

筆答試問

一般基礎科目

試験時間 13:30～15:00

- 問題は次の通り 22 題ある。生物学(問題番号 1～16)、物理学(問題番号 17、18)、化学(問題番号 19、20)、数学(問題番号 21、22)。これらのうちから 6 題を選択し解答すること。ただし、生物学 2 題は必ず選択すること。
- 和文の問題(問題番号 1～22)のあとに続けて、英文(問題番号 1～22)が印刷されている。和文または英文どちらか一方の問題文に基づいて解答すること。
- すべての解答用紙の所定の欄に、受験番号(2 箇所)、氏名、および選択した問題の番号を記入すること。
- 各問題の解答にはそれぞれ別々の解答用紙を用いること。1 つの問題への解答が 2 枚にわたる場合は、1 枚目の右下に「次ページに続く」、2 枚目の左上に「1 ページ目からの続き」と大きく明記すること。解答用紙の裏面は使用しないこと。
- 解答は、すべて解答用紙の指定された枠内に記述すること。
また、とくに指定のない限り、解答は日本語または英語で記述すること。

生物学

問題 1

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

生体分子を合成する反応経路には、エネルギー的に起こりにくい反応がいくつかあるが、
(a) 共役反応によって反応を進めることができる。生体分子の合成に関わる酵素の多くは、
細胞内では (b) フィードバック阻害により調節されている。

- (1) 下線部（a）には ATP がよく利用される。共役反応における ATP の役割を 2 行程度で説明せよ。
- (2) 下線部（a）の反応が起こる仕組みを、以下の語句をすべて用いて 3 行程度で説明せよ。
[ΔG^0 （標準自由エネルギー変化）、正、負]
- (3) 下線部（b）の現象について、以下の語句をすべて用いて 3 行程度で説明せよ。
[酵素、活性部位、調節部位、生成物、コンホメーション変化]

生物学

問題 2

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

(a) ミトコンドリアでは、(b) 酸化的リン酸化により ATP が生成される。(c) ミトコンドリアの機能が損なわれた場合には、さまざまな器官に障害が生じることがある。

（1）下線部（a）の機能と構造について、以下の語句をすべて用いて5行程度で説明せよ。

[外膜、内膜、マトリックス、膜間腔、クリステ]

（2）下線部（b）について、酸化的リン酸化によって ATP が生成される過程を5行程度で説明せよ。

（3）下線部（c）について、ヒトの場合に影響を受けやすい器官の例をあげ、その理由と合わせて2行程度で説明せよ。

生物学

問題 3

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

細胞内のタンパク質の量は、(a) mRNA の転写と分解の速度、(b) タンパク質の翻訳と分解の速度などによって決まる。真核細胞では、タンパク質の分解装置の一つとして (c) プロテアソームがある。

- (1) 下線部（a）について、大腸菌の *Lac* オペロンの転写調節の仕組みを、以下の語句をすべて用いて5行程度で説明せよ。
[CAP、環状 AMP、グルコース、リプレッサー、オペレーター]
- (2) 下線部（b）について、開始 tRNA (initiator tRNA) が運ぶアミノ酸を、真核細胞、細菌のそれぞれについて答えよ。
- (3) 下線部（c）について、プロテアソームは分解の標的となるタンパク質をどのように認識し、複合体内でどのように分解するのか、合わせて5行程度で説明せよ。

生物学

問題 4

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

真核生物の_(a) 染色体は、DNA とタンパク質の複合体であるクロマチンで構成される。クロマチンは_(b) ヌクレオソームという基本構造の繰り返しで構成されている。

- （1）下線部（a）について、染色体は末端にテロメアと呼ばれる特殊な構造を持つ。DNA 複製の観点からテロメアの機能を 5 行程度で説明せよ。
- （2）下線部（b）について、ヌクレオソームの構造を 3 行程度で説明せよ。
- （3）クロマチンの局所構造が遺伝子発現や DNA 複製の際に変化する仕組みについて、3 行程度で説明せよ。

生物学

問題 5

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

動物の上皮においては、隣接する細胞が (a) 密着結合、(b) 接着結合、デスモソームなどの細胞結合を介してシート構造を形成する。一方、ギャップ結合は (c) 無機イオンや水溶性小分子の直接移動を可能にする細胞間の通路となる。

- (1) 下線部（a）について、上皮の密封性に関して密着結合が担う役割を以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。
[クローデイン、頂端側、基底側]
- (2) 下線部（b）について、接着結合とデスモソームの構造上の共通点および相違点を、合わせて5行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（c）について、植物においても隣接する細胞間を直接物質が移動できることが知られている。それを可能にする構造の名称を答えよ。また、その構造を以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。
[細胞膜、細胞壁、デスモ小管]

生物学

問題 6

以下の文章を読んで、設問（１）、（２）２問とも答えよ。

多くの雌雄異体の生物において、性は性染色体により決定される。決定様式は生物種によりさまざまであるが、(a) 哺乳類やショウジョウバエでは XX が雌、XY が雄である。(b) 性染色体上にある遺伝子による形質は、しばしば常染色体上の遺伝子とは異なる遺伝の仕方をする。

- (1) 下線部 (a) に関し、哺乳類では X 染色体の不活化という仕組みにより、X 染色体上にある遺伝子が雌で雄の 2 倍発現することを回避していると考えられる。X 染色体はどのようにして不活化され、遺伝子の発現が抑制されるのか、以下の語句をすべて用いて 4 行程度で説明せよ。

[胚発生初期、ランダム、細胞系譜、細胞分裂]

- (2) 下線部 (b) に関し、キイロショウジョウバエの野生型は赤眼であるが、X 染色体上のある遺伝子における劣性（潜性）変異の表現型は白眼である。赤眼雌（野生型）×白眼雄の掛け合わせ実験で得られる F1 世代、および F1 世代の自由交配によって得られる F2 世代、それぞれにおける雌雄ごとの眼色の出現頻度（赤眼雌：白眼雌：赤眼雄：白眼雄）を示せ。ただし、複眼内の個眼の色は同一とする。

生物学

問題 7

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

細胞骨格は細胞質に広がるタンパク質線維の複雑な網目構造であり、^(a) 中間径フィラメント、微小管、^(b) アクチンフィラメントの3種類に大別される。細胞骨格の機能は、細胞の形づくり、細胞分裂、^(c) 細胞の運動性の制御など多岐にわたる。

- (1) 下線部（a）について、中間径フィラメントはいくつかの種類に分類できる。これらのうち3つの名称を答えよ。
- (2) 下線部（b）について、アクチンフィラメントに沿って小胞などの積荷を運ぶモータータンパク質としてI型ミオシンが知られている。I型ミオシンによって積荷が運ばれる仕組みについて、以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。
[頭部、エネルギー、尾部]
- (3) 下線部（c）について、真核細胞の運動性をつかさどる装置の1つとして鞭毛が知られている。この装置の内部構造と、屈曲運動を生み出す仕組みについて、合わせて5行程度で説明せよ。

生物学

問題 8

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

細胞内のシグナル伝達を担うタンパク質の多くは、^(a)リン酸化やGTP/GDPの結合によって活性が変化する。ある種の受容体は^(b)三量体GTP結合タンパク質（Gタンパク質）を活性化することで、アデニル酸シクラーゼやホスホリパーゼCなどの酵素活性を変化させる。

- （1）下線部（a）について、真核生物のタンパク質においてリン酸化されるアミノ酸残基の名称を3つあげ、それらがリン酸化されるために共通して持つ特徴について、合わせて2行程度で説明せよ。
- （2）下線部（b）について、Gタンパク質の α サブユニットが活性化、不活性化する仕組みについて、結合するヌクレオチドに注目して合わせて3行程度で説明せよ。
- （3）コレラ毒素と百日咳毒素は、それぞれアデニル酸シクラーゼに異なる影響を与える別々のGタンパク質 α サブユニットに作用する。しかし、どちらの毒素もアデニル酸シクラーゼの活性化状態を生じさせる。これがどのような仕組みで達成されるか、合わせて5行程度で説明せよ。

生物学

問題 9

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

(a) ほとんどの動物門は左右相称動物 (Bilateria) に属する。分子系統学的知見により、左右相称動物には3つの主要な (b) クレードがあることが示唆されており、それぞれ冠輪動物、脱皮動物、(c) 新口動物と呼ばれている。

(1) 下線部 (a) について、左右相称動物に含まれない動物門を以下から2つ選び答えよ。

[線形動物門、刺胞動物門、扁形動物門、腕足動物門、海綿動物門、毛顎動物門]

(2) 下線部 (b) について、クレードとは何か、以下の用語をすべて用いて2行程度で説明せよ。

[祖先、子孫、グループ]

(3) 下線部 (c) について、新口動物に含まれる動物門を次のうちから1つ選ぶとともに、その動物門の生息環境と形態的特徴について合わせて4行程度で説明せよ。

[軟体動物門、節足動物門、棘皮動物門]

生物学

問題 10

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

種子植物は裸子植物と被子植物からなり、被子植物は^(a)重複受精で特徴付けられる。APG（Angiosperm Phylogeny Group）IV 分類体系（2016）に基づくと、^(b)被子植物は真正双子葉植物や単子葉植物を含む。

- （１）下線部（a）について、裸子植物の受精と比較することによって、胚乳形成の有無とエネルギーの無駄を省くという観点から重複受精の利点を考え、4行程度で説明せよ。
- （２）下線部（b）について、真正双子葉植物にも単子葉植物にも含まれない被子植物を下から2つ選べ。
[アブラナ、アンボレラ、イネ、キク、グネツム、クラマゴケ、ソテツ、ハイビスカス、ヒカゲノカズラ、マオウ、モクレン、ユリ]
- （３）真正双子葉植物と単子葉植物の違いについて、下の5つの語句をすべて用いて5行程度で説明せよ。
[形成層、子葉、中心柱、幼根、葉脈]

生物学

問題 11

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

動物の雄と雌がそれぞれ何個体の異性と交尾・繁殖をおこなうのかといった繁殖パターンの総称を配偶システムと呼ぶ。配偶システムには、(a) 一夫一妻、(b) 一夫多妻、(c) 一妻多夫、多夫多妻などが知られている。

- (1) 下線部（a）について、つがいを形成する鳥類を対象に、遺伝マーカーを用いて父子関係を調べることで初めて確かめられた主要な結果を、3行程度で説明せよ。
- (2) 下線部（b）について、その下位区分であるレック型一夫多妻とはどのようなものか、以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。
[アリーナ、求愛行動、資源]
- (3) 下線部（c）について、一妻多夫は一夫多妻に比べて稀である。その理由として考えられることを、雄と雌のそれぞれの繁殖成功度の観点から5行程度で説明せよ。

生物学

問題 12

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

利他行動とは、自己は損失を被り、他者に利益をもたらす行動である。このような利他行動の進化の説明として、(a) 血縁淘汰理論と (b) 互惠的利他主義理論が提唱されている。(c) かつては「種の存続のため」という説も提唱されたが、この考え方は現在では否定されている。

- (1) 下線部 (a) について、真社会性昆虫における利他行動およびその適応的意義を、血縁淘汰理論に関連づけて、4行程度で説明せよ。
- (2) 下線部 (b) について、互惠的利他主義により利他行動が進化するために必要な条件を、以下の語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。
[長期、個体識別、損失]
- (3) 下線部 (c) について、「種の存続のため」という考え方が利他行動の進化の説明として否定されている理由を4行程度で説明せよ。

生物学

問題 13

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

ロトカ・ヴォルテラの捕食者－被食者モデルは、カナダオオヤマネコとカンジキウサギにみられるような (a) 個体数の共振動が生じる仕組みを説明する数理モデルの一つである。しかし、この捕食者－被食者モデルに (b) 種内競争やスイッチング捕食の効果を組み込むと、(c) 両者の個体群動態は安定化しやすくなる。

- (1) 下線部（a）について、捕食者と被食者の個体数の共振動を生じる基本的な仕組みを2行程度で説明せよ。
- (2) 下線部（b）について、2つの要素はいずれも、個体数の振動幅を小さくし、個体群動態を安定化する。その仕組みを、それぞれ3行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（c）について、個体群動態の安定化は、捕食者と被食者がパッチ状の環境に生息する場合にも生じることがある。この理由として考えられることについて、以下の用語をすべて用いて、3行程度で説明せよ。
[パッチ間の移動、非同調]

生物学

問題 14

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

種子植物の交配は、おしべの葯に形成された花粉がめしべの柱頭に付着する過程により達成される。種子植物の性表現で最も多いのは、(a) 同一の花内におしべとめしべがある両性花のみをもつタイプの雌雄同株である。(b) 雌雄同株の植物においては、交配様式に自殖と他殖の２通りがあり得る。

- (1) 下線部（a）について、植物の性表現として、以下の語句で表されるものについて合わせて5行程度で説明せよ。
[雌雄異花同株、雌雄異株、異花柱性]
- (2) 下線部（b）について、他殖と比べて自殖が有利となる点を1つあげ、2行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（b）について、他殖と比べて自殖が不利となる点を1つあげ、3行程度で説明せよ。

生物学

問題 15

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに答えよ。

自然人類学では、^(a) 子ども期 (childhood) と ^(b) 雌の閉経後の期間 をヒトに特有の成長段階と見なすことが多い。子ども期の存在は、ヒトが大型類人猿に比べ、^(c) 出産間隔が短い ことと進化的に関連づけて論じられる。

- (1) 下線部（a）について、ヒトの子ども期は、ヒト以外の霊長類の成長段階とどのような形質がどう異なるから特有なのか。以下の語句をすべて用いて3行程度で述べよ。
[離乳、永久歯]
- (2) 下線部（a）、（b）について、子ども期と雌の閉経後の期間の存在は進化的に相互に関連しているとする考え方がある。どのような仮説か4行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（a）、（c）について、ヒトの出産間隔の短さと、子ども期の関連を2行程度で説明せよ。

生物学

問題 16

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

ヒトは他の霊長類に比べて脳が非常に大きい。ヒトでは、(a) 前頭連合野が発達し、運動野では唇の運動を制御する領域が拡張する。脳の容量は、アウストラロピテクス類などの (b) 初期人類では現生のチンパンジーと同程度であったが、(c) ヒト属の出現以降に大きく増大した。

- (1) 下線部（a）について、これらが関連していると考えられるヒトの行動学的特徴を1つあげて、その理由を3行程度で説明せよ。
- (2) 下線部（b）について、初期人類が獲得した形態学的特徴を1つあげて、それが人類における大脳化にどう寄与したのかを、3行程度で説明せよ。
- (3) 下線部（c）について、ヒト属の脳容量の増大と関連して、ヒトの新生児は身体運動能力が未成熟な段階で生まれるようになったと考えられている。その関連性について、5行程度で説明せよ。

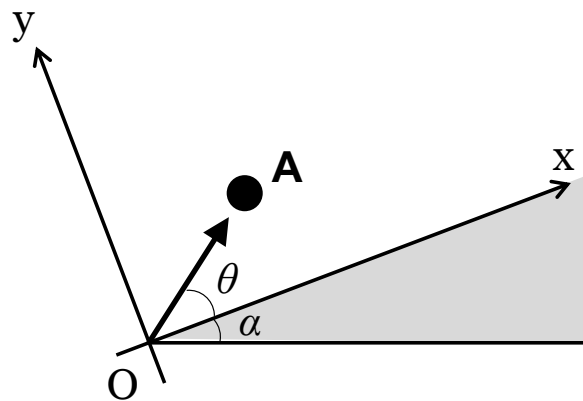
物理学

問題 17

以下の文章を読んで、設問（1）～（3）のすべてに答えよ。答えだけでなく計算過程がわかるように解答すること。

下図のような斜面上での物体の投げ上げについて考える。斜面は水平からの角度が α で、斜面に沿って x 軸、斜面に垂直上向きに y 軸をとる。

- （1）質量 m の物体 A を点 O から、仰角 θ 、初速度 v_0 で投げ上げた。 x 方向、 y 方向、それぞれについての運動方程式を書け。但し、重力加速度は g 、時刻は t とする。なお、空気抵抗は無視できるものとする。
- （2）投げ上げた時刻を $t=0$ とし、（1）の運動方程式を解いて物体の位置 x 、 y を時刻 t の関数で表せ。
- （3）物体 A が斜面上に落下する位置が最も点 O から遠くなるのは、 θ がいくらの時か。但し、 v_0 は一定とする。



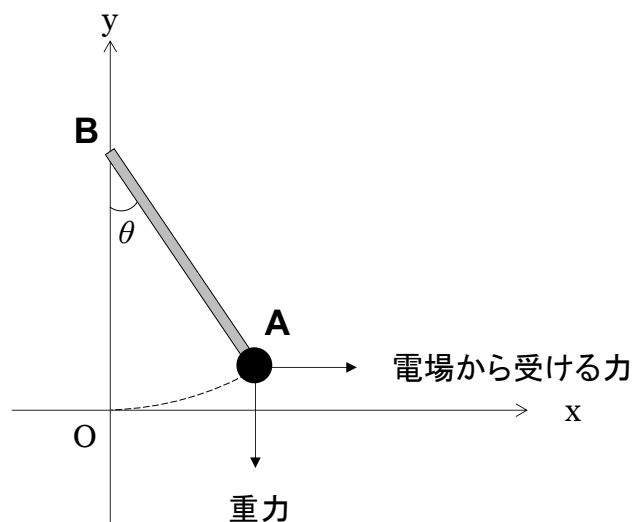
物理学

問題 18

以下の文章を読んで、設問（１）～（４）のすべてに答えよ。答えだけでなく計算過程がわかるように解答すること。

質量が無視できる長さ l の棒の一端に、電気量 $+q$ ($q > 0$) の電荷を持つ質量 m の物体 **A** が取り付けられている。棒のもう一方の端は点 **B** で固定されており、点 **B** を中心に棒はなめらかに回転できる。**B** を通る鉛直線を y 軸、これと直交する軸を x 軸とし、 y 軸に対する棒 l の回転角を θ とする。また、原点は $\theta = 0$ のときの物体 **A** の位置とする。

- (1) 物体 **A** が原点にあるとき、 x 軸の正の向きに一様な強さ E の電場を加えると、**A** は反時計回りに回転して $\theta = 45^\circ$ の位置で静止した。 E を m 、 q 、及び重力加速度 g を使って表せ。
- (2) 物体 **A** の重力によるポテンシャルエネルギーを m 、 g 、 l と θ を使って表せ。但し、ポテンシャルエネルギーの基準を原点 **O** とせよ。
- (3) 物体 **A** の静電気力によるポテンシャルエネルギーを E 、 q 、 l と θ を使って表せ。但し、ポテンシャルエネルギーの基準を原点 **O** とせよ。
- (4) 電場 E を加えたまま、物体 **A** を $\theta = \pi$ の位置まで持ち上げ静かに離すと、**A** は時計回りに運動を始めた。物体 **A** の速さが 0 となるのは **A** がどの位置まで運動したときか、角 θ で答えよ。なお、空気抵抗は無視できるものとする。



化学

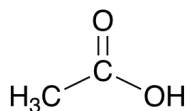
問題 19

以下の設問（１）～（４）のすべてに解答せよ。

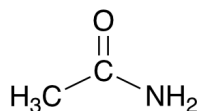
（１） $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ （分子量 74）、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ （分子量 73）、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ （分子量 74）は同程度の分子量をもつ。これらを沸点の高い順に不等号で並べ、その理由を述べよ。

（２）次の A から C の化合物のうち、分子内水素結合が可能なものを答えよ。水素結合を形成した場合の形を書け。

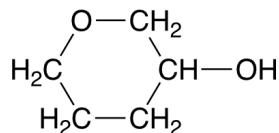
(A)



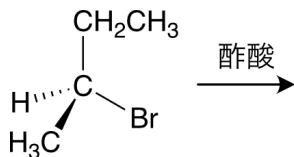
(B)



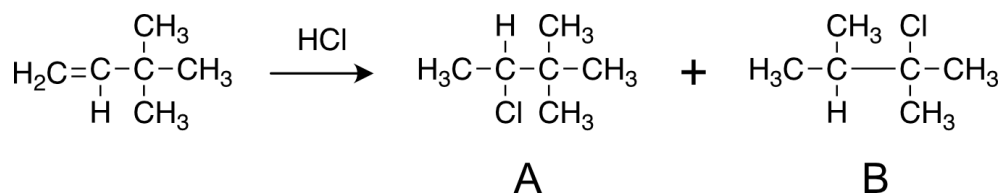
(C)



（３）次の反応では、極性の高いプロトン性極性溶媒である酢酸を用いているため、 $\text{S}_{\text{N}}1$ 反応で進行する。主生成物を立体構造がわかるように図示せよ。



（４）次の付加反応で A と B が得られた。B はどのように生成されるか、その機構を説明せよ。

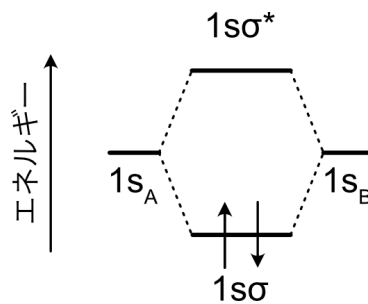


化学

問題 20

以下の文章を読んで、設問（１）～（４）のすべてに解答せよ。

H_2 分子の分子軌道エネルギー準位は、原子核 A と B のそれぞれの $1s$ 原子軌道からなる $1s\sigma$ と $1s\sigma^*$ で、電子占有状態は以下のようなになる。



- (1) O_2 分子の分子軌道エネルギー準位を上図にならって書け。
- (2) O_2 分子の基底電子状態が常磁性であることを説明せよ。
- (3) N_2 分子の分子軌道エネルギー準位を上図にならって書け。
- (4) N_2 と N_2^+ では、どちらの方が平衡核間距離が大きいか、その理由とともに説明せよ。

数学

問題 21

以下の文章を読んで、設問（１）～（３）のすべてに解答せよ。

数列 $\{a_n\}$, $\{b_n\}$ が、 $a_1 > b_1 > 0$, $a_{n+1} = (a_n + b_n)/2$, $b_{n+1} = \sqrt{a_n b_n}$ により与えられている。

- (1) $n \geq 2$ について、 $a_n > b_n > 0$ であることを証明せよ。
- (2) $b_1 < b_2 < \dots < b_n$ かつ $a_n < a_{n-1} < \dots < a_1$ であることを証明せよ。
- (3) $\{a_n\}$ と $\{b_n\}$ が、同一の値に収束することを示せ。

数学

問題 22

設問 (1)、(2) 2問とも解答せよ。答えだけでなく、途中の計算過程が分かるように解答すること。

3行3列の行列 A が以下のように与えられている。

$$A = \begin{pmatrix} a & a^2 & b+c \\ b & b^2 & c+a \\ c & c^2 & a+b \end{pmatrix}$$

- (1) $A\mathbf{x} = \mathbf{0}$ を満たす \mathbf{x} が $\mathbf{0}$ だけとなる条件を、 a, b, c を用いて示せ。ただし $\mathbf{0}$ はゼロベクトルを示す。
- (2) a, b, c のいずれも 0 ではなく、また互いに異なっているとす。 $a + b + c = 0$ が成り立つとき、 $A\mathbf{x} = \mathbf{0}$ を満たす $\mathbf{x} = (x \ y \ z)^T$ を

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

の形式で求めよ。ただし k は任意定数とする。

Biology

Test 1

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In pathways for biomolecule production, there are some energetically unfavorable reactions. These reactions can still efficiently proceed through (a) coupled reactions. Many enzymes involved in the cellular production of biomolecules are regulated by (b) feedback inhibition.

- (1) Regarding the underlined part (a), ATP is frequently used for these reactions. Explain the role of ATP in the coupled reactions in about 2 lines.
- (2) Explain the mechanism of the underlined part (a) using all the following words in about 3 lines.
“ ΔG^0 (the standard free-energy change)”, “positive”, “negative”
- (3) Explain the mechanism of the underlined part (b) using all the following terms in about 3 lines.
“enzyme”, “active site”, “regulatory site”, “product”, “conformational change”

Biology

Test 2

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In the (a) mitochondria, (b) ATP is produced by oxidative phosphorylation. (c) Impaired mitochondrial function can cause damage to various organs.

- (1) Explain the function and structure of the underlined part (a) in about 5 lines using all the following terms.
“outer membrane”, “inner membrane”, “matrix”, “intermembrane space”, “cristae”
- (2) Regarding the underlined part (b), explain the process of ATP production by oxidative phosphorylation in about 5 lines.
- (3) Regarding the underlined part (c), give an example of an organ that is highly affected by mitochondrial damage in humans and explain the reason in about 2 lines.

Biology

Test 3

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

The amount of cellular protein is determined by the rates of (a) transcription, degradation of mRNA, (b) translation, and protein degradation. (c) Proteasomes are one of the proteolytic machinery in eukaryotic cells.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain the mechanism for transcriptional control of the *Lac* operon in *Escherichia coli* using all the following words in about 5 lines.
“CAP”, “cAMP”, “glucose”, “repressor”, “operator”
- (2) Regarding the underlined part (b), provide the name of the amino acid carried by the initiator tRNA in eukaryotic cells, and in bacteria.
- (3) Regarding the underlined part (c), explain the mechanism of target protein recognition and degradation by the proteasomes in about 5 lines in total.

Biology

Test 4

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Eukaryotic ^(a) chromosomes are composed of chromatin, which is a complex of DNA and proteins. Chromatin is composed of repeating basic structural units called ^(b) nucleosomes.

- (1) Regarding the underlined part (a), chromosomes have special structures called telomeres at their ends. Explain the function of telomeres in the context of DNA replication in about 5 lines.
- (2) Regarding the underlined part (b), describe the structure of nucleosomes in about 3 lines.
- (3) Explain how the local structure of chromatin changes during gene expression and DNA replication in about 3 lines.

Biology

Test 5

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

In animal epithelial tissues, neighboring cells form a sheet through cell junctions, including (a) tight junctions, (b) adherens junctions, and desmosomes. In addition, gap junctions are pathways to (c) allow inorganic ions and small water-soluble molecules to directly move between neighboring cells.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain the role of tight junctions in the sealing performance of the epithelial tissues using all the following words in about 3 lines.
“claudin proteins”, “apical side”, “basal side”
- (2) Regarding the underlined part (b), explain the structural similarity and difference between adherens junctions and desmosomes in about 5 lines in total.
- (3) Regarding the underlined part (c), plants also have a structure allowing materials to directly move between the neighboring cells. Answer the name of the structure, and explain the structure using all the following words in about 3 lines.
“plasma membrane”, “cell wall”, “desmotubule”

Biology

Test 6

Read the following text and answer all the questions (1) and (2).

In most gonochoric organisms, sex is determined by differences in sex chromosomes. (a) In mammals and *Drosophila*, XX is female and XY is male. (b) Traits that are based on genes on sex chromosomes are often inherited differently from those on autosomal chromosomes.

- (1) Regarding the underlined part (a), it is thought that in mammals, a mechanism called X-chromosome inactivation avoids expressing the genes on the X-chromosome twice as much in females compared to that in males. Explain the mechanism by which the chromosomes are inactivated and gene expression is eventually suppressed in about 4 lines using all of the following words and phrases.

“early embryogenesis”, “random”, “cell lineage”, “cell division”

- (2) Regarding the underlined part (b), wild-type *Drosophila melanogaster* has red eyes, but a recessive (latent) mutation of a gene on the X-chromosome gives white eyes. The crossing experiment red-eyed female (wild type) × white-eyed male was conducted. Describe the ratios in the occurrences of red-eyed female: white-eyed female: red-eyed male: white-eyed male in the F1 generation as well as in the F2 generation obtained by free crossing of the F1 generation, respectively. Note that the color of individual eyes within compound eyes shall be the same.

Biology

Test 7

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

The cytoskeleton is a complex network of protein filaments present in the cytoplasm of eukaryotic cells. The cytoskeleton can be classified into three major types: (a) intermediate filaments, microtubules, and (b) actin filaments. The functions of the cytoskeleton are diverse, including the regulation of cell shape, cell division, and (c) cell motility.

- (1) Regarding the underlined part (a), there are several types of intermediate filaments in the cells. Answer three names of different intermediate filaments.
- (2) Regarding the underlined part (b), type I myosin is known as a motor protein that carries cargos such as transport vesicles along actin filaments. Explain how type I myosin carries the cargos using all the following words in about 3 lines.
“head domain”, “energy”, “tail domain”
- (3) Regarding the underlined part (c), flagella are known as one of the cellular apparatuses responsible for cell motility in eukaryotic cells. Explain the internal structure of flagella and the mechanism that produces their bending motion in about 5 lines.

Biology

Test 8

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Many key intracellular signaling proteins are activated or inactivated by ^(a) phosphorylation or GTP/GDP binding. Some receptors change the activities of enzymes (e.g., adenylyl cyclase or phospholipase C) through activating ^(b) G proteins.

- (1) Regarding the underlined part (a), provide the names of three amino acids, which can be phosphorylated in eukaryotic cells, and explain the common feature among those amino acids for the phosphorylation in about 2 lines.
- (2) Regarding the underlined part (b), explain how the α subunit of G proteins is activated and inactivated in terms of nucleotide binding in about 3 lines.
- (3) The cholera toxin and pertussis toxin target different types of α subunits of G proteins. However, both toxins cause a situation in which the enzyme adenylyl cyclase is activated. Explain how each toxin induces the situation in about 5 lines in total.

Biology

Test 9

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

(a) Most phyla of animals are included in Bilateria. Molecular phylogenetic analyses suggested that Bilateria includes three major (b) clades, namely, Lophotrochozoa, Ecdysozoa, and (c) Deuterostomia.

(1) Regarding the underlined part (a), choose two phyla that do not belong to Bilateria from the following list.

“Nematoda”, “Cnidaria”, “Platyhelminthes”, “Brachiopoda”, “Porifera”, “Chaetognatha”

(2) Regarding the underlined part (b), describe the definition of “clade” in about 2 lines using all the following words.

“ancestor”, “descendant”, “group”

(3) Regarding the underlined part (c), choose a phylum from the following list that belongs to Deuterostomia and describe its habitat and morphological characteristics in about 4 lines.

“Mollusca”, “Arthropoda”, “Echinodermata”

Biology

Test 10

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Seed plants consist of gymnosperms and angiosperms, the latter of which are characterized by (a) double fertilization. Based on the APG (Angiosperm Phylogeny Group) IV classificatory system (2016), the (b) angiosperms include eudicots, monocots, and a few other taxa.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain in about 4 lines an advantage of double fertilization over the fertilization found in gymnosperms in the light of the presence/absence of endosperm formation and the avoidance of producing wasteful energy.
- (2) Regarding the underlined part (b), choose from the list below the two angiospermous plants that are neither eudicots nor monocots.
“*Amborella*”, “*Brassica*”, “*Chrysanthemum*”, “*Cycas*”, “*Ephedra*”, “*Gnetum*”, “*Hibiscus*”, “*Lilium*”, “*Lycopodium*”, “*Magnolia*”, “*Oryza*”, “*Selaginella*”
- (3) Explain in about 5 lines the differences between eudicots and monocots using all the following words.
“cambium”, “cotyledon”, “leaf vein”, “radicle”, “stele”

Biology

Test 11

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Mating system refers to the reproductive patterns observed within a species with regards to characteristics such as the number of individuals with which a male and a female mates. Mating systems include (a) monogamy, (b) polygyny, (c) polyandry, and polygynandry.

- (1) Regarding the underlined part (a), describe in about 3 lines the main finding that was confirmed for the first time using genetic markers to investigate paternity in breeding pairs of birds.
- (2) Regarding the underlined part (b), explain in about 3 lines lek polygyny, which is a subcategory of polygyny, using all the following words.
“arena”, “courtship behavior”, “resource”
- (3) Regarding the underlined part (c), polyandry is rare compared to polygyny. Explain in about 5 lines the reason for this, considering the reproductive success of males and females, respectively.

Biology

Test 12

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Altruistic behavior is behavior that benefits others at a cost to the actor. To explain the evolution of altruistic behavior, (a) kin selection theory and (b) reciprocal altruism theory are widely accepted. (c) Another theory, “for the survival of the species”, was once proposed, but this idea has been rejected.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain in about 4 lines the altruistic behavior of eusocial insects and its adaptive significance in relation to kin selection theory.
- (2) Regarding the underlined part (b), explain in about 3 lines the conditions necessary for altruistic behavior to evolve through reciprocal altruism using all the following words and phrases.
“long-term”, “individual identification”, “cost”
- (3) Regarding the underlined part (c), explain in about 4 lines why the idea of “for the survival of the species” is rejected as an evolutionary explanation of altruistic behavior.

Biology

Test 13

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

(a) Predator–prey oscillations, such as those seen in American lynx (predator) and snowshoe hare (prey), can be explained by a simple Lotka–Volterra model. However, when (b) intraspecific competition and prey-switching in predators are considered in the model, (c) predator–prey dynamics are predicted to be stabilized.

- (1) Regarding the underlined part (a), describe in about 2 lines the basic mechanism through which predator–prey oscillations can occur.
- (2) Regarding the underlined part (b), describe in about 3 lines each how these two factors respectively attenuate predator–prey oscillations.
- (3) Regarding the underlined part (c), predator–prey dynamics can also be stabilized in patchy habitats. Describe in about 5 lines the mechanism through which environmental heterogeneity stabilizes predator–prey dynamics, using both terms below.
“dispersal between patches”, “asynchronous”

Biology

Test 14

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Mating of seed plants is the process in which the pollen grains produced in anthers of stamens are delivered to the stigmas of a pistil. The most frequent gender expression of seed plants is (a) a type of hermaphrodite in which individual plants produce flowers that possess stamens and a pistil. (b) In hermaphrodites, the breeding system is either inbreeding or outcrossing.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain in about 5 lines in total the following types of gender expression.
“monoecy”, “dioecy”, “heterostyly”
- (2) Regarding the underlined part (b), explain in about 3 lines what advantages inbreeding might have in comparison with outcrossing.
- (3) Regarding the underlined part (b), explain in about 3 lines what disadvantages inbreeding might have in comparison with outcrossing.

Biology

Test 15

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Both (a) childhood and (b) the postmenopausal period in females are often regarded in the field of physical anthropology as life stages that are unique to humans. Childhood is often discussed with evolutionary reference to (c) shorter inter-birth intervals in humans than in great apes.

- (1) Regarding the underlined part (a), explain in about 4 lines why childhood is unique to humans, focusing on the difference in developmental patterns of traits between humans and non-human primates, and using the following words.
“weaning”, “permanent teeth”
- (2) Regarding the underlined parts (a) and (b), there is an evolutionary hypothesis that childhood relates to the postmenopausal period in females. Explain this hypothesis in about 6 lines.
- (3) Regarding the underlined parts (a) and (c), explain in about 3 lines the relationship between short interbirth intervals and childhood in humans.

Biology

Test 16

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

Humans have a brain that is distinctively large compared to non-human primates. ^(a) In humans, the frontal association area is enlarged and the area associated with the lips in the motor cortex is prominently expanded. ^(b) The brain volume of ancestral humans, including australopithecines, was comparable to that of extant chimpanzees, and ^(c) it increased in the genus *Homo*.

- (1) Regarding the underlined part (a), list and explain in about 3 lines one feature of human behavior that is associated with these brain reorganizations.
- (2) Regarding the underlined part (b), list one derived morphological feature of ancestral humans, and explain in about 3 lines its contribution to the increase in brain volume in the human lineage.
- (3) Regarding the underlined part (c), the evolutionary increase in brain volume caused human babies to be born physically immature. Explain the reason for this in about 5 lines.

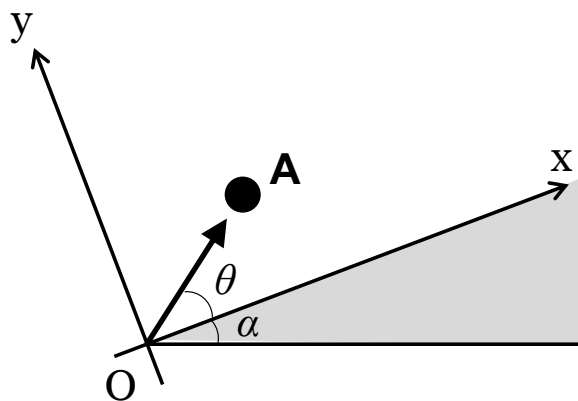
Physics

Test 17

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3). Describe your calculation processes in addition to the answers.

Consider the throwing up of an object on a slope as shown in the figure below. The slope is at an angle α from the horizontal, with the x-axis along the slope and the y-axis perpendicular to the slope in the upward direction.

- (1) An object **A** of mass m is thrown up from point **O** at an elevation angle θ and an initial velocity v_0 . Write the equations of motion in the x-direction and y-direction, respectively, where g is the gravitational acceleration and t is the time. Air resistance is negligible.
- (2) Let $t = 0$ be the time when the object is thrown up, and express the positions x and y of the object as a function of time t by solving the equation (1).
- (3) Find the angle of elevation (θ) to make the object fall farthest on the slope. Provide that v_0 is constant.



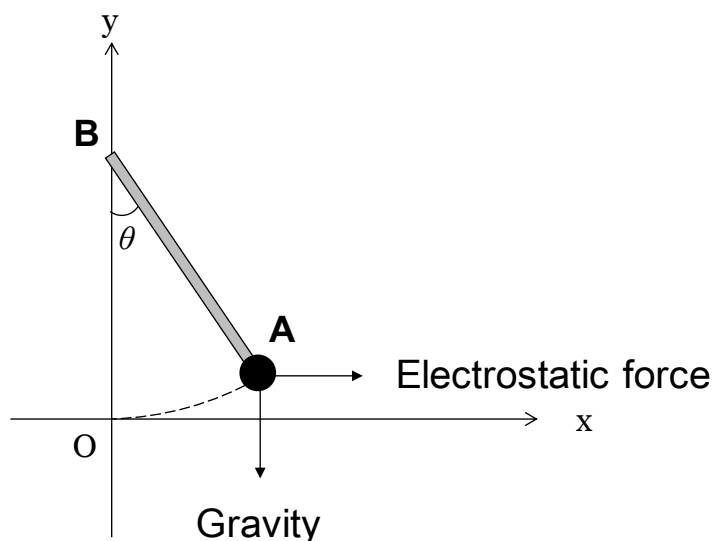
Physics

Test 18

Read the following text and answer all the questions from (1) to (4). Describe your calculation processes in addition to the answers.

An object **A** of mass m with an electric charge q ($q > 0$) is attached to one end of a rod of length l and negligible mass. The other end of the rod is fixed at the point **B** so that it can rotate smoothly. The y -axis is the vertical line passing through **B**, and the x -axis is perpendicular to it. The angle of rotation from the y -axis is θ as shown in the figure. The origin is the position of **A** at $\theta = 0$.

- (1) When object **A** is at the origin, a uniform electric field is applied to the positive direction in the x -axis. Then, **A** rotates counterclockwise to be stationary at $\theta = 45^\circ$ when the electric field strength is E . Express E using m , q , and the gravitational acceleration g .
- (2) Express the gravitational potential energy of object **A** using m , g , l and θ . Let the origin **O** be the reference of the potential energy.
- (3) Express the electrical potential energy of object **A** using E , q , l and θ . Let the origin **O** be the reference point of the potential energy.
- (4) With the electric field E applied, object **A** is lifted to the position $\theta = \pi$ and gently released. Then, **A** begins to rotate clockwise. Answer the angle θ at which the velocity of **A** becomes zero. Assume that the air resistance is negligible.



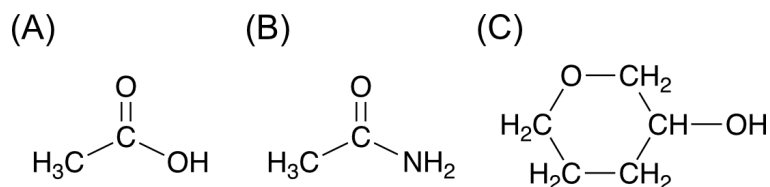
Chemistry

Test 19

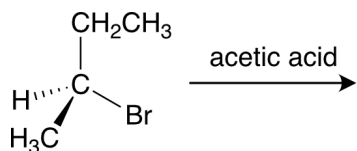
Answer all the questions from (1) to (4).

(1) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ (molecular weight 74), $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ (molecular weight 73) and $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ (molecular weight 74) have similar molecular weights. List them in the order of increasing boiling point using inequality signs and explain the reason.

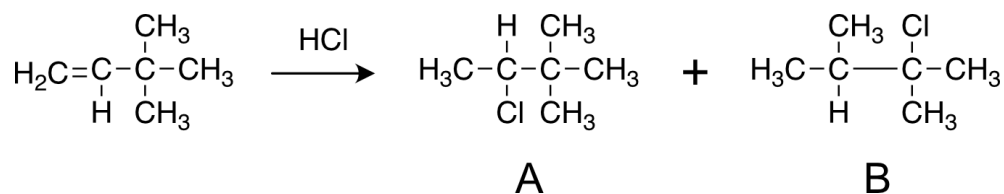
(2) Which of the following compounds is capable of forming an intramolecular hydrogen bond? Draw the structure in which the hydrogen bond is formed.



(3) The following reaction proceeds as an $\text{S}_{\text{N}}1$ reaction because acetic acid is a highly polar protic solvent. Illustrate the main product to show its molecular geometry.



(4) The following addition reaction yields B along with A. Explain the mechanism by which B is formed.

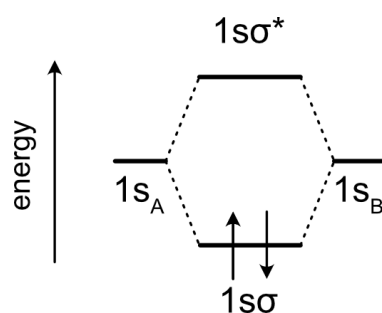


Chemistry

Test 20

Read the following text and answer all the questions from (1) to (4).

The molecular orbital energy levels of hydrogen molecule H_2 are 1σ and $1\sigma^*$, consisting of the $1s$ atomic orbitals of the nuclei A and B, respectively, and the electron occupation states are shown as follows:



- (1) Draw the molecular orbital energy levels of O_2 molecules according to the diagram above.
- (2) Explain the reason why the ground electronic state of O_2 molecules is paramagnetic.
- (3) Draw the molecular orbital energy levels of N_2 molecules according to the diagram above.
- (4) Which is larger, the equilibrium internuclear distance of N_2 or that of N_2^+ ? Explain the reason for your prediction.

Mathematics

Test 21

Read the following text and answer all the questions from (1) to (3).

The sequences $\{a_n\}$ and $\{b_n\}$ are given by $a_1 > b_1 > 0$, $a_{n+1} = (a_n + b_n)/2$, and $b_{n+1} = \sqrt{a_n b_n}$.

- (1) Prove that $a_n > b_n > 0$ for $n \geq 2$.
- (2) Prove that $b_1 < b_2 < \dots < b_n$ and $a_n < a_{n-1} < \dots < a_1$.
- (3) Show that $\{a_n\}$ and $\{b_n\}$ converge to the same value.

Mathematics

Test 22

Answer both the questions (1) and (2). Describe your calculation processes in addition to the answers.

A 3-by-3 matrix A is given as follows:

$$A = \begin{pmatrix} a & a^2 & b + c \\ b & b^2 & c + a \\ c & c^2 & a + b \end{pmatrix}.$$

- (1) Show, using a , b , c , the condition that \mathbf{x} satisfying $A\mathbf{x} = \mathbf{0}$ is only $\mathbf{0}$. Note that $\mathbf{0}$ indicates a zero vector.
- (2) Suppose that neither a , b , nor c is zero, and that they are different from each other. Given $a + b + c = 0$, determine $\mathbf{x} = (x \ y \ z)^T$ satisfying $A\mathbf{x} = \mathbf{0}$ in the form:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}.$$

Here, k is an arbitrary constant.