

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、照射する光の振動数を変化させるとどのような変化が起きるか。「電子のエネルギー」や「振動数の閾値」という言葉を用いて説明しなさい。
- (2) 量子力学的な粒子を用いた二重スリット実験結果が表していることを説明しなさい。
- (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) 共有結合での結合の仕方を説明しなさい。
- (7) マティーンセンの法則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) 導体の定義を、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観点から説明しなさい。
- (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) 振動数 ν の光について光子の運動量を書きなさい。ただし、プランク定数を h 、光速を c としなさい。
- (2) 光を金属に照射したところ、振動数が $\nu_0 = 8.0 \times 10^{14}$ 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 (eV) を有効数字2桁で求めなさい。ただし、プランク定数を $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ J としなさい。
- (3) 質量が $m = 1.0 \times 10^{-30}$ kg、速度が $v = 6.0 \times 10^6$ m/s である粒子について、ド・ブロイ波長 (m) を有効数字2桁で求めなさい。ただし、プランク定数を $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s としなさい。
- (4) ベクトル $\mathbf{a} = \begin{pmatrix} 2-i \\ 4 \end{pmatrix}$ 、 $\mathbf{b} = \begin{pmatrix} -1 \\ 3i \end{pmatrix}$ について、 $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ を求めなさい。

- (5) ベクトル $\begin{pmatrix} -5 \\ 1-2i \end{pmatrix}$ を規格化しなさい.
- (6) 演算子 \hat{X} の固有値を x , 固有値 x に属する固有状態を $|x\rangle$ とするとき, \hat{X} , x , $|x\rangle$ 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それぞれ求めなさい.
- (8) ディラック定数を \hbar , 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) 位置エネルギーが $V(x) = -2x$ [J] のとき, $V(x)$ に対応する保存力 [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 θ を用いなさい.
- (13) クローニッチ・ペニーモデルでは取り得るエネルギーの値に制限がつく. このとき, 禁止されたエネルギー領域を何というか答えなさい.
- (14) バネ定数 k 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 の質点に接続されている. この質点が単振動するとき, 振動の周期を書きなさい.
- (15) 角振動数が $\omega = 6.0 \times 10^{14}$ 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.

1

(1) 振動数の閾値をより小さい振動数では光子が飛び出さないが、より大きい振動数では光子が飛び出て、大きい振動数では電子のエネルギーも大きくなる。

(2) 1つの物質のドブロイ波が両方のスリットを通過して干渉すること、物理量が1つの数値をとる変数ではないこと、測定系を変化させること etc.

(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) ハミルトニアン固有値をエネルギー固有値といい、エネルギー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低くてもポテンシャルをすり抜ける現象。

(6) 2原子間での価電子を共有する結合。

(7) 散乱機構が複数ある場合、抵抗率は個々の散乱機構の抵抗率の和になるという経験則。

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

(9) 導体は、フェルミ準位がエネルギーバンド中にある金属結晶のこと。

(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すことができる。

2

(1)

$$\frac{h\nu}{c}$$

(2)

$$3.3 \text{ eV}$$

(3)

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

(4)

$$-2 + 11i$$

(5)

$$\frac{1}{\sqrt{29}} \begin{pmatrix} -5 \\ 1-2i \end{pmatrix}$$

(6)

$$\hat{X}|\alpha\rangle = \alpha|\alpha\rangle$$

(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)

バンドギャップ (禁制帯)

(14)

$$2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

(15)

$$3.3 \times 10^{-20} \text{ J}$$