中国科学技术大学
UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA
地址:中国安徽省合肥市 电话:0551-63602184 传真:0551-63631760 网址:http://www.ustc.edu.cn

量子物理.

第一章 光学 1.1 几何光学与费马原理.

~~光学~~ 几何光学三大定律.

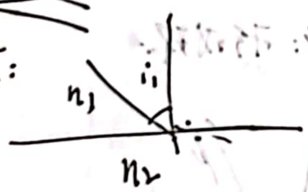
(1) 光的直线传播.

(2) 光的线性叠加 (独立传播).

(3) 光的反射与折射定律.

$n_1\sin i_1 = n_2\sin i_2$

全反射:



$n_1\sin i_1 = n_2\sin i_2 = n_2$

$\sin i_1 = \frac{n_2}{n_1}$

超过这个角度都会发生全反射.

费马原理:

光线沿光程为驻值的路线传播. $\int n(r)dr$.

由此推出透镜成像规律: $\frac{f}{s}+\frac{f'}{s'}=1$

s 物距 s' 像距.

1.2 光的电磁性.

$y(z,t) = A\cos(\omega t - kz + \varphi_0)$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

时间周期性 空间周期性

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\mu_r\varepsilon_0\varepsilon_r}}$ $\boxed{n = \sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$

$\boxed{v = \frac{c}{n}}$

$\vec E, \vec B, \vec k$ 三个矢量相垂直.

Poynting 矢量. $\vec S = \vec E\times\vec H$ $\vec S \parallel \vec k$

我们关心的是能流密度的平均值

$\bar S = \frac{1}{T}\int_0^T S\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T \vec E\times\vec H\,dt$

$= \frac{1}{T}\int_0^T E\cdot\sqrt{\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r}{\mu_0\mu_r}}E\,dt = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r}{\mu_0\mu_r}}E_0^2$

我们定义光强为 $I = nE_0^2$

同一介质中,可进一步简化为 $I \propto E^2$

单色光波及其描述

(1) 平面波:

$U(r,t) = A\cos(\omega t - kr + \varphi_0)$

(2) 球面波:

$U(r,t) = \frac{A_1}{r}\cos(\omega t - kr + \varphi_0)$

复振幅表示:

$\tilde U(p,t) = A(p)e^{i\varphi(p)}e^{-i\omega t}$

$\tilde U(p) = A(p)e^{i\varphi(p)}$

1.3 光的干涉

(1) 非相干叠加：

$I(P) = I_1(P) + I_2(P)$

(2) 相干叠加：

$I(P) = I_1(P) + I_2(P) + \Delta(P)$

通常表现为有明暗相间的条纹，即光强有了重新分布

必要条件：①同频率

②有同方向振动分量 ③有稳定相位差

$I_合 = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta(P)$

$\delta(P) = k(r_1 - r_2) + \varphi_1 - \varphi_2$

$\gamma = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}$

反衬度

干涉的相位差和光程差判据

$\delta(P) = 2m\pi$ 明

$\delta(P) = (2m+1)\pi$ 暗

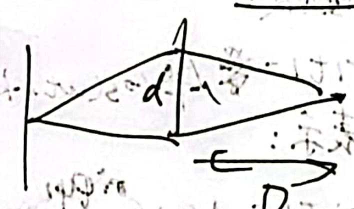
光程差判据：$\Delta L = m\lambda$ 明

$\Delta L = (m + \frac{1}{2})\lambda$ 暗

杨氏双缝干涉

思想：在同一列波的波面上取两个次波源，将有稳定相位差

☆ $x_m = \frac{D}{d}m\lambda$　$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$



白光入射：红波 j+1 级与紫光波的 j 级重合，干涉将无法分辨，将消失

最大相干长度：

$L_0 = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$

干涉条纹移动：

光程差变化 $\delta(\Delta L) = N\lambda$

则移过 N 个干涉条纹

$\delta(\Delta)x = \frac{D}{d}\delta\lambda$

洛埃镜

薄膜干涉，$\Delta L = 2nt\cos i$

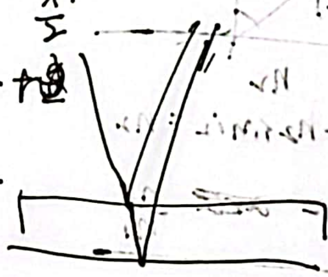
$n_1 < n_2 > n_3$ 半波损失 $\Delta L \pm \frac{\lambda}{2}$

$n_1 > n_2 > n_3$ 无

等倾干涉：形成环

$2nh\cos\theta + \frac{\lambda}{2}$

只取决于



等厚干涉

$2nh + \frac{\lambda}{2}$

只取决于

☆ 光学薄膜：起到消反射

$2n_2 t = \frac{\lambda_0}{2}$

$t = \frac{\lambda_0}{4n_2}$

扫描全能王 创建

1.4 光的衍射.

光遇到障碍物和小孔时,将偏离直线传播

菲涅尔—惠根斯原理.

先次波,再叠加.

菲涅尔衍射积分.

$E(P) = \oiint dE(P)$ 四个元素

$dE(P) \propto E_0 \propto \frac{e^{ikr}}{r} \propto f(\theta,\theta_0) \propto K.$

基尔霍夫衍射积分: 傍轴衍射 $f(\theta,\theta_0)=1$.

$\frac{-i}{\lambda}\oiint \frac{\cos\theta+\cos\theta_0}{2}\frac{e^{ikr}}{r}E_0(Q)dS.$

巴比涅原理.

$\iint_{\Sigma_a} + \iint_{\Sigma_b} = \iint_{\Sigma_0}$

夫琅和费单缝衍射

$E(\theta) = c\cdot\frac{\sin\alpha}{\alpha}e^{ikL_0}$

$c = \frac{-i\,ab E_0}{\lambda f}$

$I = I_0\left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2.$

$I_0 = \left(\frac{ab}{\lambda f}\right)^2 E_0^2$

最大衍射峰半角宽:

$\Delta\theta_0 = \frac{\lambda}{a}$

夫琅和费圆孔衍射.

$D=2a$

$E = \tilde{c}e^{ikL_0}\frac{2J_1(x)}{x}$

$I = I_0\left[\frac{2J_1(x)}{x}\right]^2$

$\tilde{c} = \frac{-i\,E_0}{\lambda f}\pi a^2$

$I_0 = E_0^2\cdot\left(\frac{\pi a^2}{\lambda f}\right)^2$

$x = \frac{2\pi a\sin\theta}{\lambda} = \frac{\pi D\sin\theta}{\lambda}$

$\Delta\theta_0 = \frac{1.22\lambda}{D}$

瑞利判据 $\delta\theta > \Delta\theta_0$ 可分辨.

魔看清地面上的衣服.

$\delta\theta = \frac{\Delta x}{h}$

1.5 光的偏振

- 非偏
- 偏振光
  - 完全偏振光
    - 线偏光
    - 圆偏光
    - 椭圆偏光
  - 部分偏振光

$E_t = \begin{cases} E_x\cos\omega t \\ E_y\cos(\omega t+\delta). \end{cases}$

$\delta=0$, $\delta=\pm\pi$ 线偏光 正右负左.

$\delta=\pm\frac{\pi}{2}$ 圆偏光. $E_x=E_y$

$\delta=\pm\frac{\pi}{2}$ 正椭圆光.

斜椭光

马吕斯定律.

$I = I_0 \cos^2\alpha$.

自然光：$I = \frac{1}{2} I_0$

当以布儒斯特角入射时.

为全偏光.

$n_1 \sin i_B = n_2 \cos i_B$.

双折射：一束光入射介质后分为两束光.

称为双折射.

波晶片.

$\frac{1}{4}$ 加 $\frac{\pi}{2}$ 相位差.

$\frac{1}{2}$ π 相位差.

引入 ~~光~~ 二元 光波场光的相干性

太阳和蓝天颜色不一样：

直射：散射 → 透射.

蓝天：散射.

课后作业：

1. $n(y) = n_0(1+Ay)$

~~$\frac{ds}{dl}$~~ ~~$dl = \frac{dy}{\cos\theta}$~~

~~$\frac{dy}{ds} = \tan\theta \cdot \cos\theta = \frac{s}{\sqrt{y^2+s^2}}$~~

~~$n_1 \sin\theta = n_0$~~

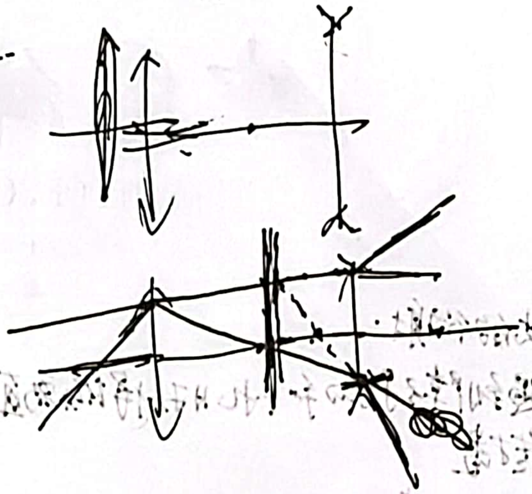
$n_y \sin\theta = n_0$

~~$\sin\theta =$~~ ~~n_y~~ $\sin\theta = \frac{1}{1+Ay}$

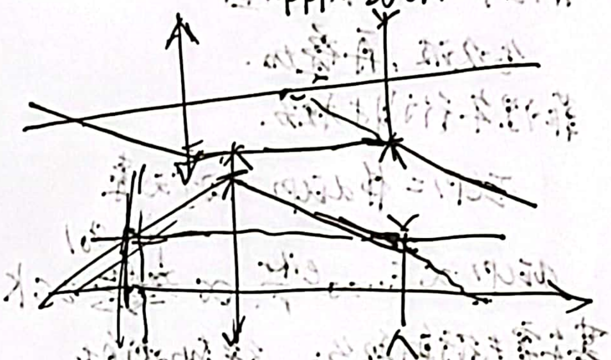
$ds = dy \cdot \tan\theta$ ~~$= \frac{dy}{}$~~ $dy \cdot \frac{\frac{1}{1+Ay}}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{1+Ay}\right)^2}} = \frac{1}{1+Ay} \cdot \frac{1}{\frac{\sqrt{Ay^2+2Ay}}{1+Ay}} \approx \frac{1}{\sqrt{2Ay}} dy$

$s = $ ~~$\sqrt{\ }$~~ $\sqrt{\frac{2h}{A}} = 2000m$.

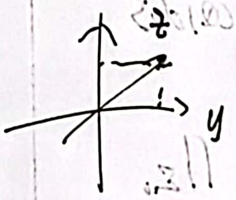
2.



$FH = 26cm$



5.



$k = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{1}{2}\right)$

$y = A_0 \cos\left(wt - \frac{\sqrt{2}}{2}y - \frac{1}{2}z + \varphi_0\right)$

$A_0 e^{i\left(\frac{\sqrt{2}}{2}y + \frac{1}{2}z + \varphi_0\right)} \cdot e^{-iwt}$

$A_0 e^{i\left(\frac{\sqrt{2}}{2}y + \frac{1}{2}z + \varphi_0\right)}$

☆8. ~~$\Delta L = nh = 9\lambda$~~

$\Delta L_1 = L_0 + h$

$\Delta L_2 = L_0 + nh$

∴ $\Delta L_2 - \Delta L_1 = (n-1)h = 9\lambda$

中国科学技术大学
UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA
地址:中国安徽省合肥市 电话:0551-63602184 传真:0551-63631760 网址:http://www.ustc.edu.cn

第二章.原子物理.

辐射本领 $E(\nu,T)$.

吸收本领. $A(\nu,T)=\frac{d\phi'(\nu,T)}{d\phi(\nu,T)}$.

$\frac{E(\nu,T)}{A(\nu,T)}=f(\nu,T)$. $A(\nu,T)\equiv 1$

绝对黑体.

1. Stefan Boltzman 定律.

$\phi=\sigma T^4$.

2. 维恩位移定律.

~~T=…~~ $T\lambda_m=b$.

辐射波长极大值

3. ~~Reyg~~ Rayleigh-Jeans 定律.

~~E(…~~ $E(\lambda,T)=\frac{2\pi c}{\lambda^4}kT$

4. 普朗克能量子假说

$$E(\nu,T)=\frac{2\pi}{c^2}\frac{h\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$$

$$\frac{2\pi}{c^2}\frac{h\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$$

~~5.~~ 光电效应.

$K_{max}=h\nu-\nu_0$

$W_{逸}=h\nu_0=qV_{stop}$

康普顿效应.

$\Delta\lambda=\lambda_c(1-\cos\theta)$

θ为偏向角.λ_c为康普顿波长.

德布罗意物质波.

$\lambda=\frac{h}{p}$.

1.3 卢瑟福原子模型.

原子半径

(1) 立方密排: $r=\sqrt[3]{\frac{A}{8N_A\rho}}$

(2) 六角密排: $r=\sqrt[3]{\frac{A}{4\sqrt{2}\rho N_A}}$.

汤普姆孙发现电子.

密立根测出元电荷

卢瑟福散射实验

1.4 氢原子光谱 ☆.

氢原子的巴尔末线系:

$\lambda=B\cdot\frac{n^2}{n^2-4}$.

$\tilde{\nu}=\frac{4}{B}\cdot\left[\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right]$

R_H ~~…~~ 里德伯常数.

氢原子所有光谱.

$\tilde{\nu}=R_H\left[\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right]$

m为常数. $n=m+1, m+2, \dots$

1.5 玻尔氢原子模型. ☆.

$E_n=$ ~~$\frac{1}{2}\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n}$~~ $-\frac{1}{2}\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n}$

$h\nu=\Delta E=E_n-E_m=\frac{1}{2}\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r_m}-\frac{1}{r_n}\right]$

$\nu=\frac{Ze^2}{2\cdot4\pi\varepsilon_0 h}\left[\frac{1}{r_m}-\frac{1}{r_n}\right]$

扫描全能王 创建

一条很重要的假设：角动量量子化

$m v r_n = ~~\quad~~ n\hbar$

$v_n = \alpha \frac{c}{n}$. $\alpha \approx \frac{1}{137}$

$r_n = a_0 n^2$. $a_0 \approx 0.53 \times 10^{-10} m$

$E_n = -\frac{1}{2n^2} m e \alpha^2 c^2 = -13.6 (\frac{z}{n})^2$

基态 $-13.6eV$

需用折合质量 $\mu = \frac{M m e}{M + m e}$

氢原子连续谱.

较高能量为正值：距核较远

只有动能.

类氢原子光谱

只有一个~~电子~~的离子

$\tilde{\nu} = \ldots z^2 R [\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}]$

$= R [\frac{1}{(m/z)^2} - \frac{1}{(n/z)^2}]$

Frank-Hertz 实验.

用电子撞击汞原子.

课后习题：

$z = n + 1$

2.1 求 B^{4+} 离子从 $n=2$ 跃迁到基态.

$E_n = -13.6 (\frac{z}{n})^2$ $(\frac{5}{2})^2$ $(\frac{5}{1})^2$

$\Delta E = -13.6 \cdot ~~[(\frac{5}{2})^2 - (\frac{5}{1})^2]~~$

$= ~~\quad~~ 255 eV$

$\tilde{\nu} = \frac{\ldots}{h}$

2.2. 要使基态受激发，发射莱曼系最长谱线

$\Delta E = -13.6 (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2}) = 10.2eV$

2.6. 设氢原子原来静止. 从 $n=4$ 跃迁到基态. 给出原子反冲速度. 光子波长与不考虑做比较.

$\Delta E = -13.6 (\frac{1}{4^2} - \frac{1}{1}) = 12.75eV$

$E_k = \frac{1}{2} M_H v^2$. $E = \frac{hc}{\lambda}$

$\Delta E = E_k + E$

$mv = \frac{h}{\lambda}$

$v = 4.07 m/s$ $\lambda = 97.2426 nm$

$\lambda' = 97.2425086 nm$

$\Delta\lambda = 1.7 \times 10^{-6} nm$. 可忽略不计

二

第三章 波函数

3.1 物质波

$\lambda = \frac{h}{p}$

此波动性非经典波，而是指物理量或状态可以线性叠加的
干涉不是电子或光子间相互作用的结果
而是分布几率的表征。

3.2 波函数的物理意义

$\psi(x,t) = \psi_0 e^{i(kx-\omega t)} = \psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}(px-Et)}$

波函数平模方为表几率

要求：(1) 单值 (2) 有限 (3) 连续

归一化条件 $\iiint |\psi|^2 dV = A$

则 $\psi_1 = \frac{\psi}{\sqrt{A}}$

实际解可以限定为某个有限区间。

态与态叠加原理

通过缝1 ψ_1 缝2 ψ_2

光子叠加态 ψ_{12}

态为 $\psi = \psi_1 + \psi_2$ 称为叠加

$|\psi|^2 = |\psi_1|^2 + |\psi_2|^2 + \underbrace{\psi_1\psi_2^* + \psi_1^*\psi_2}_{\text{干涉项}}$

3.3 ~~测不准~~ 不确定关系

若两个力学量不对易，则

$\Delta p \Delta q \geq \frac{\hbar}{2}$

自由粒子 动量完全确定

~~波长~~ 波长也完全确定，位置完全不确定，空间中完全弥散的单色波

2 波包 $\Delta x = L$ 波长也不完全确定

$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$

能级的自然宽度

ΔE：粒子在某一状态能量不确定度

Δt 在这一时间内，粒子处于这一状态的时间，粒子能量不知，即状态寿命
~~寿命~~ 能级有一定分布宽度

3. 束缚粒子的最小平均动能

$E_{kmin} = \frac{\hbar^2}{8m\Delta x^2}$

核外电子 $\Delta x = 2r$

三维运动 $\frac{3\hbar^2}{8m\Delta L^2}$

3.4 薛定谔方程

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

扫描全能王 创建

3.5 力学量的算符表示.

在波函数描述下.并不是所有力学量都有确定值.但有概率分布.

有确定均值.

$\bar{x} = \sum x_i p_i = \sum x_i |\psi_i|^2$.

但动量p的几率不能如此表示.

需知 $\varphi(p)$

$$\varphi(p) = \frac{1}{(2\pi\hbar)^{n/2}} \int \psi(x) e^{-ipx/\hbar} d^n x$$

$$\bar{p} = \int \varphi^*(p)\, p\, \varphi(p)\, dp$$

对波函数作某一数学运算.

即用某一算符作用波函数.

等效于某一力学量乘波函数.

$-i\hbar \frac{\partial\psi}{\partial x} = p_x\psi$. $-i\hbar\nabla\psi = \vec{p}\psi$.

$\hat{p} = -i\hbar\nabla$.

$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = E\psi$. $\hat{E} = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$

$\hat{L} = \vec{r}\times\hat{p} = \vec{r}\times(-i\hbar\nabla)$.

$$(\hat{x}\hat{p}_x - \hat{p}_x\hat{x})\psi = x\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x} - \frac{\hbar}{i}\frac{\partial(x\psi)}{\partial x}$$

$$= x\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x} - x\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x} - \frac{\hbar}{i}\psi$$

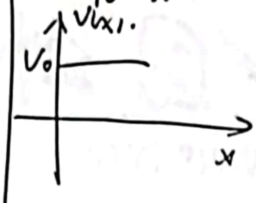
$$= i\hbar\psi \neq 0.$$

$\therefore \hat{x}\hat{p}_x - \hat{p}_x\hat{x} \neq 0$

不对易.

3.6 一维定态问题.

(1) 阶跃势:



$x<0$.

$$-\frac{\hbar^2}{2m_0}\nabla^2\psi(x) = E\psi(x)$$

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} = -\frac{2mE}{\hbar^2}\psi(x)$$

$$u_1 = Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$

$x>0$.

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi = (E-V_0)\psi(x)$$

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} = \frac{2m(E-V_0)}{\hbar^2}\psi(x)$$

$$u_2 = Ce^{k_2x} + De^{-k_2x}$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}}$$

① 有限. $C=0$.

② 连续 $u_1|_{x=0} = u_2|_{x=0}$

$u_1'|_{x=0} = u_2'|_{x=0}$

$A+B=D$ $ik_1(A-B) = -k_2D$.

$A = \frac{D}{2}(1+i\frac{k_2}{k_1})$ $B = \frac{D}{2}(1-i\frac{k_2}{k_1})$

归一化 $\int_{-\infty}^{+\infty}|u(x)|^2dx = 1$.

右确认D.

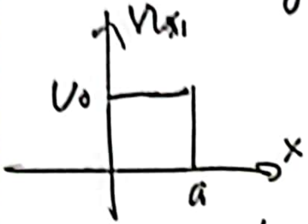
$x<0$. 方向相反两列波形成驻波.

$x>0$ 衰减

中国科学技术大学
UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA
地址:中国安徽省合肥市 电话:0551-63602184 传真:0551-63631760 网址:http://www.ustc.edu.cn

(2) 势垒.

$$V(x)=\begin{cases}0 & x<0\\ V_0 & 0\le x\le a\\ 0 & x>a\end{cases}$$



$$\begin{cases}u_1=A_1e^{ik_1x}+B_1e^{-ik_1x}\\ u_2=\cancel{A_2e^{k_2x}}+B_2e^{k_2x}\\ u_3=A_3e^{ik_1x}+\cancel{B_3e^{-ik_1x}}\end{cases}$$

有限.

无反射波.

代入边界条件.

(3) 一维无限深势阱.

$$\begin{cases}V(x)=0, & |x|<\frac{a}{2}\\ V(x)=+\infty & |x|>\frac{a}{2}\end{cases}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(x)+V\psi(x)=E\psi(x)$$

Ⅱ, Ⅲ区. $\psi(x)=0$. Ⅰ区.

$$\psi(x)=A\sin kx+B\cos kx$$

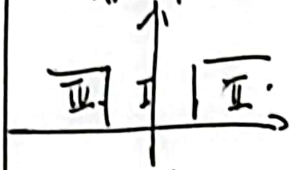
$$\psi(-\tfrac{a}{2})=\psi(\tfrac{a}{2})=0.$$

$$\begin{vmatrix}\cos k\frac{a}{2} & -\sin\frac{ka}{2}\\ \cos k\frac{a}{2} & \sin\frac{ka}{2}\end{vmatrix}=2\sin\frac{ka}{2}\cos\frac{ka}{2}=\sin ka=0.$$

$$k=\frac{n\pi}{a}$$

$$\psi(x)=\begin{cases}A\cos\frac{n\pi x}{a} & n\text{奇} & A=\sqrt{\frac{2}{a}}\\ B\sin\frac{n\pi x}{a} & n\text{偶} & B=\sqrt{\frac{2}{a}}\end{cases}$$

(4) 有限深势阱.



$$\psi_{Ⅰ}=Ae^{ik_1x}+Be^{-ik_1x}$$

$$\psi_{Ⅲ}=Ce^{k_2x}.\quad \psi_{Ⅱ}=De^{k_2x}.$$

$$k_1=\sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}},\quad k_2=\sqrt{\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}}$$

$$\psi_{Ⅰ}(\tfrac{a}{2})=\psi_{Ⅱ}(\tfrac{a}{2})$$

$$\frac{d\psi_{Ⅰ}}{dx}\Big|_{\frac{a}{2}}=\frac{d\psi_{Ⅱ}}{dx}\Big|_{\frac{a}{2}}$$

(5) 一维简谐振子:

$$V(x)=\tfrac{1}{2}kx^2.$$

$E_n=(n+\frac{1}{2})\hbar\omega$ $E_0=\frac{1}{2}\hbar\omega$.

粒子在绝对零度时的振动能.

概率分布 经典 $x=0$ 时最小.

量子 $x=0$ 时最大, $n\to\infty$ 时 两者一致.

扫描全能王 创建