

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【理科教育】

次ページ以降の問題Ⅰについては、理科教育を選択した者は全員が解答せよ。

問題Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴについては、2題を選択し、選択した問題の番号を下の括弧内に記すとともに、解答を決められた解答欄に記入せよ。

選択した問題の番号 () ()

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

I. 「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、共同的な学びの実現～（答申）（中央教育審議会，2021）において、「個別最適な学び」と「協働的な学び」の一体的な実現が重要であると提言された。以下の問1～2に答えよ。

問1 「個別最適な学び」とはどういうものか。あなたの考えを説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

- ・ 題意を正しくとらえている。
- ・ 論理的かつ分かりやすい日本語で記述している。
- ・ 「指導の個別化」または「学習の個性化」どちらかに関わる内容が論じられている。例えば、支援の必要な子供に重点的な指導を行うこと（指導の個別化）、一人一人の子供の興味・関心に応じて、学習活動や学習課題に取り組む機会を提供し、子供自身が学習が最適になるように調整すること（学習の個性化）など。

<解答例>

教師が子供の学習状況を見取り、個別に支援が必要な場合はその子供に適したフィードバックや課題を与えること。また、それぞれの子供の興味に応じて、子供自身が自己調整的に学習を進められるような学習課題や場の設定を行うこと。

問2 「個別最適な学び」と「協働的な学び」の一体的な充実が実現されている授業について、理科の特定の単元内容を例に挙げて具体的に説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

- ・ 題意を正しくとらえている。
- ・ 論理的かつ分かりやすい日本語で記述している。
- ・ 理科の特定の単元内容、具体的な学習過程や学習場面などを例にあげて論じている。
- ・ 「個別最適な学び」と「協働的な学び」を関連させて論じている。例えば、「個別最適な学び」の成果を「協働的な学び」に生かして、さらにその成果を「個別最適な学び」に還元するなど。

<解答例>

小学校第5学年「振り子の運動」の内容を取り上げる。学級全体で「振り子の1往復する時間は何によって変わるのだろうか」という大括りの課題を設定する。「個別最適な学び」として、それぞれの子供が自分の興味から仮説を立て、その仮説を確かめる実験を考察し、検証をする。例えば、おもりの重さや振り子の振れ幅、振り子の長さに着目して仮説を立てることが考えられる。また、「協働的な学び」として、自分の実験結果だけでは大括りの課題は解決できないため、他の子供と仮説や実験結果を共有したり、自分の実験で迷いが生じた場合は相談をする。それにより学級全体で「振り子の1往復する時間は、振り子の長さによって変わる」と結論を出し、課題の解決をする。最後に、自分の学びはどうだったのかを振り返ることで「協働的な学び」で得たものから「個別最適な学び」がどうだったのかを振り返る。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II. 図1のように、鉛直上向きの磁場 B 中で、抵抗 R を取り付けた導線上を、外力 F で导体棒 ab を運動させる。すると回路 $abcd$ には誘導電流が生じる。回路の作る面 $abcd$ と磁場 B は直交するものとする。このように磁場中で導体を運動させて得た起電力を運動起電力と呼ぶ。手回し発電機による発電は運動起電力によるものである。以下の問1~3の問いに答えよ。

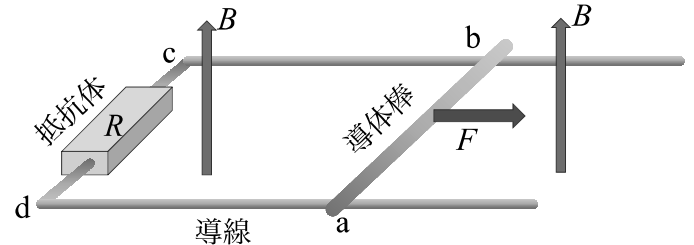


図1 导体棒を外力 F で運動させる。

問1 図1の导体棒に外力 F を加えて運動させると、回路 $abcd$ が囲む面積が大きくなる。この時回路 $abcd$ の誘導電流 I はどのように流れるか。下の解答欄の図2中に流れの向きを表す矢印で記入せよ。また导体棒 ab 上の誘導電流が磁場 B から受ける力のベクトル f を、フレミングの左手の規則をもとにして図2中に記入せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

回路 $abcd$ の誘導電流は回路の内側の磁場の増加を妨げる向きの磁場を発生する。従って誘導電流 I は回路 $abcd$ を右回りに流れる。

さらに、导体棒 ab 上の誘導電流 I にフレミングの左手の規則を適用すると、誘導電流 I は、外力 F に逆らう向きの f のローレンツ力を磁場から受ける。

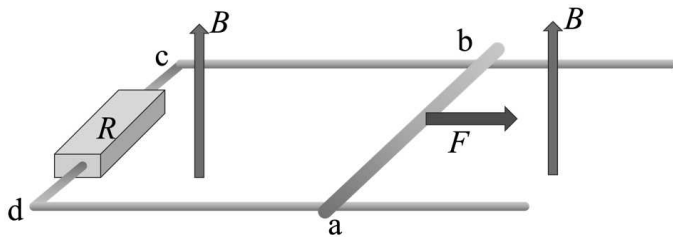


図2 解答記入用

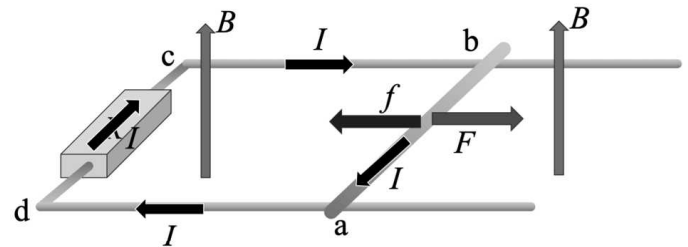


図2' 解答記入例

問2 手回し発電機に、1個の負荷抵抗 R を接続してハンドルを回転させる。発電機のハンドルは一定の回転速度で回転させるものとする。すると、ハンドルを回転させる過程で、ハンドルには一定の抗力が作用していた。この過程の、ハンドルを回す仕事率と、負荷抵抗で消費される電力との関係について、ハンドルの抗力という語も用いて説明せよ。ただし、発電機に生じる摩擦の影響などは無視してよい。

【解答欄】

<解答のポイント>

ハンドルを回す仕事率は、電磁誘導により生じる抗力によってハンドルに加えるトルクと、ハンドルの回転速度の積で与えられる。この仕事率が回路に発生する運動起電力 V と誘導電流 I の積である電力 P に等しい。ハンドルを等速回転させるために抗力と釣り合うトルクが必要であり、このトルクがした仕事に等しい電気エネルギーが得られる。負荷抵抗では供給された電力が消費され熱に変わる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号			

問3 手回し発電機では、発電する電流が大きいほどハンドルの抗力が大きいことがわかった。そこで、この性質を利用したゲーム教材を次のように考案する。

ブラックボックスの回路を作り、手回し発電機で2つずつ選んだ端子間に電流を生じさせ、ハンドルの抗力を比較する。この操作により、ブラックボックス内部がどのように接続されているかを推定するものである。

図3は単純なブラックボックスの仕組みの例である。図4はこれをパッケージして内部が見えないようにした状態を示す。図3のように、同じ長さで、直径の異なる太線と細線の2本のニクロム線を、端子 a~d に接続したブラックボックス回路を作る。まず手始めに図3のブラックボックスの構造をどのように推定できるか、解明手順を説明せよ。

次に、一つ以上の別のブラックボックスを考案し、考案したものについて構造の推測方法を、図などを用いて説明せよ。ただし、ニクロム線は交差または結合させて、導通させてもよいものとする。推定には図3のブラックボックスで得られた情報を基準にしてよい。

【解答欄】

<解答のポイント>

ニクロム線の長さを同等とし、発電機の回転速度は一定にして電氣的駆動力を一定にする。ニクロム線が太いほど抵抗が小さく、電流が大きくなるので発電機のハンドルの抗力が大きくなる。端子の組み合わせで、必ず電流最大と最小が見出される。また接続のない端子間は電流ゼロである。この3種が基準になる。図3の場合は、この基準3種だけで構成され、回路が特定できる。

ニクロム線を交差・結合させた場合には、途中でニクロム線の太さが変わるので複雑化する。提案する接続形態について、流れの分類を試みる。

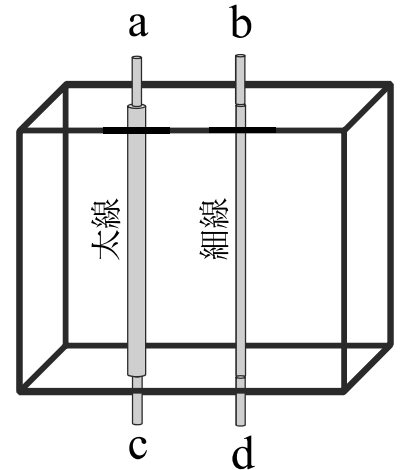


図3 基本的なニクロム線の接続の例

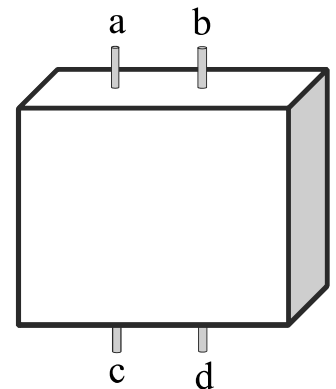


図4 ブラックボックスを閉じた状態の外観の例

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

Ⅲ. 金属は合金にすることで様々な用途に使用されている。合金に関する以下の問いに答えよ。

問1 次の合金の主な成分を答えよ。

- 黄銅 銅 と (ア)
 青銅 銅 と (イ)
 白銅 銅 と (ウ)
 ステンレス鋼 (カ) と (キ) と (ク), または (カ) と (キ)
 ジュラルミン (ケ) と (コ)

【解答欄】<正解の例> ア： 亜鉛 イ： スズ ウ： ニッケル
 カ： 鉄 キ： クロム ク： ニッケル ケ： アルミニウム コ： 銅
 カとキ, ケとコ は順不同

問2 固体の合金には様々なものがあるが、成分の混ざり方は次の3種類に分けることができる。2成分系の合金を例に、3種類の混ざり方について、簡単に説明するとともに、図1で、それぞれの混ざり方がどの部分に相当するか A,B,C を記入してその範囲を示せ。

- 【解答欄】<正解の例>
 混ざり方 A 固溶体 溶質原子が溶媒原子と置き換わるもの（置換型）または溶質原子が溶媒原子の構成する格子間に侵入するもの（侵入型）
 混ざり方 B 金属間化合物 2種類の金属元素が簡単な整数比で化合物を形成するもの
 混ざり方 C 固溶しない2相から成るもの

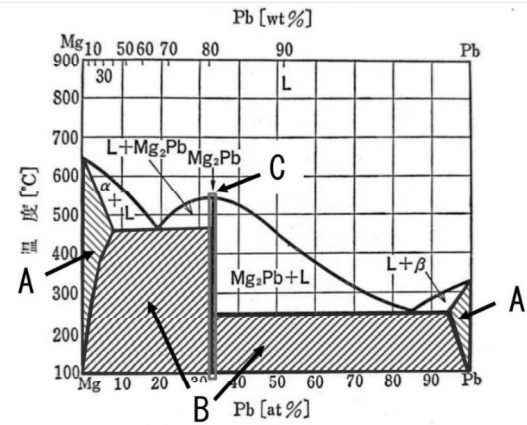


図1 Mg-Pb 系合金状態図

横山亨著『図解合金状態図読本』
 p.106 オーム社(1985)より

問3 金属を合金化する目的の一つにその融点を下げることがある。このような目的で使われる合金の例を一つ挙げ、その主成分と用途を記せ。また、融点が数十°Cの合金があれば、理科の授業の中でも安全に使用できる可能性がある。どのような学習で活用してみたいか、自分の考えを具体的に説明せよ。

【解答欄】
 <正解の例と回答のポイント>
 融点を下げた合金の例： はんだ Pb と Sn の合金 電気回路の配線

授業での活用：
 小学校であれば、物質は形が変化しても質量が変化しないこと（小3）
 水の三態変化(小4)の発展として取り上げることができる。
 中・高等学校であれば 混合物の状態変化（融点測定）などに活用できる。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

IV. 種子にとって、どのような条件で発芽するかは、その後の成長や生存に大きく影響する。最適な「タイミング」で発芽することは、植物にとって重要なことであり、その重要性を理解するには、発芽のタイミングに関わる生態学的、生理学的、あるいは分子生物学的な仕組みを知ることが必要である。小学校第5学年の理科において、発芽の条件として水、空気、適切な温度が必要であることを、児童が条件を制御しながら学習する。これらに関する以下の問1~3の問いに答えよ。

問1 発芽過程における水の役割について、水分子の特性や他の物質との関係、細胞構造との関係から具体的に説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

植物細胞の若い組織の水分含量は一般的に90%を超えるが、種子は登熟の過程で乾燥し水分含量は20%以下になる。乾燥した種子が吸水すると、細胞内のコロイドを膨潤させ細胞小器官や高分子物質の構造を乾燥前の状態に戻し、細胞を再活性化させる。また、水は細胞内の極性物質の溶媒として機能し、呼吸をはじめとする様々な代謝活性の溶媒として機能するほか、液胞に蓄えられて膨圧を高め、細胞の肥大、伸長に機能する。これらのことを理解した上で論理的な記述ができていることがポイントとなる。

問2 空気中の酸素は細胞内で有機物の酸化に用いられ、その結果ATPなどの高エネルギー有機化合物や二酸化炭素、水などの無機物が生じる。呼吸において消費された酸素の体積に対する放出された二酸化炭素の体積の割合を呼吸商という。発芽時の呼吸商の値は、植物種によって異なり、また、時間経過とともに変化する場合もある。このような現象が起こる理由を説明せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

呼吸商は呼吸基質の種類によって異なる値を示す。例えば炭水化物は1.0、タンパク質は0.8、脂質は0.7程度の値を示す。種子は種類によって貯蔵物質の組成が異なり、どのような物質を呼吸基質に用いるかは異なっている。また、発芽の過程で脂質を炭水化物に変換して呼吸に用いる場合もある。これらのことを理解した上で論理的な記述ができていることがポイントとなる。

問3 小・中・高等学校で行う、発芽過程の呼吸に関する探究活動を提案せよ。対象とする学校種、活動の目的（何を明らかにするか）を明確にし、具体的な実験内容（材料、器具装置、実験手順）を記述すること。実験内容に関しては、どのような点に配慮する必要があるかについて、その理由や原理なども付して妥当性が分かるように記述すること。適宜図を用い、この用紙の裏面も用いて良い（その場合は「裏面に続く」などと明記すること）。

【解答欄】

- ・校種 _____
- ・活動の目的（何を明らかにするか） _____
- ・実験内容 _____

<解答のポイント>

例えば高等学校において、複数の種子の発芽過程の呼吸商を測定し呼吸基質を推定する場合、高等学校の教科書では二酸化炭素吸収剤（KOH溶液など）の有る場合と無い場合で、密閉容器内の体積変化を、細管を用いて測定する方法が紹介されているが、それ以外の方法を用いても良い。条件制御に配慮するとともに（教科書で示されている呼吸商の測定方法の場合、密閉容器内の気体の組成は呼吸によって時間とともに変化すること、容器内の温度変化が測定結果に影響することなど）、測定システムの感度や種子の維持方法、種子表面の微生物の影響など、校種や目的にあった提案ができていないこと、また論理的で分かりやすい表現ができていないことがポイントとなる。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：理科教育
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問3 土砂を含む流体が斜面を流下する現象を土砂重力流とよぶ。その結果形成される堆積物は、上方に細粒化する場合と、上方に一定の粒度変化を示さない場合がある。

(1) 垂直方向の粒度変化の違いをもたらす要因について、流体の性質に注目して述べよ。

(2) 1つの土砂重力流によって形成される堆積物が、より上流側では上方に一定の粒度変化を示さない一方で、その下流側では上方に細粒化を示す場合、それらを形成した土砂重力流のどのようなプロセスが考えられるか述べよ。

【解答欄(1)】

<正解の例>

粘性が条件の1つとなる流体の性質が、乱流なのか層流なのかによって、流体内での粒子の運搬様式が異なるため。

【解答欄(2)】

<正解の例>

土砂重力流発生初期の粘性が高く層流状態の流体が、周囲の水を多く取り込む過程で粘性が低くなり、乱流状態に変化するプロセス。

問4 理科の地球領域では、さまざまなモデル実験が教科書等で扱われている。

(1) 地球領域におけるモデル実験の例を1つ挙げて説明せよ。

(2) モデル実験を取り入れる意義や役割について述べよ。

(3) モデル実験を取り入れる際の注意点について述べよ。

【解答欄(1)】

<解答のポイント>

教科書等で扱われているモデル実験を挙げて具体的に説明できているかどうか。

【解答欄(2)】

<解答のポイント>

モデル実験を取り入れる意義や役割について整理して、具体的に述べられているかどうか。

【解答欄(3)】

<解答のポイント>

モデル実験を取り入れる際の注意点について、取り入れる目的、学問的整合性、児童生徒の観察の視点の指示・考え方等の観点から具体的に述べられているかどうか。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【物理教育・物理学】

選択問題：物理教育・物理学

問題は I, II, 及びIIIからなる。試験問題に物理教育・物理学を選択した受験者はこれら問題の全てに解答せよ。
 問題は次頁からあり、解答はそれぞれの問題に続く【解答欄】の頁に記入せよ。解答欄の裏面も利用する場合は、表面にその旨を記すこと。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

I. 質量 m ，半径 r の一様な密度の剛体球の運動について考える。以下の問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g とせよ。

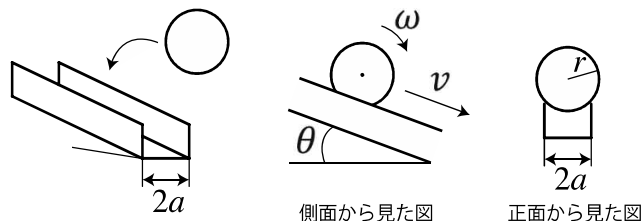
問1 剛体球の中心軸周りの慣性モーメント I が理論的には $I = \frac{2}{5}mr^2$ と書けることを示せ。

問2 図のような断面がコの字を横にした形で幅が $2a$ ($0 \leq a < r$) のレールを，水平面に対して角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) だけ傾けて設置した。時刻 $t = 0$ において剛体球をレール上に置いて静かに手を離したところ，剛体球は滑らずにレール上を転がった。時刻 t における剛体球の重心の速度を $v(t)$ ，重心周りの角速度を $\omega(t)$ とする。ただし，剛体球はレールの底には触れず，レールの上端の2点で常に接触し，これらの接触点において，剛体球の重心の速度と逆向きの摩擦力が剛体球にはたらく。その大きさは重心の速度やレールの傾きには依存せず一定で，2つの接触点での摩擦力を合わせて F であるとする。

- (1) 剛体球の並進運動および回転運動の運動方程式を， $m, v(t), \omega(t), r, a, g, \theta, F$ ，およびそれらの時間 t による微分の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) $v(t)$ と $\omega(t)$ の関係を求めよ。
- (3) $t = 0$ から剛体球がレール上を距離 L だけ転がるのに要する時間を T とする。 T および $v(T)$ を， r, a, g, θ, L を用いて表せ。

問3 問2で，剛体球と同じ質量で同じ半径の面密度が一様な剛体球殻を考えた場合，この運動はどうなるか，以下の2つの観点からそれぞれ議論せよ。

- (1) 慣性モーメントと並進運動の加速度の関係から
- (2) 慣性モーメントと並進運動の運動エネルギー及び回転運動のエネルギーの関係から



図

(解答欄は次頁以降)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】

[解答例]

問1 図1(a)のような、密度 ρ 、半径 R 、厚さ dh の円板の中心軸周りの慣性モーメントは、上から見た図1(b)で考えると、斜線部分の質量が $(\rho dh)\xi d\theta d\xi$ であり、慣性モーメントが $(\rho dh)\xi d\theta d\xi \cdot \xi^2$ と書けるので、 ξ について0から R の範囲で、 θ については0から 2π の範囲で積分して、

$$\int_0^R \int_0^{2\pi} (\rho dh)\xi d\theta d\xi \cdot \xi^2 = \int_0^R (2\pi\rho\xi^3 dh) dr = \frac{\pi}{2}\rho R^4 dh$$

となる。剛体球の中心軸周りの慣性モーメントは、図1(c)のように、密度 ρ 、半径 $R = \sqrt{r^2 - h^2}$ 、厚さ dh の円板が重なっていると考え、 h について0から r の範囲で積分して2倍すれば良いので、

$$I = 2 \int_0^r \frac{\pi}{2}\rho R^4 dh = 2 \int_0^r \frac{\pi}{2}\rho(r^2 - h^2)^2 dh = \frac{8}{15}\rho\pi r^5$$

剛体球の質量が m なので、

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho = m$$

従って

$$I = \frac{8}{15}\pi r^5 \frac{3m}{4\pi r^3} = \frac{2}{5}mr^2$$

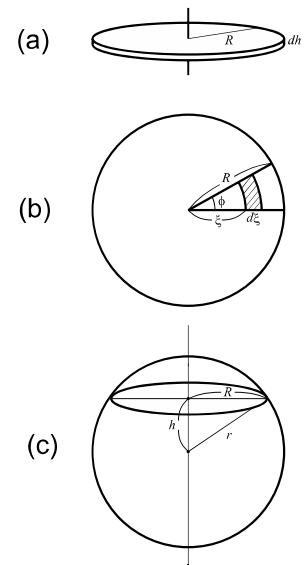


図1

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】(つづき)

問2

(1) 図2の模式図で考える。

レールに沿った方向の剛体球の並進運動の運動方程式は

$$m \frac{dv(t)}{dt} = mg \sin \theta - F$$

剛体球の中心の周りの回転の運動方程式は

$$I \frac{d\omega(t)}{dt} = F\sqrt{r^2 - a^2}$$

$$\frac{2}{5} mr^2 \frac{d\omega(t)}{dt} = F\sqrt{r^2 - a^2}$$

(2) 剛体球の接触点は、球の中心の周りを半径 $\sqrt{r^2 - a^2}$ で滑らずに回転するため、

$$v(t) = \sqrt{r^2 - a^2} \omega(t)$$

(3) (1)の回転運動の運動方程式と(2)の関係式より

$$\frac{2}{5} mr^2 \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{2}{5} mr^2 \frac{1}{\sqrt{r^2 - a^2}} \frac{dv(t)}{dt} = F\sqrt{r^2 - a^2}$$

$$F = \frac{2mr^2}{5(r^2 - a^2)} \frac{dv(t)}{dt} \text{ を並進運動の運動方程式に代入して解くと, } \frac{dv(t)}{dt} = \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)}}$$

初速は0のため、時刻 t における速度は、 $v(t) = \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)}} t$

時刻0から時刻 T までレールに沿って L だけ進むので、 $L = \frac{1}{2} \frac{dv}{dt} t^2 = \frac{1}{2} \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)}} T^2$

$$T = \sqrt{\frac{2L \left(1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)} \right)}{g \sin \theta}}$$

従って、このときの速度は

$$v(T) = \frac{g \sin \theta}{1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)}} \sqrt{\frac{2L \left(1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)} \right)}{g \sin \theta}} = \sqrt{\frac{2gL \sin \theta}{1 + \frac{2r^2}{5(r^2 - a^2)}}} = \sqrt{\frac{10(r^2 - a^2)gL \sin \theta}{7r^2 - 5a^2}}$$

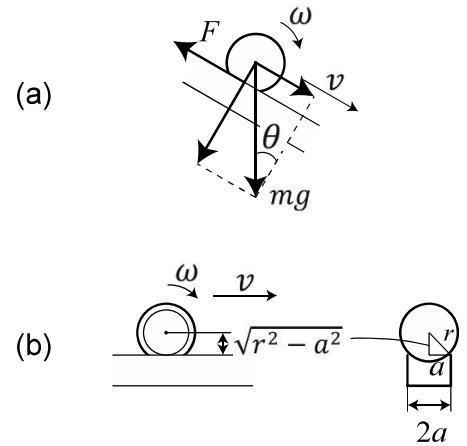


図2

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】(つづき)

問3

(1) 質量と半径が同じ場合、球殻の方が回転軸から離れたところに質量が分布しているから、球殻の慣性モーメントは剛体球に比べて大きくなる。慣性モーメントが大きいほど転がりにくく、重心の加速度が小さくなる。従って同じ時刻では剛体球殻のほうが剛体球よりも速度が小さく、レール上を距離 L だけ転がるのに要する時間 T は、慣性モーメントを用いて書くと、

$$T = \sqrt{\frac{2L\left(1 + \frac{I}{m(r^2 - a^2)}\right)}{g \sin \theta}}$$

と書け、慣性モーメントの大きな剛体球殻のほうが大きい。

速度は加速度と時間の積で表されるが、慣性モーメントが大きくなる時、時間が大きくなる効果よりも加速度

が小さくなる効果の方が大きく、時刻 T での速度は、
$$v(T) = \sqrt{\frac{2gL \sin \theta}{1 + \frac{I}{m(r^2 - a^2)}}}$$

と書けるので、 L だけ転がったときの速度は剛体球殻のほうが小さい。

(2) 質量と半径が同じ場合、球殻の方が回転軸から離れたところに質量が分布しているから、球殻の慣性モーメントは剛体球に比べて大きくなる。時刻 T における並進運動のエネルギーは

$$\frac{1}{2}mv(T)^2 = \frac{mgL \sin \theta}{1 + \frac{I}{m(r^2 - a^2)}}$$

回転運動のエネルギーは

$$\frac{1}{2}I\omega(T)^2 = \frac{1}{2}I\left(\frac{v(t)}{\sqrt{r^2 - a^2}}\right)^2 = \frac{IgL \sin \theta}{(r^2 - a^2) + I/m}$$

$$\frac{1}{2}mv(T)^2 + \frac{1}{2}I\omega(T)^2 = \frac{mgL \sin \theta}{1 + \frac{I}{m(r^2 - a^2)}} + \frac{IgL \sin \theta}{(r^2 - a^2) + I/m} = \frac{(r^2 - a^2)mgL \sin \theta + IgL \sin \theta}{(r^2 - a^2) + I/m} = mgL \sin \theta$$

となり、力学的エネルギー保存則が成り立っている。位置エネルギーの変化は同じなので、同じ高さにおいては、回転運動のエネルギーと並進運動のエネルギーの和は慣性モーメントによらない。慣性モーメントが大きい球殻の方が回転運動のエネルギーが占める割合が大きくなるので、相対的に並進運動のエネルギーが小さくなり重心の速さが小さくなる。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II. 電流について、以下の問いに答えよ。ただし、解答の際に使用する物理量の記号は自身で定義すること。

- 問1 小学校、中学校、あるいは高等学校の授業で、市販の電流計を用いず電流の大きさを調べる教材を自作したい。原理を説明し、具体的な測定方法を提案せよ。指導する際の注意点についても述べよ。解答の冒頭で、どの校種と学年を想定したのかを述べること。
- 問2 キルヒホッフ (Kirchhoff) の第1法則 (電流則) と電荷保存則との関係について説明せよ。
- 問3 伝導電流と変位電流の共通点及び相違点について述べよ。また、変位電流の例を1つ挙げよ。

(解答欄は次頁以降)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】

問1

[例1] 小学校，第4学年向き。電流と明るさとの関係があることを用い，定電圧電源である電池と負荷との回路に豆電球を負荷と直列につなげ，その明るさから電流の大小関係を知る。ただし，電流と明るさの関係は比例ではないので，定量的には測定できない。また，豆電球を回路に入れることで豆電球の抵抗により電流の大きさが変わってしまうことにも注意しなければならない。

[例2] 高等学校，物理履修者，第2，3学年向き。

直流電流を測定したい導線を鉛直方向に設置し，その近くに非磁性（例えば木製）の机を置く。この机の上に方位磁針を水平に置き，大きさが I の電流によって，電流からの距離が r の点に大きさが

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

の磁場が発生する。磁場の向きは右ねじの法則に従う。この磁場と地球磁場との重ね合わされた磁場の水平面に射影された成分の向きに磁針の向きが変わる。磁針の向きを系統的に記録し，既知の電流によって較正すると未知の電流に対しても定量測定ができる。電流による磁場の向きと地球磁場の向きが垂直の点では電流の大きさが最も測りやすく，同じ向きの点では測定できないことに注意しなければならない。

問2 注目する回路の結節点にて， n 本の導線が連結し，この結節点を含む閉領域 V について，境界を S とすると，電荷保存則の積分形

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho(\mathbf{r}, t) dV = - \oint_S \mathbf{j}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S}$$

が成り立っている。ここで， $\rho(\mathbf{r}, t)$ と $\mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$ は，時刻 t での位置 \mathbf{r} における電荷密度と電流密度である。回路に電流があるときも， V 内の電荷の総量に変化は無いので，

$$0 = - \oint_S \mathbf{j}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S}$$

が成り立つ。 S を貫く n 本の導線に対して， i 番目の導線を通る電流を I_i としたとき，

$$\oint_S \mathbf{j}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{S} = \sum_{i=1}^n I_i$$

である。よって，

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

を得る。これは，キルヒホッフの第1法則（電流則）である。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】(つづき)

問3 伝導電流も変位電流もSI単位をA(アンペア)とする, 同じ次元の物理量。伝導電流はある面を単位時間に通過する荷電粒子の電荷の総量のこと。変位電流はある面 S を貫く電束の時間変化のことで, 荷電粒子の移動は伴わない。ここで電束とは電場を \mathbf{E} , 誘電率を ϵ として $\int_S \epsilon \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$ であり, 変位電流はこの量の時間微分で表される。
 変位電流の例としては, コンデンサーの極板間に交流電圧をかけたときに見られる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

III. 次のハミルトニアン \hat{H} で与えられる、定常状態における 1 次元の量子力学系について考える。

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + V(\hat{x}) \dots \textcircled{1}$$

ここで、 \hat{p} は運動量演算子、 \hat{x} は位置演算子、 m は粒子の質量である。ポテンシャル $V(\hat{x})$ は周期性を持ち、定数 a に対して

$$V(\hat{x} + a) = V(\hat{x})$$

を満たす。このハミルトニアンの固有関数を $\varphi(x)$ とすると、 θ を適当な実数として、 $\varphi(x)$ は

$$\varphi(x + a) = e^{i\theta} \varphi(x) \dots \textcircled{2}$$

という性質を持つことが知られている。以下の手順に沿って、 $\textcircled{2}$ が成り立つことを示せ。ただし $V(\hat{x})$ については、以下では

$$V(\hat{x}) = \sum_{k=0}^{\infty} v_k \hat{x}^k$$

のように \hat{x} のべき級数で表されるものについて考えよ。ここで、 v_k は定数である。また、 \hbar はプランク定数 h を 2π で割ったものである ($\hbar = h/2\pi$)。

問1 演算子 $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$ について $[\hat{A}, \hat{B}\hat{C}] = \hat{B}[\hat{A}, \hat{C}] + [\hat{A}, \hat{B}]\hat{C}$ が成り立つことを示せ。

問2 演算子 \hat{T}_a を

$$\hat{T}_a = \exp\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar}a\right) = 1 + i\frac{\hat{p}}{\hbar}a + \frac{1}{2!}\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar}a\right)^2 + \frac{1}{3!}\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar}a\right)^3 + \dots$$

で定義する。テイラー展開

$$\varphi(x + a) = \varphi(x) + \varphi'(x)a + \frac{1}{2!}\varphi''(x)a^2 + \frac{1}{3!}\varphi^{(3)}(x)a^3 + \dots$$

が成り立つとして、 \hat{T}_a が平行移動演算子としての性質、すなわち

$$\hat{T}_a\varphi(x) = \varphi(x + a)$$

を満たすことを示せ。ここで $\varphi'(x) = d\varphi(x)/dx$ 、 $\varphi''(x) = d^2\varphi(x)/dx^2$ で、 $\varphi^{(n)}(x) = d^n\varphi(x)/dx^n$ である。

問3 問2の \hat{T}_a と $\textcircled{1}$ のハミルトニアン \hat{H} が交換すること、すなわち

$$\hat{T}_a\hat{H} = \hat{H}\hat{T}_a$$

が成り立つことを以下の手順に沿って示せ。

(1) 正準交換関係 $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ および問1の結果を用い

$$[\hat{p}, \hat{x}^2] = -2i\hbar\hat{x}$$

を示せ。ただし、問1が証明できていなくてもその結果を使ってよい。

(2) N を自然数とするとき

$$[\hat{p}, \hat{x}^N] = -Ni\hbar\hat{x}^{N-1}$$

を示せ。ただし、問1が証明できていなくてもその結果を使ってよい。

(問題文は次頁に続く)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

(3) (2) の結果を用い、以下のべき級数で表される演算子

$$f(\hat{x}) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k \hat{x}^k$$

に対し、

$$[\hat{p}, f(\hat{x})] = -i\hbar f'(\hat{x})$$

を示せ。ここで、 b_k は定数である。ただし、(2) が証明できていなくてもその結果を使ってよい。

(4) 演算子 \hat{A}, \hat{B} に関する恒等式

$$e^{\hat{A}} \hat{B} e^{-\hat{A}} = \hat{B} + [\hat{A}, \hat{B}] + \frac{1}{2!} [\hat{A}, [\hat{A}, \hat{B}]] + \frac{1}{3!} [\hat{A}, [\hat{A}, [\hat{A}, \hat{B}]]] + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \underbrace{[\hat{A}, [\hat{A}, \dots [\hat{A}, \hat{B}]]]}_{k \text{ 個の交換子}} \dots \textcircled{3}$$

を用い、

$$\hat{T}_a V(\hat{x}) \hat{T}_a^{-1} = \exp\left(i \frac{\hat{p}}{\hbar} a\right) V(\hat{x}) \exp\left(-i \frac{\hat{p}}{\hbar} a\right) = V(\hat{x})$$

を示せ。

(5) (4) の結果および

$$\hat{T}_a \frac{\hat{p}^2}{2m} \hat{T}_a^{-1} = \exp\left(i \frac{\hat{p}}{\hbar} a\right) \frac{\hat{p}^2}{2m} \exp\left(-i \frac{\hat{p}}{\hbar} a\right) = \frac{\hat{p}^2}{2m}$$

を用い、

$$\hat{T}_a \hat{H} = \hat{H} \hat{T}_a$$

が成り立つことを示せ。ただし、(4) の証明ができていなくてもその結果を使ってよい。

問4 \hat{T}_a と \hat{H} が交換することから、これらは同じ固有関数を持つ。すなわちハミルトニアン \hat{H} の固有関数 $\varphi(x)$ は、 α を適当な複素数として

$$\hat{T}_a \varphi(x) = \alpha \varphi(x)$$

を満たす。これと問1の結果を用い、② が成り立つことを示せ。ただし \hat{T}_a がユニタリー演算子であり、固有値の絶対値が1であることを使ってよい。また問1が証明できていなくてもその結果を使ってよい。

(解答欄は次頁以降)

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】

解答例

問1 $[A, BC] = ABC - BCA = AB\hat{C} - \hat{B}CA = AB\hat{C} - \hat{B}A\hat{C} + \hat{B}A\hat{C} - \hat{B}C\hat{A} = \hat{B}[A, C] + [A, B]\hat{C}$

問2 \hat{T}_a の定義および $\hat{p} = -i\hbar d/dx$ より

$$\begin{aligned} \hat{T}_a \varphi(x) &= \exp\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar}a\right) \varphi(x) = \left[1 + i\frac{\hat{p}}{\hbar}a + \frac{1}{2!}\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar}a\right)^2 + \frac{1}{3!}\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar}a\right)^3 + \dots\right] \varphi(x) \\ &= \left[1 + a\frac{d}{dx} + \frac{1}{2!}a^2\frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{3!}a^3\frac{d^3}{dx^3} + \dots\right] \varphi(x) \\ &= \varphi(x) + \varphi'(x)a + \frac{1}{2!}\varphi''(x)a^2 + \frac{1}{3!}\varphi^{(3)}(x)a^3 + \dots = \varphi(x+a) \end{aligned}$$

が成り立つ。

問3

(1) $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ より $[\hat{p}, \hat{x}] = -i\hbar$ を用い

$$[\hat{p}, \hat{x}^2] = \hat{x}[\hat{p}, \hat{x}] + [\hat{p}, \hat{x}]\hat{x} = \hat{x}(-i\hbar) + (-i\hbar)\hat{x} = -2i\hbar\hat{x}$$

が成り立つ。

(2) (1) と同様にして

$$[\hat{p}, \hat{x}^N] = \hat{x}[\hat{p}, \hat{x}^{N-1}] + [\hat{p}, \hat{x}]\hat{x}^{N-1} = \hat{x}[\hat{p}, \hat{x}^{N-1}] - i\hbar\hat{x}^{N-1}$$

となり, これを繰り返し用いると

$$\begin{aligned} [\hat{p}, \hat{x}^N] &= \hat{x}(\hat{x}[\hat{p}, \hat{x}^{N-2}] - i\hbar\hat{x}^{N-2}) - i\hbar\hat{x}^{N-1} = \hat{x}^2[\hat{p}, \hat{x}^{N-2}] - 2i\hbar\hat{x}^{N-1} = \hat{x}^3[\hat{p}, \hat{x}^{N-3}] - 3i\hbar\hat{x}^{N-1} = \dots \\ &= \hat{x}^{N-1}[\hat{p}, \hat{x}] - (N-1)i\hbar\hat{x}^{N-1} = -Ni\hbar\hat{x}^{N-1} \end{aligned}$$

が成り立つことがわかる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】(つづき)

(3) (2) の結果より

$$\begin{aligned}
 [\hat{p}, f(\hat{x})] &= \left[\hat{p}, \sum_{k=0}^n b_k \hat{x}^k \right] = \sum_{k=0}^n [\hat{p}, b_k \hat{x}^k] = \sum_{k=0}^n b_k [\hat{p}, \hat{x}^k] \\
 &= \sum_{k=1}^n b_k (-i\hbar k \hat{x}^{k-1}) = -i\hbar \sum_{k=1}^n b_k k \hat{x}^{k-1} = -i\hbar f'(\hat{x})
 \end{aligned}$$

が成り立つ。

(4) ③より

$$\hat{T}_a V(\hat{x}) \hat{T}_a^{-1} = \exp\left(i\frac{\hat{p}}{\hbar} a\right) V(\hat{x}) \exp\left(-i\frac{\hat{p}}{\hbar} a\right) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, \dots \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, V(\hat{x}) \right] \dots \right] \right]$$

であり, ここで (3) から

$$\begin{aligned}
 \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, V(\hat{x}) \right] &= \frac{ia}{\hbar} [\hat{p}, V(\hat{x})] = \frac{ia}{\hbar} (-i\hbar) V'(\hat{x}) = aV'(\hat{x}) \\
 \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, V(\hat{x}) \right] \right] &= \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, \frac{ia}{\hbar} [\hat{p}, V(\hat{x})] \right] = \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, aV'(\hat{x}) \right] = a^2 V''(\hat{x})
 \end{aligned}$$

などが成り立つことから,

$$\hat{T}_a V(\hat{x}) \hat{T}_a^{-1} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, \dots \left[i\frac{\hat{p}}{\hbar} a, V(\hat{x}) \right] \dots \right] \right] = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} a^k V^{(k)}(\hat{x}) = V(\hat{x} + a) = V(\hat{x})$$

となる。最後の式に移る際に, ポテンシャルの周期性 $V(\hat{x} + a) = V(\hat{x})$ を使った。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：物理教育・物理学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】(つづき)

(5) (4) および

$$\hat{T}_a \frac{\hat{p}^2}{2m} \hat{T}_a^{-1} = \frac{\hat{p}^2}{2m}$$

から、ハミルトニアン H について

$$\hat{T}_a \hat{H} \hat{T}_a^{-1} = \hat{T}_a \left(\frac{\hat{p}^2}{2m} + V(\hat{x}) \right) \hat{T}_a^{-1} = \hat{T}_a \frac{\hat{p}^2}{2m} \hat{T}_a^{-1} + \hat{T}_a V(\hat{x}) \hat{T}_a^{-1} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + V(\hat{x}) = \hat{H}$$

が言える。よって

$$\hat{T}_a \hat{H} \hat{T}_a^{-1} = \hat{H} \iff \hat{T}_a \hat{H} = \hat{H} \hat{T}_a$$

であるため、 \hat{T}_a と \hat{H} は交換することがわかる。

問4 $\hat{T}_a \varphi(x) = \alpha \varphi(x)$ において、 \hat{T}_a がユニタリー演算子であることから、固有値 α は絶対値が1である。よって複素数 α は適当な実数 θ を用いて

$$\alpha = e^{i\theta}$$

と表せる。これより $\hat{T}_a \varphi(x) = e^{i\theta} \varphi(x)$ となる。一方、問1で示したように \hat{T}_a は平行移動演算子であることから

$$\hat{T}_a \varphi(x) = \varphi(x+a)$$

を満たす。これらを合わせると

$$\begin{aligned} \hat{T}_a \varphi(x) &= \varphi(x+a) = e^{i\theta} \varphi(x) \\ \therefore \varphi(x+a) &= e^{i\theta} \varphi(x) \end{aligned}$$

が言える。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【化学教育・化学】

化学教育・化学の問題は、次ページ以降の I～III の 3 題である。全ての問題に解答すること。

解答を決められた解答欄に記すこと。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

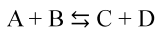
科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

I 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。

高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説、化学の(2)物質の変化と平衡(ア)化学反応とエネルギー ⑦化学反応と熱・光 には、「化学反応における熱及び光の発生や吸収は、反応の前後における物質のもつ化学エネルギーの差から生じることを理解すること。」と記され、また、(内容の取扱い)には「内容の(2)の(ア)の⑦については、「ヘスの法則を扱うこと...後略」と記されており、「化学エネルギーの差については、エンタルピー変化で表す...後略」とされている。

問1 次の可逆反応が、定温定圧で平衡状態にある。



反応系と生成系のギブスエネルギーの差 ΔG はいくらになるか。

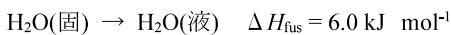
問2 NaCl の熱力学的データを用いて、ボルン・ハーバーサイクルを解答欄に図示し、NaCl の格子生成に要するエンタルピー、 $-\Delta H_{lat}$ を計算せよ。

NaCl (s)の分解エンタルピー	411 kJ mol ⁻¹
Na (s)の昇華エンタルピー	107 kJ mol ⁻¹
Na(g)のイオン化エンタルピー	496 kJ mol ⁻¹
Cl ₂ (g)の解離エンタルピー	244 kJ mol ⁻¹
Cl (g)の電子獲得エンタルピー	-349 kJ mol ⁻¹

NaCl の水への溶解熱を測定したところ、溶解エンタルピー、 ΔH_{dissol} が 4.00 kJmol⁻¹ と求まった。この結果もボルン・ハーバーサイクルに示し、NaCl の水和に要するエンタルピー、 $-\Delta H_{hyd}$ を求めよ。

問3 単一成分からなる物質が絶対零度で完全に規則正しい状態(完全結晶)にあるときのエントロピーはいくらか。

問4 下記の反応は ΔH_{fus} が正であり、かつ、室温で自発的に進行する。このことを高校生に説明する場合のポイントを簡潔に記せ。



試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】

<解答例>

問1 温度, 圧力が一定において化学反応が平衡状態のとき, ΔG は0 になる。

問2

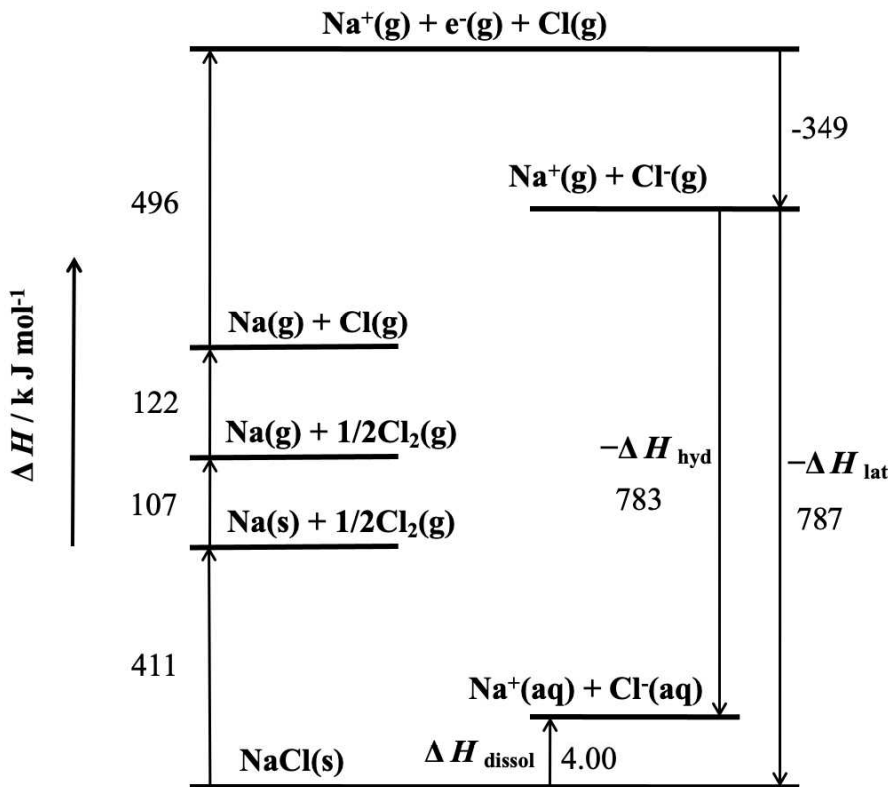


図 塩化ナトリウムのボルン・ハーバーサイクル

$$-\Delta H_{\text{lat}} = 411 \text{ kJ mol}^{-1} + 107 \text{ kJ mol}^{-1} + 122 \text{ kJ mol}^{-1} + 496 \text{ kJ mol}^{-1} - 349 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= 787 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$-\Delta H_{\text{hyd}} = -\Delta H_{\text{lat}} - \Delta H_{\text{dissol}}$$

$$= 787 \text{ kJ mol}^{-1} - 4.00 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= 783 \text{ kJ mol}^{-1}$$

問3 単一成分からなる物質が絶対零度で完全に規則正しい状態(完全結晶)にあれば全ての分子が基底状態となる。

したがって, Boltzmann のエントロピーの式, $S = k_B \ln W$, の W が 1 となり, S は 0 となる。

問4 氷から水への変化は吸熱反応であり, エンタルピーからは反応の進行を説明できない。この反応は粒子が乱雑になるためエントロピー増大を伴う。したがって, ギブスエネルギーの式, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, を用いればエントロピー項がエンタルピーを上回ることによって自発的に反応が進行すると理解できる。ギブスエネルギーを学習していない高校生には, 温度に依存する別の因子, エントロピーが関わり, これが增大する方向に反応が進行することに触れることで定性的に理解させることが考えられる。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

II 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

${}_{13}\text{Al}^{3+}$, ${}_{26}\text{Fe}^{3+}$, ${}_{28}\text{Ni}^{2+}$ が溶解した混合溶液がある。この混合溶液に①を過剰量となるように加えると沈殿(ア)が生じ、ろ液は無色であった。更に沈殿(ア)を酸で溶解させた後に、②を過剰量加えると沈殿(イ)が生じ、ろ液は青紫色となった。

問1 空欄①と②に当てはまる適切な試薬名を以下の語群から選べ。

- A 水酸化ナトリウム B 塩酸 C 硫酸 D アンモニア水

問2 下線部の沈殿(イ)について、ろ液が青紫色となったことを考慮すると、沈殿(ア)に比べ過剰に含まれる金属イオンは何か答えよ。

問3 25°C で $\text{pH}=4$ の水酸化アルミニウム飽和水溶液に溶解しているアルミニウムイオンのモル濃度を答えよ。ただし、水酸化アルミニウムの 25°C における溶解度積 K_{sp} は 1.0×10^{-32} とする。

問4 沈殿(ア)を洗浄、乾燥後に 1000°C で焼成すると、磁石に引き付けられる粉末が得られた。この粉末は、 MgAl_2O_4 の化学式で表される鉱物と同じ立方晶系の結晶構造を有し、粉末に含まれる金属イオンの不対電子が磁性の起源となる。(1)この粉末の結晶構造を一般に何と呼ぶか。(2) ${}_{13}\text{Al}^{3+}$, ${}_{26}\text{Fe}^{3+}$, ${}_{28}\text{Ni}^{2+}$ の不対電子数をそれぞれ答えよ。

問5 問4で熱処理により得られた粉末のXRDパターンを測定し、格子定数を見積る方法を考える。(1)回折角が 2θ で観測されたピークがミラー指数(hkl)で表される面からの回折強度であった場合、入射した特性X線の波長を λ とすると単位格子の格子定数 a はどのような式で表せるか答えよ。(2) $\text{CuK}\alpha$ 線($\lambda = 0.154 \text{ nm}$)を用いて粉末のXRDパターンを測定したところ、 $2\theta = 43.44^\circ$ に回折ピークが観測された。指数付けにより、このピークは(400)面からの回折と考えられる。この粉末の単位格子の格子定数を計算し、 nm の単位で答えよ。ただし、 $\sin(21.72^\circ) = 0.370$ とする。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】

<解答例>

問1 ① A ② D

問2 ${}_{26}\text{Fe}^{3+}$ イオン

問3 $K_{\text{sp}} = [\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = 10^{-32}$
 $\log[\text{Al}^{3+}] + 3\log[\text{OH}^-] = -32$
 $\log[\text{Al}^{3+}] = -32 - 3\log[\text{OH}^-] = -32 - 3\log\frac{K_w}{[\text{H}^+]} = 10 - 3\text{pH}$
 pH=4では $[\text{Al}^{3+}] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$

問4 (1) スピネル構造 (2) ${}_{13}\text{Al}^{3+}$ 0個, ${}_{26}\text{Fe}^{3+}$ 5個, ${}_{28}\text{Ni}^{2+}$ 2個

問5 (1) $a = \frac{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \lambda}{2 \sin \theta}$
 (2) 0.832 nm

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

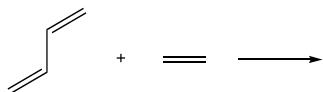
科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

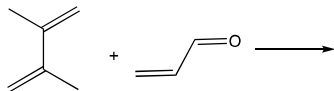
III 次の文章を読み、問1～問2に答えよ。

問1 以下の2つの反応Aと反応Bの生成物の構造を、それぞれ書け。また、反応Aと反応Bのうち、どちらの反応の反応性が高いか、理由と共に記せ。

反応A



反応B



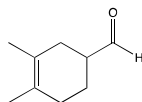
【解答欄】

<解答例>

反応Aの生成物



反応Bの生成物



反応性が高い反応

反応性が高い反応は反応Bである。

理由

いずれの反応においても Diels-Alder 環化付加反応が進行するが、反応Aに対して、反応Bはメチル基の電子供与性の効果によってジエンの HOMO の準位が高くなり、一方ホルミル基の電子求引性の効果によって親ジエンの LUMO の準位が低くなる。これらの結果として、反応Aと比べて反応Bの化学反応性は高くなる。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：化学教育・化学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問2 以下の反応を行い、生成物の IR 測定を行った。反応機構と生成物の構造を書け。生成物の IR スペクトルから、その構造を推定した根拠について答えよ。

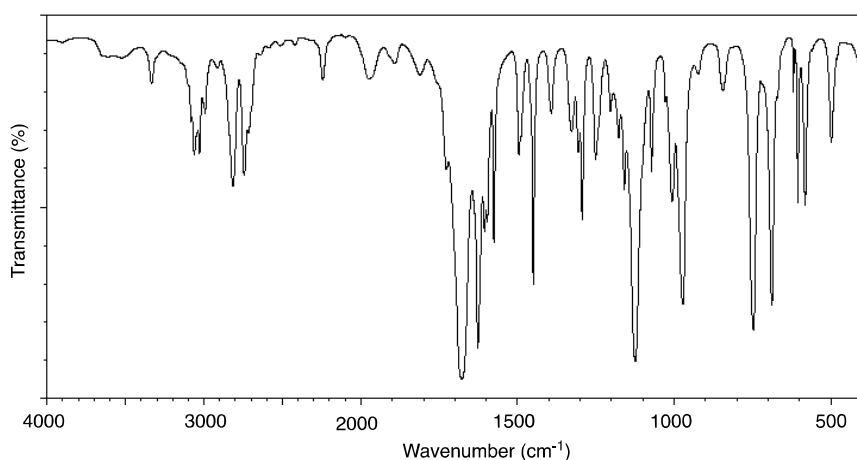
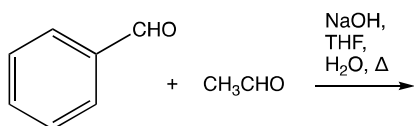


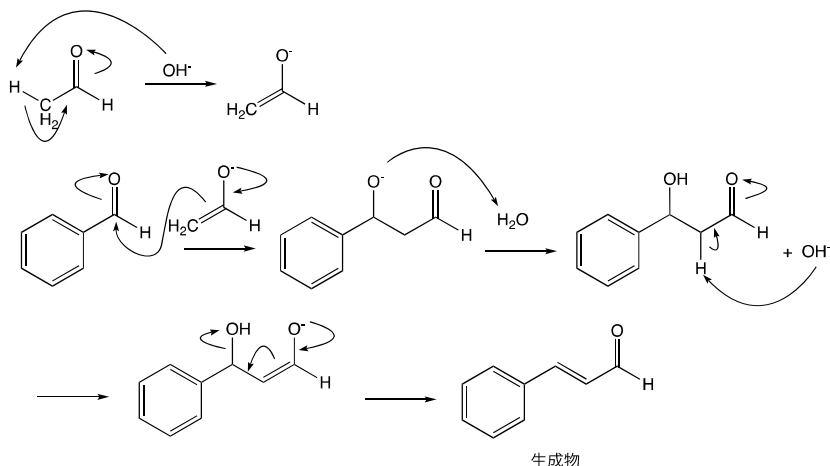
図1. 生成物の IR スペクトル

(Spectral Database for Organic Compounds, SBDS: <https://sdb.sdb.aist.go.jp> (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)から引用 (2023年8月), 一部改変)

【解答欄】

<解答例>

反応機構と生成物の構造



生成物の構造を推定した根拠

IR スペクトルの結果から、 1700 cm^{-1} 付近にカルボニル基の吸収が認められる。 3100 cm^{-1} 付近のピークから、芳香族 C-H の吸収、 $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ のピークから、脂肪族及びホルミル基の C-H の吸収が確認される。また、 3000 cm^{-1} 付近に水酸基に特徴的な吸収が認められないことから、脱水反応が進行して共役ケトンに変換されたことが支持される。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【生物教育・生物学】

受験者は、次ページ以降の問題について、

A群から1つ、B群から1つの計2題を選んで解答しなさい。

選択した問題は、下記の表中に○で示すこと。

解答はそれぞれの問題に続く【解答欄】に記入しなさい。

解答欄の裏面も利用する場合は、表面にその旨を記すこと。

A群		B群	
A I	A II	B I	B II

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

AI

以下の問いに日本語で答えよ。

問い：中学校理科「自然と人間」の単元で、どのような授業を行えば生徒の個別最適な学び、及び協働的な学びを促すことができると考えられるか、述べよ。

【解答欄】

<解答例>

例えば、生徒が生活している地域の自然災害について、個々の生徒に調べ学習をさせる。調べ学習はインターネットや文献だけでなく、生徒の家族や近所の方に聞き取り調査等を行わせて、より具体的で身近な自然災害の実相を生徒に体感させる。そして、少人数のグループで個々の生徒が調べた身近な自然災害についてディスカッションさせて、グループとして協議した内容をクラスで発表させる。そして、生徒が生活している地域で、どのようにすれば自然災害を防ぐことができるかクラス全体で協議させて結論を導く。このような展開の授業により、個別最適で、かつ協働的な学びを促すことができると考えられる。など。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

AI

次の文章を読み、以下の問いに日本語で答えよ。

問題解決を重視している理科の学習で中核に位置付けられているものは「観察、実験」である。学習指導要領における理科の目標にも「見通しをもって観察、実験などを行うこと」と明記されている。明確には切り分けられない部分もある「観察、実験」であるが、それぞれの活動の特徴を活かしながら授業づくりを行うことが大事である。

問1：「観察、実験」はどのような目的で行われる活動であるか。それぞれについて、簡潔に述べよ。

問2：現行の高等学校学習指導要領（平成30年告示）理科編、理数編「生物」の内容（4）生物の環境応答、「植物の環境応答」の単元では「植物の環境応答に関する観察、実験などを行い、植物の成長や反応に植物ホルモンが関わることを見いだして理解すること。」とある。そこで、「光屈性」の授業を想定したとき、どのような「観察、実験」を行う授業展開が考えられるか。

解答にあたっては、①「観察、実験」の内容、②想定する授業展開、について具体的に述べよ。

【解答欄】

<解答例・解答のポイント>

問1 観察：実際の時間、空間の中で具体的な自然の事物・現象の存在や変化を捉えるために行われる活動。

実験：人為的に整えられた条件の下で、装置を用いるなどしながら、自然の事物・現象の存在や変化を捉えるために行われる活動。

問2 光屈性が光シグナルによって植物ホルモンのオーキシンの極性移動がおき、それに伴って細胞の偏差成長が引き起こされる現象であることを観察、実験を通じて学習する授業展開となっているかを問う問題である。

①「観察、実験」の内容：観察では、植物の芽生え（エンドウなど）を窓際におき、光が一方から当たった場合と、スタンドライトなどを用いて植物体全体に光が当たる場合に向け、光屈性の様子の変化を観察する。それに続く実験では、光が当たる方向を180度回転させ、芽生えがはじめの方向とは逆に向かって曲がる様子を観察する。これは、状態の変化を観察できるほか、光の当たる方向依存的にオーキシンの極性移動が引き起こされ、屈曲が生じることを実証できる。など。

②想定する授業展開：教員はまず前半の観察で植物の芽生えが屈曲した様子を生徒に観察させ、それを元に様々な考察や予想を立てさせることによって、生徒自ら問題を見出させる。続く授業の後半では、上記のような実験を設計するように促す。最後のまとめでは、(1)光屈性は光がシグナルとなり植物ホルモンのオーキシンの極性移動を介して起こること。(2)オーキシンが芽生えの片側に蓄積することによって、その部位の細胞伸長が促され、偏差成長が引き起こされること、という理解まで到達する授業展開が想定できる。など

*その他、実際にオーキシンを植物の芽生えに塗りその影響を検証するような授業展開も可とする。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

BI

以下の問いに日本語で答えよ。

問い：生物の進化に関し、C. ダーウィンは自然選択（natural selection）説を提唱した。自然選択とはどのような現象か、わかりやすく説明せよ。なお、説明には以下の語群の語句を含めること。

語群：変異、適応、遺伝

【解答欄】

<解答例>

同じ種の生物であっても個体により形質に変異がある。環境に適応した形質を持つ個体は、他の個体に比べて生存率が高く、また多くの子を残すことができる。遺伝により、子は親と同じような形質を持つことから、環境に適応した形質を持つ親から生まれた子も生存率が高く、多くの子孫を残すことができる。このような淘汰が何世代も繰り返されることによって、集団中では環境に適応した遺伝子頻度が増加する。このような現象を自然選択と呼ぶ。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：生物教育・生物学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

BI

脂質に関する以下の文章を読み、以下の問いに日本語で答えよ。

脂質は、細胞膜の主要な構成成分であり、生体に必須の物質である。また、エネルギーの貯蔵形態としての役割も無視できない。脂肪酸は大きく不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸とに分けられ、前者は植物性脂質に多く、後者は動物性脂質に多く含まれている。不飽和脂肪酸の一種であるオレイン酸は動物の細胞膜に最も多く存在する。

問1：不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸の代表的なものを2つずつ挙げよ。ただし、不飽和脂肪酸についてはオレイン酸以外を答えよ。

問2：不飽和脂肪酸と飽和脂肪酸における構造上の特徴及び物理的性質の違いを具体的に述べよ。

問3：不飽和脂肪酸が細胞膜の脂質二重層にどのような影響を与えるのか、簡潔に述べよ。

【解答欄】

<解答例>

問1 飽和脂肪酸：ラウリン酸、ミリスチン酸、パルミチン酸、ステアリン酸、アラキジン酸

不飽和脂肪酸：パルミトレイン酸、リノール酸、アラキドン酸、リノレン酸

問2 飽和脂肪酸は基本的に直鎖上構造をとり、密集しやすく、温度に変化を与えにくいため融点が高くなる。一方、不飽和脂肪酸は二重結合を保持しており、二重結合のところで折れ曲がるような構造をとる。そのため、飽和脂肪酸に比べて、不飽和脂肪酸は分子が隣同士きっちりと空間を埋めることができにくくなり、その結果融点は低くなる。

問3 細胞膜に流動性と柔軟性を与える。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【地学教育・地学】

受験者は、地球物理領域（問題番号Ⅰ）、天文領域（問題番号Ⅱ）、岩石鉱物領域（問題番号Ⅲ）、地質領域（問題番号Ⅳ）の4領域から2領域を選択し、次の表のうち選択した2領域に○をつけ、解答せよ。

なお、3領域以上を解答した場合は、全てが採点対象にならないので注意すること。

地球物理領域	天文領域	岩石鉱物領域	地質領域

（解答欄が不足する場合は、「裏面に続く」と書いて、裏面を使用してよい。）

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【地球物理領域に関する問題（問題番号 I）】

I 地球物理学，および地球物理学に関連した理科教育について，以下の設問に答えよ。

問1 地震波の性質を理解することは防災上も重要なことである。ここでは地震波の性質を決定する波動方程式を導出しよう。等方均質弾性体の運動方程式は，密度を ρ として

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial x} + \mu \nabla^2 u = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \text{①}$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial y} + \mu \nabla^2 v = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad \text{②}$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial z} + \mu \nabla^2 w = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad \text{③}$$

と表される。ただし， λ と μ はラメ定数であり，また，

$$\vec{U} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$$

は弾性体内の変位場（ $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ は x, y, z 方向の単位ベクトル）である。また， e は弾性体の体積歪みであり，

$$e = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad \text{④}$$

と書ける。①～④を用いてP波の波動方程式を導け。その際に，④を用いて変位の各成分(u, v, w)を消去すること。

【解答欄】 <解答例>

①～③の各式の左辺および右辺をそれぞれ x, y, z で偏微分して加え，さらに④を用いると，

$$\begin{aligned} \text{左辺} &= (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 u + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 e}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 v + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2 e}{\partial z^2} + \mu \frac{\partial}{\partial z} \nabla^2 w \\ &= (\lambda + \mu) \nabla^2 e + \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ &= (\lambda + \mu) \nabla^2 e + \mu \nabla^2 e \\ &= (\lambda + 2\mu) \nabla^2 e \\ \text{右辺} &= \rho \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \rho \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \rho \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \\ &= \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ &= \rho \frac{\partial^2 e}{\partial t^2} \end{aligned}$$

となるから，P波の波動方程式は

$$(\lambda + 2\mu) \nabla^2 e = \rho \frac{\partial^2 e}{\partial t^2}$$

となる。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問2 一般に中緯度域の上空では偏西風とよばれる西風が吹く。小学校、中学校の理科や高等学校の地学で学ぶ「西から東へ移り変わる天気」は、偏西風によってもたらされる。そこで、偏西風が吹く仕組みを温度風の関係によって説明してみよう。

(1) 気圧座標 (p 座標) における運動方程式の y 成分 (南北成分) は、次のように書ける。

$$\frac{D}{Dt}v = -fu - \left(\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right)_{x,p} \quad \text{⑤}$$

ただし、 u 、 v 、 Φ はそれぞれ、風速の x 成分 (東西成分)、 y 成分 (南北成分)、ジオポテンシャルである。また、 f はコリオリ係数 ($f > 0$) であり、一定の値をとる。一方、 p 座標において、静水圧平衡の関係は

$$\frac{\partial\Phi}{\partial p} = -\alpha \quad \text{⑥}$$

と表すことができ、また、理想気体の状態方程式は

$$p\alpha = RT \quad \text{⑦}$$

と書ける。ただし、 α は比容 (密度 ρ の逆数)、 T は温度である。また、 R は乾燥空気の気体定数であり、一定の値をとる。⑤～⑦を用いて、水平方向に一樣で定常な風速場における東西風の鉛直シア (圧力微分) $\frac{\partial u}{\partial p}$ を R 、 f 、 p 、 $\frac{\partial T}{\partial y}$ で表せ。

(2) g を重力加速度、 z を高度としたとき、 $\Phi = gz$ と書けることを考慮し、静水圧平衡の関係⑥と (1) の結果を用いて $\frac{\partial u}{\partial z}$ を g 、 f 、 T 、 $\frac{\partial T}{\partial y}$ で表せ。

【解答欄】 <解答例>

(1) ⑤において、水平方向に一樣な定常場を仮定すると左辺のラグランジュ微分はゼロである。両辺を p で偏微分すると、

$$f \frac{\partial u}{\partial p} + \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial y} \right) = 0$$

偏微分の順序を入れ替えて、

$$f \frac{\partial u}{\partial p} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial p} \right) = 0 \quad \text{⑧}$$

一方、⑦より、

$$\alpha = \frac{RT}{p}$$

⑥を代入すると、

$$\frac{\partial\Phi}{\partial p} = -\frac{RT}{p}$$

これを⑧に代入して、

$$\begin{aligned} f \frac{\partial u}{\partial p} - \frac{R}{p} \frac{\partial T}{\partial y} &= 0 \\ \therefore \frac{\partial u}{\partial p} &= \frac{R}{fp} \frac{\partial T}{\partial y} \end{aligned} \quad \text{⑨}$$

(2) $\Phi = gz$ を考慮すると、静水圧平衡の関係⑥は

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{g}{\alpha}$$

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	✕
	特別選抜	✕

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【解答欄】（つづき）

と書き直すことができるが、さらに⑦を用いると、

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{gp}{RT} \quad \text{⑩}$$

と表せる。一般に、合成関数の微分の公式より

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial z}$$

であるが、これに⑨と⑩を代入して、

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \left(\frac{R}{fp} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \left(-\frac{gp}{RT} \right) = -\frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial y}$$

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問3 問2で用いた地衡風の関係、静水圧平衡の関係、理想気体の状態方程式という3つの基本法則は、小学校、中学校、高等学校の理科においてどのように取り扱われているか。3つの基本法則それぞれについて、取り扱われている校種を明示して簡潔に説明せよ。

【解答欄】 <解答例>

地衡風の関係は、高等学校地学において、気圧傾度力とコリオリ力がつりあった状態で吹く風として定性的に取り上げられている。また、静水圧平衡の関係は、中学校の理科において、気圧とはその場所より上にある空気の重さのことであって、上空に行くと上にある空気の重さが減少するのでその分だけ気圧が低下する、という形で言及されている。理想気体の状態方程式で表される気体の性質は、定性的には、温度による物質の体積変化や圧力による空気の体積変化という形で、小学校の理科で取り上げられている。高等学校の物理や化学においては、理想気体の状態方程式を直接記述し、温度、圧力、体積の間の定量的な関係に言及している。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【天文領域に関する問題（問題番号Ⅱ）】

Ⅱ 次の問1及び問2に答えよ。

問1 小学校学習指導要領(平成29年告示)および同解説には、教科の目標達成のために「観察、実験を行うことなど」を通して問題を見出し、結果を基に考察し、結論を導き出すことが示されている。しかしながら、小学校理科の地球領域における天体の観察は、一部を除いて授業時間中に行うことは難しい。このためか、本学習指導要領下の第4学年理科の教科書では、教具として星座早見盤(教科書中での表記は「星ざ早見」)が必ず取り上げられている。これについて、以下の(1)～(3)に答えよ。

- (1) 星座早見盤の構造について説明せよ。
- (2) 教科書中では、星座早見盤の使用方法について「星座早見盤の『月日』と『時刻』を設定すること」「星座早見盤の観察する方角を下にすること」の2点が説明されている。しかし、実際に星座早見盤を使用する際には、より多くの注意すべき点がある。その注意点について3つを挙げよ。
- (3) 小学校の授業内における、星座早見盤の具体的な使用例を2つ考えて述べよ。

【解答欄】

<解答例>

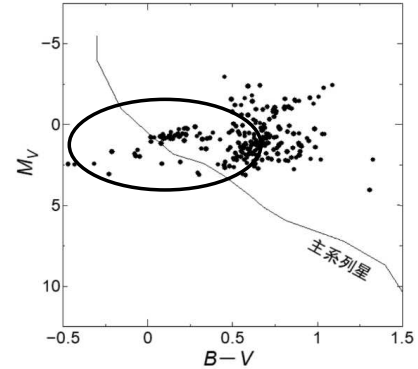
- (1) 星座早見盤は、天体や天体名と周りに月日が記された円盤の部分と、楕円形の窓を持ち、周りに時刻が記されたカバーの部分からなる。このカバー部分は、円盤部分をはさみ込む構造となっており、大抵の場合、両者は1本のピンで留められている。そして、円盤部分はカバー部分の中でこのピンを軸に回転できるようになっている。ピン留めされた部分は、北極星の位置に近く、天の北極に相当する。
- (2) ・天体を示す楕円形の窓の中央が天頂を示している。
 ・天体を示す窓の楕円形の縁は、地平線・水平線を示している。
 ・楕円の窓に示される天体の位置は、北にいくほど狭く、南にいくほど広くなるように描かれており、実際の空と比べて歪んでいる。
 ・楕円窓の縁に近い場所に表示される天体は、大気吸収を大きく受けるため、事実上観察は極めて困難である。
 など3つ。
- (3) ・日周運動によって、北斗七星の見え方が時刻によってどのように変化するかを確認する。
 ・北極星と北斗七星やカシオペア座の互いの位置関係を確認する。
 ・北極星を見つける時に、季節によってどのような星座をつかうのが適切かを考える。
 ・午後8時頃に、夏の大三角を見るために適切な観察日を調査する。
 など2つ。

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問2 天体望遠鏡と CCD カメラ，測光標準フィルターを用いて，銀河系内に存在する星団 X の可視光波長帯の B および V 画像を取得した。コンピュータを用いてこれらの(a)画像処理を行い，大気減光を補正し，等級較正(または，フラックス較正)を行った。さらに，この B および V 画像を用いて，星団 X とその周辺の約 240 個の恒星をランダムに選んで開口測光を行い，(b)減光量を補正して， $B-V$ に対する絶対等級 M_V を示した(右図参照)。星団 X までの距離は，先行研究を参照した。また，太陽近傍の主系列星の典型的な $B-V$ に対する絶対等級 M_V の関係を実線で示した。これについて，以下の(1)～(6)に答えよ。



- (1) 下線部(a)について，基本的な画像処理の過程は「整約」や「リダクション」などと呼ばれる。これはどのような過程か簡潔に答えよ。
- (2) 下線部(b)について，恒星の見かけ等級と絶対等級を，それぞれ m と M ，この恒星までの距離を d (pc)，星間減光量を A (等級)とした場合，これらの間に成り立つ関係を答えよ。
- (3) 図中に，絶対等級が 4 等級程度よりも大きい恒星が描かれていない理由を述べよ。
- (4) 図中に記した楕円部分に分布する恒星を何と呼ぶか，また，これらはどのような恒星か簡潔に説明せよ。
- (5) 図中に記した楕円部分には，典型的な変光周期が 0.5 日という脈動変光星が見られることがある。この変光星の名称を答えよ。
- (6) 星団 X は何という種類の星団か，理由とともに答えよ。

【解答欄】

<解答例>

- (1) 天体の生データ画像に含まれたバイアス信号の除去(バイアス補正)と，画素(ピクセル)間の感度むら補正(フラット補正)を施す過程。
- (2) $M = m + 5 - 5 \log_{10} d - A$
- (3) 絶対等級で 4 等級あたりの恒星は，横軸($B-V$)方向のばらつきが大きくなっており，測光誤差が大きくなっていることが覗える。これらの恒星は相対的に非常に暗く，絶対等級で 4 等級付近が本観測の限界等級になっているためと考えられる。
- (4) 水平分枝星。約 2 太陽質量以下の小質量星が，赤色巨星となった後に，安定したヘリウムの核融合反応を行うようになったもの。
- (5) こと座 RR 型変光星
- (6) 大気補正と減光量補正を施したにもかかわらず，星団 X には明るい主系列星がほとんど存在しておらず，主系列星よりも低表面温度かつ高光度な恒星が多く存在していることが分かる。加えて，水平分枝星も存在していることから，星団 X は球状星団であると考えられる。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【岩石鉱物領域に関する問題（問題番号Ⅲ）】

Ⅲ 次の問1～問3に答えよ。

問1 次の文章の空欄①～⑧にあてはまる適切な言葉を答えよ。

地球の内部構造について、(①)と(②)の境界は(③)不連続面と呼ばれる。地球内部の層構造には、「化学的区分」と「力学的区分」の異なる区分の仕方ができるが、この(③)不連続面は、(④)区分での境界面である。現在、(①)を構成する主な岩石は、海洋では(⑤)である。大陸では、構成する主な岩石が深さによって異なり、下部では主に(⑥)であり、上部では主に(⑦)と考えられている。また、(②)を主に構成する岩石は、(⑧)である。

【解答欄】

<解答例>

- ① 地殻 ② マントル ③ モホロビッチ（または、モホ） ④ 化学的
 ⑤ 玄武岩 ⑥ はんれい岩 ⑦ 花崗岩 ⑧ かんらん岩

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問2 岩石は鉱物の集合体である。地殻やマントルを構成する岩石では、主に SiO_4 四面体を基本とした結晶構造を持つケイ酸塩鉱物によって構成されている。化学組成や結晶構造は鉱物ごとに異なるが、ケイ酸塩鉱物では SiO_4 四面体の結合の仕方によって大別することができる。

以下のケイ酸塩鉱物について、 SiO_4 四面体の結合の仕方に基づいた分類として、適切なものを(a)~(f)からそれぞれ選択せよ。

- 石英：
- 長石：
- 黒雲母：
- 角閃石：
- 輝石：
- カンラン石：

- (a) ネソケイ酸塩鉱物 (b) ソロケイ酸塩鉱物 (c) サイクロケイ酸塩鉱物
 (d) イノケイ酸塩鉱物 (e) フィロケイ酸塩鉱物 (f) テクトケイ酸塩鉱物

【解答欄】

<解答例>

石英：(f) 長石：(f) 黒雲母：(e) 角閃石：(d) 輝石：(d) カンラン石：(a)

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問3 鉱物の同定には、色などの光学的性質をはじめ、様々な物理的あるいは化学的な性質を利用することができる。物理的・化学的性質に基づいて、岩石や鉱物の標本における鉱物種を区別するとき、どのような実験を行うことが可能か、実験環境・手順など具体的に説明せよ。実験に用いる具体的な岩石・鉱物標本を明示し、実験で明確になることが期待されるそれらの標本の物理的・化学的性質について明確に解答せよ。また対象とする児童・生徒の学校種別（小学校、中学校、高等学校など）についても明確にして解答せよ。

【解答欄】

<解答のポイント>

- ・密度、条痕色、モース硬度、劈開、複屈折、蛍光（あるいは燐光）、干渉色などの鉱物の物理的あるいは化学的な性質に基づいて鉱物種を区別できる実験が示されているか。
- ・解答で挙げた岩石・鉱物標本を用いて、実験において期待される特徴的な観察内容を明確に説明しているか。
- ・実験において期待される標本の特徴を観察することができ、かつ学校種別に適切な実験環境・手順が示されているか。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

【地質領域に関する問題（問題番号IV）】

IV 「地球」を柱とした領域での「大地の変化」に関連する内容について、以下の問1～問4に答えよ。

問1 正断層、横ずれ断層、逆断層それぞれが引き起こされる時の主応力軸の方向（配置）について、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 をそれぞれ最大、中間、最小圧縮主応力として論ぜよ。

【解答欄】

<解答例>

*正断層の主応力軸の向き：最大圧縮主応力（ σ_1 ）が鉛直線と45°以内の方向にあるとき生じる。

最大圧縮主応力（ σ_1 ）：垂直方向

中間圧縮主応力（ σ_2 ）：水平方向

最小圧縮主応力（ σ_3 ）：水平方向

*横ずれ断層の主応力軸の向き：中間圧縮主応力（ σ_2 ）が鉛直線と45°以内の方向にあるとき生じる。

最大圧縮主応力（ σ_1 ）：水平方向

中間圧縮主応力（ σ_2 ）：垂直方向

最小圧縮主応力（ σ_3 ）：水平方向

*逆断層の主応力軸の向き：最小圧縮主応力（ σ_3 ）が鉛直線と45°以内の方向にあるとき生じる。

最大圧縮主応力（ σ_1 ）：水平方向

中間圧縮主応力（ σ_2 ）：水平方向

最小圧縮主応力（ σ_3 ）：垂直方向

問2 構造深度の浅い場所と深い場所では、変形の物理条件が変わり、形成される地質構造のタイプが異なっていく。地表から地下深部に向かって構造深度が深くなるにつれて、形成される地質構造のタイプはどのように変化するか、以下の用語を用いて論ぜよ。

（脆性破壊、塑性変形、劈開、断層、褶曲、温度圧力）

【解答欄】

<解答例>

構造深度の浅い場所と深い場所で形成される地質構造は、地下の応力状態や温度圧力、岩石の物理的特性によって大きく異なる。これらの変形様式は、主に脆性破壊と塑性変形という対照的なメカニズムを通じて現れる。構造深度の浅い場所では、岩石は主に脆性破壊を引き起こす。脆性破壊は、岩石が外部の応力に対して一定の限界を超えると急速に破壊される現象であり、弾性限界を越えると断裂や割れ目を形成し、断層を引き起こす。ただしこの領域では、岩石の物理的特性によってその振る舞いは異なり、例えば砂岩泥岩互層の場合、砂岩は脆性破壊を起こすが、泥岩は塑性変形する場合があります。そのような場合には断層ではなく曲げ滑り褶曲を形成する。一方、構造深度のより深い場所では、温度圧力の増大により岩石は主に塑性変形して外部の応力に対して柔軟に変形する。この領域では岩石には劈開が発達し、さらに深部に達すると流れ褶曲を引き起こす。このように、構造深度の浅い場所では脆性破壊が、深い場所では塑性変形が支配的であるとされている。

令和6年度 東京学芸大学大学院教育学研究科 入学試験

試験区分	一般選抜	○
	現職教員選抜	○
	外国人留学生等選抜	○
	派遣教員選抜	×
	特別選抜	×

科目	選択問題：地学教育・地学
対象	理科教育サブプログラム

受験番号				

問3 岩脈を用いた広域応力場推定（岩脈法）について説明せよ。

【解答欄】

<解答例>

岩脈が形成される時、その形状や方向は広域的な応力場の影響が反映され、岩脈は最小圧縮主応力と直交する面に形成される。つまり、水平面である一定の方向に圧縮されている場合、火山等の中央貫入岩体から派生した岩脈は放射状にはならず、やがて圧縮されている方向に曲がって行って方向がそろう。そのため、火山体においては、側火山がある一定の方向に沿って分布することになり、この側火山の分布の方向性や、岩脈そのものの方向（走向）を測定することで広域的な応力場を推定することができる。

問4 中学校学習指導要領理科第2分野「大地の成り立ちと変化」の「(イ) 地層の重なりと過去の様子」の内容について、以下の(1)、(2)の設問に答えよ。

(1) 以下にあげた内容のうち、現行中学校学習指導要領に示されていないものをすべてあげよ。

- ① 火山や地震はプレートの動きによって引き起こされる。
- ② 地殻変動により、地層は褶曲し断層を形成する。
- ③ 地下深部で岩石は変成作用を受け、変成岩となる。
- ④ 地殻変動により隆起した地層や岩石が侵食されて不整合を形成する。
- ⑤ 断層が発生することにより地震や津波が引き起こされる。

(2) この領域の中学校学習指導要領の内容は、小学校学習指導要領に示されている同領域の内容とは、どのように差別化されているのか簡潔に説明せよ。

【解答欄】

<解答(例)>

(1) ③, ④

(2) 小学校では主に、地表で起こる目に見えて時間の短い現象について扱うのに対して、中学校では主に、地下深部で起こる目に見えず時間の長くなる現象を扱うことになっている。義務教育段階を通じて、地表の物質の循環（地表面の変動）を扱うことになる。