

大学院情報理工学研究科
博士前期課程一般入試 入学試験問題
(2025年8月19日実施)

【基盤理工学専攻】

専門科目

※注意事項

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけない。
2. 監督者が説明を始めたら筆記用具を持ったり、参考書を見たりしてはいけない。
3. 問題冊子はこの注意事項を含めて22枚、解答用紙は4枚である。
4. 試験開始の合図の後、全ての解答用紙に受験番号を記入すること。
5. 選択科目記入シートに受験番号を記入すること。
6. 試験時間は180分である。
7. 科目は、選択群Ⅰの5科目（1「電気・電子回路」、2「光波動工学」、3「量子力学／統計力学」、4「無機・有機化学」、5「分子生物学／生物化学」）と選択群Ⅱの6科目（6「基礎数学」、7「力学」、8「電磁気学」、9「光・電子デバイス基礎」、10「物理化学」、11「細胞・神経生物学」）、合計11科目で構成されている。
●全11科目のうちから4科目を選択して解答すること。ただし、選択群Ⅰから1科目以上を含めること。
8. 選択科目記入シートには、選択した4科目に○印を記入すること。
9. 選択科目記入シートは、試験終了後に必ず提出すること。
10. 解答用紙の問題の番号欄には、解答した問題の番号を記入すること。
(採点は記入された番号についてのみ行う。誤記入、記入もれに注意すること。)
11. 解答は、問題ごとに別々の解答用紙（各問題ごとに1枚）を使用すること。
必要なら裏面を使用してもよいが、その場合は表面下に「裏面へ続く」と記入すること。
12. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせること。
13. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ること。
14. 解答は英語でもよい。

問題は次のページからです。

このページは問題冊子の枚数には
含みません。

問 題

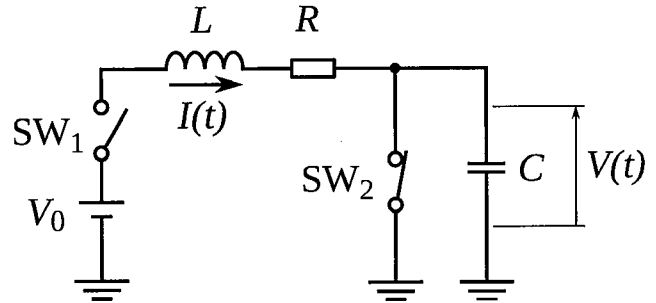
基盤理工学専攻

科目の番号

1 電気・電子回路

以下の問に答えよ。最終結果だけでなく答えを導く過程も書きなさい。

- (1) 右図に示すような自己インダクタンス L のコイルと抵抗値 R の抵抗、容量 C のコンデンサ、一定の電圧 V_0 の定電圧源、スイッチ SW_1 、 SW_2 がつながれた回路を考える。コイルに流れる電流を $I(t)$ とする。最初 SW_1 はOFF、 SW_2 はONになっているとする。



- (a) 時刻 $t=0$ に SW_1 をONにする。 $t \geq 0$ で $I(t)$ が従う微分方程式を書け。
 (b) $I(t)$ を求めよ。

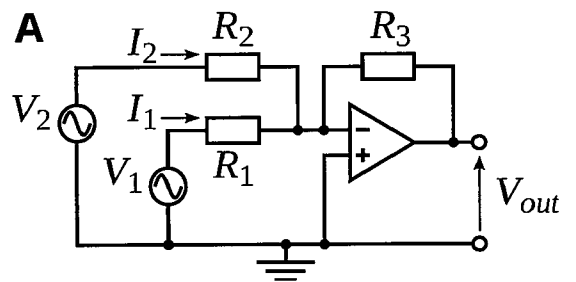
さらに十分な時間が経過し $I(t)$ が定常値になった後の時刻 $t=t_0$ に SW_2 をOFFにする（ SW_1 はONのまま）。以下 $t \geq t_0$ とする。

- (c) コンデンサにかかる電圧を $V(t)$ とする。 $\frac{dV(t)}{dt}$ と $I(t)$ の関係式を書け。
 (d) $I(t)$ が従う微分方程式を L 、 C 、 R を使って表せ。
 (e) R がある値 R_{th} より小さい場合は電流 $I(t)$ は減衰振動し、大きい場合は過制動（過減衰）となるが、その R_{th} の値を L と C で表せ。
 (f) 時刻 $t=t_0$ での $I(t)$ と $\frac{dI(t)}{dt}$ の値を答えよ。
 (g) $R < R_{th}$ のときに $I(t)$ を決定せよ。

- (2) 理想オペアンプと抵抗と電圧源で構成された2つの回路のうち まず図Aの回路を考える。

- (a) 抵抗値 R_1 、 R_2 の抵抗に流れる電流をそれぞれ I_1 、 I_2 としたときに I_1 と I_2 を R_1 、 R_2 と電圧源の電圧 V_1 、 V_2 で表せ。

- (b) 出力電圧 V_{out} を R_1 、 R_2 、 R_3 、 V_1 と V_2 で表せ。



(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

1

電気・電子回路

(前ページから続く)

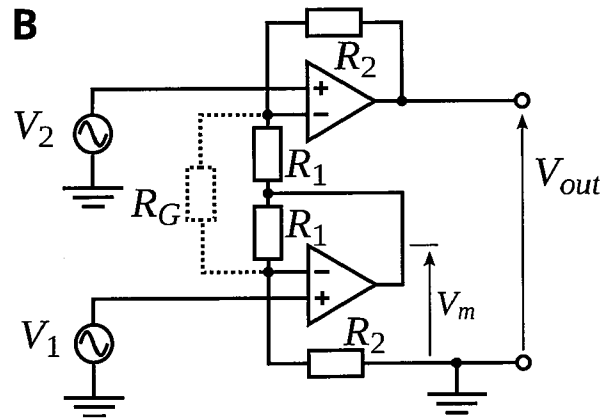
次に図Bの回路を考える。ただし点線で示した抵抗値 R_G の抵抗は最後の設問(e)以外では接続されていないものとする。

(c) 図中に示した箇所の電圧 V_m を R_1 , R_2 と

V_1 を用いて表せ。

(d) 出力電圧 V_{out} を R_1 , R_2 と $\Delta V \equiv V_2 - V_1$ を用いて表せ。

(e) 点線で示した抵抗値 R_G の抵抗が接続されているとき、出力電圧 V_{out} を R_1 , R_2 , R_G と ΔV を用いて表せ。



自己インダクタンス：self-inductance, コイル：inductor, 抵抗値：resistance, 抵抗：resistor, 容量：capacitance, コンデンサ：capacitor, 電圧：voltage, 定電圧源：constant voltage source, 電流：current, 微分方程式：differential equation, 減衰振動：damped oscillation, 過制動（過減衰）：over damped, 理想オペアンプ：ideal operational amplifier, 電圧源：voltage source, 出力電圧：output voltage

問題

基盤理工学専攻

科目の番号

2

光波動工学

(1) 図1に示したレーザー干渉計について考える。波長 $\lambda = 633 \text{ nm}$ の連続波レーザー光を、反射率と透過率が1:1のビームスプリッタで2つの光路に分け、 L_1, L_2 の距離に設置した2枚の平面ミラー M_1, M_2 で反射させた。ビームスプリッタに戻り、完全に重ね合わされた光の強度を光検出器により取得した。なお、このレーザー光は直線偏光でコヒーレンスは十分に高く、また干渉計は真空中に設置されており、光路中の光損失（光散乱やミラーでの反射損失等）は無視できるものとする。このとき、以下の間に答えよ。なお、数値を解答する際は有効数字3桁で示せ。

- (a) 連続波レーザー光の周波数 f を求めよ。必要に応じて光速 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ を用いてよい。
- (b) 光検出器から出力される信号強度 I_d が、最大値 I_0 を用いて式1のように表せることを示せ。一般に光波の電場 E が $E = A \sin(\omega t - kx + \phi)$ （振幅 A 、角周波数 ω 、時間 t 、波数 $k (=2\pi/\lambda)$ 、距離 x 、位相 ϕ ）と記述されることに基づき、光検出器の位置における光波の重ね合わせを考慮することにより導出せよ。

$$I_d = I_0 \cos^2 \left(\frac{2\pi(L_1 - L_2)}{\lambda} \right) \quad \text{式1}$$

ミラー M_2 を掃引し距離 L_2 を一定速度で変化させたとき、信号強度 I_d は周期的に変動する。この現象に関連して、以下の間に答えよ。

- (c) 掃引速度を $v = 10.0 \text{ } \mu\text{m/s}$ としたとき、信号強度の変化の時間周期 T を求めよ。また、横軸を時間 t 、縦軸を信号強度 I_d として、波形の概形や周期等の特徴がわかるようにグラフを図示せよ。
- (d) ミラー M_2 を距離 δL だけ掃引したところ、この操作にともない $N = 31596$ 回の周期的な信号強度の変化が得られた。このとき、掃引量 δL を求めよ。
- (e) 干渉計の真空を開放し、大気中で(d)と同等のミラー掃引操作を行ったところ、信号強度の変化の回数 N が変化した。どのように変化したか、大気の光学的性質に着目して100字程度で説明せよ。

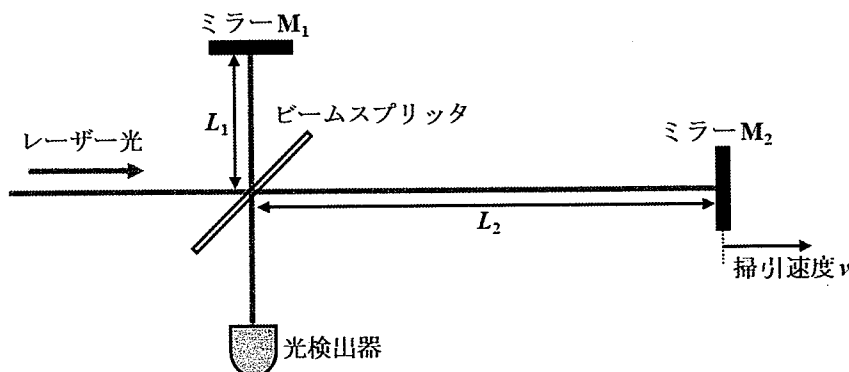


図1

【次ページに続く】

問題

基盤理工学専攻

科目の番号

2 光波動工学

【前ページから続く】

(2) 光波の基本特性について、以下の問に答えよ。

- (a) 真空中の光波の電場 E は、式(2)に示した電磁波の波動方程式に従いふるまう。 ϵ_0 は真空の誘電率、 μ_0 は真空の透磁率である。このとき、光速 c を ϵ_0 と μ_0 を用いて示せ。

$$\left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2}\right) - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad \text{式(2)}$$

- (b) 以下の空欄（ア）～（ク）に入る最も適した言葉を選択肢より選び答えよ。電磁波は、電場と磁場の振動方向が進行方向と（ア）であるため（イ）である。また電磁波は波長によって、およそ波長 0.1 mm 以上では（ウ）、0.1 mm～700 nm では（エ）、700 nm～400 nm では（オ）、400 nm～10 nm では（カ）、10 nm より短波長側では（キ）や（ク）と分類される。

選択肢：平行，垂直，横波，縦波，可視光，レーザー光，プラズマ波，電波，紫外線，赤外線，X線，アルファ線，ベータ線，ガンマ線，放射能

- (c) 出力 100 μW の連続波レーザー光を 100 μm^2 の領域に一樣に集光したとき、集光点における強度（単位面積，単位時間あたりのエネルギー） I と電場振幅 E_0 を求めよ。必要に応じ、 I と E_0 の単位をそれぞれ $\text{J/m}^2\text{s}$ ， V/m としたとき、 $E_0 = \sqrt{(2I/\epsilon_0 c)} \cong 27.4\sqrt{I}$ が成立することを用いてよい。

- (d) 平均出力 100 μW ，繰り返し周波数 1 kHz，パルス幅 1 ns の図2のような矩形波パルスレーザー光を 100 μm^2 の領域に一樣に集光したとき、1パルスあたりのエネルギーを求めよ。また、集光点における電場振幅 E_0 は(c)の場合と比べて何倍増強されるか求めよ。

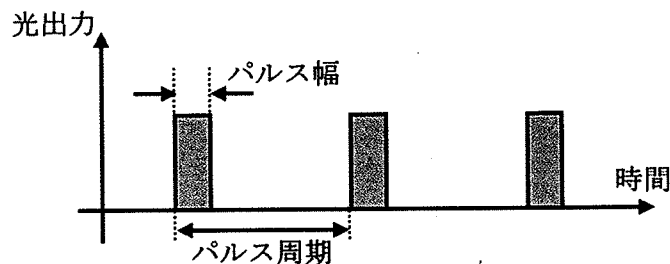


図2

レーザー干渉計：laser interferometer，波長：wavelength，連続波：continuous wave，反射率：reflectance，透過率：transmittance，ビームスプリッタ：beamsplitter，ミラー：mirror，光検出器：optical detector，直線偏光：linear polarization，コヒーレンス：coherence，真空：vacuum，損失：loss，散乱：scattering，有効数字：significant digits，周波数：frequency，光速：speed of light，光波：optical wave，電場：electric field，振幅：amplitude，角周波数：angular frequency，波数：wavenumber，位相：phase，掃引：scan，周期：period，大気：atmosphere，電磁波：electromagnetic wave，波動方程式：wave equation，誘電率：permittivity，透磁率：permeability，横波：transverse wave，縦波：longitudinal wave，可視光：visible light，プラズマ：plasma，電波：radio wave，紫外線：ultraviolet wave，赤外線：infrared wave，X線：X-ray，アルファ線：alpha ray，ベータ線：beta ray，ガンマ線：gamma ray，放射能：radioactivity，集光：focus，繰り返し周波数：repetition frequency，パルス幅：pulse width，矩形波：rectangular wave

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

3

量子力学／統計力学

黒体輻射について、以下の問いに答えよ。

- (1) 電磁波を記述する波動方程式 $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 u$ の平面波解は、角振動数 ω と波数ベクトル \mathbf{k} を用いて $u = e^{i(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega t)}$ と表される。この解が波動方程式を満たすために必要な ω と $|\mathbf{k}|$ の関係を求めよ。
- (2) 1辺 L の直方体での電磁波の固有モードを考える。周期的境界条件を課したとき、 $\mathbf{k} = (k_x, k_y, k_z)$ の取りうる値を求めよ。
- (3) 角振動数 ω と $\omega + d\omega$ の間にある単位体積当たりのモードの数が、偏光の自由度を考慮して $D(\omega)d\omega = \frac{\omega^2 d\omega}{\pi^2 c^3}$ となることを示せ。
- (4) 黒体輻射の電磁波の各モードは量子力学的調和振動子と考えられる。調和振動子の分配関数 Z を求めよ。ただし調和振動子のエネルギーは、ゼロ点エネルギーを除いたもの $E_n = n\hbar\omega$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) とする。絶対温度 T での熱平衡状態での調和振動子の平均エネルギーが、 k_B をボルツマン定数として

$$\frac{\hbar\omega}{e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}} - 1}$$

となることを示せ。

- (5) 角振動数が ω と $\omega + d\omega$ の間にある単位体積当たりのエネルギー密度 $u(\omega)d\omega$ を求めよ。
- (6) 単位体積当たりの系の全エネルギーを求め、それが温度 T^4 に比例することを示せ。 $\int_0^\infty \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi^4}{15}$ を用いてよい。
- (7) 波長 $\lambda = 2\pi c/\omega$ に対して λ と $\lambda + d\lambda$ の間にある単位体積当たりのエネルギー密度 $u(\lambda)d\lambda$ を求めよ。また、長波長または高温の極限での $u(\lambda)$ である Rayleigh-Jeans の輻射式、および短波長または低温の極限での $u(\lambda)$ である Wien の輻射式を求めよ。

黒体輻射：black body radiation, 電磁波：electromagnetic wave, 波動方程式：wave equation, 平面波解：plane wave solution, 角振動数：angular frequency, 波数ベクトル：wave vector, 固有モード：normal mode, 周期的境界条件：periodic boundary condition, 量子力学的：quantum mechanical, 調和振動子：harmonic oscillator, 分配関数：partition function, 絶対温度：absolute temperature, ボルツマン定数：Boltzmann constant,

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

4

無機・有機化学

- (1) VSEPR (価電子殻電子対反発) 理論を用いて以下の間に答えよ。
 (a) CH_4 の結合角 $\angle\text{HCH}$ が 109.5° になる理由を 1~2 行で説明せよ。
 (b) CH_4 の結合角と比べて, NH_3 ($\angle\text{HNH} = 107.3^\circ$), H_2O ($\angle\text{HOH} = 104.5^\circ$) の結合角が小さくなる理由を 3 行程度で説明せよ。図を用いてもよい。

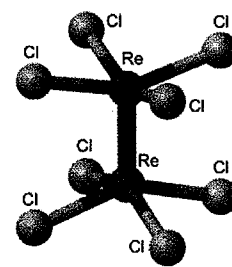
- (2) (a) 以下の記述の [ア] ~ [ク] に当てはまる数値または式を答えよ。ただし, [イ] と [エ] は r を用いた数式である。

NaCl 型イオン結晶について, 一つのイオンを起点としてこのイオンから最も近い位置にあるイオンとの距離を r とする。この位置にあるイオンは [ア] 個ある。2 番目に近い位置にあるイオンは [イ] 離れた位置にある [ウ] 個のイオンである。3 番目に近いイオンは [エ] 離れた位置にある [オ] 個のイオンである。静電的相互作用によるポテンシャルエネルギー U は下記のように無限に続く級数で表される。ここで, e は電気素量 (電荷素量), ϵ_0 は真空の誘電率であり, 下式の [カ], [キ], [ク] はそれぞれ 1, 2, 3 番目に近い位置のイオンに対応する項とする。

$$U = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} ([カ] + [キ] + [ク] + \dots)$$

- (b) 結晶格子エネルギーの実測値は, 上記の計算から導かれた値とやや異なる。この違いの主な原因を述べよ。

- (3) $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ (右図) の構造について, Re-Re 間距離が短く, Cl が重なり型に配置されるのは Re-Re 間に 4 重結合性があるためである。この 4 重結合性は, 次の順に従って説明される。 Re は 75 番元素である。



- (a) Re と Re^{3+} の基底電子配置を $1s^2 2s^2 \dots$ の書式に従って記せ。内殻の電子配置として $[\text{Lu}^{3+}]$ の略記を使ってもよい。 Lu は第 6 周期 3 族に位置する 71 番元素であり, Lu^{3+} では $4f$ 軌道が全て占有されている。

- (b) Re-Re 方向を z 軸にとり, $5d$ 軌道同士の重なりで形成される $\sigma, \pi, \delta, \delta^*, \pi^*, \sigma^*$ 軌道の空間分布を図示せよ。

- (c) 上記の軌道の定性的なエネルギー準位図を描き, そこに電子を配置せよ。結晶場分裂は無視してよい。

- (d) 前問の電子配置から Re-Re の結合次数を算出せよ。

- (4) 次の反応の主生成物を答えよ。問 (a), (d), (f) では, 反応機構を巻き矢印 (\curvearrowright) を用いて示し, 立体化学の関係する反応では, 適宜, くさび形の結合の表記 (\blacktriangle や \cdots) を用いること。

(次ページに続く)

問 題

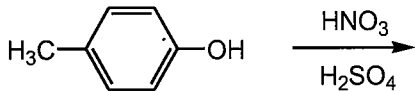
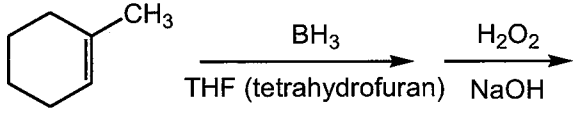
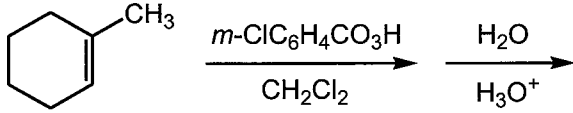
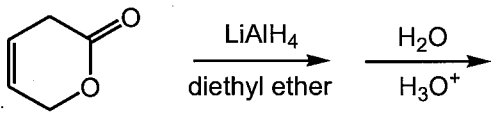
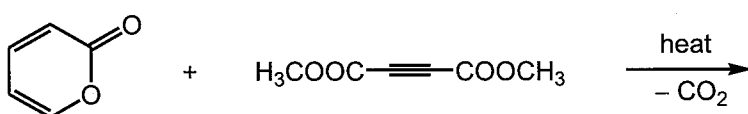
基盤理工学専攻

科目の番号

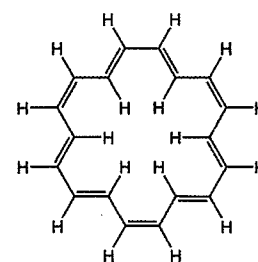
4

無機・有機化学

(前ページから続く)

- (a)  (反応機構も記すこと)
- (b)  NaOH
- (c)  H₃O⁺
- (d) *meso*-1,2-dibromo-1,2-diphenylethane $\xrightarrow[\text{EtOH}]{\text{KOH}}$ (反応機構も記すこと)
- (e)  H₃O⁺ (反応機構も記すこと)
- (f)  $\xrightarrow[\text{-CO}_2]{\text{heat}}$

(5) 平面分子 C₁₈H₁₈ (右図) の ¹H NMR スペクトルには 2 本のシグナルが化学シフト δ 8.9 ppm と -1.8 ppm に観測され、その面積比は 2 : 1 であった。



- (a) この化合物は芳香族性をもつか。その理由を 1-2 行で答えよ。
- (b) この ¹H NMR のシグナルを帰属せよ。
- (c) 同様の条件で ethylene の ¹H NMR シグナルは 5.2~5.3 ppm に観測される。それに比べて、平面分子 C₁₈H₁₈ の化学シフトの値が大きく異なる理由を 2-3 行で答えよ。図を用いてよい。

価電子殻電子対反発: valence-shell electron-pair repulsion, 結合角: bond angle, イオン結晶: ionic crystal, 静電的相互作用: electrostatic interaction, ポテンシャルエネルギー: potential energy, 級数: series, 電気素量: elementary charge, 真空の誘電率: vacuum permittivity, 結晶格子エネルギー: crystal lattice energy, 重なり型: eclipsed form, 4重結合: quadruple bond, 基底電子配置: ground electron configuration, エネルギー準位図: energy diagram, 結晶場分裂: crystal field splitting, 結合次数: bond order, 主生成物: main product, 反応機構: reaction mechanism, 立体化学: stereochemistry, 化学シフト: chemical shift, 芳香族性: aromaticity

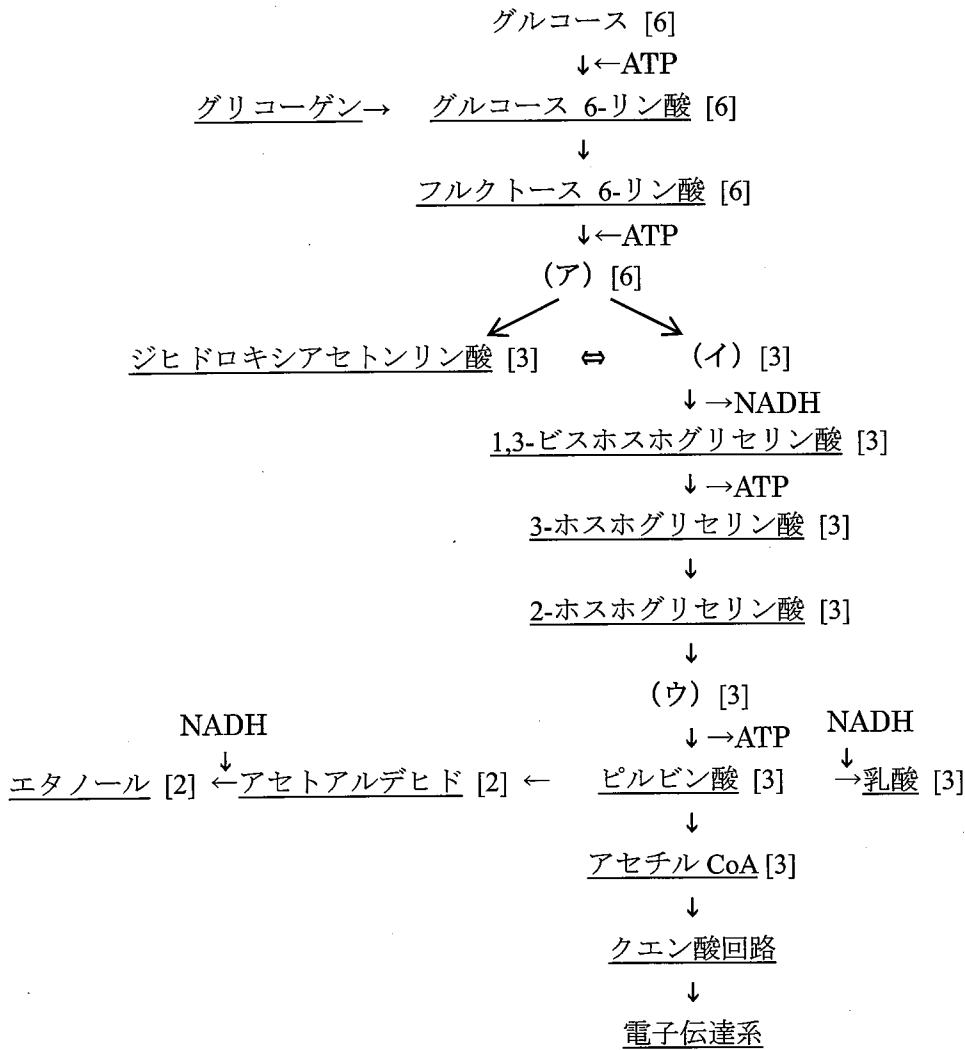
問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

5 分子生物学／生物化学

(1) グルコースの異化経路に関する以下の図を参考にして間に答えよ。なお，[]はそれぞれの化合物の炭素数を示す。



(a) 空欄 (ア), (イ), (ウ) に入る化合物を以下の語群の中から選んで答えよ。

ホスホエノールピルビン酸, フルクトース 1-リン酸, グリセルアルデヒド, フルクトース 1,6-ビスリン酸, 3-スルホピルビン酸, グリセルアルデヒド 3-リン酸

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

5

分子生物学／生物化学

(前ページから続く)

- (b) 1分子のグルコースから生成される ATP (アデノシン三リン酸) および NADH (ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド) の分子数を, 1) グルコースからピルビン酸まで, 2) ホモ乳酸発酵 (グルコースから乳酸まで), 3) アルコール発酵 (グルコースからエタノールまで) のそれぞれについて求めよ。なお, 計算過程も記すこと。
- (c) 糖新生 (ピルビン酸からグルコースを合成) と解糖系の関係について, 酵素反応の可逆性の面から 1-2 行で説明せよ。
- (d) グリコーゲンを多く含む組織または臓器を 2 つ答えよ。また, グリコーゲンの生体内での役割について 1-2 行で説明せよ。
- (e) 解糖系とその後のクエン酸回路の, 同化経路としての側面について 1-2 行で説明せよ。
- (f) 電子伝達系と ATP 合成の共役が証明された実験について, 脱共役剤のことを含めて 3-4 行で説明せよ。なお, 脱共役剤は, ミトコンドリア内膜のプロトン勾配を消失させる機能を有する。

(2) DNA, RNA に関する以下の間に答えよ。

- (a) DNA の二重らせん構造には, A 型, B 型, Z 型がある。ワトソン・クリックが提案した構造はこのうちどれに相当するかを答えよ。また, この二重らせん構造の特徴を 1-2 行で説明せよ。
- (b) DNA と RNA の違いについて, 構造および構成要素の面から 1-2 行で説明せよ。
- (c) RNA のうち, タンパク質になる情報を有する RNA の名称を答えよ。また, 真核生物の場合に, この RNA を転写する酵素の名称を答えよ。
- (d) タンパク質になる情報を持たない RNA の総称を答えよ。また, これらの RNA のうち, マイクロ RNA (miRNA) の働きを 1-2 行で説明せよ。
- (e) 新型コロナウイルスの感染の有無については PCR 検査が行われることがある。この検査における検体採取から PCR 検査までの過程を 2-3 行で説明せよ。なお, 新型コロナウイルスのゲノムは一本鎖 RNAであることに注意せよ。

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

5

分子生物学／生物化学

(前ページから続く)

グルコース : glucose, 異化経路 : catabolic pathway, グリコーゲン : glycogen, グルコース 6-リン酸 : glucose 6-phosphate, フルクトース 6-リン酸 : fructose 6-phosphate, ジヒドロキシアセトンリン酸 : dihydroxyacetone phosphate, 1,3-ビスホスホグリセリン酸 : 1,3-bisphosphoglycerate, 3-ホスホグリセリン酸 : 3-phosphoglycerate, 2-ホスホグリセリン酸 : 2-phosphoglycerate, エタノール : ethanol, アセトアルデヒド : acetaldehyde, ピルビン酸 : pyruvate, 乳酸 : lactate, アセチル CoA : acetyl CoA, クエン酸回路 : citric acid cycle, 電子伝達系 : electron transport chain, ホスホエノールピルビン酸 : phosphoenolpyruvate, フルクトース 1-リン酸 : fructose 1-phosphate, グリセルアルデヒド : glyceraldehyde, フルクトース 1,6-ビスリン酸 : fructose 1,6-bisphosphate, 3-スルホピルビン酸 : 3-sulfo pyruvate, グリセルアルデヒド 3-リン酸 : glyceraldehyde 3-phosphate, アデノシン三リン酸 : adenosine triphosphate, ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド : nicotinamide adenine dinucleotide, ホモ乳酸発酵 : homolactic fermentation, アルコール発酵 : alcoholic fermentation, 糖新生 : glycconeogenesis, 組織 : tissue, 臓器 : organ, 同化経路 : anabolic pathway, 共役 : coupling, 脱共役剤 : uncoupler, ミトコンドリア内膜 : mitochondrial inner membrane, プロトン勾配 : proton gradient, 二重らせん構造 : double-helix structure, ワトソン・クリック : Watson and Crick, タンパク質 : protein, 真核生物 : eukaryote, 酵素 : enzyme, マイクロ RNA : microRNA, 新型コロナウイルス : novel coronavirus, 感染 : infection, 検査 : test, 一本鎖 : single-stranded

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

6

基礎数学

(1) 4次正方行列 A および \mathbb{R}^4 のベクトルを次で定義する。 k は実数とする。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} 4 \\ -1 \\ -5 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} 11 \\ -5 \\ 1 \\ k \end{bmatrix}$$

- (a) Au を求めよ。
 (b) A の固有値をすべて求めよ。
 (c) A の各固有値に対する固有空間のうち、次元が3である固有空間を V とする。

$$p_1 = \begin{bmatrix} \alpha \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad p_2 = \begin{bmatrix} \beta \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad p_3 = \begin{bmatrix} \gamma \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

に対して、ベクトルの組 (p_1, p_2, p_3) が V の基底となるように実数 α, β, γ を定めよ。

- (d) $Av \in V$ となるように実数 k の値を定めよ。

(2) 次の積分の値を求めよ。

(a) $I_1 = \iint_{D_1} (2x + y) dx dy, \quad D_1 = \{(x, y) \mid 0 \leq x \leq 1, x \leq y \leq 2x\}$

(b) $I_2 = \iint_{D_2} \sqrt{xy} dx dy, \quad D_2 = \{(x, y) \mid x \geq 0, y \geq 0, \sqrt{x} + \sqrt{y} \leq 1\}$

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

6

基礎数学

(前ページから続く)

(3) 区分的に滑らかで連続な周期 $2L$ の周期関数 $f(x)$ のフーリエ級数展開は次式で与えられる。

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right)$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{L} dx \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx \quad (n = 1, 2, \dots)$$

区分的に滑らかで連続な周期 2π の周期関数 $f(x)$ を次式のように定義する。

$$f(x) = |x| \quad (-\pi < x \leq \pi)$$

次の問いに答えよ。

- (a) $f(x)$ のフーリエ級数展開を求めよ。
 (b) 次の無限級数 I の値を求めよ。

$$I = 1 + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{5^2} + \frac{1}{7^2} + \dots$$

固有値：eigenvalue, 固有空間：eigenspace, 次元：dimension, 基底：basis,
 周期関数：periodic function, フーリエ級数展開：Fourier series expansion,
 無限級数：infinite series

問 題

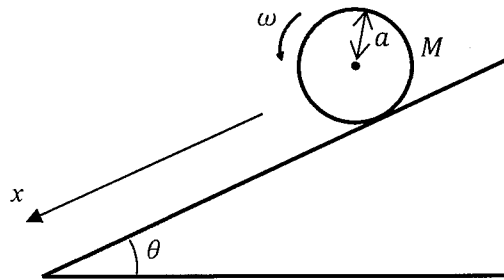
基盤理工学専攻

科目の番号

7

力学

図のように水平から角度 θ をなす斜面を、半径 a 、質量 M の一様な円板が滑らずに転がり落ちる運動を考える。転がり落ちる方向を正として斜面と平行に軸 x をとり、円板の重心はその軸上を移動しその速度を v とする。円板の中心軸に対する角速度を ω としその符号は反時計回りを正とし、その慣性モーメントを I とする。また円板と斜面との静摩擦係数を μ 、斜面から受ける摩擦力を F 、垂直抗力を N とする。重力加速度は g とし空気抵抗は無視でき、初期条件として時刻 $t=0$ において円板は静止していたとする。



- (1) 円板に作用する力をすべて図示せよ。
- (2) 円板の重心の速度 v に関する運動方程式を示せ。
- (3) 円板の角速度 ω に関する運動方程式を示せ。
- (4) 円板の重心の速度 v と角速度 ω の関係を示せ。
- (5) 円板の慣性モーメントが $I = Ma^2/2$ となることを計算し示せ。
- (6) 時刻 t における円板の重心の速度 v 、角速度 ω 、摩擦力 F を求めよ。
- (7) 円板の並進運動エネルギー E_t に対する回転運動エネルギー E_r の比 E_r/E_t を求めよ。
- (8) 角度 θ を大きくしていくと、ある角度 θ_{th} から円板が斜面を滑りだす。 $\tan\theta_{th}$ の値を求めよ。

水平:horizontal, 角度:angle, 斜面:slope, 半径:radius, 質量:mass, 円板:disk, 転がり落ちる:roll down, 重心:center of mass, 速度:velocity, 中心軸:central axis, 角速度:angular velocity, 反時計回り:anti clockwise, 慣性モーメント:moment of inertia, 静摩擦係数:static friction coefficient, 摩擦力:frictional force, 垂直抗力:normal force, 重力加速度:gravitational acceleration, 初期条件:initial conditions, 静止:stationary, 運動方程式:equation of motion, 並進運動エネルギー:translational energy, 回転運動エネルギー:rotational energy

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

8

電磁気学

- (1) 図1のように、円柱導体(半径 a)と円筒導体(内径 b , 外径 c)が同軸に置かれている。円柱導体と円筒導体は十分に長いものとする。また、導体以外の空間は真空とし、真空の誘電率は ϵ_0 とする。この円柱導体と円筒導体のそれぞれに、単位長さ当たり $+Q$ および $-Q$ ($Q > 0$)の電荷量を与えた。
- (a) 円柱導体と円筒導体のそれぞれで、電荷は空間的にどのように分布するか、その理由も含めて答えよ。定性的な説明で良い。
- (b) 円柱導体および円筒導体の内外に形成される電場 \vec{E} を求めよ。また、求めた電場の大きさ $|\vec{E}|$ を導体の中心軸からの距離 r の関数で図に表せ。ただし、距離 r は $0 \leq r \leq c$ の範囲とする。
- (c) 円柱導体と円筒導体の間 ($a \leq r \leq b$) に形成される電位差 V を求めよ。
- (d) 円柱導体と円筒導体の間 ($a \leq r \leq b$) の空間に、電場として蓄えられるエネルギーを求めよ。導体の軸方向の単位長さあたりの量で答えよ。

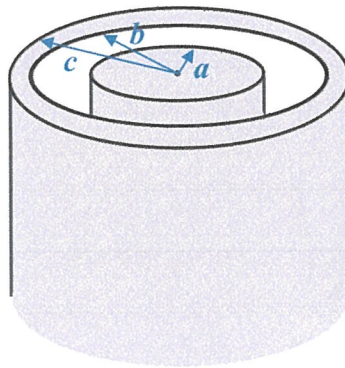


図 1

[次ページに続く]

[前ページから続く]

(2) 図2に示すように、図1と同じ構成の円柱導体と円筒導体の系の一方の端に電源を配置し、もう一方の端に抵抗値 R の抵抗を接続した。電源を起動し、円柱導体と円筒導体の間に (1)(c) で求めた電位差 V を与えたところ、円柱導体の表面および円筒導体内面の表面を、総量 i の電流が互いに対抗する向きに一様に流れた。このとき、円柱導体と円筒導体には (1) と同じ電荷分布が形成されている。また、真空の透磁率は μ_0 とする。

- (a) 円柱導体および円筒導体の内外に形成される磁場 \vec{H} を求めよ。また、求めた磁場の大きさ $|\vec{H}|$ を導体の中心軸からの距離 r の関数で図に表せ。ただし、距離 r は $0 \leq r \leq c$ の範囲とする。
- (b) 円柱導体と円筒導体の間 ($a \leq r \leq b$) の空間に磁場として蓄えられるエネルギーを求めよ。導体の軸方向の単位長さあたりの量で答えよ。
- (c) 円柱導体と円筒導体の間の空間に形成される電磁場の Poynting vector $\vec{E} \times \vec{H}$ を計算し、抵抗で消費される電力との関係を説明せよ。

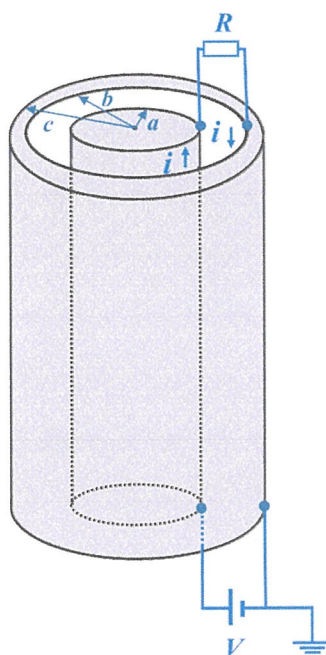


図 2

円柱: cylinder, 導体: conductor, 半径: radius, 円筒: hollow core cylinder, 内径: inner radius, 外径: outer radius, 同軸: coaxial, 真空: vacuum, 誘電率: permittivity, 単位長さ: unit length, 電荷: electric charge, 定性的: qualitative, 電場: electric field, 中心軸: central axis, 関数: function, 電位差: electric potential difference, エネルギー: energy, 軸方向: axial direction, 系: system, 電源: power supply, 抵抗値: resistance value, 抵抗: resistor, 電流: electric current, 透磁率: magnetic permeability, 磁場: magnetic field, 電磁場: electromagnetic field, 電力: electric power

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

9

光・電子デバイス基礎

- (1) ボーアのモデルでは、水素原子の陽子のまわりを回る電子は、次式で定義される軌道上でエネルギーを失わずに安定して円運動を続ける。

$$rmv = \frac{h}{2\pi}n \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (1)$$

ここで、 r は電子の軌道半径、 m は電子の質量、 v は電子の速度、 h はプランク定数である。以下の間に答えよ。

- (a) 軌道半径 r で円運動する電子に働く遠心力 F_p を r 、 m 、 h 、 n を用いて表せ。
 (b) 電子に働くクーロン力 F_c は遠心力 F_p とつり合っており、以下の式で表される。半径 r を求めよ。 q は電気素量、 ϵ_0 は真空の誘電率である。

$$F_c = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2)$$

- (c) 電子のもつ全エネルギーは運動エネルギーとクーロンポテンシャルエネルギーの和で与えられる。 n 番目の軌道の電子のエネルギー E_n を求めよ。
 (d) 水素原子中の基底状態の電子($n = 1$)を真空準位まで励起するのに必要なエネルギーを求めよ。

半導体中に不純物を導入すると、室温程度のわずかな熱エネルギーで自由電子や正孔を生成できる。以下の間に答えよ。

- (e) ドナー準位が伝導帯よりも0.025 [eV]下に位置しているものとする。室温 (300 [K]) における熱エネルギーを計算し、ドナー不純物のほとんどが電子を放出 (イオン化) していることを説明せよ。ただし、ボルツマン定数 k は 1.38×10^{-23} [J/K]、電気素量 q は 1.60×10^{-19} [C]とし、有効数字2桁で答えよ。
 (f) エネルギー E をもつ真空中の光の波長 λ 、振動数 ν 、運動量 p を、 E 、 h 、 c を用いてそれぞれ表せ。
 (g) エネルギー E が1.00 [eV]のとき、波長 λ を計算せよ。ただし、真空中の光の速度 c は 3.00×10^8 [m/s]、プランク定数 h は 6.63×10^{-34} [J·s]とし、有効数字2桁で答えよ。

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

9

光・電子デバイス基礎

(前ページから続く)

(2) 伝導帯の電子密度 n_e は以下の式で与えられる。

$$n_e = N_c \exp\left(\frac{E_F - E_C}{kT}\right) \quad (3)$$

このとき、 N_c は有効状態密度、 E_F はフェルミ準位、 E_C は伝導帯下端のエネルギー、 k はボルツマン定数、 T は温度である。ここで、熱平衡状態にある p 型半導体中の電子密度 n_p 及び正孔密度 p_p 、 n 型半導体中の電子密度 n_n 及び正孔密度 p_n 、拡散電位 V_d の pn 接合ダイオードを考える。以下の問に答えよ。なお、この pn 接合ダイオードは同一材料で構成されているとする。

- (a) n_p/n_n を V_d 、 k 、 q 、 T を用いて表せ。ただし、 p 型半導体及び n 型半導体の電子の有効質量は同じとする。
- (b) (a)の結果から、拡散電位 V_d を求めよ。
- (c) $V \gg \frac{kT}{q}$ のとき、逆方向飽和電流密度 J_s 、理想係数 $N = 1$ として、 pn 接合ダイオードの電流密度 J を示せ。

ボーアのモデル：Bohr's model, プランク定数：Planck constant, 遠心力：centrifugal force, クーロン力：Coulomb force, 電気素量：elementary charge, 誘電率：permittivity, クーロンポテンシャルエネルギー：Coulomb potential energy, 基底状態：ground state, 真空準位：vacuum level, 励起：excitation, 不純物：impurity, 自由電子：free electron, 正孔：hole, ドナー準位：donor level, 伝導帯：conduction band, ボルツマン定数：Boltzmann constant, 有効状態密度：effective density of states, フェルミ準位：Fermi level, 伝導帯下端：conduction band edge, 熱平衡状態：thermal equilibrium state, 拡散電位：diffusion potential, pn 接合ダイオード：pn junction diode, 有効質量：effective mass, 逆方向飽和電流密度：reverse saturation current density, 理想係数：ideality factor

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

10

物理化学

以下の問では、電子の静止質量 m_e 、電気素量（電荷素量） e 、真空の誘電率 ϵ_0 、プランク定数 h 、光の速度 c とする。

(1) 原子軌道のエネルギー準位に関する以下の問に答えよ。

- (a) H 原子について、主量子数 n の原子軌道のエネルギー準位が式①で表せるとする。H 原子の原子スペクトルにおける波長 λ について式②のリュードベリの式が成り立つとき、リュードベリ定数 R_∞ を式①の変数を使って表せ。ただし、 n_1, n_2 は主量子数であり、 $n_1 < n_2$ である。

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} \quad \dots \text{①}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \dots \text{②}$$

- (b) 主量子数 n の原子軌道について方位量子数 l のとりうる範囲を示せ。また、これを使って主量子数 n の原子軌道に入りうる電子の最大数を n で表せ。

- (c) 図1は原子軌道のエネルギー準位 E が原子番号 Z に対して変化する様子を示す。H 原子以外では、同じ n の原子軌道のなかでは l が大きい原子軌道の方が E が大きくなる。この理由を説明せよ。

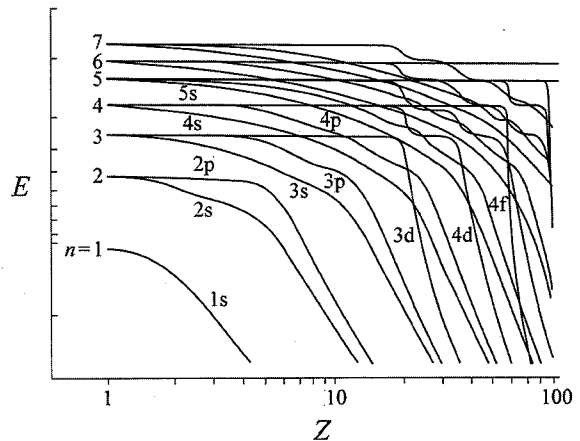


図1

- (d) H 原子と H_2 分子の第一イオン化エネルギーはどちらが大きいか。両者の軌道のエネルギー準位で説明できるものとしてエネルギー準位図を使って理由とともに述べよ。

(2) 一酸化炭素 CO 気体の赤外吸収スペクトルでは、図2のように波数 2143 cm^{-1} の両側に分子回転の変化に対応する複数の吸収帯の系列が観測される。

- (a) 回転量子数 $J=0$ から $J=1$ に対応する遷移は左から何番目の吸収帯か。ただし、回転エネルギー E_J は回転定数を B として式③で与えられる。

$$E_J = BhcJ(J+1) \quad \dots \text{③}$$

- (b) 左右の吸収帯の系列の名称を書き、それぞれの回転量子数 J の変化を式で表せ。

- (c) CO 分子の分子振動（基準振動）は下記の伸縮振動のみだが、 CO_2 分子には4つの分子振動がある。 CO_2 のすべての分子振動について原子変位を例にならって図示し、赤外線を吸収する場合は○、しない場合は×を付け。例 $\leftarrow C \equiv O \rightarrow$

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

10

物理化学

(前ページから続く)

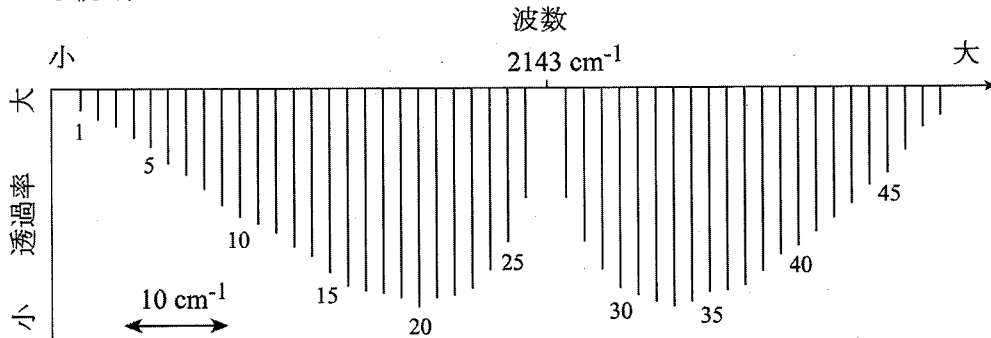


図 2

(d) 一般に、基底状態に対する励起状態の分布比はボルツマン分布に従う。ボルツマン定数を k 、温度を T としたとき、室温で kT は波数 207 cm^{-1} の光の光子エネルギーに相当する。(i) ~ (iii) の最低励起状態に室温で分布するかどうかを、それぞれの CO 分子の実測値を使った式を用いて答えよ。ただし、 $x \leq 0.1$ のとき $e^{-x} \approx 1$ 、 $x \geq 10$ のとき $e^{-x} \approx 0$ とみなし、状態の縮重度は考えなくてよい。

- (i) 回転励起状態：回転定数 $B = 1.93 \text{ cm}^{-1}$
- (ii) 振動励起状態：赤外吸収の振動数 (波数) $\tilde{\nu} = 2143 \text{ cm}^{-1}$
- (iii) 電子励起状態：紫外線の吸収波長 $\lambda = 154 \text{ nm}$

原子軌道：atomic orbital, エネルギー準位：energy level, 主量子数：principal quantum number, 原子スペクトル：atomic spectrum, リュードベリ：Rydberg, 方位量子数：azimuthal quantum number, イオン化エネルギー：ionization energy, エネルギー準位図：energy diagram, 赤外吸収スペクトル：infrared absorption spectrum, 波数：wavenumber, 分子回転：molecular rotation, 吸収帯：absorption band, 回転量子数：rotational quantum number, 遷移：transition, 回転定数：rotational constant, 分子振動：molecular vibration, 基準振動：normal mode of vibration, 基底状態：ground state, 励起状態：excited state, ボルツマン分布：Boltzmann distribution, 室温：room temperature, 光子エネルギー：photon energy, 縮重度：degree of degeneracy, 振動数：frequency, 紫外線：ultraviolet light 吸収波長：absorption wavelength

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

11

細胞・神経生物学

- (1) 一般的な哺乳類細胞において、細胞内と細胞外ではイオン濃度は大きく異なる。以下の4つの陽イオンについて、細胞内と細胞外の濃度を対応づけよ。各項目につき、記号は1回のみ選択せよ。同じ記号を2回以上選択してはいけない。(例 ①・(A)・(ア))

陽イオン ① H⁺ ② Na⁺ ③ K⁺ ④ Ca²⁺細胞内の濃度 (A) 140 mM (B) 5~15 mM (C) 10⁻⁴ mM (D) 7 × 10⁻⁵ mM細胞外の濃度 (ア) 145 mM (イ) 5 mM (ウ) 1~2 mM (エ) 4 × 10⁻⁵ mM

- (2) 細胞のシグナル伝達機構に関して、以下の文中の(ア)～(オ)に当てはまる語句を選択肢の中から選べ。

細胞外シグナル分子が(ア)に結合すると構造変化を起こし、この変化が細胞膜の反対面にある(イ)の構造変化を引き起こす。これにより(イ)のαサブユニットが(ウ)を放出し、(エ)と結合することで活性化される。活性化されたαサブユニットが標的酵素を活性化し、(オ)などの二次メッセンジャーが生成され、細胞内シグナルが増幅される。

選択肢： cAMP GTP GDP ATP ADP

Gタンパク質 Gタンパク質共役型受容体 (GPCR)

MAPキナーゼ 受容体チロシンキナーゼ (RTK)

- (3) 葉緑体について、エネルギー代謝における役割、および細胞内共生説が支持されている根拠について、4行程度で説明せよ。
- (4) 真核生物の鞭毛（あるいは繊毛）は細胞の運動装置である。鞭毛の内部構造と動作機構について、2行程度で説明せよ。
- (5) 死後硬直は生物が死亡した後に筋肉が硬直する現象である。この現象はどのような生理学的メカニズムによって引き起こされるのか、2行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

問 題

基盤理工学専攻

科目の番号

11

細胞・神経生物学

(前ページから続く)

- (6) ある神経細胞において、軸索の一部でミエリン鞘が欠損している。この神経細胞では電気的な活動にどのような影響が出ると考えられるか、1行で説明せよ。
- (7) 光遺伝学は神経生物学の革命的な技術である。この技術について、チャンネルロドプシンの分子機構に言及しつつ、どのように神経細胞の活動を制御するのかを3行程度で説明せよ。
- (8) 光学顕微鏡と電子顕微鏡は生物試料の観察に広く用いられている。2つの顕微鏡の特徴を3行程度で比較せよ。

哺乳類細胞: mammalian cell, イオン濃度: ion concentration, 陽イオン: cation, シグナル伝達: signal transduction, シグナル分子: signal molecule, 細胞膜: cell membrane, サブユニット: subunit, 酵素: enzyme, 二次メッセンジャー: second messenger, Gタンパク質: G protein, Gタンパク質共役型受容体: G-protein-coupled receptor, MAPキナーゼ: MAP kinase, 受容体チロシンキナーゼ: receptor tyrosine kinase, 葉緑体: chloroplast, エネルギー代謝: energy metabolism, 細胞内共生: endosymbiosis, 真核生物: eukaryote, 鞭毛: flagella, 繊毛: cilia, 死後硬直: rigor mortis, 神経細胞: nerve cell, 軸索: axon, ミエリン鞘: myelin sheath, 光遺伝学: optogenetics, チャンネルロドプシン: channelrhodopsin, 光学顕微鏡: optical microscope, 電子顕微鏡: electron microscope, 生物試料: biological specimen

問題訂正

【基盤理工学専攻】

専門科目 科目番号 4 無機・有機化学

(誤) (4) 問 (a), (b), (f) では

(正) (4) 問 (a), (b), (e) では

専門科目 科目番号 7 力学

(誤) (8) ある角度 θ_{th} から円板が

(正) (8) ある角度 θ_{th} をこえると円板が

専門科目 科目番号 10 物理化学

(誤) (1) 4行目 (a)・・・を式①の変数

(正) (1) 4行目 (a)・・・を式①の物理定数