

専門科目（午前）

19 大修

時間 午前9時30分～12時00分

物質電子化学
物質科学創造C
材料物理学D
化学環境学
生物プロセス
生体分子機能工学

「解答始め」の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。

注意事項

1. 物質電子化学専攻、物質科学創造専攻（物質科学創造C）、材料物理学専攻（材料物理学D）、および化学環境学専攻を受験する場合には、次の7題の問題の中から4題を選んで解答せよ。
生物プロセス専攻および生体分子機能工学専攻を受験する場合には、数学（1、2）、物理（3、4）、化学（5、6）、生物（7）の各教科より各々1題ずつ選んで解答せよ。
なお、いずれの専攻の場合も解答する問題は4題を越えてはならない。
2. 解答は1題ごとに別々の答案用紙に記入せよ。答案用紙の最初の2行を空け、3行目から記入することとし、答案用紙の裏面には解答しないこと。
3. 答案用紙には1枚ごとに問題の番号および受験番号を記入せよ。
4. 空欄を埋める形式の問題を解答する場合には、答案用紙に欄の記号または番号とそれそれぞれに対応する解答をともに記入せよ。

1. 以下の問に答えよ。

[1] 次の不定積分を求めよ。

(1) $\int x \sin x dx$

(2) $\int x^2 \sin x dx$

(3) $\int \sin^3 x dx$

[2] $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ に対して $I_n = \int \sin^n x dx$ (ただし $\sin^0 x = \cos^0 x = 1$ とす

る) とおくと、漸化式 $I_n = -\frac{1}{n} \sin^{n-1} x \cos x + \frac{n-1}{n} I_{n-2}$ ($n = 2, 3, \dots$) が成り立つ

ことを示せ。次にこの漸化式を利用して $\int \sin^4 x dx$ を求めよ。

2. xy 平面上の曲線①、②に関する次の問に答えよ。

$$x^2 - xy + y^2 = 4 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$x^2 + y^2 = k^2 \quad (k > 0) \quad \dots \textcircled{2}$$

- [1] 曲線①は、座標軸を反時計回りに 45° 回転すると、どのような式で表わされるか。また、回転後の曲線の概形を書け。
- [2] 曲線①の勾配 ($= dy/dx$) を求めよ。同じく、曲線②の勾配を求めよ。
- [3] 比例定数 λ を用いて、曲線①と②が接するときの条件を連立方程式の形で書け。ついで、 λ の値を求めよ。
- [4] 曲線①と②が接するときの k の値をすべて求めよ。

3. 以下の各問に答えよ。

[1] 密度が一様な球体 A および球体 B の運動について以下の問に答えよ。ただし、A および B の質量をそれぞれ m_A 、 m_B 、半径をそれぞれ r_A 、 r_B 、A の中心と B の中心との距離を R 、万有引力の定数を G とする。ここで、空気の抵抗、摩擦はないものとする。

- (1) A と B の間に働く万有引力 F と、 $R = +\infty$ におけるポテンシャルエネルギーをゼロ(基準)とした時のポテンシャルエネルギー U をそれぞれ示せ。
- (2) A に接している B に運動エネルギーを与えて引き離すことを考える。両者の間の万有引力に打ち勝ち、A から完全に引き離すのに必要な B の初速度 v_0 を示せ。
- (3) (2)において、A を地球、B をロケットとした場合、初速度 v_0 を脱出速度という。これを計算し以下の(a)-(e)の中から最も近いものを選び、記号で答えよ。ここで、地球の半径を 6×10^3 km とし、ロケットの大きさは無視してよい。重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ の値を用いよ。なお計算式も示せ。

(a) $3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

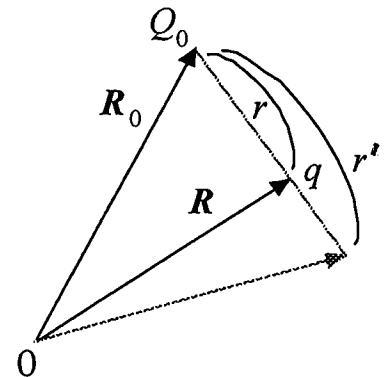
(b) $3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

(c) $1 \times 10^4 \text{ m/s}$

(d) $1 \times 10^5 \text{ m/s}$

(e) $1 \times 10^8 \text{ m/s}$

[2] 右の図で、0 を起点とする位置ベクトル $\mathbf{R}_0$ の点に点電荷 Q_0 が固定されている。位置ベクトル $\mathbf{R}$ の点に別の点電荷 q を置いた場合について以下の問(1)-(4)に答えよ。ただし、真空の誘電率を ϵ_0 とする。

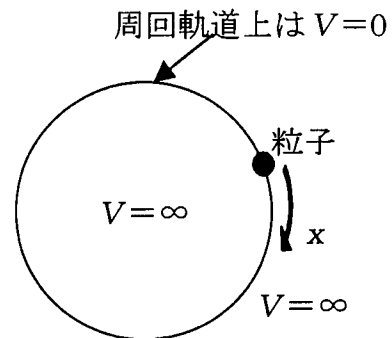


- (1) 電荷 q にかかる力 $\mathbf{F}$ の大きさ $|\mathbf{F}|$ ならびに方向を示す単位ベクトル $\mathbf{e}_r$ を、上で与えられた量を用いて表せ。
- (2) 電荷 Q_0 は位置 $\mathbf{R}$ において電場 $\mathbf{E}(\mathbf{R})$ を誘起する。 $\mathbf{E}(\mathbf{R})$ の大きさ $|\mathbf{E}(\mathbf{R})|$ ならびに方向を示す単位ベクトルを与えられた量を用いて表せ。
- (3) 電荷 Q_0 から図中に示す任意の距離 r' に置かれた電荷 q を距離 r まで移動させるための仕事 W を求めよ。また、 $r' = +\infty$ におけるポテンシャルエネルギーをゼロ(基準)とした時の電荷 q が Q_0 から距離 r の位置でもつポテンシャルエネルギー $V(r)$ を求めよ。
- (4) 上で求めたポテンシャルエネルギー $V(r)$ と電荷 q が置かれた位置での電位 $\phi(r)$ との関係を示す式で表せ。

4. 質量 m の粒子が一周 ℓ の円軌道を周回す

る一次元運動を考える。軌道上のポテンシャルエネルギー V はゼロ、軌道以外の場所は $V = \infty$ とし、軌道の幅は考えない。また、円周に沿った粒子の位置座標を x 、粒子の波動関数を $\psi(x)$ 、粒子のエネルギーを E 、プランク定

数を h 、 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ とする。以下の間に答えよ。



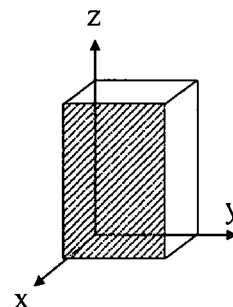
- [1] この粒子が周回軌道上で定常状態にあるときのシュレーディンガー方程式を示せ。
- [2] 定常状態にある粒子の波動関数は周期的境界条件を満たす。その周期的境界条件を示せ。
- [3] [1] のシュレーディンガー方程式を解き、波動関数 $\psi(x)$ を求めよ。ただし、規格化定数は N とし、エネルギーは E のままでよい。
- [4] 上の波動関数を規格化せよ。
- [5] 周期的境界条件を用いてエネルギー E を求めよ。量子数は n と表記し範囲を示すこと。
- [6] この系の量子数 n はゼロを値としてとることができるか否か、理由と共に答えよ。
- [7] 周回軌道上の粒子はベンゼン分子のような芳香環 π 電子系の最も簡単なモデルである。この系に 6 個の電子が入っている場合、基底状態から最低励起状態への光吸収の波長 λ を求めよ。ただし、波長 λ の単位は nm とし、プランク定数 $h = 7 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、電子の質量 $m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、周回軌道長 $\ell = 1 \text{ nm}$ を用いよ。

5. 以下の各問に答えよ。

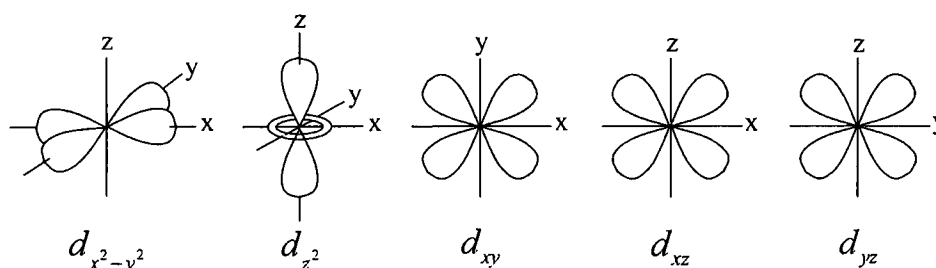
[1] 結晶の構造を記述する方法について、次の問に答えよ。

(1) 立方晶、正方晶、斜方晶の違いを 3 行程度で説明せよ。

(2) 右の図が斜方晶系の単位格子を表すとき、ミラー指数 (100) の結晶面は図中の斜線部のように例示される。このときミラー指数 (020)、(113)、および $(0\bar{2}1)$ それぞれに対応する結晶面を例に示せよ。



[2] 孤立した遷移金属原子(またはイオン)中の 5 種類の d 軌道はそれぞれ図に示すような形と方向を有し、エネルギー準位が縮退している。次の問に答えよ。



- (1) $\pm x$ 、 $\pm y$ 、 $\pm z$ の各方向に 6 個の同じ配位子が結合し正八面体錯体を形成したときに、エネルギー準位が分裂する。どのように分裂するかを理由とともに 5 行程度で記述せよ。
- (2) (1) の場合の分裂の大きさは配位子の種類に依存する。 $(3d)^5$ の電子配置をもつ遷移金属イオンの取りうる 2 種類の電子配置をスピン状態とともに図示せよ。

[3] pH に関する次の問に答えよ。算出の過程(式)を示すこと。

ただし、酢酸とアンモニウムイオンの pK_a をそれぞれ 4.8、9.2 とせよ。

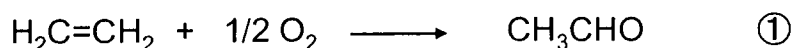
- (1) 0.1 mol/L の酢酸アンモニウム水溶液の pH を求めよ。
- (2) 0.02 mol の塩化水素を含む水溶液に 0.04 mol の酢酸ナトリウムを含む水溶液を加えて全量を 200 mL とした。この水溶液の pH を求めよ。

6. 以下の各問に答えよ。

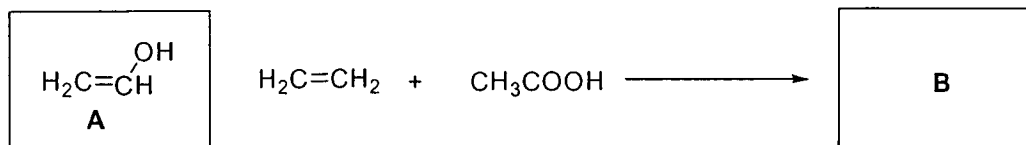
[1] 以下の反応の下線で示した出発物質と、目的生成物をそれぞれ構造式で示せ。

- (1) 1, 1-ジフェニルエタンジオールのピナコール転位
- (2) シクロデカノンの Baeyer-Villiger 酸化
- (3) アリルビニルエーテルの Claisen 転位
- (4) α -ジアゾアセトフェノンの Wolff 転位
- (5) ニコチンアミドの Hofmann 転位
- (6) ヒドラゾベンゼンのベンジジン転位

[2] Wacker 法は、エチレンを原料とするアセトアルデヒドの工業的合成法で式①の反応式で表される。この反応は、(i)エチレンを塩化パラジウム(II)の水溶液に導入するとアセトアルデヒドが生じ、金属パラジウムが析出する反応を応用したものである。工業化の鍵は(ii)塩化銅(II)による金属パラジウムの酸化反応にあり、塩化銅と塩化パラジウムは共に触媒量用いるだけで済むように工夫されている。次の問に答えよ。



- (1) 下線部(i)の記述を化学反応式で示せ。
- (2) 下線部(ii)の記述を化学反応式で示せ。
- (3) (i)および(ii)の二つの反応を考慮し、式①を成立させるための第 3 の反応を化学反応式で示せ。
- (4) 下線部(i)の反応では中間体として **A** が考えられる。同様の反応で、酢酸パラジウム(II)を用いてエチレンと酢酸を反応させたときの生成物 **B** を構造式で示せ。



(問題 6 は次のページに続く。)

[3] 次の文章を読み、空欄(ア)～(キ)にふさわしい語を下の語群から一つ選び答えよ(重複可)。

不斉炭素をもつ光学活性分子と、その鏡像の関係にある異性体を(ア)と呼ぶ。(ア)の1:1混合物を(イ)と呼ぶ。二つの不斉炭素をもつ化合物には最大(ウ)の立体異性体がある。これらは鏡像の関係にある異性体と、鏡像の関係にない異性体とに分類でき、後者を(エ)と呼ぶ。一般に(エ)は物理的性質や化学的性質が(オ)、NMR スペクトルにより区別することが(カ)。二つの不斉炭素をもつ化合物で、その鏡像と重ね合わせることのできる化合物は(キ)と呼ばれる。

[語群] アイソトポマー、エナンチオマー、コモノマー、ジアステレオマー、デンドリマー、メソ体、ラセミ体、*E* 体、*Z* 体、できない、できる、異なり、等しく、2 個、4 個、6 個、8 個

7. 以下の各問に答えよ。

[1] 天然のタンパク質について、次の問に答えよ。

- (1) タンパク質とはどのような高分子であるか化学的な定義を述べよ。
- (2) タンパク質を構成する元素をすべてあげよ。ただし、補酵素や補欠因子、翻訳後修飾は考慮しないものとする。
- (3) タンパク質の二次構造とは何か、5行以内で説明せよ。
- (4) タンパク質の三次構造とは何か、5行以内で説明せよ。

[2] 次の文を読んで、以下の問に答えよ。

生命科学の進歩は、先人たちの数多くの発見と新技術の開発に支えられている。特に、①、②、③のような重要な研究は1950年代に相次いで行われた。これらに比べて、④が行われたのはかなり後のことである。技術の進歩として、DNAの解析に関わるものでは、制限酵素の発見、PCRの開発などが大きな貢献をしている。また、タンパク質の解析では、電気泳動やクロマトグラフィーの技術開発、質量分析技術の開発などが重要である。

- (1) ①から④には次の4項目のいずれかが該当する。④に該当するものを記号で答えよ。

ア. DNAの立体構造の解析 イ. DNAの塩基配列の解読
ウ. タンパク質の立体構造の解析 エ. タンパク質のアミノ酸配列の解読

- (2) PCRとは何の略か、英語で答えよ。PCRを30回行くと、DNAは原理的には最初の量の何倍に増えるか。

- (3) 制限酵素は一般にDNAのパリンドローム配列を切断する。次の塩基配列のうち、このような制限酵素で切れないものをすべて記号で答えよ。ただし、下記の塩基配列は二重鎖DNAの一方を示している。

ア. GCCGCC イ. GGAATTC ウ. CGATTAGC エ. CCATGG

- (4) 1990年代に入り、生物がもつDNAの情報をすべて読み取ろうというプロジェクトが、いろいろな生物について始まった。最初にDNAの全塩基配列の解読が完了した生物は、次のいずれであったか。記号で答えよ。

ア. 酵母 イ. インフルエンザ菌 ウ. 大腸菌 エ. 線虫 オ. ヒト

- (5) 次の中で、通常行われているSDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動では分析できないものをすべて記号で答えよ。

ア. フェレドキシン イ. テトロドトキシン ウ. カタラーゼ
エ. ペニシリン オ. プロリン

- (6) 次の中で、巨大分子の質量分析に必要な技術はどれか、すべてを記号で答えよ。

ア. ESI イ. MRI ウ. MALDI エ. EPR オ. SNP

(問題7は次のページに続く。)

[3] 次の問に答えよ。

- (1) 次の文章中の (A) から (E) に入る語は何か。最も適当な語を下の選択肢からひとつずつ選べ。

ヒトでは、光は眼球のレンズを通り、感覚細胞が存在する (A) 上で像を形成する。感覚細胞のかん体には (B) という受容体が含まれ、この受容体は光を吸収すると、光反応といくつかの熱反応を経て、最終的にレチナールという物質とオプシンというタンパク質に解離する。この一連の反応が刺激となって、感覚細胞の興奮が起こり、大脳の視覚中枢へ伝えられて、ものが見えたと感じる。

一方、大脳の興奮は脊髄を経由して筋肉に伝えられ、筋肉が収縮する。脊髄からでて筋肉に興奮を伝える神経を (C) 神経という。ニューロンとニューロンとの間を興奮が伝わることを伝達と呼び、この部分を (D) と呼ぶ。ニューロンと筋細胞との (D) は終板と呼ばれる。終板では、伝達物質として (E) が分泌される。

- A : 角膜、結膜、網膜
- B : クリスタリン、ペプシン、ロドプシン
- C : 運動、感覚、交感
- D : ギャップジャンクション、シナプス、デスモソーム
- E : アセチルコリン、アドレナリン、セロトニン

- (2) 次の文章中の (F) から (R) に入る語は何か。最も適当な語を下の選択肢からひとつずつ選べ。

血糖とは、ヒトの血液中に約 (F) 含まれている (G) のことである。血糖値は、自律神経とホルモンにより調節されている。血糖値の低下が感知されると、副腎髄質から (H) が分泌される。(H) の作用により、(I) や (J) に貯蔵されていた (K) が分解されて (G) になる反応が促進され、血糖値は上昇する。また、副腎皮質から糖質コルチコイドが分泌されると (L) が (G) に変化する反応が促進され、血糖値は上昇する。低血糖の血液を (M) が感知すると、(N) のA細胞 (α 細胞) から (O) が分泌され血糖値が上昇する。血糖値が上昇すると、(N) のB細胞 (β 細胞) から、(P) が分泌され血糖値は低下することにより回復する。そして、血糖値の回復は間脳視床下部に感知され、(P) の分泌は (Q) される。このような作用を (R) という。

- F : 0.01%、0.1%、1.0%
- G : フルクトース、ラクトース、グルコース、スクロース
- H : チロキシンの、アドレナリン、テストステロン
- I : 心臓、腎臓、肝臓
- J : 骨髄、皮下脂肪、筋肉
- K : タンパク質、グリコーゲン、デンプン
- L : 炭水化物、脂肪、タンパク質
- M : 肝臓、すい臓、腎臓
- N : ランゲルハンス島、サイナス腺、甲状腺
- O : バソプレシン、パラトルモン、グルカゴン
- P : インスリン、プロラクチン、チロキシンの
- Q : 抑制、促進
- R : 正のフィードバック、負のフィードバック