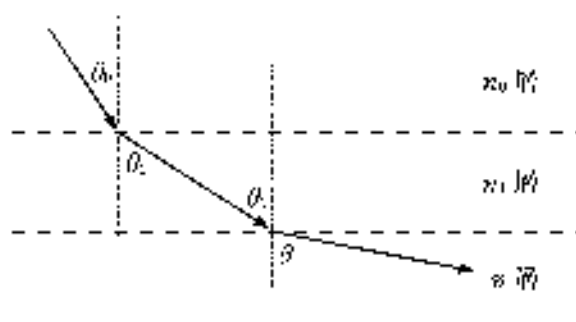


図2

3. 次に図2のように、 n_0 層と n 層の間に屈折率 n_1 の空気の間層ができている場合を考えてみよう（これを n_1 層とよぶ）。このとき、 $n_0 > n_1 > n$ である。図2のように、 n_0 層から入射角 θ_0 で入射した光が n_1 層に屈折角 θ_1 で入り、引き続き n_1 層から入射角 θ_2 で n 層に屈折角 θ で入る。 $n_0 \sin \theta_0$ を n_1 と θ_1 を用いて表しなさい。次に、 $n_1 \sin \theta_2$ を n と θ を用いて表しなさい。これらの結果から、 n_1 層が n_0 層と n 層の間にあることは、 n 層での屈折角 θ にどのように影響するかを答えなさい。
4. 図2で、 n 層での屈折角 θ がちょうど $\pi/2$ になるときの n_0 層から n_1 層への入射角 θ_0 を、図2で求めた臨界角 α を用いて表しなさい。

5. n_0 層と n 層の間に屈折率 n_1 の n_1 層、屈折率 n_2 の n_2 層、…、屈折率 n_{i-1} の n_{i-1} 層、…というように、空気の中間層がいくつもある場合を考えることにしよう。このとき、 $n_0 > n_1 > n_2 > \dots > n_{i-1} > \dots > n$ である。そして、記述解答用紙の問5の解答欄の図にあるように、点Aにおいて n_0 層から入射角 α で入射した光が、そこから離れた点Bで角度 θ で上向きに送られる場合を考えてみる。問2から問4までの結果を考慮して、光が点Aから点Bに進む間のおおよその進路を、問5の解答欄に書き込みなさい。ただし、層の数が多いので各層に依りとして、光の進路は曲線で描けばよいものとする

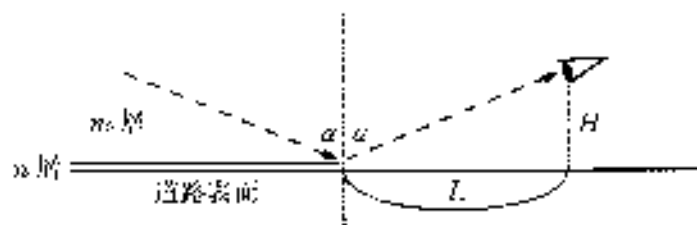


図3

6. 以上の結果から、 n_0 層と n 層の間の空気がどうなっているのかはそれほど重要でない。そこで再び図3に戻って、 n_0 層と n 層だけがあって、しかも n 層は非常に薄くてその厚みは無視できるとしよう。このとき、図3のように、路上 H の高さから路面を見ると、臨界角 α のために逃げ水は路上での距離 L の前方で見え、それより手前ではよく見えない。この距離 L を屈折率 n_0 、 α および H を用いて表しなさい。

以上のことから逃げ水とは温度の差によって空気の層が鏡のように見えることから生じていることがわかり、更に、見る人が前進すれば、逃げ水の境界点も同じ距離だけ進む。このことが「逃げ水」と言われるゆえんである。

(設問は次ページに続く)

- [V] 次の文章を読み、以下の問い(1)~(6)に答えなさい。数値は有効数字2桁で答えなさい。必要な場合は、次の値を用いなさい。ただし、気体はすべて理想気体であるとする。(30点)

原子量：H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0

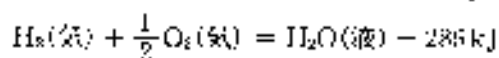
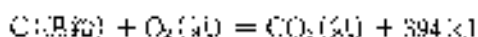
気体定数： $R = 8.31 \times 10^2 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

C, H, O だけからなる未知の物質の燃焼熱 Q [kJ/mol] を測定する実験を行った。まず、この物質の元素分析を行ったところ、C, H, O の質量パーセントはそれぞれ 68.9%, 4.9%, 26.2% であり、分子量は 122.0 であった。次にこの物質 0.61 g を内容積 1.00 L の金属製の容器（右図の反応容器）に入れ、酸素を 300 K のもと圧力 P [Pa] となるように導入した。水を満たした断熱容器*の中にこの反応容器を入れて、白金導線に電気を通し、試料を燃焼させた。断熱容器の中の水の質量は 2.00 kg であった。燃焼後、断熱容器内の水の温度は 1.9 °C 上昇した。未知の物質は完全に燃焼して、消失したが、反応容器内の圧力は 300 K では $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ で、気体を分析したところ CO_2 と O_2 であった。ここで、発生した水のすべてが反応容器内では凝縮し、飽和水蒸気圧は無視でき、発生した気体は凝縮した水には吸収されないものとする。燃焼熱はすべて断熱容器内の水の塩化上昇に使われたと仮定すると、燃焼した試料の発熱量 q [J] は、水の比熱 c [J/(g·°C)] (1 g の水の温度を 1°C 上げるのに必要な熱量)、水の質量 m [g]、水の温度変化 Δt [°C] から、次式で求められる。

$$q = mc\Delta t \quad \text{ただし、} c = 4.2 \text{ J/(g}\cdot\text{°C)}$$

問い

- (1) この物質の組成式を書きなさい。
- (2) この物質の分子式を書きなさい。
- (3) 燃焼熱 Q [kJ/mol] はいくらか。
- (4) 下記に与える熱化学方程式を使い、この未知物質の生成熱 Q_f [kJ/mol] を求めなさい。なお、水の状態は液体を標準としなさい。



- (5) 反応後の容器内に残存している O_2 の物質量は何 mol か
 (6) 300 K において燃焼前に反応容器に導入した O_2 の圧力 P_0 [Pa] はいくらか。

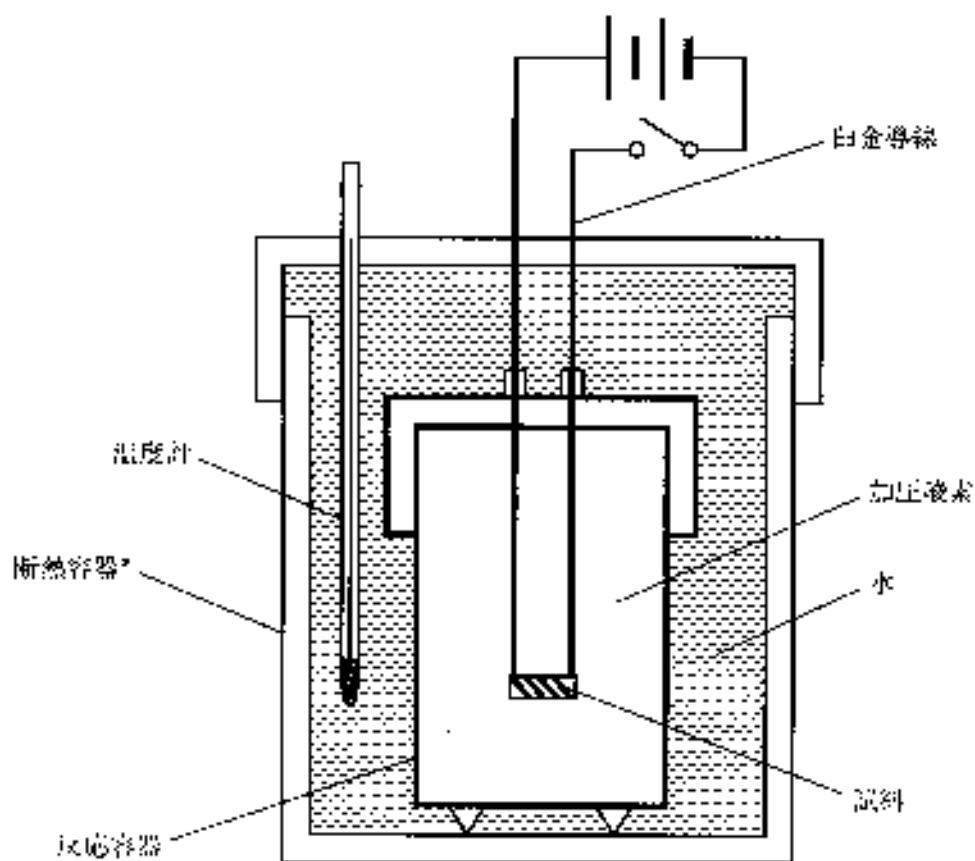


図 熱量計

*断熱容器では、内部で発生した熱が外部に伝わらない。

V 次の文章を読み、以下の問い(1)～(6)に答えなさい。数値は有効数字 2 桁で答えなさい。必要な場合は、次の値を用いなさい。(50 点)

原子量：O = 16.0, Na = 23.0, S = 32.1, K = 39.1, Cu = 63.6, I = 127

先生「今日は酸化還元滴定を用いて、硫酸銅(II)水溶液中の銅(II)イオンの濃度を決定する実験を行います。まず、大塚試料である硫酸銅(II)水溶液をコニカルビーカーに 20.0 mL 正確にとります。そのためには、どのような実験器具を使いますか。」

生徒「(a) を使います。」

先生「そうですね。硫酸銅(II)水溶液を 20.0 mL 正確にとったコニカルビーカーにアンモニア水を徐々に加えていき、色の変化を観察してみてください。」

生徒「アンモニア水を加えていくと青白色の沈殿ができました。」

先生「さらに過剰にアンモニア水を加えていき、色の変化を観察してみてください。」

生徒「アンモニア水を過剰に加えていくと沈殿は溶けて透明な青色になりました。」

先生「今度は、酢酸を加えていき、色の変化を観察してみてください。」

生徒「再び青白色の沈殿が生まれました。」

先生「さらに過剰に酢酸を加えていき、色の変化を観察してみてください。」

生徒「酢酸を過剰に加えていくと、沈殿は溶けて透明な青色になりました。」

先生「その青色は銅(II)イオンの色です。この時の溶液の pH は 3～4 の酸性状態です。コニカルビーカーにヨウ化カリウム約 2g を加えて、よくかき混ぜて完全に溶解させ、色の変化を観察してみてください。」

生徒「ヨウ化物イオンを加えると、茶色になりました。」

先生「ヨウ化物イオンを加えた時に生成したヨウ素を定量するのに、チオ硫酸ナトリウムを使用します。チオ硫酸イオン ($S_2O_3^{2-}$) は自ら酸化して四チオン酸イオン ($S_4O_6^{2-}$) となりヨウ素を還元します。0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム溶液で滴定を行ってみましょう。チオ硫酸ナトリウム溶液を徐々に加えるのに、どのような実験器具を使いますか。」

生徒「(b) を使います。」

先生「そうですね。それでは、チオ硫酸ナトリウム溶液を徐々に加えていき、終点近くになってきたら、でんぷん溶液を加えて下さい。そして、よくかき混ぜながら注意して滴定を続け、青紫色が消失した点を終点として下さい。」

生徒「白色沈殿があるため終点が見極めにくかったです。」

先生「その白色沈殿はヨウ化銅(I)です。滴定に要した 0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム溶液は何 mL でしたか。」

生徒「12.0 mL でした。」

先生「それでは、未知試料である硫酸銅(II)水溶液のモル濃度を計算してみてください。」

生徒「 」でした。」

問い

1. と のそれぞれに入る適切な実験器具の名称を書きなさい。
2. 下線部①で観察された青白色の沈殿の化学式を書きなさい。
3. 下線部②で観察された深青色のイオンのイオン式を書きなさい。
4. 下線部③で観察された反応のイオン反応式を書きなさい。
5. 下線部④の滴定反応のイオン反応式を書きなさい。
6. に入る硫酸銅(II)水溶液のモル濃度を求めなさい。

VI 以下は、化学の授業における先生と生徒との会話である。A～D、J～J に適した構造式を、E～H には化合物の名称を書きなさい。(50 点)

先生「今日は、エチレンから製造される化学製品について学習します。触媒を用いて高温高压下でエチレンと水蒸気とを反応させると何が生成しますか。」

生徒「[A] が生成します。」

先生「はい、簡単な質問でしたね。銀触媒を用いてエチレンを酸化すると、エチレンオキシドという物質が生成します。これを水と反応させると何が生成するでしょうか。これは、エンジンのラジエーター内の冷却液に使用されますね。」

生徒「[B] だと思います。」

先生「はい、正解です。また[B] はプラスチックの PET の原料にもなりますね。では、エチレンを塩化パラジウム(II) と炭化銅(II) を触媒に用いてエチレンを酸化すると、何が生成するのでしょうか。」

生徒「エチレンオキシドではないのですか。」

先生「いいえ、触媒が違うので、生成物は異なります。」

生徒「あ！わかりました。[C] です。」

先生「はい、その通りです。さらに[C] を酸化すると[D] が生成しますね。適当な触媒を用いることで[D] はメタノールと[E] を原料に製造することができますよ。」

生徒「そうなのですか、はじめて知りました。そういえば、メタノールは酸化亜鉛を主体とする触媒を用いて[F] と水素から製造されるのでしたね。」

先生「ところで、アセチレンに水が付加しても[C] は生成しますが、触媒として何が必要でしたか。」

生徒「触媒として[F] が必要で。」

先生「はい、[F] は有害なので、環境上問題がありますね。工業的な製造は環境に配慮しなくてはなりません。ところで、アセチレンは、どのようにして発生させることができますか。」

生徒「炭化カルシウムと水とを反応させると発生します。」

先生「そうですね。その際、アセチレン以外に生成する化合物は何ですか。」

生徒「「G」ですか。」

先生「はい、その通りです。では、「D」と「G」とを反応させると何が生成しますか。」

生徒「「H」が生成すると思います。」

先生「はい、良くできましたね。「H」を乾留すると「I」が生成します。「I」は、ブロベンをパラジウム触媒を用いて酸化しても生成しますよ。では最後の質問です。酸素存在下、エチレンと「D」を原料に、パラジウム触媒を用いて反応を行うと何が生成しますか。」

生徒「わかりません。」

先生「そうですか。これは、アセチンに「D」が付加しても生成しますよ。」

生徒「それなら、知っています。「J」ですか。」

先生「そうです。「J」の製造には、エチレンを原料として用いる方法も覚えておいてください。」

この問題は生命科学科受験生のみなさんでできます

VII 以下のA、Bの文章を読み、設問に答えなさい。(50点)

A 次の文章を読み、問の1～3に答えなさい。

酵素反応は、酵素と基質との間で起こる、結合をともなう反応である。その様子を図1に模式的に示した。図の中で、上から下に向かう反応は、酵素Aが基質Bと結合し、複合体Cを作る反応である。図の中で、下から上に向かう反応は、この複合体が解離する反応で、この時、基質は別の化合物(D)へと変化する。すなわちDが、この酵素反応によって基質Bから作られる生成物となる。上向きの反応が進む速さ(生成物Dが作られる速さ)を v とする。

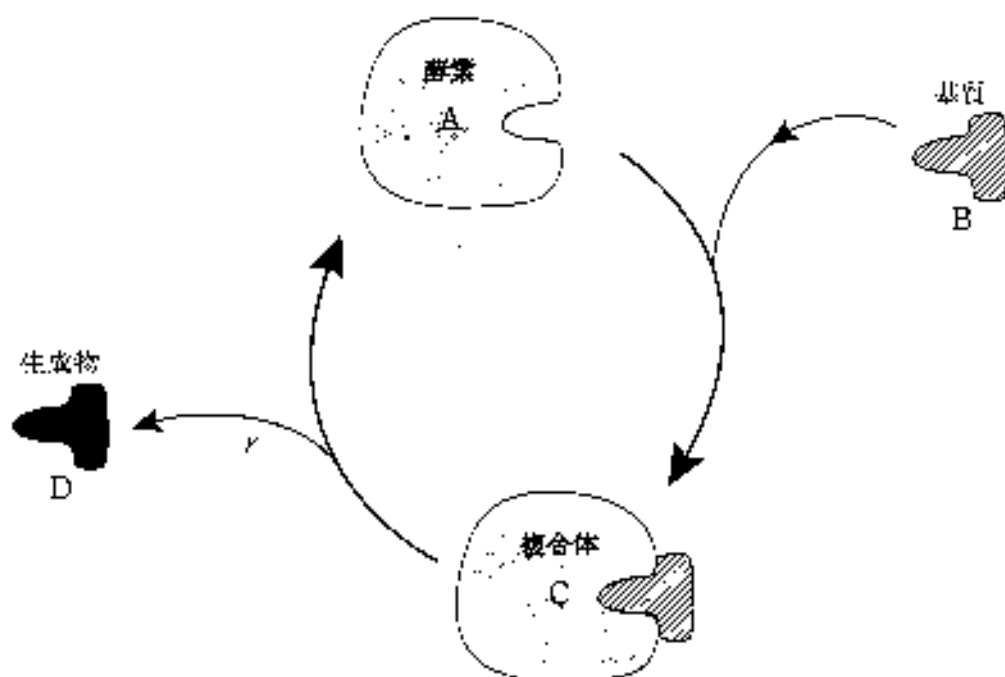


図1 酵素Aと基質Bとの結合・解離を示す模式図

問い

- (1) 酵素の部分的な構造で、基質と結合し、反応に直接関わるものを何とよぶか。
- (2) 酵素の中で、(a)細胞の外側ではたらき、胃で分泌され、タンパク質の分解に関わるもの、(b)細胞の膜上ではたらき、イオンの輸送に関わるもの、(c)細胞の内側、細胞系ではたらくもの、それぞれについて、1つずつ酵素の名称をあげなさい。
- (3) pHの変化や加熱処理によって酵素の形が変化し、基質とうまく結合できなくなることを何というか。
- (4) 酵素によって引き起こされる反応(上の例では $A + B \rightarrow C \rightarrow A + D$)と、酵素なしで起こる化学反応(たとえば $B \rightarrow D$)とは、反応の進みや速さに関してどのような違いがあるか。また、その違いは、なぜ起こるのか、50字以内で簡潔に記しなさい。
- (5) 一般に、酵素は決まった種類の基質と結合し、決まった反応だけを引き起こす。このような酵素の性質を何というか。

B 次の文章を読み、問い(1)～(3)に答えなさい。

図1に示した酵素反応モデルを使い、酵素反応が進む過程を考えることにする。

今、試験管の中に、 α 個の酵素Aと十分な量の基質Bがある。反応を開始させた時を「反応段階0」として、ある短い時間を経た後、「反応段階1」に反応が進むものとする。この時、「反応段階0」で試験管の中にあつた α 個の酵素のある割合 α が基質Bと結合し、複合体Cに変化するものとする(表1の例では α 個の酵素の中の $\frac{1}{4}$ 、16個がCに変化し、48個が残る)。反応が次の「反応段階2」に進むときにも、直前の「反応段階1」で残つた酵素が同じ割合 α で基質Bと結合して複合体Cに変化するものとする(表1の例では12個がCに変化し、36個が残る)。同時に、基質と酵素とが結合した複合体C(表1の例では「反応段階1」で作られた16個)も、その中の一定の割合 β が解離して化合物Dを作るとともに、元の酵素Aにもどる(表1の例では複合体Cの $\frac{1}{2}$ である8個が分離して、8個のAとDが生まれる)。その結果、表1の「反応段階2」のように、A、C、Dの個数が変化する。「反応段階3」、「反応段階4」…と同じ規定に従って反応が進むものとして、この時の試験管の中の酵素A、複合体C、生成物Dの個数の変化を追跡する計算をおこなうものとする。

問い

- (1) $n = 64$ 個, $x = \frac{1}{4}$, $y = \frac{1}{2}$ と仮定して、下の表の中の空欄「ア」「イ」「ロ」を埋めなさい。ただし、小数点以下の数値となった場合、小数点以下第2の桁を四捨五入しなさい。

表1 $n = 64$, $x = \frac{1}{4}$, $y = \frac{1}{2}$ の時、酵素反応が進む様子

		反応段階 (単位時間)				
		0 (反応開始時)	1	2	3	4
物質名	A	64	48	44	43	ア
	C	0	16	20	ア	イ
	D	0	0	8	ア	ロ

- (2) 同様にして、 $n = 64$ 個, $x = \frac{1}{2}$, $y = \frac{1}{2}$ と仮定して、下の表の中の空欄「ア」「イ」「ロ」「ハ」を埋めなさい。

表2 $n = 64$, $x = \frac{1}{2}$, $y = \frac{1}{2}$ の時、酵素反応が進む様子

		反応段階 (単位時間)				
		0 (反応開始時)	1	2	3	4
物質名	A	64	32	ア	ア	ロ
	C	0	32	ア	ア	イ
	D	0	0	ア	ア	ロ

- (3) 同様にして、 $n = 64$ 値、 $x = \frac{1}{8}$ 、 $y = \frac{1}{2}$ と設定して、下の表の中の空欄 [(イ)] - [(ロ)] を埋めなさい。ただし、小数点以下の数値となった場合、小数点以下第2の桁を四捨五入しなさい。

表3 $n = 64$ 、 $x = \frac{1}{8}$ 、 $y = \frac{1}{2}$ の時、誘起反応が進む様子

		反応段階 (単位時間)			
		0 (反応開始時)	1	2	3
物質名	A	64	(イ)	(ロ)	(ハ)
	C	0	(ニ)	(ホ)	(ヘ)
	D	0	(フ)	(ト)	(チ)

- (4) 上の問い(1)~(3)の結果から、複合体Cの量は、反応段階が進むにしたがってほぼ一定の値に近づくことがわかる。この値と x の値との間には、どのような関係があると考えられるか。下の図2で示すグラフの中の $a \sim e$ から最も適切なものを選び、解答欄に答えなさい。

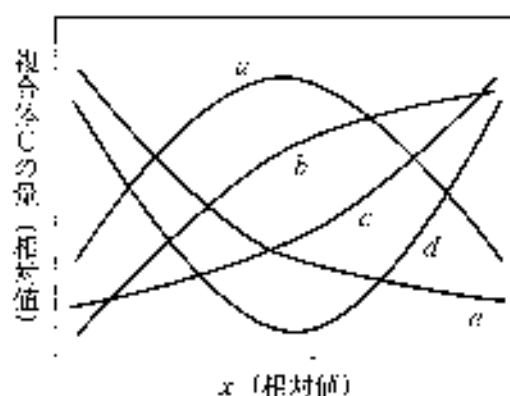


図2 x と複合体Cとの関係

- (5) 上の問い(1)~(3)の結果から、生成物Dが作られる速度(γ)は、反応段階が進むにしたがってほぼ一定の値に近づくことがわかる。この値と x の値との間には、どのような関係があると考えられるか。下の図3で示すグラフの中の $a \sim e$ から最も適切なるものを選び、解答欄に答えなさい。

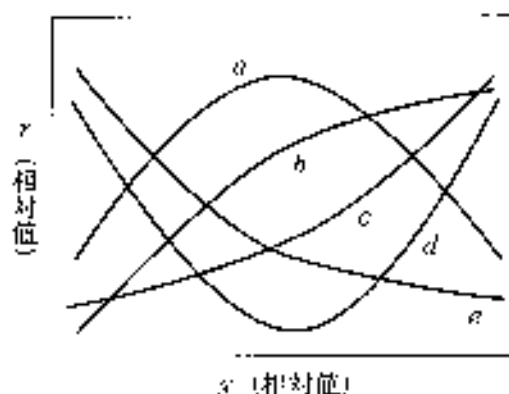


図3 x と γ との関係

- (6) AがBと結合して複合体Cとなりやすい傾向をここでは「AとBの親和性」とよぶことにする。この親和性と、この酵素化学反応の進む速度との間には、どのような関係があると考えられるか。30字以内で簡潔に記しなさい。
- (7) 基質ではないが、基質と似た分子の形をしていて、酵素(n 個あるものとする)と強く結合するもの(m 個あるものとする)が試験管内にいらっしゃると、上の酵素反応はどのような変化をすると考えられるか。これまでの計算結果をふまえて60字以内で簡潔に記しなさい。ただし、文章の中でA、D、 x 、 μ 、 ε 、 γ を必ず一回は使い、使った箇所には必ず下線(例： ε)をひくこと。
- (8) 上の問い(7)で起こる現象を一般に何とよぶか。名称を解答欄に記しなさい。

(設問は次ページに続く。)

この問題は生命科学科受験者のみ選択できます。

VII 次の文章を読み、問(1)～(8)に答えなさい。(50点)

地球が誕生したのは今からおよそ (1) 億年前と考えられている。20世紀の中ごろ、アメリカのミラーは地球の原始大気を、(2)、(3)、(4)の混合気体であったと仮定して、これらの混合気体をガラス容器内に封入し、高電圧をかけて (5) することにより化学反応を起こさせた。その結果、シアン化水素や (6) などの有機物が生成することが確認された。その後、(7) が多数結合した (8) や、核酸なども同様の実験で生成することが確かめられた。これら一連の実験は、生物は生物からしか生まれえないという、それまでの考えを大きく変換させることになった。生物が出現する以前の、無機物から複雑な有機物が生成されるまでの長い年月におよぶ過程を (9) とよぶ。

生物は無生物から自然に発生するという話は、ギリシャ時代から長い間、根強く信じられていたようである。19世紀後半になって、それを科学的に否定したのは、微生物による発酵の研究でよく知られているフランスの (10) である。彼は(11)に示すような曲がった管を詰めたフラスコの中で肉汁を十分に煮沸すると、長時間放置しても肉汁は腐らないが、煮沸しなかったり、煮沸後、管を根元から切り落とすと肉汁が腐ることを示し、生物は自然に発生するものではないことを明らかにした。

無機物から (12) や核酸が生成されても、生物の誕生に至るまでには、さらに長い年月が必要であった。ロシアの (13) は、(14) のような有機物の混合物が、外界と区切られた液滴に閉じ込められてお互いに反応しあい、やがて原始の細胞に発酵したと考えた。このような混合物の液滴を (15) とよぶ。この液滴は外から有機物を取り入れたり、分裂したりすることができる。現存する生物は生きるために必要不可欠な能力として、(16) の能力と (17) の能力を備えている。生物の細胞の中では、セントラルドグマに従って (18) が作られている。しかし、原始的な生物ではRNAが遺伝情報と触媒作用の両方を担う物質として働いていたという説もある。

現在知られている最も古い生物の化石は、今から約35億年前の地層から見つかった。細菌類と考えられる化石である。(19) の説に従えば、初期の細菌類は従属栄養である。

養生物ということになる。しかし、原始の時代でも独立栄養生物として生活する細菌類がいたのではないかと考えられている。これらの細菌類の中から、光のエネルギーを利用して炭酸同化を行う、 H_2 や CO_2 などの気合成細菌が生まれたと考えられている。

それまでの地球環境を一変させることになったのがラン藻（シアノバクテリア）の出現である。この生物は現在の植物と同じような光合成を行い、地球上の広い範囲に生育したと考えられている。ラン藻が繁栄した結果として、まず海洋に大量の O_2 が供給されたため、海水中に溶けていた鉄分が酸化されて海底に堆積した。次に O_2 は大気に放出され、やがて大気圏の上層に紫外線を吸収する O_3 を形成していく。このように、ラン藻の出現によって好気性細菌が生育できる濃化的な環境が整えられた。好気性細菌は炭酸呼吸を行うことにより、アルコール発酵のような嫌気呼吸よりも O_2 1 個分の ATP を 1 分子のグルコースから作ることができる。このような酸化的环境下で、 H_2 や硝酸菌のように窒素化合物を利用してエネルギーを獲得できる化学合成細菌も現れた。

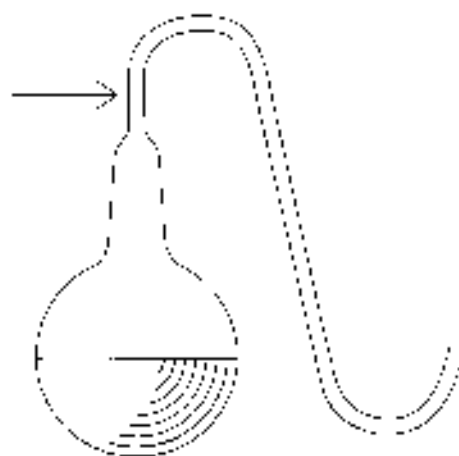


図1 下液部通の実験に用いた
フラスコの模式図
(管を切り落とすときは、矢印
の位置で切り落とす。)

問

- 11) 空欄 ア、イ、ロ にあてはまる適切な語句、人名、あるいは数字を解答欄に記入しなさい。
- 12) 下線部①について、その理由を考え、100字以内で答えなさい。
- 13) 下線部②について、実験室内で液滴を作るため、アラビアゴム、塩酸、メチレンブルーなどの薬品を用意したが、もう一つ必須な薬品があった。それは何かを答えなさい。
- 14) 下線部③について、セントラルドグマの内容を30字以内で答えなさい。
- 15) 下線部④について、このようにして生命活動が行われていた時代を何とよぶか、答えなさい。
- 16) 下線部⑤について、従属栄養生物とはどのような生物か、25字以内で説明しなさい。
- 17) 下線部⑥について、独立栄養生物とはどのような生物か、25字以内で説明しなさい。
- 18) 下線部⑦について、光合成細菌において、光のエネルギーを吸収する主な色素の名前を書きなさい。
- 19) 下線部⑧について、光合成細菌の行う光合成の化学反応式を書きなさい。
- 20) 下線部⑨について、ラン藻の行う光合成の化学反応式を書きなさい。
- 21) 下線部⑩について、ラン藻が地球上の広い範囲で生存できた主な理由を35字以内で述べなさい。
- 22) 下線部⑪について、ラン藻が繁栄したことの証拠となる岩石がある。それは何とよばれているか、答えなさい。
- 23) 下線部⑫について、この産物の名称を答えなさい。
- 24) 下線部⑬について、呼吸基質としてグルコースを用いた場合の好気呼吸の一般的な化学反応式を書きなさい。
- 25) 下線部⑭について、グルコースを用いた場合の化学反応式を書きなさい。
- 26) 下線部⑮について、硝酸菌がエネルギーを獲得する反応の化学反応式を書きなさい。

(設問は次ページに続く。)

この問題に生命科学科受験者のみ選択できます。

IX 次の文章A、Bを読み、設問に答えなさい。(50点)

A 動物の体をささえ動かすために、肥(けん)を介して骨格につながっている筋肉のことを、骨格筋という。骨格筋は、自分の意志で動かすことができることから、横紋筋の一種である。骨格筋を光学顕微鏡で観察すると、規則的に並んだ多数の横縞が見られる。横縞のある筋肉は他にも平滑筋などが挙げられ、これらは平滑筋と総称される。筋肉を構成する筋細胞は多数の筋繊維の束かえなり、多核である。また、筋細胞の中には筋小胞体が多数存在し、筋収縮のエネルギーを供給するATPの生産を行なう。さらに筋細胞には、筋小胞体とT管という2つの特徴的な膜構造が存在する。前者は細胞内にあって筋収縮の制御に不可欠なカルシウムイオンの貯蔵庫として働く。後者は細胞膜が陥入したものであり、興奮を筋細胞の内部に伝える。図1においてアで示した部分は骨格筋の収縮の最小単位であり、これをサルコメアとよぶ。サルコメアの境界はZ線で仕切られている。サルコメア内には明るく見える部分(明帯)と暗く見える部分(暗帯)とがある。1791年、イタリアのガルバニはカエルの筋肉を解剖中、取り出した筋肉片にたまたま金属製のメスが触れただけで収縮することを発見した。筋肉の収縮が電気的な刺激によることをはじめて示したのである。以後の研究により、生体の筋収縮は、運動神経細胞の末端から筋細胞へ興奮が生じるために生じることが明らかになった。すなわ

ち、神経からのシグナルにより、筋細胞の膜内外の電位差が短時間のうちに大きく変化するのである。

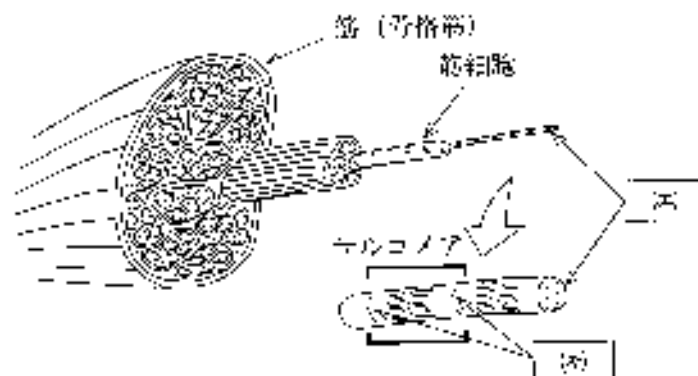


図1 筋肉の構造

問

- (1) 文中および図1の中の間欄「ア」～「カ」にあてはまるもっとも適切な言葉を書きなさい。
- (2) 下線部分に関連して、筋収縮においてATPのエネルギーを必要とするもっとも主要なタンパク質の名称を書きなさい。またATPがこのタンパク質のどのようなにたらさが必要であるかを50字以内で述べなさい。
- (3) 下線部分について、この現象を何とよぶか、答えなさい。また、このときに興奮が一方にしか伝わらないのはなぜか、50字以内で説明しなさい。
- (4) 下線部分について、運動神経末端から放出され、筋肉の収縮をうながす化学物質の名称を書きなさい。また、この物質は自律神経系においても様々な作用を示す。心臓と腸におけるこの物質の働きを書きなさい。
- (5) 表1は、筋細胞で重要なはたらきをするイオンについて、その筋細胞内外での濃度を比較したものである。表中の間欄「ア」～「イ」にあてはまるもっとも適切なイオンの名称を書きなさい。

表1 筋収縮で重要なはたらきをするイオンの濃度 (mM*)

イオンの名称	筋細胞内での濃度	筋細胞外での濃度
ア	10	110
イ	120	2.5
ウ	< 0.1	1.8
マグネシウムイオン	1	1

*注: mMは濃度を表す単位

- (6) 神経のシグナルを受けてから筋肉が収縮するまでの過程を説明した以下の文章を完成させなさい。ただし、 (a)、 (b)、 (c)、 (d)、 (e)には解答群1の中から、それ以外の空欄には解答群2の中からもっとも適切な語句をそれぞれ選び、記号で答えなさい。なお、同じ記号を複数回使用しても良い。

【解答群1】

- (a) アンモニウム (b) 塩素 (c) カリウム (d) カルシウム
(e) 硝酸 (f) 水素 (g) セシウム (h) 鉄 (i) ナトリウム
(j) マグネシウム

【解答群2】

- (a) 細胞内に流入する (b) 細胞外に流出する (c) 筋小胞体内に流入する
(d) ミトコンドリア内に流入する (e) ミトコンドリア外に流出する
(f) 合成される (g) 分解される
(h) 上昇する (i) 下降する (j) 停止する
(k) 細胞膜に結合する (l) 筋小胞体膜に結合する (m) T管膜に結合する

ステップ1：

神経伝達物質からの刺激を受けて筋細胞が興奮すると、T管膜上の (a) チャンネルが開き、 (b) イオンが (c)。このため、膜電位は (d) (活動電位の発生)。

ステップ2：

T管膜上には、活動電位の発生によって開き、陽イオンを運送させるチャンネルが存在する。このため、細胞内外の濃度差の大きい (e) イオンがこのチャンネルを通して (f)。その結果、膜電位は (g)。

ステップ3：

上の一過的な電位変化を受けて筋小胞体膜上の (h) チャンネルが開き、 (i) イオンが (j)、このイオンがアクチンフィラメントの構造を変化させ、筋肉が収縮する。

(設問は次ページに続く。)

B ウェルの大線部から切り出した筋肉をいろいろな長さで固定して電気刺激し、筋力が出す力（張力）を測定した（図2）。固定した筋の長さがもとの長さと同じである時（図2のBの範囲）に最も大きな張力を与えることができたが、それより短くても（図2のAの範囲）、長くても（図2のCの範囲）、発生張力は低下することがわかった。筋力をさらに伸ばしていくと、張力は直線的に低下し、もとの長さの70%まで伸ばしたときには張力が完全にゼロになった。

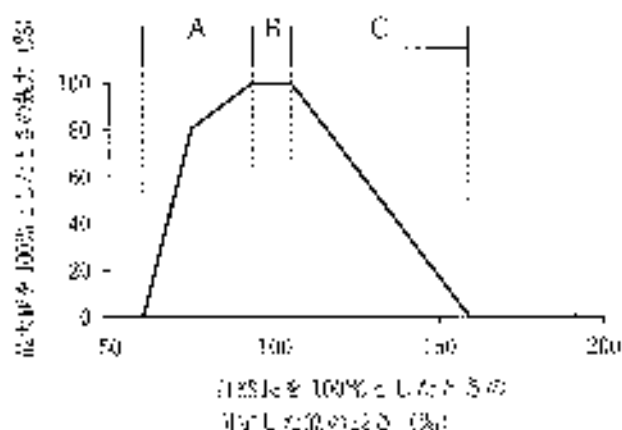


図2 固定する筋肉の長さで発生張力との関係

問

- 17: 範囲Bにおいて最大張力が得られるのはなぜか、このときのサルコメアの状態をふまえて50字以内で説明しなさい。
- 18: この筋肉に比べて、サルコメア長とその内部のアクチンフィラメントの長さは等しいが、Z帯の幅が半分しかないものを用いて同様の実験を行った場合、固定した筋の長さで張力との関係はどのようにになると考えられるか。以下のグラフ群①～④の中からもっとも適切なものを選び、記号で答えなさい。さらに、それを選んだ理由を記しなさい。

グラフ群

