

## 専門(多肢選択式)試験問題

## 注 意 事 項

1. 問題は **50 題(37 ページ)**あります。  
問題は必須問題 **30 題**(No. 1 ~ No.30)と選択問題 20 題(No.31 ~ No.50)に分かれています。選択問題については**任意の 10 題**を解答し、必須問題と合計して **40 題**を解答してください。  
なお、選択問題については、10 題を超えて解答しても超えた分については採点されません。
2. 解答時間は **3 時間**です。
3. 下書き用紙はこの問題集の**中央部**にとじ込んであります。**試験官の指示に従って、試験開始後に問題集から下書き用紙だけを慎重に引きはがして**使用してください。なお、誤って問題集を破損しても、問題集の交換はできませんので注意してください。
4. この問題集で単位 of 明示されていない量については、全て国際単位系(SI)を用いることとします。
5. この問題集は、本試験種目終了後に持ち帰りができます。
6. 本試験種目の途中で退室する場合は、退室時の問題集の持ち帰りはできませんが、希望する方には後ほど渡します。別途試験官の指示に従ってください。なお、試験時間中に、この問題集から**下書き用紙以外**を切り取ったり、問題を転記したりしないでください。
7. 下欄に受験番号等を記入してください。

|          |       |      |     |
|----------|-------|------|-----|
| 第 1 次試験地 | 試験の区分 | 受験番号 | 氏 名 |
|          | 物 理   |      |     |

指示があるまで中を開いてはいけません。

No. 1～No. 30 は**必須問題**です。これらの問題について、**全てを解答**してください。

解答は、問題番号に該当する答案用紙の番号欄に記入してください。

【No. 1】 方程式  $kx^2 + 4x + k = 0$  が異なる二つの正の実数解をもつような整数  $k$  の値として最も妥当なのはどれか。

1.  $-3$
2.  $-2$
3.  $-1$
4.  $1$
5.  $2$

【No. 2】  $xy$  平面上に  $(1, 3)$ ,  $(2, 5)$ ,  $(7, 1)$ ,  $(a, b)$  の4点があり、これら4点が平行四辺形の頂点となるときの、 $(a, b)$  となり得るもののみを全て挙げているのはどれか。

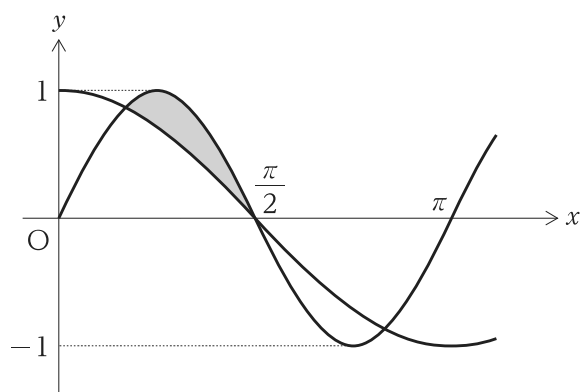
1.  $(-5, 8)$ ,  $(5, 0)$
2.  $(-5, 8)$ ,  $(5, 0)$ ,  $(8, 3)$
3.  $(-4, 7)$ ,  $(5, 0)$ ,  $(8, 3)$
4.  $(-4, 7)$ ,  $(6, -1)$
5.  $(-4, 7)$ ,  $(6, -1)$ ,  $(8, 3)$

【No. 3】 放物線  $y = x^2 - 5x$  に引いた接線の傾きが  $-1$  であったとき、この接線と  $y$  軸との交点における  $y$  座標の値はいくらか。

1.  $-6$
2.  $-\frac{11}{2}$
3.  $-5$
4.  $-\frac{9}{2}$
5.  $-4$

【No. 4】 図のように、 $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$  において、曲線  $y = \sin 2x$  及び曲線  $y = \cos x$  のみで囲まれた領域の面積はいくらか。

1.  $\frac{1}{8}$
2.  $\frac{1}{6}$
3.  $\frac{1}{4}$
4.  $\frac{1}{3}$
5.  $\frac{1}{2}$



【No. 5】 二つの工場 A, B で製造された製品には、それぞれある確率で不良品が混入している。

A の製品が 6 割、B の製品が 4 割を占める大量の製品の中から 1 個取り出したときに、それが不良品である確率は 1.2 % であり、また、その不良品が A の製品である確率は 75 % であることが分かっている。このとき、それぞれの工場で製造された製品に不良品が混入している確率の組合せとして正しいのはどれか。

|    | A      | B      |
|----|--------|--------|
| 1. | 0.75 % | 1.00 % |
| 2. | 0.75 % | 1.50 % |
| 3. | 1.50 % | 0.75 % |
| 4. | 1.50 % | 1.00 % |
| 5. | 3.00 % | 1.50 % |

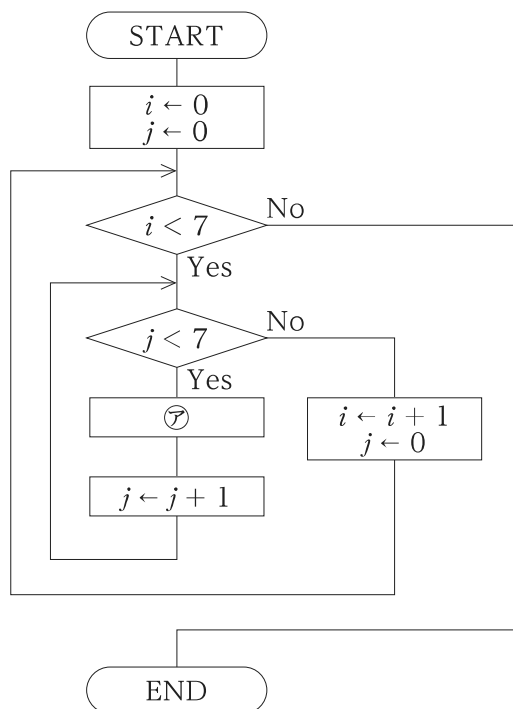
【No. 6】  $y(x)$  は微分方程式

$$\frac{d^2}{dx^2}y(x) + 2\frac{d}{dx}y(x) = 3e^x$$

の解であり、 $y(0) = 3$ ,  $-\frac{d}{dx}y(0) = 3$  を満たす。このとき、 $y(1)$  として正しいのはどれか。

1.  $-e^{-2} + e + 3$
2.  $-e^{-2} + 2e + 1$
3.  $e^{-2} - e - 3$
4.  $e^{-2} + e^2$
5.  $e^2 + 2e - 1$

- 【No. 7】 図Ⅰは、図Ⅱで表される2次元配列  $A$  の状態を、図Ⅲで表される2次元配列  $B$  の状態に変更するフローチャートである。図Ⅰの㉞に当てはまるものとして最も妥当なのは次のうちではどれか。
- ただし、 $A$ 、 $B$ における  $i$  行  $j$  列の要素をそれぞれ  $A[i][j]$ 、 $B[i][j]$  ( $0 \leq i \leq 6$ ,  $0 \leq j \leq 6$ ) とする。



図Ⅰ

$A:$

|   |  |     |   |   |   |   |   |   |
|---|--|-----|---|---|---|---|---|---|
|   |  | $j$ |   |   |   |   |   |   |
|   |  | 0   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 |  |     | * | * | * | * | * |   |
| 1 |  |     |   |   | * |   |   |   |
| 2 |  |     |   |   | * |   |   |   |
| 3 |  |     |   |   | * |   |   |   |
| 4 |  |     | * |   | * |   |   |   |
| 5 |  |     | * |   | * |   |   |   |
| 6 |  |     | * | * | * |   |   |   |

図Ⅱ

$B:$

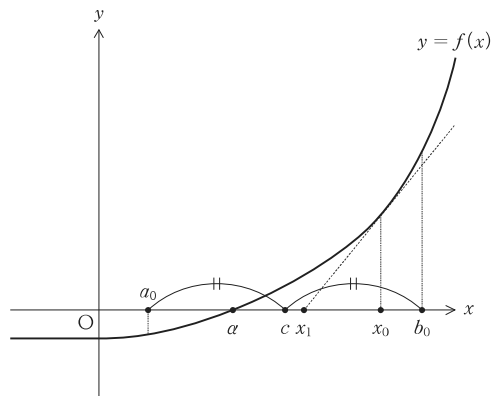
|   |  |     |   |   |   |   |   |   |
|---|--|-----|---|---|---|---|---|---|
|   |  | $j$ |   |   |   |   |   |   |
|   |  | 0   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 |  |     |   |   |   |   |   |   |
| 1 |  | *   | * | * |   |   |   | * |
| 2 |  | *   |   |   |   |   |   | * |
| 3 |  | *   | * | * | * | * | * | * |
| 4 |  |     |   |   |   |   |   | * |
| 5 |  |     |   |   |   |   |   | * |
| 6 |  |     |   |   |   |   |   |   |

図Ⅲ

1.  $B[6-i][6-j] \leftarrow A[i][j]$
2.  $B[6-j][i] \leftarrow A[i][j]$
3.  $B[7-j][i] \leftarrow A[i][j]$
4.  $B[j][6-i] \leftarrow A[i][j]$
5.  $B[j][7-i] \leftarrow A[i][j]$

【No. 8】 非線形方程式の解を数値的に求める方法に関する次の記述の㉖～㉚に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「区間  $[a_0, b_0]$  において、連続な関数  $f(x)$  が与えられたとき、 $f(a_0)f(b_0) \leq 0$  を満たすなら、方程式  $f(x) = 0$  となる解が少なくとも一つ存在する。この解のうちの一つ  $\alpha$  の近似値を求めるための方法として、以下の方法が挙げられる。



### 二分法

- ①  $a = a_0, b = b_0$  とする。
- ② 区間  $[a, b]$  の中点  $c = \frac{1}{2}(a + b)$  を求める。  $f(c) = 0$  ならば、 $c$  は解である。
- ③  $f(a)f(c) < 0$  であれば ㉖ を、 $f(a)f(c) > 0$  であれば ㉙ を新しい区間  $[a, b]$  とする。
- ④ ②、③を繰り返し、区間幅  $|b - a|$  が十分小さくなったとき、 $c$  を解  $\alpha$  の近似値とする。

### ニュートン法

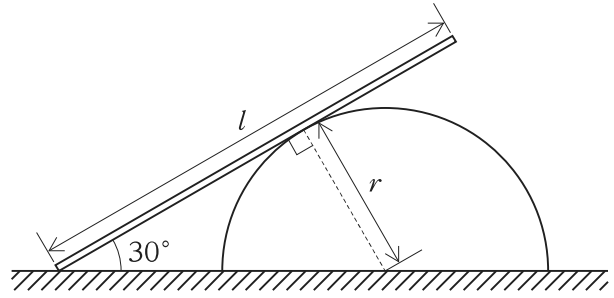
- ① 解  $\alpha$  に近いと考えられる初期値  $x_0$  を設定する。
- ② 点  $(x_0, f(x_0))$  における  $y = f(x)$  の接線を引き、接線が  $x$  軸と交わる点  $x_1$  を求める。  
 $f(x)$  の 1 階微分を  $f'(x)$  とすると、 $x_1 =$  ㉘ である。
- ③  $x_1$  を新しい  $x_0$  とする。
- ④ ②、③を繰り返し、 $|x_1 - x_0|$  が十分小さくなったとき、 $x_1$  を解  $\alpha$  の近似値とする。

関数  $f(x)$  が 2 回連続微分可能で、かつ  $f'(\alpha) \neq 0$  の場合、解に収束する速さを比較すると、

㉚ 法の方が速い。」

| ㉖           | ㉙        | ㉘                              | ㉚     |
|-------------|----------|--------------------------------|-------|
| 1. $[a, c]$ | $[c, b]$ | $x_0 - \frac{f'(x_0)}{f(x_0)}$ | 二分    |
| 2. $[a, c]$ | $[c, b]$ | $x_0 - \frac{f'(x_0)}{f(x_0)}$ | ニュートン |
| 3. $[a, c]$ | $[c, b]$ | $x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$ | ニュートン |
| 4. $[c, b]$ | $[a, c]$ | $x_0 - \frac{f'(x_0)}{f(x_0)}$ | 二分    |
| 5. $[c, b]$ | $[a, c]$ | $x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$ | ニュートン |

【No. 9】 図のように、粗い水平な床の上に半径  $r$  の半球が固定されており、これに長さ  $l$ 、質量  $m$  の一様な細い剛体棒が立て掛けてある。剛体棒と床のなす角が  $30^\circ$  であるとき、剛体棒が半球から受ける力の大きさとして最も妥当なのはどれか。

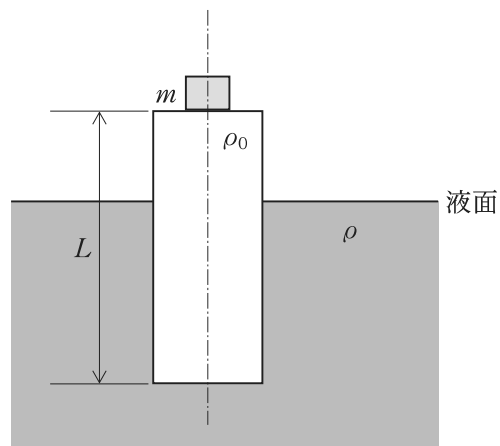


ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とし、剛体棒と半球の間に摩擦はないものとする。また、 $\sqrt{3}r < l < 2\sqrt{3}r$  とする。

1.  $\frac{mgl}{4r}$
2.  $\frac{\sqrt{3}mgl}{6r}$
3.  $\frac{\sqrt{3}mgl}{4r}$
4.  $\frac{mgl}{2r}$
5.  $\frac{\sqrt{3}mgl}{2r}$

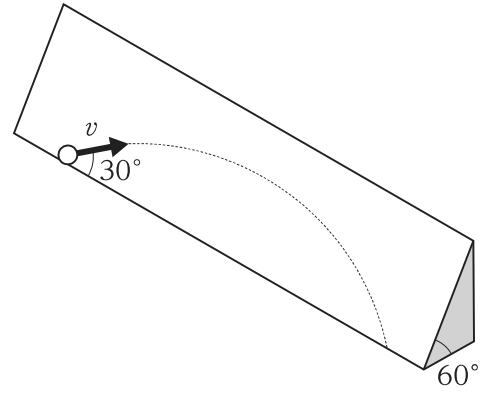
【No. 10】 図のように、密度  $\rho_0$ 、底面積  $S$ 、高さ  $L$  の一様な円柱を密度  $\rho$  ( $\rho > \rho_0$ ) の液体に浮かべ、円柱の上面の中心に質量  $m$  の小物体を静かに置いた。このとき、液体中に沈んでいる部分の円柱の高さとして最も妥当なのはどれか。

ただし、円柱の中心軸は鉛直に保たれ、円柱の一部は液面よりも上にあるものとする。



1.  $\frac{m + \rho_0 SL}{(\rho - \rho_0)S}$
2.  $\frac{m + \rho_0 SL}{\rho S}$
3.  $\frac{m + \rho SL}{\rho_0 S}$
4.  $\frac{m - \rho_0 SL}{\rho S}$
5.  $\frac{m - \rho SL}{\rho_0 S}$

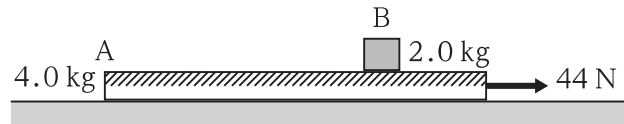
【No. 11】 図のように、水平面と  $60^\circ$  をなす滑らかな斜面が水平な床に固定されており、床に置かれた小球を、この斜面に沿って上向き  $30^\circ$  に、速さ  $v$  で打ち出した。このとき、打ち出した地点から小球が床に初めて衝突する地点までの距離として最も妥当なのはどれか。  
ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。



1.  $\frac{v^2}{2g}$
2.  $\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$
3.  $\frac{v^2}{g}$
4.  $\frac{\sqrt{3}v^2}{g}$
5.  $\frac{2v^2}{g}$

【No. 12】 図のように、滑らかで水平な床の上に、質量  $4.0 \text{ kg}$  で上面が粗い平板 A があり、その上に質量  $2.0 \text{ kg}$  の小物体 B が置かれている。A に大きさ  $44 \text{ N}$  の力を水平に加え続けたところ、B は A の上を滑った。B が A の上を滑っているときの、A と B の床に対する加速度の大きさの組合せとして最も妥当なのはどれか。

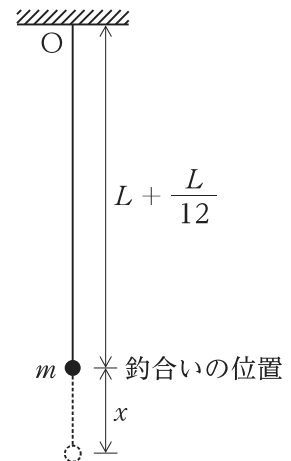
ただし、重力加速度の大きさを  $10 \text{ m/s}^2$ 、A と B の間の動摩擦係数を  $0.20$  とする。



- |    | A                  | B                   |
|----|--------------------|---------------------|
| 1. | $10 \text{ m/s}^2$ | $2.0 \text{ m/s}^2$ |
| 2. | $10 \text{ m/s}^2$ | $4.0 \text{ m/s}^2$ |
| 3. | $12 \text{ m/s}^2$ | $1.0 \text{ m/s}^2$ |
| 4. | $12 \text{ m/s}^2$ | $2.0 \text{ m/s}^2$ |
| 5. | $12 \text{ m/s}^2$ | $4.0 \text{ m/s}^2$ |

【No. 13】 図のように、自然長  $L$  の軽いゴムひもの一端を天井の点 O に固定し、他端に質量  $m$  の小球を取り付けたところ、ゴムひもの伸びが  $\frac{L}{12}$  となる位置で釣り合った。この釣り合いの位置からさらに鉛直方向に  $x$  だけ小球を引き下げて静かに放したところ、小球はちょうど速度 0 (ゼロ) で点 O に達した。  $x$  として最も妥当なのはどれか。

ただし、ゴムひものは自然長よりも伸びている状態でフックの法則に従うものとし、たるんでいる状態でのゴムひものは小球の運動に影響を与えないものとする。

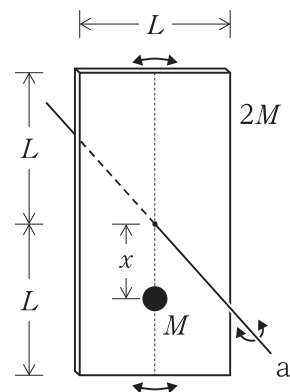


1.  $\frac{L}{6}$
2.  $\frac{L}{4}$
3.  $\frac{L}{3}$
4.  $\frac{5L}{12}$
5.  $\frac{L}{2}$

【No. 14】 辺の長さがそれぞれ  $2L$  と  $L$  で質量  $2M$  の長方形の一様な薄い板がある。この板の中心を通り、板に垂直な回転軸  $a$  の周りの慣性モーメント  $I_R$  は

$$I_R = \frac{5}{6}ML^2$$

で与えられる。図のように、この板の中心から中心線に沿って  $x$  だけ離れた位置に質量  $M$  の質点を貼り付ける。回転軸  $a$  を水平にとり、釣合いの位置の周りで板を微小振動させる。このとき、振動の周期が最小になる  $x$  の値として最も妥当なのはどれか。



なお、一般に質量  $m$  の剛体振り子の微小振動の周期  $T$  は

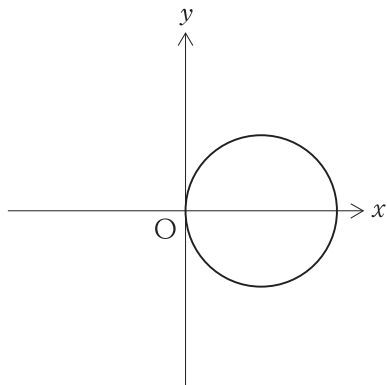
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgh}}$$

で与えられる。ここで、 $I$  は剛体振り子の回転軸の周りの慣性モーメント、 $h$  は回転軸の中心から重心までの距離、 $g$  は重力加速度の大きさである。

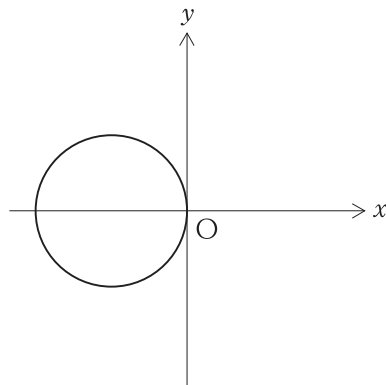
1.  $\sqrt{\frac{1}{6}}L$
2.  $\sqrt{\frac{5}{12}}L$
3.  $\sqrt{\frac{2}{3}}L$
4.  $\frac{5}{6}L$
5.  $\sqrt{\frac{5}{6}}L$

【No. 15】 時刻  $t$  における  $x$  軸及び  $y$  軸方向の速度成分が、それぞれ  $u = -\sin t$ ,  $v = \cos t$  で表される 2 次元の流れを考える。このとき、時刻  $t = 0$  において原点  $O$  を通る流跡線(流体粒子が時間の経過とともに移動する軌跡)として最も妥当なのはどれか。

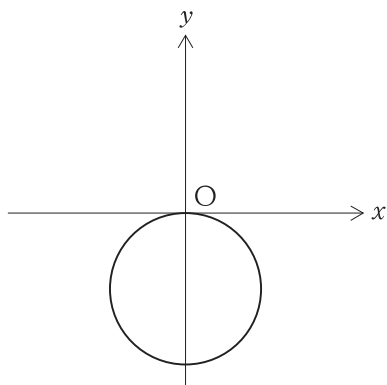
1.



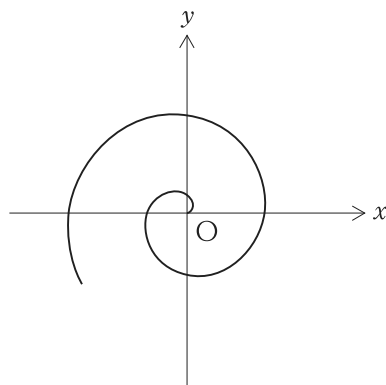
2.



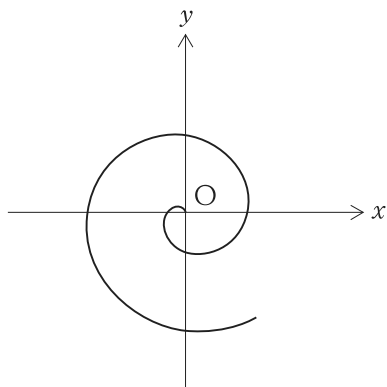
3.



4.



5.



【No. 16】 一定の密度  $\rho$  の完全流体を考える。定常な渦なしの流れの中に物体を置くと、その表面に流速 0 の点が出る。これをよどみ点という。よどみ点での圧力を  $p_0$  とすると、圧力が  $p$  の点での流速の大きさとして最も妥当なのはどれか。

ただし、重力の影響は無視してよい。

1.  $\frac{p_0 - p}{\rho}$
2.  $\frac{p_0 - p}{2\rho}$
3.  $\rho(p_0 - p)$
4.  $\frac{2}{\rho}\sqrt{p_0 - p}$
5.  $\sqrt{\frac{2}{\rho}}(p_0 - p)$

【No. 17】  $x_1 x_2 x_3$  空間における弾性体の変位  $(u_1, u_2, u_3)$  が

$$u_1 = (6x_1 - 4x_2 - 2x_3) \times 10^{-6}$$

$$u_2 = (2x_1 - 2x_2) \times 10^{-6}$$

$$u_3 = (ax_1 + bx_3 - 4) \times 10^{-6}$$

で表されているとする。ただし、 $a$  と  $b$  は定数とする。この変形が体積変化を伴わない場合、 $a$  と  $b$  の組合せとして最も妥当なのは次のうちではどれか。

なお、体積変化を伴わない場合、ひずみテンソル  $\epsilon_{ij}$  の対角和  $\epsilon_{11} + \epsilon_{22} + \epsilon_{33}$  は 0 となる。

1.  $a = -4, b = 4$
2.  $a = -2, b = -4$
3.  $a = 0, b = 0$
4.  $a = 2, b = -2$
5.  $a = 4, b = 0$

【No. 18】 重力による棒の変形に関する次の記述の㉞、㉟に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「密度  $\rho$ 、長さ  $L$ 、断面積  $S$ 、ヤング率  $E$  の棒があり、これを水平な天井から鉛直に吊り下げると、棒は自重によって伸びる。この棒の、天井から  $X$  の距離に微小部分があり、その長さが  $dX$  である場合、この微小部分の伸びは ㉞ で表される。また、棒全体の伸びの長さは ㉟ となる。

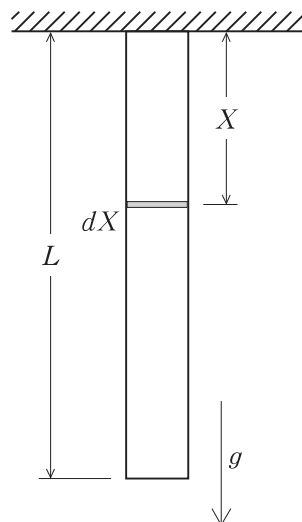
ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とし、棒の伸びは棒の長さに対して十分小さいものとする。

なお、一般に、長さ  $L$ 、断面積  $S$ 、ヤング率  $E$  の一様な棒の両端に大きさ  $F$  の引っ張る力を加えたときの棒の伸び  $\Delta L$  は

$$\Delta L = \frac{FL}{SE}$$

で与えられる。」

- | ㉞                            | ㉟                          |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. $\frac{\rho(L-X)gdX}{E}$  | ㉟ $\frac{\rho g L^2}{E}$   |
| 2. $\frac{\rho(L-X)gdX}{E}$  | ㉟ $\frac{\rho g L^2}{2E}$  |
| 3. $\frac{\rho(L-X)gdX}{SE}$ | ㉟ $\frac{\rho g L^2}{2E}$  |
| 4. $\frac{\rho(L-X)gdX}{SE}$ | ㉟ $\frac{\rho g L^2}{SE}$  |
| 5. $\frac{\rho(L-X)gdX}{SE}$ | ㉟ $\frac{\rho g L^2}{2SE}$ |



【No. 19】 時刻  $t$  [s] における変位  $x$  [m] が、角振動数  $\omega (> 0)$  [rad/s] を用いて、 $x = 4.0 \sin \omega t$  と表される単振動において、周期が 24 s である場合、 $t = 2.0$  のときの変位として最も妥当なのはどれか。

1.  $-3.5$  m
2.  $-2.0$  m
3.  $-1.3$  m
4.  $1.3$  m
5.  $2.0$  m

【No. 20】 深さ  $h$  が一定の十分広い水槽内の水に起こる波を考える。鉛直上向きを  $z$  軸、波の進行方向を  $x$  軸にとり、波は  $y$  方向に一様であるとする。流体の運動は渦なしで非圧縮流体であるとする、速度ポテンシャル  $\Phi$  が存在し、 $\Phi$  はラプラスの方程式

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0$$

に従う。波に伴う水の運動が小さい場合、水面 ( $z = 0$ ) では

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$$

という境界条件を満たす。一方、水底 ( $z = -h$ ) では速度の法線成分は 0 であるため

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0$$

を満たす。いま、 $x$  軸方向に進む波として、波数  $k$ 、角振動数  $\omega$  を用いて  $\Phi = f(z) \cos(kx - \omega t)$  の形の解を考えると、 $\omega$  の値として最も妥当なのはどれか。

ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

1.  $\sqrt{gk \tanh kh}$
2.  $\sqrt{2gk \tanh kh}$
3.  $\sqrt{gk \cosh kh}$
4.  $\sqrt{gk \sinh kh}$
5.  $\sqrt{2gk \sinh kh}$

【No. 21】 放射線に関する次の記述の㉔、㉕に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「放射線が物質中に入射すると、原子中の電子をはね飛ばして物質内にイオンを生成することがある。これを放射線の電離作用という。電離作用の大きい放射線ほど、進行方向に沿った短い区間により多くのイオンを生成してエネルギーを失うため、透過力は小さく、容易に遮蔽することができる。例えば、㉔ は、紙では遮蔽できないが、アルミニウムなどの薄い金属板であれば遮蔽することができる。中性子線は電荷をもたず、特に透過力が大きい。これを遮蔽するには、高速中性子に対しては鉄が、それよりエネルギーの小さい中性子に対しては ㉕ が用いられている。」

- | ㉔             | ㉕       |
|---------------|---------|
| 1. $\alpha$ 線 | 水やパラフィン |
| 2. $\alpha$ 線 | 水銀や鉛    |
| 3. $\beta$ 線  | 水やパラフィン |
| 4. $\beta$ 線  | 水銀や鉛    |
| 5. $\gamma$ 線 | 水銀や鉛    |

【No. 22】 周囲から断熱された状態で、断面積が  $0.05 \text{ m}^2$  の滑らかに動く軽いピストンの付いたシリンダに理想気体が封入されている。周囲の圧力が  $0.1 \text{ MPa}$  であるとき、冷却器を用いてシリンダ内の理想気体から  $2.0 \text{ kJ}$  の熱量を放出させて可逆的に定圧変化させたところ、ピストンが移動し、理想気体の内部エネルギーが  $0.5 \text{ kJ}$  減少した。このとき、ピストンが移動する距離として最も妥当なのはどれか。

1.  $0.02 \text{ m}$
2.  $0.03 \text{ m}$
3.  $0.1 \text{ m}$
4.  $0.2 \text{ m}$
5.  $0.3 \text{ m}$

【No. 23】  $1 \text{ mol}$  の理想気体が、温度  $T$  を保ったまま準静的に膨張して体積が 4 倍になった。このとき、この理想気体のエントロピーの変化量として最も妥当なのはどれか。

ただし、気体定数を  $R$  とする。また、温度  $T$  の等温準静過程では、熱量  $\Delta Q$  を受け取った理想気体のエントロピーの変化量  $\Delta S$  は

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

で与えられる。

1.  $-4R \log_e 2$
2.  $-2R \log_e 2$
3.  $0$
4.  $2R \log_e 2$
5.  $4R \log_e 2$

【No. 24】 一成分の気体からなる系の Gibbs 自由エネルギーが、系の温度  $T$ 、圧力  $p$ 、物質質量  $N$  の関数  $G(T, p, N)$  として与えられるとき、系のエントロピー  $S$ 、体積  $V$ 、化学ポテンシャル  $\mu$  はそれぞれ、

$$S(T, p, N) = -\frac{\partial G}{\partial T}(T, p, N), \quad V(T, p, N) = \frac{\partial G}{\partial p}(T, p, N), \quad \mu(T, p, N) = \frac{\partial G}{\partial N}(T, p, N)$$

となる。また、 $G(T, p, N)$  の示量性から、

$$G(T, p, N) = N\mu(T, p, N)$$

が成り立つ。 $G(T, p, N)$  が 2 回連続微分可能であるとき、一般に成り立つ熱力学関係式として最も妥当なのはどれか。

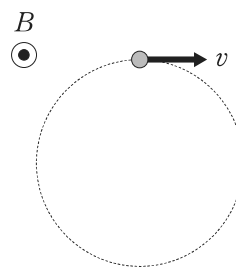
1.  $\frac{\partial S}{\partial p}(T, p, N) = \frac{\partial V}{\partial T}(T, p, N)$
2.  $\frac{\partial S}{\partial N}(T, p, N) = -\frac{\partial \mu}{\partial T}(T, p, N)$
3.  $\frac{\partial V}{\partial N}(T, p, N) = -\frac{\partial \mu}{\partial p}(T, p, N)$
4.  $S(T, p, N) = N\frac{\partial \mu}{\partial T}(T, p, N)$
5.  $S(T, p, N) = -N\frac{\partial S}{\partial N}(T, p, N)$

【No. 25】  $0^\circ\text{C}$ 、 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  の条件下で気体である純物質に関する記述として最も妥当なのはどれか。

ただし、ガラス状態になる物質は除くものとする。

1. 全ての気体は、 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  の下で十分温度を下げると必ず液体に相転移する。
2. 全ての気体は、 $0^\circ\text{C}$  の下で十分圧力を上げると必ず液体に相転移する。
3.  $^4\text{He}$  の気体は、 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  の下ではいくら温度を下げてても液体や固体に相転移することはない。
4. 一定圧力の下での気体から液体への相転移では、状態変化の間、温度は常に変化する。
5. 三重点より低い圧力で気体と液体の二相が共存することはない。

【No. 26】 図のように、紙面に垂直に裏から表へ向かう一様な磁束密度  $B$  の磁場中で、質量  $m$ 、電気量  $q (> 0)$  の荷電粒子が、速さ  $v$  で等速円運動をしているとき、荷電粒子の描く円軌道の半径として最も妥当なのはどれか。



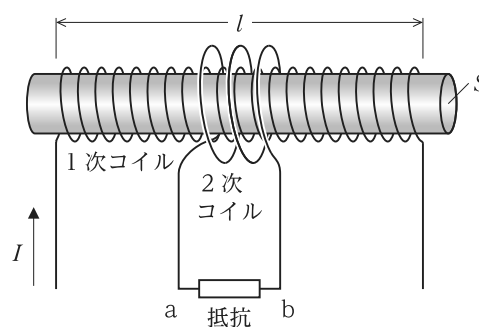
1.  $\frac{mv}{2qB}$
2.  $\frac{mv}{qB}$
3.  $\frac{2mv}{qB}$
4.  $\frac{mv^2 B}{2q}$
5.  $\frac{mv^2 B}{q}$

【No. 27】 電磁誘導に関する次の記述の㉞、㉟に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「図のように、断面積  $S$  の鉄心に、長さ  $l$ 、巻数  $N_1$  の 1 次コイルと、巻数  $N_2$  の 2 次コイルが巻かれている。図の矢印の向きに 1 次コイルを流れる電流  $I$  が、微小時間  $\Delta t$  の間に  $I$  から  $I + \Delta I$  に増加したとき、2 次コイルに生じる誘導起電力の大きさは ㉞ である。また、このとき 2 次コイルにつながる抵抗を流れる電流の向きは ㉟ である。

ただし、鉄心内の磁場は一様とし、鉄心の透磁率を  $\mu$  とする。」

- | ㉞                                                      | ㉟      |
|--------------------------------------------------------|--------|
| 1. $\frac{\mu S N_1 N_2}{l} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ | a から b |
| 2. $\frac{\mu S N_1 N_2}{l} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ | b から a |
| 3. $\frac{\mu S N_1}{l N_2} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ | a から b |
| 4. $\frac{\mu S N_1}{l N_2} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ | b から a |
| 5. $\frac{\mu S}{l N_1 N_2} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ | a から b |



【No. 28】 電信方程式に関する次の記述の㉞、

㉠、㉡に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「長い往路・復路をもつ伝送線に時間変化する信号を伝える。図は、伝送線の微小部分を模式的に表したものである。時刻  $t$ 、往路

上の座標  $x$  の点で流れる電流を  $I(x, t)$  とする。また、復路の電位を基準とする往路の電位を  $u(x, t)$  とし、単位長さ当たりの抵抗、インダクタンス、静電容量をそれぞれ  $R$ 、 $L$ 、 $C$  とする。いま、伝送線の微小部分  $\Delta x$  を考えると、電位差  $\Delta u$  は

$$\begin{aligned}\Delta u &= u(x + \Delta x) - u(x) \approx \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x \\ &= - \left( \boxed{\text{㉞}} \Delta x \right) \frac{\partial I}{\partial t} - (R \Delta x) I\end{aligned}$$

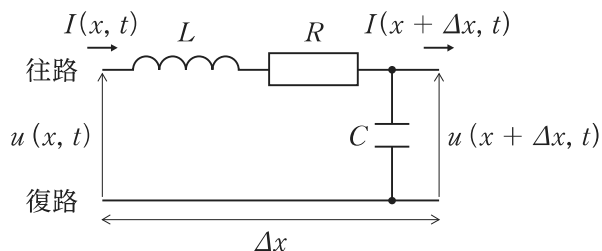
となる。また、電流の変化は

$$\begin{aligned}\Delta I &= I(x + \Delta x) - I(x) \approx \frac{\partial I}{\partial x} \Delta x \\ &= -C \Delta x \frac{\partial u}{\partial t}\end{aligned}$$

となる。これらの方程式を  $\Delta x$  で割り、 $I$  を消去すると、方程式

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \alpha \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

が得られる。ここで、 $c^2 = \boxed{\text{㉠}}$ 、 $\alpha = \boxed{\text{㉡}}$  である。」



- |    | ㉞             | ㉠              | ㉡             |
|----|---------------|----------------|---------------|
| 1. | $\frac{1}{L}$ | $\frac{L}{C}$  | $RL$          |
| 2. | $\frac{1}{L}$ | $\frac{C}{L}$  | $\frac{R}{L}$ |
| 3. | $L$           | $\frac{1}{LC}$ | $\frac{R}{L}$ |
| 4. | $L$           | $\frac{1}{LC}$ | $RL$          |
| 5. | $L$           | $LC$           | $\frac{L}{R}$ |

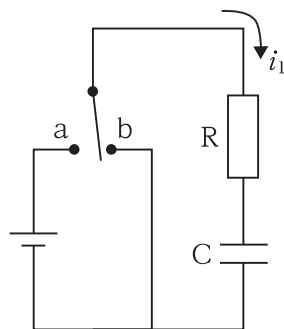




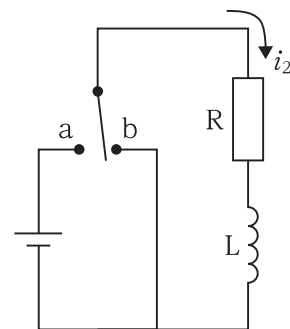




【No. 29】 図Ⅰ、図Ⅱのように、直流電源、抵抗  $R$  と、コンデンサー  $C$  若しくはコイル  $L$  から構成される回路がある。いずれも初めは回路が開いている状態から時刻  $t_1$  にスイッチを  $a$  側に倒し、十分な時間が経過した後、時刻  $t_2$  に  $b$  側に切り替えた。このとき、抵抗  $R$  を図中の矢印方向に流れるそれぞれの電流  $i_1$ 、 $i_2$  の時間変化の組合せとして最も妥当なのはどれか。

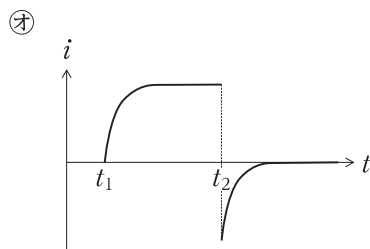
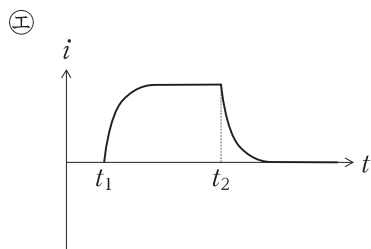
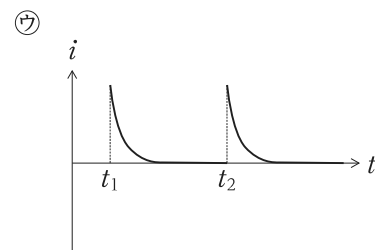
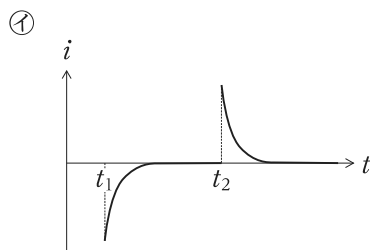
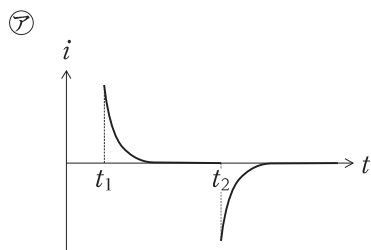


図Ⅰ



図Ⅱ

ただし、初期状態でコンデンサー  $C$  には電荷は蓄えられていないものとする。また、スイッチの切替えは瞬時に行われるものとする。



- |    | $i_1$ | $i_2$ |
|----|-------|-------|
| 1. | ㍑     | ㍣     |
| 2. | ㍑     | ㍢     |
| 3. | ㍠     | ㍣     |
| 4. | ㍠     | ㍢     |
| 5. | ㍡     | ㍣     |

【No. 30】 モーメントの大きさ  $p$  をもつ電気双極子が  $x$  軸の正の向きを向いて原点に置かれている。原点から十分離れた  $xy$  平面上の点  $P(x, y, 0)$  における電位として最も妥当なのはどれか。

ただし、電位は無限遠を基準とする。真空の誘電率を  $\varepsilon_0$  とし、 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  である。また、この電気双極子による電位は、二つの点電荷  $-Q, Q$  をそれぞれ  $(-a, 0, 0), (a, 0, 0)$  に置き、 $2Qa = p$  を一定に保ちながら、 $a \rightarrow 0$  の極限をとったときの電位に等しい。

1.  $\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r}$

2.  $\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

3.  $\frac{px}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$

4.  $\frac{py}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$

5.  $\frac{pxy}{4\pi\varepsilon_0 r^4}$

これ以下は**選択問題**です。

選択問題は No. **31**～No. **50** まであります。

これら **20 題**のうち、任意の **10 題**を選んで解答してください。

解答は、問題番号に該当する答案用紙の番号欄に記入してください。

【No. **31**】 鉛直下向きの一様な重力場中で、質点が滑らかな曲線に沿って、ある点  $O$  から初速度なしで滑り落ちて、与えられた点  $A$  に達するとき、それに要する時間が最小になるような曲線を最速下降線という。点  $O$  を原点とし、水平方向を  $x$  軸、鉛直下向きを  $y$  軸にとる。座標  $(x, y)$  で質点の速さ  $v$  は重力加速度を  $g$  として

$$\frac{v^2}{2} = gy$$

により定まる。点  $A$  の座標を  $(x, y) = (a, b)$ 、2 点  $O, A$  を結ぶ曲線の方程式を  $y = f(x)$  とする。質点が点  $O$  から点  $A$  まで滑り落ちるのに要する時間  $S$  は以下の式で与えられる。

$$S = \int_0^a F(f, f') dx, \quad f' = \frac{df}{dx}$$

このとき、被積分関数  $F$  の関数形として最も妥当なのはどれか。

1.  $\frac{f'}{\sqrt{2gf}}$
2.  $\frac{1 + f'}{\sqrt{2gf}}$
3.  $\frac{f'^2}{\sqrt{2gf}}$
4.  $\sqrt{\frac{1 + f'^2}{2gf}}$
5.  $\sqrt{\frac{1 + f'^2}{2gff'}}$

【No. 32】 質量  $m$  の古典力学に従う粒子  $N$  個からなる理想気体が一様な重力場中にある。鉛直上向きに  $z$  軸を選んだ  $xyz$  座標系をとり、気体は  $0 \leq x \leq L$ ,  $0 \leq y \leq L$ ,  $0 \leq z \leq A$  の領域に閉じ込められているものとする。1 粒子の系で粒子の運動量と位置をそれぞれ  $\mathbf{p}$  と  $\mathbf{r}$  とし、重力加速度の大きさを  $g$  とすると、系のハミルトニアンは

$$H(\mathbf{p}, \mathbf{r}) = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} + mgz$$

と表せる。温度  $T$  の熱平衡状態を考えると、1 粒子の系の分配関数は

$$Z(\beta) = \frac{1}{h^3} \iint d^3\mathbf{p} d^3\mathbf{r} e^{-\beta H(\mathbf{p}, \mathbf{r})}$$

である。ここで、 $\beta$  は逆温度  $\left( = \frac{1}{k_B T} \right)$ 、 $k_B$  はボルツマン定数、 $h$  はプランク定数である。粒子数  $N$  の系の分配関数として最も妥当なのはどれか。

なお、必要ならば、

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx e^{-ax^2} = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \quad (a > 0)$$

を用いてよい。

1.  $\frac{1}{N!} \left( \frac{L^2}{mg} \right)^N (1 - e^{-\beta mgA})^N \left( \frac{2\pi m}{h^2} \right)^{\frac{3N}{2}} \beta^{-\frac{3N}{2}}$
2.  $\frac{1}{N!} \left( \frac{L^2 A}{mg} \right)^N (1 - e^{-\beta mgA})^N \left( \frac{2\pi m}{h^2} \right)^{\frac{3N}{2}} \beta^{-\frac{3N}{2}}$
3.  $\frac{1}{N!} \left( \frac{L^2}{mg} \right)^N (1 - e^{-\beta mgA})^N \left( \frac{2\pi m}{h^2} \right)^{\frac{3N}{2}} \beta^{-\frac{5N}{2}}$
4.  $\frac{1}{N!} \left( \frac{L^2 A}{mg} \right)^N (1 - e^{-\beta mgA})^N \left( \frac{2\pi m}{h^2} \right)^{\frac{3N}{2}} \beta^{-\frac{5N}{2}}$
5.  $\frac{1}{N!} \left( \frac{L^3}{mg} \right)^N (1 - e^{-\beta mgA})^N \left( \frac{2\pi m}{h^2} \right)^{\frac{3N}{2}} \beta^{-\frac{5N}{2}}$

【No. 33】 エントロピーに関する次の記述の㉞、㉟に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「量子力学に従う系のエネルギー固有状態に  $i = 1, 2, \dots$  と番号を付け、そのエネルギー固有値を  $E_i$  とする。この系の温度  $T$  の熱平衡状態を考える。カノニカル分布は  $i$  番目のエネルギー固有状態を取る確率  $p_i$  を

$$p_i = \frac{e^{-\beta E_i}}{Z(\beta)}, \quad Z(\beta) = \sum_{i=1}^{\infty} e^{-\beta E_i}$$

とする確率分布である。ここで、 $\beta$  は逆温度  $\left( = \frac{1}{k_B T} \right)$ 、 $k_B$  はボルツマン定数、 $Z(\beta)$  は分配関数である。この確率分布のシャノンエントロピーは

$$H = - \sum_{i=1}^{\infty} p_i \log_e p_i = \boxed{\text{㉞}} \langle E_i \rangle + \log_e Z(\beta) = \boxed{\text{㉞}} \left( \langle E_i \rangle + \boxed{\text{㉟}} \right)$$

となる。ここで、 $\langle E_i \rangle$  はエネルギーの期待値、 $F(\beta)$  はヘルムホルツ自由エネルギーである。」

- |    | ㉞                 | ㉟                        |
|----|-------------------|--------------------------|
| 1. | $\beta$           | $-F(\beta)$              |
| 2. | $\beta$           | $F(\beta)$               |
| 3. | $\frac{1}{\beta}$ | $-F(\beta)$              |
| 4. | $\frac{1}{\beta}$ | $F(\beta)$               |
| 5. | $\frac{1}{\beta}$ | $\frac{F(\beta)}{\beta}$ |

【No. 34】 量子力学的粒子の 1 次元の散乱問題を考える。ポテンシャル障壁

$$U(x) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ U_0 (> 0) & (0 \leq x) \end{cases}$$

に質量  $m$ 、エネルギー  $E (< U_0)$  の粒子が  $x < 0$  の領域から  $x$  軸の正の向きに入射する。このとき、 $x > 0$  での波動関数として最も妥当なのはどれか。

ただし、 $A, B$  を任意の定数、 $\beta = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$  とする。 $i$  は虚数単位である。

1.  $Ae^{i\beta x} + Be^{-i\beta x}$
2.  $Ae^{i\beta x}$
3.  $Ae^{-i\beta x}$
4.  $Ae^{\beta x} + Be^{-\beta x}$
5.  $Ae^{-\beta x}$

【No. 35】 大きさ 1 の二つのスピン  $\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2$  からなる系があり、系のハミルトニアンが

$$H = -\frac{J}{\hbar^2} \mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2 = -\frac{J}{2\hbar^2} \{(\mathbf{S}_1 + \mathbf{S}_2)^2 - \mathbf{S}_1^2 - \mathbf{S}_2^2\} \quad (J \text{ は定数})$$

であるとする。系のエネルギー固有値のみを、 $J$  を単位として全て挙げたものとして最も妥当なのはどれか。

1.  $0, 1, 2$
2.  $-1, 1, 2$
3.  $-2, 0, 2$
4.  $-1, 0, 1, 2$
5.  $-2, -1, 0, 1, 2$

【No. 36】 次のハミルトニアンをもつ 1 次元の量子力学的調和振動子系を考える。

$$H = \hbar\omega \left( a^\dagger a + \frac{1}{2} \right), \quad [a, a^\dagger] = 1$$

ここで、 $a$ ,  $a^\dagger$  はそれぞれ消滅、生成演算子であり、基底状態  $|0\rangle$  は  $a|0\rangle = 0$  によって与えられる。

$\lambda$  を複素数として、コヒーレント状態を

$$|\lambda\rangle = e^{\lambda a^\dagger} |0\rangle, \quad e^{\lambda a^\dagger} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda^n}{n!} (a^\dagger)^n$$

によって定義し、その時間発展を考える。時刻  $t$  での状態

$$|\lambda, t\rangle = e^{-\frac{i}{\hbar} H t} |\lambda\rangle$$

を計算して求めた結果として最も妥当なのはどれか。

ただし、 $i$  は虚数単位であり、 $\lambda^*$  は  $\lambda$  の複素共役である。なお、必要ならば、

$$e^{-i\omega t a^\dagger} a (a^\dagger)^n |0\rangle = e^{-i\omega t n} (a^\dagger)^n |0\rangle$$

を用いてよい。

1.  $e^{\frac{-i\omega t}{2}} |\lambda\rangle$
2.  $e^{\frac{-i\omega t}{2}} |\lambda \cos \omega t\rangle$
3.  $e^{\frac{-i\omega t}{2}} |\lambda e^{-i\omega t}\rangle$
4.  $e^{\frac{-i\omega t}{2}} e^{\lambda(1+\omega t) a^\dagger} |0\rangle$
5.  $e^{\frac{-i\omega t}{2}} |\lambda e^{-i\omega t} + \lambda^* e^{i\omega t}\rangle$

【No. 37】 固体の格子振動による比熱に関する次の記述の㉞、㉟に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「格子振動を独立な振動モードの量子力学的調和振動子の集まりとみなして、その比熱を考える。振動モードに  $s = 1, 2, \dots$  と番号をふり、モード  $s$ 、波数  $\mathbf{k}$  の調和振動子の角振動数を  $\omega_{s,\mathbf{k}}$  とする。カノニカル分布を用いると、温度  $T$  の熱平衡状態のエネルギーは

$$U(T) = \sum_s \sum_{\mathbf{k}} \frac{\hbar \omega_{s,\mathbf{k}}}{e^{\hbar \omega_{s,\mathbf{k}}/k_B T} - 1}$$

である。ただし、 $k_B$  はボルツマン定数で、ゼロ点振動のエネルギーは除いた。アインシュタインモデルは全ての調和振動子が同じ角振動数  $\omega$  をもつとするモデルで、このとき比熱は低温で

$$C(T) \cong A \quad \boxed{\text{㉞}}$$

という温度依存性をもつ。ここで、 $A$  は温度に依らない定数である。デ바이は、低温では長波長の音響モードの寄与が支配的になることを考慮してモデルを改良し、低温で  $\boxed{\text{㉟}}$  に比例する比熱を得た。」

- |                                            | ㉞                           | ㉟     |
|--------------------------------------------|-----------------------------|-------|
| 1. $e^{-\hbar \omega/k_B T}$               |                             | $T$   |
| 2. $e^{-\hbar \omega/k_B T}$               |                             | $T^3$ |
| 3. $\frac{1}{T^2} e^{-\hbar \omega/k_B T}$ |                             | $T$   |
| 4. $\frac{1}{T^2} e^{-\hbar \omega/k_B T}$ |                             | $T^3$ |
| 5. $\frac{1}{T^2} e^{-\hbar \omega/k_B T}$ | $T e^{-\hbar \omega/k_B T}$ |       |

【No. 38】 相対論的に運動する静止質量  $m_0$  の自由粒子の作用  $S$  は以下で与えられる。

$$S = \int L dt, \quad L = -m_0 c^2 \sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}}, \quad \vec{v} = \frac{d\vec{x}(t)}{dt}$$

ここで、 $\vec{x}(t) = (x(t), y(t), z(t))$  は粒子の位置、 $t$  は時刻、 $c$  は光速である。この粒子が従う Euler-Lagrange の方程式

$$\frac{\partial L}{\partial \vec{x}} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \vec{v}} \right)$$

として最も妥当なのはどれか。

1.  $m_0 \frac{d\vec{v}}{dt} = 0$

2.  $\frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}}} \right) = 0$

3.  $m_0 c^2 \frac{d}{dt} \sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}} = 0$

4.  $\frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}}} \right) = 0$

5.  $m_0 \vec{v} \frac{d}{dt} \sqrt{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}} = 0$

【No. 39】 放射性物質の利用に関する次の記述の㉞、㉟に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「テクネチウム  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  は医療画像用に一般的に用いられる放射性同位元素である。この同位元素は、親核種 ㉞ から生成されている。㉞ は半減期 66 時間で  $\beta$  線を放出して準安定状態のテクネチウム  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  となる。生成された  $^{99m}_{43}\text{Tc}$  は化学処理で分離されて利用されるが、半減期 6 時間で主に 141 keV の ㉟ を放出して安定な  $^{99}_{43}\text{Tc}$  になる。」

- |                          | ㉞ | ㉟          |
|--------------------------|---|------------|
| 1. $^{99}_{42}\text{Mo}$ |   | 陽電子        |
| 2. $^{99}_{42}\text{Mo}$ |   | $\gamma$ 線 |
| 3. $^{99}_{44}\text{Ru}$ |   | 陽電子        |
| 4. $^{99}_{44}\text{Ru}$ |   | $\gamma$ 線 |
| 5. $^{99}_{44}\text{Ru}$ |   | X 線        |

【No. 40】 質量  $M$  のブラックホールの周りの定常静的球対称な時空間は、計量

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)(cdt)^2 + \frac{1}{1 - \frac{r_g}{r}}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

で記述される。ここで、 $c$  は光速、 $G$  はニュートンの重力定数である。 $(ct, r, \theta, \varphi)$  は 4 次元時空間を記述する座標で、 $t$  は時間座標、 $r$  は動径座標であり、 $r = 0$  はブラックホールの中心に対応する。 $\theta, \varphi$  はブラックホールの中心から見た通常の 3 次元極座標の方向角である。

$ds$  は、座標値の微小な変化  $dt, dr, d\theta, d\varphi$  に対応する世界間隔であり、 $dt = 0$  にとれば  $dr, d\theta, d\varphi$  に対応する 2 点  $(r, \theta, \varphi), (r + dr, \theta + d\theta, \varphi + d\varphi)$  の間の実際の距離を表す。有限に離れた 2 点間の距離  $L$  は、これを積分することによって与えられる。すなわち、

$$L = \int ds$$

である。同じ方向角  $(\theta, \varphi)$  をもつ 2 点  $A(r_1, \theta, \varphi), B(r_2, \theta, \varphi)$  の間の実際の距離  $L$  が満たす式として最も妥当なのはどれか。

ただし、 $r_1 < r_2$  とする。

1.  $L = 0$
2.  $L < r_2 - r_1$
3.  $L = r_2 - r_1$
4.  $L > r_2 - r_1$
5.  $L \sim \infty$

【No. 41】 気温の高さ方向の変化にマイナスの符号を付けたものを気温減率と呼ぶ。例えば、標準大気の気温減率は  $0.0065\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$  である。

気温減率  $\Gamma$  の大気が、絶対安定である場合を考える。絶対安定とは、空気塊が飽和しているかどうかに関係なく、空気塊が上昇した場合に周囲よりも密度が大きくなり下向きに復元力が働く状態である。乾燥断熱減率を  $\Gamma_d$ 、湿潤断熱減率を  $\Gamma_m$  としたとき、 $\Gamma$ 、 $\Gamma_d$ 、 $\Gamma_m$  の関係として最も妥当なのはどれか。

ここで、乾燥断熱減率とは乾燥した空気塊が断熱的に上昇するときの気温減率、湿潤断熱減率とは水蒸気で飽和している空気塊が断熱的に上昇するときの気温減率であり、いずれも正の値である。

1.  $\Gamma < \Gamma_m < \Gamma_d$
2.  $\Gamma < \Gamma_d < \Gamma_m$
3.  $\Gamma_m < \Gamma < \Gamma_d$
4.  $\Gamma_m < \Gamma_d < \Gamma$
5.  $\Gamma_d < \Gamma_m < \Gamma$

【No. 42】 標高 100 m において気温  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  の空気塊がある。この空気塊が断熱的に上昇したところ、標高 1700 m を雲底高度とする雲が発生した。この空気塊の標高 100 m における露点温度として最も妥当なのはどれか。

ただし、乾燥断熱減率は  $0.010\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$  とする。また、露点温度は標高が 1 m 上がるごとに  $0.0020\text{ }^{\circ}\text{C}$  下がるものとする。

1.  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
2.  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$
3.  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$
5.  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$

【No. 43】 惑星波(ロスビー波)に関する次の記述の㉑～㉕に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「地球上(座標系は球座標)を非圧縮性流体が一定の深さで覆うものと近似して、水平面(球面)内の二次元運動を考える。このとき、㉑ 渦度の鉛直成分に対する保存則は

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + \mathbf{v} \cdot \nabla (\nabla^2 \psi + 2\Omega \sin \varphi) = 0$$

と書くことができる。ここで、 $t$ は時間、 $\psi$ は流線関数、 $\Omega$ は自転角速度、 $\varphi$ は緯度であり、 $\mathbf{v}$ は $\psi$ から導かれる速度である。簡単のため、緯度 $\varphi_0$ の点の接平面上に局所直角座標をとり、 $x$ を東向き座標、 $y$ を北向き座標、 $a$ を地球の半径として上式の近似式を作ると

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + \frac{\partial(\psi, \nabla^2 \psi)}{\partial(x, y)} + \beta \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0$$

となる。ここで、 $\beta = \left[ \frac{\partial(2\Omega \sin \varphi)}{\partial y} \right]_{\varphi_0} = \text{㉒}$ である。この式は $\exp[i(kx + ly - \omega t)]$ という形の波動解をもち、その分散関係は次のようになる：㉓。ここで、 $i$ は虚数単位、 $k$ は $x$ 方向の波数、 $l$ は $y$ 方向の波数、 $\omega$ は周波数である。分散関係が示すように、位相速度は㉔向きに限られる。」

| ㉑     | ㉒                                           | ㉓                                     | ㉔ |
|-------|---------------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1. 絶対 | $\frac{2\Omega \cos \varphi_0}{a}$          | $\omega = -\frac{\beta k}{k^2 + l^2}$ | 西 |
| 2. 絶対 | $\frac{2\Omega \cos \varphi_0}{a}$          | $\omega = \frac{\beta k}{k^2 + l^2}$  | 東 |
| 3. 惑星 | $\frac{2\Omega \cos \varphi_0}{a\varphi_0}$ | $\omega = -\frac{\beta k}{k^2 + l^2}$ | 西 |
| 4. 惑星 | $\frac{2\Omega \cos \varphi_0}{a}$          | $\omega = -\frac{\beta k}{k^2 + l^2}$ | 東 |
| 5. 相対 | $\frac{2\Omega \cos \varphi_0}{a\varphi_0}$ | $\omega = \frac{\beta k}{k^2 + l^2}$  | 東 |

【No. 44】 静水圧バランスと地衡風バランスを満たす大気の温度風に関する記述㉖～㉚のうち、妥当なもののみを挙げているのはどれか。

なお、上層の水平風ベクトルから下層の水平風ベクトルを引いたものを鉛直シアと呼ぶ。例えば、下層よりも上層で西風(東向きの風)が強い場合は、鉛直シアは東向きとなる。

- ㉖ 平均的に北ほど温度が低くなる北半球の中緯度では、鉛直シアは西向きとなる。
- ㉗ 温度の南北勾配の大きさが同じ場合、緯度が高いほど東西方向の鉛直シアは小さくなる。
- ㉘ 平均的に北ほど温度が高くなる南半球の中緯度では、鉛直シアは西向きとなる。
- ㉙ 北半球で局所的に北ほど温度が高くなる場所では、鉛直シアは西向きとなる。

1. ㉖、㉗
2. ㉖、㉘
3. ㉗、㉘
4. ㉗、㉙
5. ㉘、㉙

【No. 45】 海洋における波に関する次の記述の㉗～㉝に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「重力を復元力として水面を伝わる微小振幅の波の位相速度  $C$  は、

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh}$$

で表せる。ここで、 $k$  は波数であり、波長を  $\lambda$  とすると、 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  である。また、 $g$  は重力加速度の大きさ、 $h$  は水深である。

波長が水深に比べて十分に小さい場合の位相速度は、 $\tanh$  の性質から ㉗ で近似できる。実際の海洋での波では ㉙ がその例である。一方、波長が水深に比べて非常に大きい場合の位相速度は同様に ㉜ で近似できる。㉝ がその例である。」

| ㉗                       | ㉙   | ㉜                    | ㉝   |
|-------------------------|-----|----------------------|-----|
| 1. $\sqrt{gh}$          | うねり | $\sqrt{\frac{g}{k}}$ | 津波  |
| 2. $\sqrt{gh}$          | 津波  | $\sqrt{\frac{g}{k}}$ | うねり |
| 3. $\sqrt{\frac{g}{k}}$ | うねり | $\sqrt{gh}$          | 津波  |
| 4. $\sqrt{\frac{g}{k}}$ | 津波  | $\sqrt{gh}$          | うねり |
| 5. $\sqrt{\frac{g}{k}}$ | 津波  | $\sqrt{2gh}$         | うねり |

【No. 46】 黒潮に関する次の記述の㉗～㉞に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「黒潮は海洋の亜熱帯循環の一部分として太平洋の西端を低緯度から高緯度の方へ流れる大海流である。北赤道海流の続きとして  東方から北上し、九州の南から本州南岸に沿って流れ、北太平洋海流につながる。流れの幅は 100～200 km、厚さは  m で、表面流速は平均 1.5 m/s 程度であるが、2.5 m/s 近くに達することもある。高温(夏季で 30℃ に近い)、 (冬季には 3.48 %)で、水色が濃藍色であるところから黒潮の名が付けられた。安定した流路が二つあるのが大きな特徴で、一つは日本の南岸に沿って直進し、もう一つは紀州沖にかけて南側に大きく迂回する。後者は大蛇行と呼ばれ、その内側は反時計回りの  渦を形成している。この渦は大  塊とも呼ばれ、気象や漁場に影響を与える。」

|    | ㉗     | ㉘  | ㉙   | ㉚  |
|----|-------|----|-----|----|
| 1. | 沖縄    | 数十 | 高塩分 | 暖水 |
| 2. | 沖縄    | 数百 | 低塩分 | 冷水 |
| 3. | フィリピン | 数十 | 低塩分 | 暖水 |
| 4. | フィリピン | 数百 | 高塩分 | 冷水 |
| 5. | フィリピン | 数百 | 低塩分 | 冷水 |

【No. 47】 海洋のエクマン境界層に関する次の記述の㉗、㉘、㉙に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。ただし、鉛直渦動粘性係数は一定と考える。

「海上風により海面に応力が与えられると、北半球ではエクマン境界層内での流れは深さとともに  に向きを変えながら減衰する構造(エクマンらせん)をもつ。鉛直渦動粘性係数の値が大きくなった場合、エクマン境界層の厚さは  なる。エクマン境界層内の流れを鉛直平均すると、応力の向きに直交する流れとなる。海上風が反時計回りの応力(正のトルク)を与える場合、鉛直平均した流れは水平方向に  する場となる。」

|    | ㉗     | ㉘   | ㉙  |
|----|-------|-----|----|
| 1. | 時計回り  | 大きく | 収束 |
| 2. | 時計回り  | 大きく | 発散 |
| 3. | 時計回り  | 小さく | 収束 |
| 4. | 反時計回り | 大きく | 収束 |
| 5. | 反時計回り | 小さく | 発散 |

【No. 48】 プレートテクトニクス及びそれと関係する事柄に関する記述㉖～㉙のうち、妥当なもののみを全て挙げているのはどれか。

- ㉖ 2011 年の東北地方太平洋沖地震のモーメントマグニチュードは 9.0 であった。この地震のエネルギーは、モーメントマグニチュード 8.0 の地震の約 1000 倍である。
- ㉗ 一般に、中小地震に比べて、大地震の方が地震波の卓越周波数は高くなる。
- ㉘ 日本海溝など陸のプレートの下に海洋プレートが沈み込む場所において、その二つのプレートの境界で発生する大地震の典型的なメカニズムは逆断層型である。
- ㉙ 現在、日本海溝に沈み込んでいる太平洋プレートはおよそ 3000 万年前に東太平洋海膨(海嶺)で誕生したものである。
- ㉚ 日本周辺では 300 km より深い場所でも地震が発生している。

- 1. ㉖、㉗
- 2. ㉖、㉘、㉚
- 3. ㉗、㉘
- 4. ㉘、㉙
- 5. ㉘、㉚

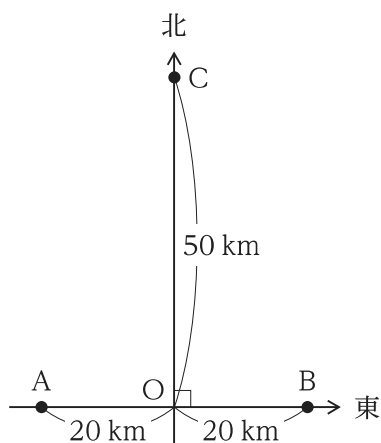
【No. 49】 火山に関する次の記述の㉛～㉞に当てはまるものの組合せとして最も妥当なのはどれか。

「火山の地形的な特徴は、噴出物の種類や性質によって異なる。流動性の高いマグマが ㉛ として繰り返し噴出すると、傾斜のゆるい溶岩台地や ㉜ が発達する。溶岩流とテフラが交互に堆積して大規模な山体を形成するのが ㉝ である。流動性の低いマグマは、噴出して ㉞ を造る。」

- |    | ㉛   | ㉜     | ㉝    | ㉞     |
|----|-----|-------|------|-------|
| 1. | 溶岩流 | 盾状火山  | 成層火山 | 溶岩ドーム |
| 2. | 溶岩流 | 盾状火山  | 成層火山 | 噴石丘   |
| 3. | 溶岩流 | 溶岩ドーム | 盾状火山 | 噴石丘   |
| 4. | テフラ | 溶岩ドーム | 成層火山 | 盾状火山  |
| 5. | テフラ | 噴石丘   | 盾状火山 | 溶岩ドーム |

【No. 50】 図のような位置にある地表の観測点 A、B、C において、ある地震の初期微動継続時間 (P 波と S 波の到達時間の差) が、それぞれ 5 秒、5 秒、7 秒であったとする。この地震の震央 (震源の真上にあたる地表の点) は観測点 C からおよそ何 km 離れているか。

ただし、P 波と S 波の速度は一定とし、それぞれ  $6.0 \text{ km/s}$ 、 $3.0 \text{ km/s}$  とする。



1. 23 km
2. 28 km
3. 33 km
4. 38 km
5. 43 km

G1－2024 物理 専門（多肢選択式）

正答番号表

| No | 正答 | No | 正答 | No | 正答 |
|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 3  | 21 | 3  | 41 | 1  |
| 2  | 5  | 22 | 5  | 42 | 2  |
| 3  | 5  | 23 | 4  | 43 | 1  |
| 4  | 3  | 24 | 2  | 44 | 4  |
| 5  | 3  | 25 | 5  | 45 | 3  |
| 6  | 1  | 26 | 2  | 46 | 4  |
| 7  | 4  | 27 | 1  | 47 | 2  |
| 8  | 3  | 28 | 3  | 48 | 5  |
| 9  | 1  | 29 | 1  | 49 | 1  |
| 10 | 2  | 30 | 3  | 50 | 4  |
| 11 | 3  | 31 | 4  |    |    |
| 12 | 1  | 32 | 3  |    |    |
| 13 | 4  | 33 | 1  |    |    |
| 14 | 5  | 34 | 5  |    |    |
| 15 | 2  | 35 | 2  |    |    |
| 16 | 5  | 36 | 3  |    |    |
| 17 | 2  | 37 | 4  |    |    |
| 18 | 2  | 38 | 4  |    |    |
| 19 | 5  | 39 | 2  |    |    |
| 20 | 1  | 40 | 4  |    |    |