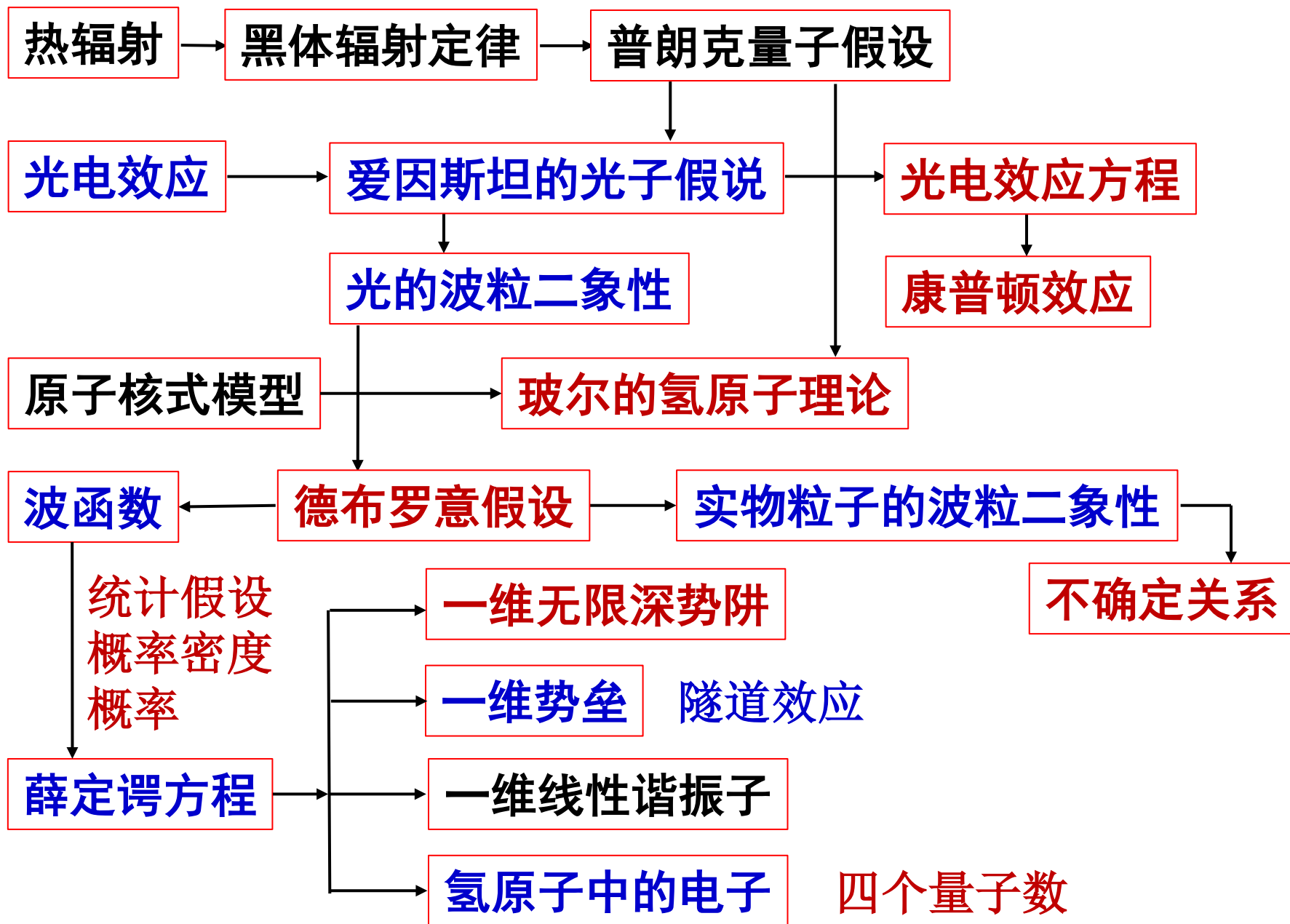




量子物理

习题课

知识导航



大学物理习题参考解答

一、选择题

1. 绝对黑体是这样一种物体，它

- [**D**] (A) 不能吸收也不能发射任何电磁辐射.
(B) 不能反射也不能发射任何电磁辐射.
(C) 不能发射但能全部吸收任何电磁辐射.
(D) 不能反射但可以全部吸收任何电磁辐射.

2. 钾金属表面被蓝光照射时有光电子逸出，若增大蓝光光强，则

- [**A**] (A) 单位时间内逸出的光电子数增加.
(B) 逸出的光电子动能增大.
(C) 光电效应的红限频率增高.
(D) 发射光电子所需的时间减少.

提示: 光强 \uparrow 光子数 $\uparrow \rightarrow$ 光电子数 \uparrow .

$$h\nu = E_k + W \rightarrow E_k \propto \nu$$

红限频率与金属性质有关.

电子吸收光子能量后即刻逸出.

3. 康普顿散射实验中, 在与入射方向成 120° 角的方向上散射光子的波长 λ' 与入射光波长之差为: (其中 $\lambda_c = \frac{h}{m_e c}$)

- [**A**] (A) $1.5\lambda_c$. (B) $0.5\lambda_c$.
(C) $-1.5\lambda_c$. (D) $2.0\lambda_c$.

提示: $\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos 120^\circ) = 1.5\lambda_c$

4. 在气体放电管中，用能量为 12.1eV 的电子去轰击处于基态的氢原子，此时氢原子所能发射的光子的能量只能是

[**C**] (A) 12.1eV .

(B) 10.2eV .

(C) 12.1eV , 10.2eV 和 1.9eV .

(D) 12.1eV , 10.2eV 和 3.4eV .

提示: $12.1\text{eV} = \frac{-13.6\text{eV}}{n^2} - (-13.6\text{eV}) \quad n = 3$

$$E_{31} = \frac{-13.6\text{eV}}{3^2} - (-13.6\text{eV}) = 12.1\text{eV}$$

$$E_{21} = \frac{-13.6\text{eV}}{2^2} - (-13.6\text{eV}) = 10.2\text{eV}$$

$$E_{32} = \frac{-13.6\text{eV}}{3^2} - \frac{-13.6\text{eV}}{2^2} = 1.9\text{eV}$$

5. 电子显微镜中的电子从静止开始通过电势差为 U 的静电场加速后，其德布罗意波长是 0.04 nm ，则 U 约为

- [**D**] (A) 150 V . (B) 330 V .
(C) 630 V . (D) 940 V .

提示:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$

6. 不确定关系式 $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ 表示在 x 方向上

[**D**] (A) 粒子位置不能准确确定.

(B) 粒子动量不能准确确定.

(C) 粒子位置和动量都不能准确确定.

(D) 粒子位置和动量不能同时准确确定.

7. 设波函数为 $\psi(x)$ ，在 $x \rightarrow x + dx$ 范围内找到粒子的几率为

[**D**] (A) $\psi(x)$.

(B) $\psi(x)dx$.

(C) $\psi^2(x)$.

(D) $\psi^2(x)dx$.

提示： 几率密度： $\psi^2(x)$

8. 由量子力学可知,在一维无限深方势阱中的粒子可以有若干能态,如果势阱两边之间的宽度缓慢地减少至某一宽度,则

[**D**] (A) 每一能级的能量减小.

(B) 能级数将增加.

(C) 每个能级的能量保持不变.

(D) 相邻能级间的能量差增加.

提示:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\Delta E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} (2n + 1)$$

9. 对于下列四组量子数：

$$(1) \quad n = 3, l = 2, m_l = 0, m_s = \frac{1}{2};$$

$$(2) \quad n = 3, l = 3, m_l = 1, m_s = \frac{1}{2} \quad \mathbf{L = \sqrt{l(l+1)} \hbar}$$

$$(3) \quad n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = -\frac{1}{2}; \quad \mathbf{l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)}$$

$$(4) \quad n = 3, l = 2, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2} \quad \mathbf{m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l}$$
$$\mathbf{m_s = \pm \frac{1}{2}}$$

可以描述原子中电子状态的是

- [**C**] (A) (1) 和 (3). (B) (2) 和 (4).
(C) (1)、(3) 和 (4). (D) (2)、(3) 和 (4).

二、填空题

向短波方向变化

1. 被加热的铁棒随温度的升高, 其颜色的变化_____. 设人体的辐射可以看成是黑体辐射, 人的正常体温是 37°C , 则人体热辐射最强的波长是 9.3 μm .

提示:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}$$

$$\lambda_m = \frac{2.898 \times 10^{-3}}{37 + 273} = 9.3 \mu\text{m}$$

2. 钨的红限频率为 $1.3 \times 10^{15} \text{ Hz}$.用波长为 180 nm 的紫外光照射时,从其表面上逸出的电子能量为 1.5 eV eV.

提示: $h\nu = E_{\text{k}} + W$ $W = h\nu_0$

$$h \frac{c}{\lambda} = E_{\text{k}} + h\nu_0$$

3. 康普顿散射中,当出射光子与入射光子方向成夹角

$\theta = \underline{\pi}$ 时, 光子的频率减少得最多; 当 $\theta = \underline{0}$ 时,

光子的频率保持不变.

提示:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

4. 欲使氢原子能发射巴耳末系中波长为 656.3 nm 的谱线，最少要给基态氢原子提供 12.09 eV 的能量.

提示:
$$h \frac{c}{\lambda} = \frac{-13.6\text{eV}}{n^2} - \frac{-13.6\text{eV}}{2^2}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{656.3 \times 10^{-9} \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{eV} = \frac{-13.6\text{eV}}{n^2} - \frac{-13.6\text{eV}}{2^2}$$

$$n = 3$$

$$\Delta E = \frac{-13.6\text{eV}}{3^2} - (-13.6\text{eV}) = 12.09\text{eV}$$

5 . 在 $B = 1.25 \times 10^{-2} \text{ T}$ 的匀强磁场中沿半径为 $R = 1.66 \text{ cm}$ 的圆轨道运动的 α 粒子的德布罗意波长是 0.01nm .

提示: $m \frac{v^2}{R} = qvB \quad mv = qBR$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{qBR} = \frac{h}{2eBR}$$

6. 波长为 300 nm 的光子，其波长不确定度 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ 为十万分之一。测量其位置的不确定量 Δx 不能小于 $2.38 \times 10^{-3}\text{ m}$ 。

提示： $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad \Delta p = \frac{h\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

$$\Delta x \geq \frac{h}{4\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{h\Delta\lambda} = \frac{\lambda}{4\pi \frac{\Delta\lambda}{\lambda}}$$

7. 波函数 $\psi(\vec{r}, t)$ 在其空间变量变化的全部范围内必须满足的标准化条件为 连续性、单值性 和 有限性。

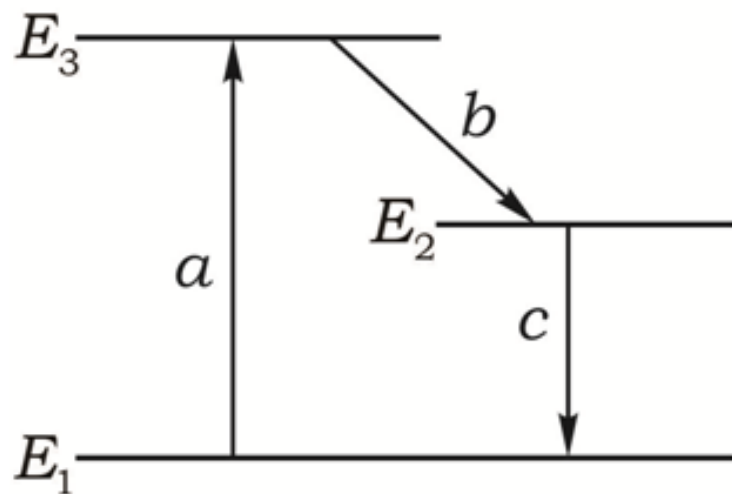
8. 在一维无限深势阱 $V(x) = \begin{cases} 0, & |x| < 2a \\ \infty, & |x| \geq 2a \end{cases}$ 中运动的质量

为 m 的粒子的能级为_____.

提示: 阱宽 $4a$

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{32ma^2}$$

9. 红宝石激光器的能级和跃迁图如图所示，其中 E_3 为亚稳态，激光的光吸收辐射频率 $\nu = \frac{E_3 - E_1}{h}$ ，受激辐射频率（即发射的激光频率）为 $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 。



10. 根据量子力学理论，氢原子中电子的轨道角动量为 $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$ ，其中 l 为轨道量子数。当主量子数 $n = 3$ 时，电子轨道角动量的可能取值为_____。

提示: $L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$

$$n = 3, \quad l = 0, 1, 2$$

$$L = 0, \sqrt{2} \hbar, \sqrt{6} \hbar$$

三、计算题

1. 从金属铝中逸出一个电子需要 4.2 eV 的能量，今有波长为 200 nm 的光投射到铝的表面上，试问：

(1) 光电子的最大初动能为多少？

(2) 遏止电势差为多大？

(3) 铝的截止波长为多大？

解：(1) \because 光电效应方程： $h\nu = E_{\text{k max}} + W$

$$\begin{aligned}\therefore E_{\text{k max}} &= h\nu - W = \frac{hc}{\lambda} - W \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{200 \times 10^{-9} \times 1.6 \times 10^{-19}} - 4.2 = 2.0\text{ eV}\end{aligned}$$

$$(2) \text{ 遏止电势差 } U_a = \frac{E_{\text{k max}}}{e} = \frac{2.0\text{ eV}}{e} = 2.0\text{ V}$$

$$(3) \quad \because W = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

\therefore 铝的截止波长

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.2 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 296 \text{ nm}$$

2. 设康普顿效应中入射 X 射线的波长 $\lambda = 0.0700 \text{ nm}$,
散射的 X 射线与入射的 X 射线垂直, 求:

(1) 反冲电子的动能 E_k .

(2) 反冲电子运动的方向与入射的 X 射线之间的夹角 θ .

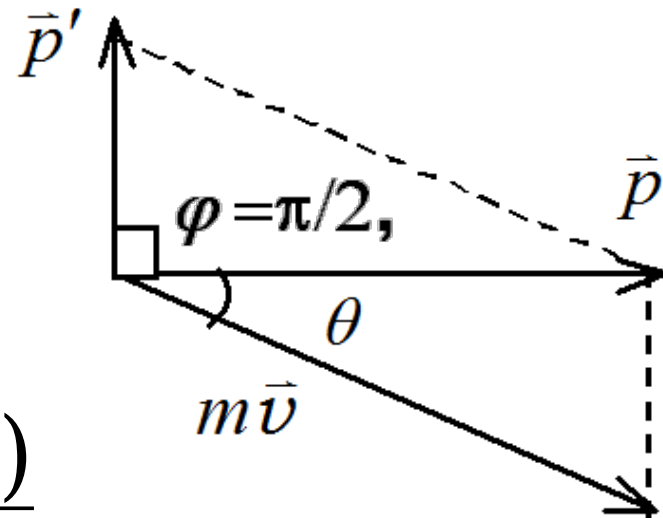
解: $\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_e c} = 0.0724 \text{ nm}$

(1) 根据能量守恒定律:

$$m_e c^2 + h\nu = h\nu' + mc^2$$

$$\therefore E_K = h\nu - h\nu' = \frac{hc(\lambda' - \lambda)}{\lambda'\lambda}$$

$$= 9.42 \times 10^{-17} \text{ J}$$



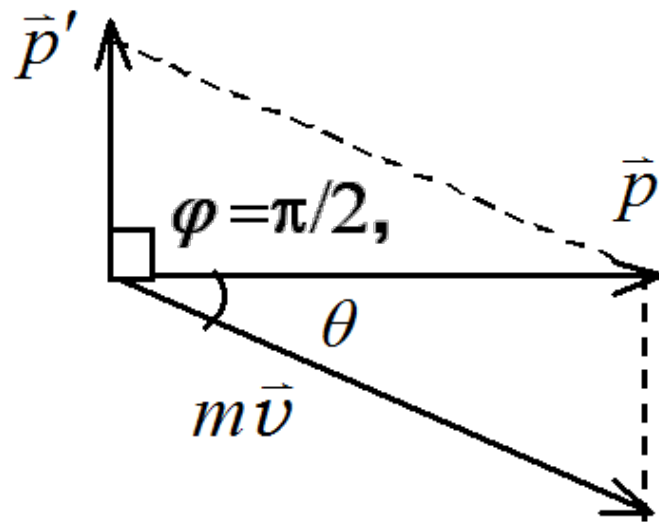
(2) 根据动量守恒定律

$$\vec{p} = \vec{p}' + m\vec{v}$$

$$\text{则 } m\vec{v} = \sqrt{\vec{p}^2 + \vec{p}'^2} = \sqrt{\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2}$$

$$\cos \theta = \frac{p}{mv} = \frac{h/\lambda}{\sqrt{(h/\lambda)^2 + (h/\lambda')^2}}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + (\lambda/\lambda')^2}} = 44.0^\circ$$



3. 实验发现基态氢原子可吸收能量为 12.75 eV 的光子.

(1) 试问氢原子吸收该光子后将被激发到哪个能级?

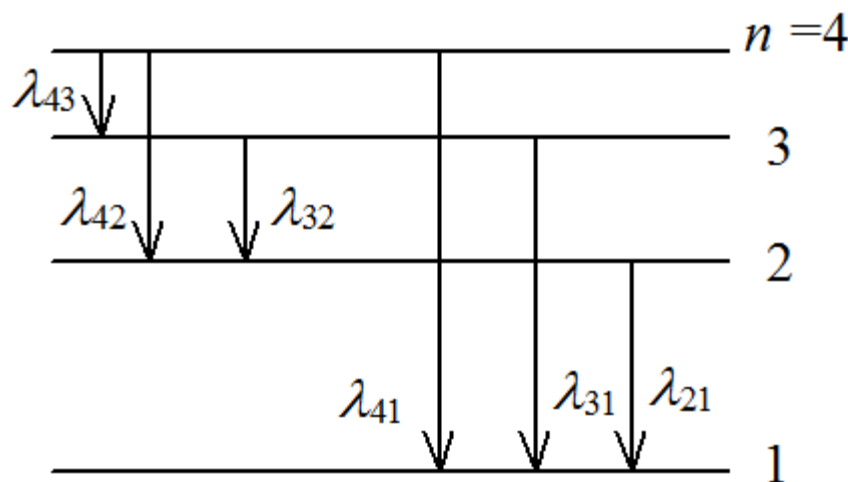
(2) 受激发的氢原子向低能级跃迁时, 可能发出哪几条谱线? 请画出能级图(定性), 并将这些跃迁画在能级图上.

解: (1) $\Delta E = E_n - E_1$

$$12.75\text{ eV} = \frac{-13.6\text{ eV}}{n^2} - (-13.6\text{ eV}) \quad \therefore n = 4$$

(2) 可以发出 λ_{41} 、 λ_{31} 、 λ_{21} 、 λ_{43} 、 λ_{42} 、 λ_{32} 六条谱线, 能级如图所示.

其中可见光为: λ_{32} 、 λ_{42}



4. 粒子在一维无限深方势阱中运动，其波函数为

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \quad (0 \leq x \leq a)$$

求：(1) 粒子处于第一激发态时的几率密度最大值位置及几率密度最大值。(2) 粒子处于第一激发态时，在 $0 \sim \frac{a}{3}$ 区间内，找到粒子的几率是多少。

解：(1) 第一激发态， $n = 2$ 。

$$|\psi_2(x)|^2 = \frac{2}{a} \sin^2 \frac{2\pi x}{a} = \frac{1}{a} (1 - \cos \frac{4\pi x}{a})$$

$$\frac{d|\psi_2(x)|^2}{dx} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sin \frac{4\pi x}{a} = 0$$

$x = \frac{a}{4}, \frac{3a}{4}$ 处为极大值.

其最大值为 $|\psi_2(x)|^2_{x=a/4} = \frac{2}{a}$

$$\begin{aligned} (2) \quad \int_0^{a/3} |\psi_2(x)|^2 dx &= \int_0^{a/3} \frac{1}{a} (1 - \cos \frac{4\pi x}{a}) dx \\ &= \frac{1}{3} - \frac{1}{4\pi} \sin \frac{4\pi}{3} \\ &= 40.2\% \end{aligned}$$