

# 1

次の問いに答えなさい（配点55）

- (1) 光電効果の実験に関して、照射する光の振幅を変化させるとどのような変化が起きるか。「電子の個数」と「電子のエネルギー」という言葉を用いて説明しなさい。
- (2) 振動数  $\nu$  の光に関する光量子仮説を説明しなさい。ただし、光速を  $c$ 、プランク定数を  $h$  としなさい。
- (3) ボルンの規則について説明しなさい。
- (4) エネルギー固有値とエネルギー固有状態について説明しなさい。
- (5) トンネル効果について説明しなさい。
- (6) 自由電子モデルについて説明しなさい。
- (7) クローニッヒ・ペニーモデルについて説明しなさい。
- (8) フェルミ準位について説明しなさい。
- (9) 絶縁体の特性を、フェルミ準位とエネルギーバンドの観点から説明しなさい。
- (10) 半導体での抵抗率の温度依存性について、エネルギーバンドとの関係から説明しなさい。
- (11) 調和振動子のエネルギー固有値がもつ性質を答え、その性質によりエネルギーの増減をどのようにみなすことができるか説明しなさい。

# 2

次の問いに答えなさい（配点45）

- (1) 波長  $\lambda = 3.3 \times 10^{-8} \text{ m}$  の光子の運動量  $(\text{kg} \cdot \text{m/s})$  を求めなさい。ただし、プランク定数を  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  としなさい。
- (2) 金属に光を照射したところ、振動数が  $\nu_0 = 4.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$  よりも小さい光では電子が離脱しなかった。このとき、この金属の仕事関数  $(\text{eV})$  を有効数字2桁で求めなさい。ただし、プランク定数を  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$  としなさい。
- (3) 質量が  $m = 1.0 \times 10^{-30} \text{ kg}$ 、速度が  $v = 6.0 \times 10^6 \text{ m/s}$  である粒子について、ド・ブロイ波長  $(\text{m})$  を有効数字2桁で求めなさい。ただし、プランク定数を  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  としなさい。
- (4) ベクトル  $|\psi\rangle = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2-i \\ 2 \end{pmatrix}$ 、 $|\varphi\rangle = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -1 \\ 3i \end{pmatrix}$  について、 $\langle\varphi|\psi\rangle$  を求めなさい。

- (5) ベクトル  $\begin{pmatrix} 3+2i \\ -i \end{pmatrix}$  を規格化しなさい。
- (6) 演算子  $\hat{Y}$  の固有値を  $y$ , 固有値  $y$  に属する固有状態を  $|y\rangle$  とするとき,  $\hat{Y}$ ,  $y$ ,  $|y\rangle$  の間に成り立つ関係式を書きなさい。
- (7) 状態  $|\psi\rangle$  が可換測量  $\hat{Q}$  の固有状態の重ね合わせ  $|\psi\rangle = -\frac{1}{\sqrt{2}}|q_1\rangle + \frac{1-i}{2\sqrt{2}}|q_2\rangle + \frac{i}{2}|q_3\rangle$  と表せるとき, 固有値  $q_2$  を測定値として得る確率を求めなさい。
- (8) プランク定数を  $h$ , ハミルトニアンを  $\hat{H}$ , 状態ベクトルを  $|\psi(t)\rangle$  として, (時間依存する) シュレディンガー方程式を書きなさい。
- (9) ハミルトニアンを  $\hat{H}$ , エネルギー固有値を  $E_m, E_n$  に属するエネルギー固有状態を  $|n\rangle$  として, 定常状態のシュレディンガー方程式を書きなさい。
- (10) 定常状態の波動関数  $\varphi(x)$  について, シュレディンガー方程式を書きなさい。ただし, ディラック定数を  $\hbar$ , 粒子の質量を  $m$ , ポテンシャルエネルギーを  $V(x)$ , エネルギー固有値を  $E$  としなさい。
- (11) 位置エネルギー  $V(x) = \frac{1}{2}x^2$  [J] について,  $x = 2$  m での保存力 [N] を有効数字1桁で求めなさい。
- (12) 周期  $d$  の周期ポテンシャルについて, ブロッホの定理の表式を書きなさい。ただし, エネルギー固有状態の波動関数を  $\varphi(x)$  とし, 位相を表す変数には  $\theta$  を用いなさい。
- (13) バネ定数  $k = 2.0$  N/m のバネがある。バネの一端は壁に固定されており, もう一端が質量  $M = 8.0$  kg の質点に接続されている。この質点が単振動するとき, 振動の角振動数 [Hz] を有効数字2桁で求めなさい。
- (14) 角振動数が  $\omega = 4.0 \times 10^{14}$  Hz の1次元調和振動子について, 零点振動エネルギー [J] を有効数字2桁で求めなさい。ただし, ディラック定数を  $\hbar = 1.1 \times 10^{-34}$  J·s としなさい。
- (15) フォトンはどうような場を量子化したものか答えなさい。

学籍番号：

氏名：

**1**

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

(9)

(10)

(11)

# 2

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

(9)

(10)

(11)

(12)

(13)

(14)

(15)

# 解答例

学籍番号：

氏名：

1

(1) 飛び出す電子の個数は増えるが  
電子のエネルギーは変化しない。

(2) 振動数 $\nu$ の光はエネルギーが $h\nu$ , 運動量が $\frac{h\nu}{c}$ である  
粒子の集まりとする説 (☺  $c = \lambda\nu$ )

(3) 波動関数の絶対値の2乗が, 対応する物理量の測定値が  
得られる確率に比例するという規則

(4) ハミルトニアン $H$ の固有値をエネルギー固有値といい, その固有値に  
対応する固有ベクトルで表される状態をエネルギー固有状態という。

(5) エネルギー固有値がポテンシャル障壁よりも低くても  
ポテンシャルをすり抜ける現象。

(6) 金属結晶に対する電子の運動モデルで, 原子核や他の電子との  
相互作用を無視して領域内を運動すると仮定されている。

(7) 金属結晶に対する電子の運動モデルで, 原子核との相互作用  
を周期的な矩形ポテンシャルで表したもの。

(8) 絶対零度のフェルミ分布において, 確率1と0の閾値となる  
エネルギーのこと。

(9) 絶縁体ではフェルミ準位がバンドギャップ中にあり, 電気抵抗  
率がおおよそ $10^7 \Omega \cdot m$ よりも大きい。

(10) 温度を上げると高いエネルギーバンドに遷移しやすくなるので  
半導体では温度上昇で抵抗率が減少する。

(11) 調和振動子のエネルギー固有値は一定の間隔なので, エネルギーの増  
減が同じエネルギーを有する粒子数の個数の増減とみなせる。

**2**

(1)

$$2.0 \times 10^{-26} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$$

(2)

$$1.7 \text{ eV}$$

(3)

$$1.1 \times 10^{-10} \text{ m}$$

(4)

$$-\frac{1}{3} - \frac{5}{6}i$$

(5)

$$\frac{1}{\sqrt{14}} \begin{pmatrix} 3+2i \\ -i \end{pmatrix}$$

(6)

$$\hat{Y} |y\rangle = y |y\rangle$$

(7)

$$\frac{1}{4}$$

(8)

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle$$

(9)

$$\hat{H} |n\rangle = E_n |n\rangle$$

(10)

$$\left[ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \right] \varphi(x) = E \varphi(x)$$

(11)

$$-2 \text{ N}$$

(12)

$$\varphi(x+d) = e^{i\theta} \varphi(x)$$

(13)

$$0.50 \text{ Hz}$$

(14)

$$2.2 \times 10^{-20} \text{ J}$$

(15)

電磁場