

正解は各問の選択肢の中から1つだけ選び、その番号をマークシートにマークすること。正解が数値の場合には、選択肢の中から最も近い値を選ぶこと。学生番号、氏名を指定された方法でマークシートの所定の欄に記入すること。

問1 (力) = (質量) × (加速度) 及び (仕事) = (力) × (距離) の関係を考慮して、仕事の次元 (ディメンション) を求めよ。ここで、距離を L 、質量を M 、時間を T で表す。

$M^1 L^0 T^{-2}$	$M^1 L^0 T^{-1}$	$M^1 L^1 T^{-2}$	$M^1 L^1 T^{-1}$
$M^1 L^2 T^{-1}$	$M^1 L^2 T^{-2}$	$M^2 L^2 T^{-2}$	$M^2 L^2 T^{-1}$

問2 3次元空間中を質量 m の質点が運動している。その位置ベクトル \mathbf{r} が時間 t の関数として、

$$\mathbf{r}(t) = \cos \omega t \mathbf{i} + \sin \omega t \mathbf{j} + t \mathbf{k}$$

と表されるとき、角運動量ベクトル $\mathbf{L}(t) = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$ の x 成分を求めよ。ただし、 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ は、それぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸方向の単位ベクトルである。 \mathbf{v} は速度である。

$m(\sin \omega t + \omega t \cos \omega t)$	$m(\sin \omega t - \omega t \cos \omega t)$
$m(\sin \omega t + t \cos \omega t)$	$m(\sin \omega t - t \cos \omega t)$
$m(\cos \omega t + \omega t \sin \omega t)$	$m(\cos \omega t - \omega t \sin \omega t)$
$m(\cos \omega t + t \sin \omega t)$	$m(\cos \omega t - t \sin \omega t)$

問3 質量 m の質点が3次元空間中を運動している。その位置ベクトル \mathbf{r} は、時間 t の関数として、

$$\mathbf{r}(t) = \sin 2t \mathbf{i} + 3e^{-t} \mathbf{j} + t^2 \mathbf{k}$$

と与えられている。この質点の運動量 \mathbf{p} の時間微分 $\frac{d\mathbf{p}}{dt}$ を求めよ。ただし、

$\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ は、それぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸方向の単位ベクトルである。

$m \cos 2t \mathbf{i} + 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$	$-m \cos 2t \mathbf{i} - 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$
$4m \cos 2t \mathbf{i} + 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$	$-4m \cos 2t \mathbf{i} + 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$
$m \sin 2t \mathbf{i} + 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$	$-m \sin 2t \mathbf{i} - 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$
$4m \sin 2t \mathbf{i} + 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$	$-4m \sin 2t \mathbf{i} + 3m e^{-t} \mathbf{j} + 2m \mathbf{k}$

問4 質量 m の質点が直線上を運動している。質点には速度に比例する抵抗力 $\mathbf{F} = -k\mathbf{v}$ が作用している。質点の運動方向に x 軸をとる。時刻 $t = 0$ で質点は座標の原点にあり、その速度は $\mathbf{v} = 2\mathbf{i}$ であった。ただし、 \mathbf{i} は x 軸方向の単位ベクトルである。また、 $k > 0$ は定数である。運動方程式を解き、速度ベクトル \mathbf{v} を時間 t の関数として求めよ。

$\mathbf{v}(t) = 2e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$	$\mathbf{v}(t) = -2e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$	$\mathbf{v}(t) = e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$	$\mathbf{v}(t) = -e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$
$\mathbf{v}(t) = \frac{kt}{m} e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$	$\mathbf{v}(t) = -\frac{kt}{m} e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$	$\mathbf{v}(t) = \frac{k}{m} e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$	$\mathbf{v}(t) = -\frac{k}{m} e^{-\frac{kt}{m}} \mathbf{i}$

問5 質量 m の質点が3次元空間中を運動している。質点には保存力 F が作用しており、その力のポテンシャルが $\phi(x, y, z) = cxyz$ と表される。この質点が $r_1 = x_1i + y_1j + z_1k$ から $r_2 = x_2i + y_2j + z_2k$ まで移動した。運動エネルギーの変化(位置 r_2 での運動エネルギーから位置 r_1 における運動エネルギーを引いた値)を求めよ。ただし、 i, j, k は、それぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸方向の単位ベクトルである。 c は定数である。

$c(x_1y_1z_1 - x_2y_2z_2)$	$c(x_1y_1z_1 + x_2y_2z_2)$	$-c(x_1y_1z_1 + x_2y_2z_2)$
$-c(x_1y_1z_1 - x_2y_2z_2)$	$mc(x_1y_1z_1 + x_2y_2z_2)$	$mc(x_1y_1z_1 - x_2y_2z_2)$
$-mc(x_1y_1z_1 - x_2y_2z_2)$	$-mc(x_1y_1z_1 + x_2y_2z_2)$	

問6 1次元波動方程式、 $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ に従う波がある。ただし、 c は正の定数である。この波の振幅は3[m]、波長は4[m]、周波数(振動数)は500[Hz]であることが知られた。 c の値はいくらか。

2000[m/s]	1500[m/s]	200[m/s]	150[m/s]
1/2000[s/m]	1/1500[s/m]	1/200[s/m]	1/150[s/m]

問7 絶対屈折率(真空に対する屈折率) n_1 の媒質1と絶対屈折率 n_2 の媒質2が接している。その界面は平面である。媒質1から媒質2へ波が伝播している。この界面での媒質1に対する媒質2の相対屈折率 n_{12} 及び臨界角 θ_c に関する以下の関係のうち正しいものはどれか。ただし、 $n_1 > n_2$ とする。

$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$	$\sin \theta_c = \frac{1}{n_{12}}$	$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$	$\cos \theta_c = \frac{1}{n_{12}}$
$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$	$\tan \theta_c = n_{12}$	$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$	$\tan \theta_c = \frac{1}{n_{12}}$
$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$	$\sin \theta_c = n_{12}$	$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$	$\cos \theta_c = n_{12}$
$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$	$\tan \theta_c = n_{12}$	$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$	$\tan \theta_c = \frac{1}{n_{12}}$

問8 温度300[K]の単原子理想気体がある。1つの単原子分子の平均の運動エネルギー[J]を有効数字1桁で計算し(有効数字2桁目以降切り捨て)、その数値を示せ。ただし、単原子分子の質量を 2×10^{-26} [kg]、気体定数を8 [J/(mol · K)]、アボガドロ数を 6×10^{23} [/mol] とする。

1 × 10 ⁻²¹	2 × 10 ⁻²¹	3 × 10 ⁻²¹	4 × 10 ⁻²¹	5 × 10 ⁻²¹	6 × 10 ⁻²¹
7 × 10 ⁻²¹	8 × 10 ⁻²¹	9 × 10 ⁻²¹			

問9 2モルの理想気体が等圧変化により膨張した。最初、気体は温度が500[K]、体積が2 [m³]であったが、等圧変化後に体積が4 [m³]になった。この過程は準静的過程である。この気体が外部にした仕事[J]を有効数字1桁で計算し(有効数字2桁目以降切り捨て)、その数値を示せ。ただし、気体定数を8 [J/(mol · K)]、アボガドロ数を 6×10^{23} [/mol] とする。

1 × 10 ³	2 × 10 ³	3 × 10 ³	4 × 10 ³	5 × 10 ³	6 × 10 ³	7 × 10 ³
8 × 10 ³	9 × 10 ³					

問 10 高温熱源 500[K]，低温熱源 100[K]を用いて運転されるカルノーサイクルの効率を有効数字 1 桁で計算し（有効数字 2 桁目以降切り捨て），その数値を示せ。ただし，気体定数を $8 \text{ [J/(mol} \cdot \text{K)]}$ ，アボガドロ数を $6 \times 10^{23} \text{ [/mol]}$ とする。

- 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7
 0.8 0.9

問 11 理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ である。ここで， R は気体定数である。2 [mol] の理想気体が体積が一定の条件で暖められその温度が T_1 から T_2 まで上昇した。この過程は準静的過程である。この過程における理想気体のエントロピー [J/K] の変化を与える式として，正しいものを選択せよ。

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{3R}{2T} dT \quad - \int_{T_1}^{T_2} \frac{3R}{2T} dT \quad \int_{T_1}^{T_2} \frac{3R}{T} dT \quad - \int_{T_1}^{T_2} \frac{3R}{T} dT$$

$$\frac{3R}{2}(T_2 - T_1) \quad 3R(T_2 - T_1) \quad \frac{3R}{2} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad 3R \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

問 12 単原子分子理想気体がある。この気体の分子の速さ（速度の大きさ） v の分布はマックスウェル

分布に従っており， $\varphi(v) = 4\pi n v^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$ で与えられる。ここで， m は分子の質量， k はボルツ

マン定数 T は温度である。分布の最大値を与える v の表式として正しいもの示せ。

$$\left(\frac{2kT}{m} \right)^{-3/2} \quad \left(\frac{2kT}{m} \right)^{-1/2} \quad \left(\frac{2kT}{m} \right)^{1/2} \quad \left(\frac{2kT}{m} \right)^{3/2}$$

$$\left(\frac{kT}{2m} \right)^{-3/2} \quad \left(\frac{kT}{2m} \right)^{-1/2} \quad \left(\frac{kT}{2m} \right)^{1/2} \quad \left(\frac{kT}{2m} \right)^{3/2}$$

問 13 真空中で直交座標の点 (0,0,2) に電気量 q [C] の電荷がおかれている。点 (-1,0,0) における電界の z 成分は E_z [N/C] はいくらか。ただし，真空の誘電率は ϵ_0 [F/m]，座標の数値の単位はメートル [m] である。

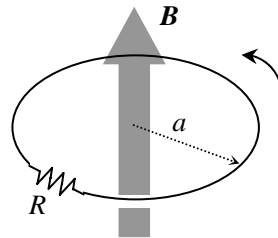
$$\frac{q}{10\sqrt{5}\pi \epsilon_0} \quad \frac{q}{20\pi \epsilon_0} \quad \frac{q}{20\sqrt{5}\pi \epsilon_0}$$

$$-\frac{q}{10\sqrt{5}\pi \epsilon_0} \quad -\frac{q}{20\pi \epsilon_0} \quad -\frac{q}{20\sqrt{5}\pi \epsilon_0}$$

問 14 真空中のある場所を電流密度 i [A/m²] の定常な電流が流れている。この場所における磁束密度を B [T] とすると、 i と B との間にはどのような関係があるか。ただし、真空の透磁率は μ_0 [H/m] とする。

$$\begin{array}{lll} \text{div } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{i} & \text{div } \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{i} & \text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{i} \\ \text{rot } \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{i} & \text{grad } \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{i} & \text{grad } \mathbf{B} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{i} \end{array}$$

問 15 下図のように、真空中に置かれた半径 a [m] の円周状の導線に R [Ω] の抵抗が接続されている。この円周状の回路を垂直に貫く磁束密度 $B(t)$ [T] = $B_0 \sin(\omega t)$ [T] の一様な磁界があるとき、回路を流れる電流を求めよ。ただし、電流の向きは図の ↺ の向きを正とする。また、 ω [1/s] は定数、 t [s] は時間、また真空の透磁率は μ_0 [H/m] である。



$$\begin{array}{lll} \frac{2\pi a}{R} B_0 \sin(\omega t) & -\frac{2\pi a}{R} B_0 \omega \cos(\omega t) & \frac{\pi a^2}{R} B_0 \sin(\omega t) \\ -\frac{\pi a^2}{R} B_0 \omega \cos(\omega t) & \frac{4\pi a^2}{R} B_0 \sin(\omega t) & -\frac{4\pi a^2}{R} B_0 \omega \cos(\omega t) \end{array}$$

問 16 真空中のマックスウェル方程式 (積分形) のうち、ガウスの法則に対応するものはつぎのうちどれか。ただし ρ [C/m³] は電荷密度、 ϵ_0 [F/m] は真空の誘電率、 E [V/m] は電界を表す。また、 \int 記号における下添え字 V は注目する領域内部の体積分、添え字 S は領域表面の面積分、添え字 C は領域の周を経路とする線積分を表す。

$$\begin{array}{lll} \int_C \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \rho dV & \int_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \rho dV & \int_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \epsilon_0 \int_V \rho dV \\ \int_S \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \rho dV & \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \rho dV & \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \epsilon_0 \int_V \rho dV \end{array}$$

問 17 真空中を z 軸方向に伝搬する電場成分 $E_x[\text{N/C}] = E_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} z - 2\pi \nu t\right)[\text{N/C}]$, 磁場成分

$B_y[\text{T}] = B_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} z - 2\pi \nu t\right)[\text{T}]$ の電磁波が存在する。ここで $\lambda[\text{m}]$ は波長, $\nu[1/\text{s}]$ は周波数, $t[\text{s}]$ は時間, $E_0[\text{N/C}]$ 及び $B_0[\text{T}]$ は定数である。電場に対する波動方程式はどのように表せるか。ただし, 真空の誘電率は $\epsilon_0[\text{F/m}]$, 透磁率は $\mu_0[\text{H/m}]$ とする。

$$\begin{array}{ccc} \frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} & \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} & \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_x}{\partial t} \\ \frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} & \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} & \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} \end{array}$$

問 18 質量 m の物体が速度 v で運動している。相対性理論を考慮した時の物体の全エネルギーを E とすると。 E はどのように表現されるか。ただし, c は光速, $\beta \equiv v/c$ である。

$$\begin{array}{ccc} E = \frac{mc}{\sqrt{1+\beta}} & E = \frac{mc}{\sqrt{1+\beta^2}} & E = \frac{mc^2}{\sqrt{1+\beta^2}} \\ E = \frac{mc}{\sqrt{1-\beta}} & E = \frac{mc}{\sqrt{1-\beta^2}} & E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{array}$$

問 19 金属に光を照射したところ光電効果によって電子が飛び出す現象が観測された。以下の記述で正しいものを選び。

- 照射光の波長を長くしたところ, 飛び出す電子の数が増加した。
- 照射光の波長を短くしたところ, 飛び出す電子の数が増加した。
- 照射光の波長を長くしたところ, 飛び出す電子のエネルギーが増加した。
- 照射光の波長を短くしたところ, 飛び出す電子のエネルギーが増加した。
- 照射光の強度を強くしたところ, 飛び出す電子のエネルギーが増加した。
- 照射光の強度を弱くしたところ, 飛び出す電子のエネルギーが増加した。

問 20 不確定性関係(不確定性原理)を示す正しい式を選び。ただし, プランク定数を h , 時間, 位置, 速度, 運動量及びエネルギーの不確定度(平均値からのずれの程度)をそれぞれ, Δt , Δx , Δv , Δp , ΔE とする。

$$\begin{array}{ccc} \Delta x \Delta E \sim h & \Delta x \Delta t \sim h & \Delta x \Delta p \sim h \\ \Delta p \Delta E \sim h & \Delta v \Delta t \sim h & \Delta v \Delta E \sim h \end{array}$$