Physics

电场

11/4/2018

电场分布

单一点电荷的场强

$F=\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

$\vec E=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec e$

点电荷 ← 叠加原理 (叠加, 积分)

$\vec E_总=\sum \vec E_i$ (矢量和)

电偶极子, 模型, 理想

泰勒展开 $(1+x)^\alpha=1+\alpha x$

电偶极矩 $\vec p=q\vec l$ (方向: $-q\to+q$)

$-q$ $(-\frac{l}{2},0)$, $(0,0)$, $+q$ $(\frac{l}{2},0)$

在 $(r,0)$ 处 (轴线上):

$$\vec E=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{(r-\frac{l}{2})^2}-\frac{1}{(r+\frac{l}{2})^2}\right)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\left(1+\frac{2l}{2r}-1+\frac{2l}{2r}\right)=\frac{ql}{2\pi\varepsilon_0 r^3}=\boxed{\frac{\vec p}{2\pi\varepsilon_0 r^3}}$$

在 $(0,r)$ 处 (垂直线上):

$$\vec E=-\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{l}{(r^2+\frac{l^2}{4})^{\frac32}}\right)=-\frac{ql}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(1-\frac{3l^2}{8r^2}\right)=\boxed{-\frac{\vec p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}}$$

在均匀电场中力矩: $\boxed{\vec M=\vec p\times\vec E}$

电通量 $\Phi_e=\oint\vec E\cdot d\vec s$; Gauss 定理

$\frac{\sum q_内}{\varepsilon_0}=\Phi_e=\oint\vec E\cdot d\vec s$

穿出总条数 $=\frac{q_内}{\varepsilon_0}$

(用途: 计算对称电场)

电势

电场强度与电势 (stress [illegible])

$\varphi_P=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ ← 定义式 / 点电荷 [illegible]

$\varphi=\sum\frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i}$ 叠加原理

$E_l=-\frac{\partial\varphi}{\partial l}$, $\vec E=-\nabla\varphi$ 电场强度与电势梯度

能量: 电势能 $W=q\varphi$ (φ [illegible])

静电势能

一个点电荷 [illegible] $W=\frac12 q\varphi$ (φ: [illegible])

点电荷系 [illegible] $W=\frac12\sum q_i\varphi_i$ (φ_i: [illegible])

能量密度 $w_e=\frac{\varepsilon_0 E^2}{2}$, $W_e=\int w_e\,dV$

电流

$I=\frac{dq}{dt}$

电流密度: $\vec j=\frac{dI}{dS_\perp}\vec e_v$ (方向: 正电荷)

$I=\int_S\vec j\cdot d\vec s$

(导体) $I=nqvS$, $j=nqv$

$\vec j=\sigma\vec E$

电流连续性: $\oint_S\vec j\cdot d\vec s=0$ (通过任一闭合曲面 $I=0$)

KCL, KVL

欧姆定律: $I=\frac{U}{R}$; $\vec j=\sigma\vec E$ (微分形式); $I=\frac{\varepsilon}{R+r}$ (全电路)

电动势 ε

电阻: $R=\rho\frac{l}{S}=\frac{l}{\sigma S}$ (ρ: 电阻率, σ: 电导率)

电源 [illegible] (二电压)

导体电场

静电平衡

导体内: $E=0$, φ 相等

导体内: $q=0$, 表面带电

电荷守恒 (电荷分布 [illegible])

实心: $q_内=0$, $q_外=q$

空心: $q_内=0$, $q_外=q$

空心, 内有电荷 q': $\sum q_外=q+q'$, $\sum q_{内壁}=-q'$

不均匀: 尖端部分电荷密度大, 尖端放电

场强: 表面场强 $E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat n$ (向外); 受力 $F=\frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}\hat n$ (向外)

唯一性定理:
- 条件: 内部导体 q 已知, 边界 φ 或 $\frac{\partial\varphi}{\partial n}$ 已知
- 结论: 内电场与外无关

静电屏蔽

电像法: $+q$, $-q$, 导体平面

电介质电场

两极板间电场, $E=\frac{E_0}{\varepsilon_r}$ (介电常数) (空气 $=1$)

原因: 极化 (分子→电偶极子, 边界出现束缚电荷)

极化强度 $\vec P=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\vec E$, $q_束=-\oint\vec P\cdot d\vec s$

介质电场强度 $\vec E=\vec E_0+\vec E'$ (束缚电荷电场)

推导 Gauss 定理: $\oint\vec D\cdot d\vec s=\oint(\varepsilon_0\vec E+\vec P)\cdot d\vec s=\oint\varepsilon_0\varepsilon_r\vec E\cdot d\vec s=q_{自由}$

自由电荷, 不包括束缚电荷

电容: $C=\frac{Q}{U}$
- 平行板: $C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r S}{d}$
- 球壳: $\frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R_1R_2}{R_2-R_1}$ (用 Gauss 定理)

串联: $\frac1C=\sum\frac{1}{C_i}$ 每个电容带电 Q

并联: $C_总=\sum C_i$ 每个电容电压 U

能量: $W_e=\frac12QU=\frac12\frac{Q^2}{C}=\frac12CU^2$

电场能量密度 $w_e=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r E^2}{2}=\frac{DE}{2}$

11/6/2018

磁场

$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\times r}{r^3}$ 毕奥-萨伐尔(类比库仑)

Idl　r (电流元到场点)

磁偶极矩: $\vec m = IS\vec n$

(n: 线圈平面正法线方向, S: 面积)

有 $B=\frac{\mu_0 m}{2\pi r^3}$

磁感应强度 (运动电荷→电流元 $Idl \to qv$)

B 单位: 特斯拉 T

磁介质 (类比电介质)

束缚电流: $I'=\oint_L M\cdot dr$, ($\sigma'=M\times e_n$) (类比P)

磁化强度: $M=\frac{\mu_r-1}{\mu_0\mu_r}B$ (类比P)

磁场强度: $H=\frac{B}{\mu_0\mu_r}=\frac{B}{\mu}$ (类比D)

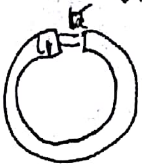
环路定理: $\oint_L H\cdot dr=\sum I_{0in}$ (自由I)

(类比D的Gauss)

(磁介质: $\mu=\mu_0\mu_r$)

磁路(类比电路)

铁芯+气隙



$H=\frac{B}{\mu_0\mu_r}l_1+\frac{B}{\mu_0}\delta=NI$

$B=\frac{\mu_0 NI}{\frac{l}{\mu_r}+\delta}$

$\phi=BS$, 有 $\left(\frac{l}{\mu_0\mu_r S}+\frac{\delta}{\mu_0 S}\right)\phi=NI$ (类比欧姆定律)

磁阻　磁动势

安培环路定理 (类比Gauss)

$\oint_C B\cdot dr=\mu_0\sum I_m$ (穿过回路电流代数和)

任意闭合回路

磁通量: $\Phi=B\cdot S$

$\oint B\cdot dS=0$

(右手定则: 电流正方向)

$\oint_C B\cdot dr=\mu_0\int_S\left(J_c+\varepsilon_0\frac{\partial E}{\partial t}\right)dS$ 广义安培环路定理

(I改变)

J_c: 传导电流

$J_d=\varepsilon_0\frac{\partial E}{\partial t}$: 位移电流密度

$I_d=\varepsilon_0\int_S\frac{\partial E}{\partial t}S$ 位移电流

磁力

带电粒子

$F=qv\times B$

v_0垂直B: 匀圆 $R=\frac{mv}{qB}$, $T=\frac{2\pi m}{qB}$

一般: 螺旋: 平行B方向: 匀直 $T=\frac{2\pi m}{qB}$; 垂直B: 匀圆 $R=\frac{mv_{\perp}}{qB}$; 螺距: $v_{\parallel}\cdot\frac{2\pi m}{qB}$

霍尔效应

$Eq=Bqv$

$V=Bvh=\frac{IB}{nqb}$

$\frac{V_H}{I}=\frac{B}{nqB}$

载流导线

两平行导线 ↑↑

$B=\frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$

$dF=I_2dl\times B=\frac{\mu_0 I_1 I_2 dl}{2\pi d}$ (同向相吸)

$\boxed{F=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}}$

(同吸异斥)

导线受力:

$dF=Idl\times B$

$F=\int_L Idl\times B$

(闭合回路合力)

载流线圈

(合力0)

受力矩 $M=m\times B$

$(m=ISe_n)$

电磁感应:

$\varepsilon=-\frac{d\phi}{dt}$, $I=\frac{\varepsilon}{R}$(感应电流)

楞次定律: 产生的ε阻止ε的产生原因

$q=\int_{t_1}^{t_2}Idt=\frac{1}{R}(\psi_1-\psi_2)$

磁链: $\psi=N\Phi_i$ 磁链

$\varepsilon=-\frac{d\psi}{dt}=-N\frac{d\Phi}{dt}$

动生电动势

因动产生的ε:

$=\frac{~~d(Blx)~~}{dt}=Blv$

原因: 洛伦兹力将电荷推动

(每个电荷受力 $f=ev\times B$,

电场 $E_{ne}=v\times B$

电动势 $\varepsilon_{ab}=\int_a^b(v\times B)dl$

(洛伦兹力总功为0)

自感, 互感

自感: $L=\frac{\psi}{I}$ (线圈的性质)

$\varepsilon_L=-L\frac{di}{dt}=-\frac{d\psi}{dt}$

$L\propto\mu n^2V$ (线圈的匝数, 体积V)

$(\mu=\mu_0\mu_r)$

互感: $\psi_{12}=M i_2$　$\psi_{21}=M i_1$

$\varepsilon_{12}=-\frac{Mdi_2}{dt}$, $\varepsilon_{21}=-\frac{Mdi_1}{dt}$

能量: 自感磁能 $W_m=\frac{1}{2}LI^2$

能量密度: $w_m=\frac{1}{2}BH=\frac{B^2}{2\mu}$

$W_{m总}=\int w_m dV$

感生电动势: 变化磁场产生

感生电场: $\oint E_感 dl=-\int_S\frac{\partial B}{\partial t}dS=-\frac{d\Phi}{dt}$

感生电动势: $\varepsilon=\oint E_i\cdot dl$

~~有势~~

而 $\oint E_感\cdot dS=0$

(无源场)

$E_感$

Physics
电磁学笔记
11/10/2018

	电	磁
电/磁场	一般：$E=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{e}$ $\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}$ 矢量叠加/积分求解 产生原因：q 对称：$\phi=\frac{\sum q_{内}}{\varepsilon_0}=\oint_S E\cdot ds$，利用对称性求解 (Gauss)	一般：$B=\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{Idl\times\vec{r}}{r^3}$ $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ (毕奥-萨伐尔) 矢量叠加/积分求解 产生原因：I 对称：$\Phi=\mu_0\sum I_{内}=\oint_l B\cdot dl$ 利用对称性求解 (安培) ($\oint_S B ds=0$)
力	$F=Eq$	带电粒子：沿B运动 垂直B时圆周运动 $\frac{mv}{qB}$，$\frac{2\pi m}{qB}$ 一 安培力：$F_a=BqV$ 平行电流相互作用 $F=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$
偶子	$p=q\vec{l}$，均匀电场中力矩 $M=p\times E$ (电矩) 能量 $W=-p\cdot E$ Taylor展开，$(1+x)^n=1+nx$	$m=IS\vec{n}$(正向)，均匀磁场中力矩 $M=m\times B$ (磁矩) 能量 $W=-m\cdot B$
势	定义：$\int_l E\cdot q\cdot dl$ (电场力做功) $\varphi_i=\frac{kq}{r}$(单一电荷) $\varphi=\sum\frac{kq}{r}$(代数和)	能量密度 $W_m=\frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$ $E_总=\int_V W_m dV$
能	电场中 $E=q\varphi$ 点电荷系 $E_总=E_互能=\frac{1}{2}\sum q_i\varphi_i$(除$q_i$的外电荷) 连续带电体 $E_总=E_自能=\frac{1}{2}\int q_i\varphi_i$(除自身$q_i$) 连续带电体系 $E_总=E_自+E_互$ 能量密度：$W_e=\frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ $E_总=\int W_e dV$	产生原因：磁化电流I(表面) (χ_m磁化率$=\mu_r-1$) 表征：磁化强度 $M=\frac{\mu_r-1}{\mu_0\mu_r}B$，$\oint M dl=I_{磁}$ 效果：$I_总=I_自+I_磁$，$B_总=B_0+B'$ 求法：Gauss $\oint H dl=\sum I_自$，$H=\frac{B}{\mu_0\mu_r}=\frac{B}{\mu_0}-M$ $\oint B dl=\mu_0\sum I_总$ (磁导率：$\mu_0\mu_r$) (通电螺线管内部：能量封闭) $H=nI_0$
介质	产生原因：束缚电荷q → 表征：极化强度 $P=\varepsilon_0 E(\varepsilon_r-1)$ $q'=-\oint P ds$ ($\chi_e=\varepsilon_r-1$ 电极化率) 效果：$q_总=q_自+q_束$，$E_总=E_0+E'$ 求法：Gauss $\oint_S D ds=q_{自内}$，$D=\varepsilon_0 E+P=E\varepsilon_0\varepsilon_r$ $\oint_S E ds=\frac{q_总}{\varepsilon_0}$ (电位移矢量)	感：$L=\frac{N\Phi}{I}=\mu n^2 V=\mu_0\mu_r n^2 V=\frac{\mu_0\mu_r N^2 S}{l}$ (n为匝数/体积，V，$\mu=\mu_0\mu_r$) 串：$\sum L=\sum L_i$ 并：$\sum\frac{1}{L}=\sum\frac{1}{L_i}$ 自感电动势 $\varepsilon=-L\frac{di}{dt}=-\frac{d\Psi}{dt}$ 互感电动势 $\varepsilon_{12}=-M\frac{di_1}{dt}$ 电压：$u=L\frac{di}{dt}$ (i_1在ε_2中产生) 能量 $E=\frac{1}{2}LI^2=\frac{1}{2}\frac{\Psi^2}{L}=\frac{1}{2}I\Psi$ 能量密度 $W_m=\frac{B^2}{2\mu_0\mu_r}=\frac{1}{2}BH$
容/感	容：$q=\frac{C}{U}$ 平板：$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r S}{d}$ 球壳：$\frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R_1R_2}{R_2-R_1}$ 串：$\sum\frac{1}{C}=\sum\frac{1}{C_i}$ 并：$\sum C=\sum C_i$ 电荷守恒 U守恒 能量 $E=\frac{1}{2}CU^2=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}=\frac{1}{2}QU$，$W_e=\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r E^2}{2}=\frac{DE}{2}$ 电流：$i=C\frac{du}{dt}$	
导体	内部等势 $E_内=0$ $q=0$电荷在表面 电荷守恒 表面场强 $E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{n}$ 受力 $F=\frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}\hat{n}$ 唯一性定理 (导体q/电荷 或φ/…电荷 的特定) → 电像法 有电荷系数	磁→电：$\varepsilon=-\frac{d\Psi}{dt}=-N\frac{d\Phi}{dt}$ (电动势) 动生：$E=v\times B$ $\varepsilon=\int E dl=vBL$(直杆) 感生：$\varepsilon=-N\frac{d\Phi}{dt}=\oint E dl$，(但$\oint_S E ds=0$) (方向：按圆心)
电流产生	电→磁：$I_{位移}=\varepsilon_0\oint_S\frac{dE}{dt}ds$ $J_{位移}=\varepsilon_0\frac{dE}{dt}$ ($\oint_L B dl=\mu_0\sum(I_{位移}+I_{传})$	
流	电流：$J=nqv$ $I=\int_S J ds=\int nqv\cdot ds$ 欧姆定律 欧姆：$I=\frac{U}{R}$，$I=\frac{\varepsilon}{R+r}$(电动势) 焦耳：$P=IU$，$I^2R$ 电阻：$R=\frac{\rho l}{S}=\frac{l}{\sigma S}$	磁通 Ψ ~~[illegible]~~ 磁通势：NI

Physics 光学

learn and let learn

杨氏双缝：双缝干涉：$\delta = r_2 - r_1 = d(\sin\theta) = d\frac{x}{D}$

明纹：$x_k = k\frac{D}{d}\lambda$，$\Delta x = \frac{D}{d}\lambda$

分振幅：光的相干条纹（同频率，干涉，不同厚度的相干条纹）

半波损失，光程差 $\delta\lambda$

最大光程差，$\delta_m = \frac{\lambda^2}{\delta\lambda}$

空间相干性：光源有宽度，可以完全相干

劈尖干涉：$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$

薄膜干涉：$d = \frac{R\lambda}{b}$

光程：$L = \int n\,dl$

相干光：同频率，$\Delta\varphi$ 恒定，$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\varphi$

衍射：菲涅耳

半波带法：

光学仪器的分辨本领：

分辨率：$R = \frac{1}{\delta\theta} = \frac{D}{1.22\lambda}$

光栅：$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$

单缝衍射：（近似）

暗纹：$a\sin\theta = \pm k\lambda$

明纹：$a\sin\theta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$（近似）

$d = a + b$ 光栅衍射：

① 光栅方程：$d\sin\theta = k\lambda$

主极大：$d\sin\theta = k\lambda$

② 缺级：$k = k'\frac{d}{a}$

$\Delta\varphi = 2k\pi$

$E_p = 2R\sin\frac{\alpha}{2}$，$\frac{\sin\beta}{\beta}$

$\alpha = \frac{a\sin\theta}{\lambda}\cdot 2\pi$

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

① 中央明纹：$\frac{\sin\beta}{\beta} = 1$

② 暗纹：$\sin\beta = 0$

③ 次极大：$\frac{dI}{d\beta} = 0$，$\tan\beta = \beta$

光强：$I_p = I_0\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2\left(\frac{\sin N\gamma}{\sin\gamma}\right)^2$

X射线衍射：布拉格公式：$2d\sin\varphi = k\lambda$

光栅光谱：

角色散：$D_\theta = \frac{\delta\theta}{\delta\lambda} = \frac{k}{d\cos\theta}$

线色散：$D_l = \frac{\delta x}{\delta\lambda} = \frac{kf}{d\cos\theta}$

$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$

等倾干涉：

① 劈尖

② 牛顿环

光程差：$2e + \frac{\lambda}{2}$

半径：$r^2 = 2Re$

暗环：$2e = k\lambda$，$r = \sqrt{kR\lambda}$

$n_1 > n_2 > n_3$

③ 等倾干涉

$\delta = 2ne\cos r + \frac{\lambda}{2} = 2e\sqrt{n^2 - n'^2\sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$

$\left(\frac{\sin i}{n'} = \frac{\sin r}{n}\right)$

光程差 $2ne\cos r$

环半径：$r = f\tan i$

④ Michelson干涉仪

$\Delta d = N\frac{\lambda}{2}$

偏振：

自然光

偏振光

线偏振光：$\frac{E_y}{E_x} = \pm r$

马吕斯定律：$I = I_0\cos^2\alpha$

偏振度：$P = \frac{I_P}{I_n + I_P}$

获得与检验：

起偏、检偏

反射和折射

布儒斯特：$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$

线偏振光

双折射

$n_1\sin i = n_2\sin r_e$

o光，e光

n_o, n_e：主折射率

二向色性

椭圆偏振光，圆偏振光

四分之一波片：$\Delta\delta = (n_o - n_e)d = \frac{\lambda}{4}$

半波片：$\Delta\delta = (n_o - n_e)d = \frac{\lambda}{2}$

全波片：$\Delta\delta = (n_o - n_e)d = \lambda$

检验：

① 旋转，2明2暗：线偏光

② 不变：自然光

③ 两明两暗：椭圆

1/1/2019

黑体辐射：辐出度 $M_\nu = \frac{dE_\nu(T)}{d\nu}$（单色）

$M_T = \int_0^\infty M_\nu(T) d\nu$

吸收比 $\alpha_\nu(T) = \frac{dE_\nu(吸收)}{dE_\nu(入)}$

实验定律：S-B定律：$M(T) = \sigma T^4$（$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$）

Wein：$\nu_m = C_\nu T$，$\lambda_m = \frac{b}{T}$

（5.88×10^{10}）（2.898×10^{-3}）

理论：planck：$M_\nu(T) = \frac{2\pi h}{c^2} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$ 能量量子化

（推公式时）

转换：$|M_\lambda d\lambda| = |M_\nu d\nu| = |M_\lambda \cdot \frac{c}{\nu^2} d\nu|$

光电效应：

饱和电流：$i_m \propto I$

截止电压：最大初动能与光强无关

红限频率：截止电压与频率

计算：$E = h\nu$ 能量

（红限频率 $\nu_0 = \frac{A}{h}$（逸出功））

$eU_c = h\nu - A = h\nu - eU_0 = \frac{1}{2}mv_m^2$

截止电压

$h = 6.63 \times 10^{-34}$

波粒二象性：波：ν, λ；粒：$E = h\nu$，$m = \frac{h\nu}{c^2}$，$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$（光子）

（德布罗意 $\lambda = \frac{h}{p}$）

康普顿散射

新波长 旧波长

$\Delta\lambda = 2\lambda_c \sin^2\frac{\theta}{2}$（散射角）$= \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\varphi)$

$\lambda_c = 2.426 \times 10^{-12}$ m 康普顿波长

不确定关系：$\hbar = \frac{h}{2\pi}$

$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$（位置）

$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$（时间能）

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

能量本征 势能 角量

$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x, t)$

Schrodinger：$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi = \hat{H}\psi$

波函数：单值，有限，连续，

归一化：$\int \psi\psi^* dx = 1$

Schrodinger：$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi(x,t)}{\partial x^2} + U\psi(x,t) = i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t}$

$(\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + U\psi)$

自由粒子波函数 $\psi(x,t) = Ae^{\frac{i}{\hbar}(p_x x - Et)}$

算符：$\hat{E} = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$

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

$\hat{p}_x^2 = -\hbar^2\frac{\partial^2}{\partial x^2}$

$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x,t)$（能量）

定态方程：$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi(x)}{\partial x^2} + U\psi(x) = E\psi(x)$ ($\frac{p^2}{2m} + U = E$)

波函数 $\Psi(x,t) = \psi(x)e^{-iEt/\hbar}$ 定态

无限深方势阱：

阱外：保证 ψ 有限 $\to \equiv 0$

阱内：$\phi''(x) + \frac{2mE}{\hbar^2}\phi(x) = 0$，

$\phi(x) = A\sin\sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}x + B\cos\sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}x$ 归一化 连续性

由 $\phi(0) = \phi(a) = 0$ 连续

$a\sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} = n\pi\ (n \in N^*)$ 最低能量不为0 能级 $n = 1$

$n = n$ 激发态

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

$\lambda_n = \frac{2a}{n}$

$\phi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{n\pi x}{a}$ $(0 < x < a)$

（正交性，归一化）

势垒：$U = \infty$，U_0，0，a

（隧道效应）

$(0, a)$，(a, ∞)

隧穿概率 $e^{-\frac{2a}{\hbar}\sqrt{2m(U_0-E)}}$

（势阱边界处连续，一阶导数连续）

整体连续，有限，一阶导连续

谐振子：$U(x) = \frac{1}{2}m\omega^2x^2$

能级：$E = (n + \frac{1}{2})h\nu$

零点能 $= \frac{1}{2}h\nu$

$= C_i\psi(x)$，$+ C_i\psi_i(x)$

概率分别为 $|C_1|^2$，$|C_i|^2$

原子的状态：定量子数

主量子数	n	能量 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}eV$	1, 2, 3 …
轨道量子数	l	轨道角动量 $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$	0 — $(n-1)$
轨道磁量子数	m_l	L 的z分量 $L_z = m_l\hbar$	0, ±1 — ±l（$2l+1$个取值）
自旋量子数	s	自旋角动量 $S = \sqrt{s(s+1)}\hbar$	$s = \frac{1}{2}$
自旋磁量子数	m_s	$S_z = m_s\hbar$（S的z分量）	$m_s = \pm\frac{1}{2}$（2个）
总角动量	$j = l \pm s$	总角动量 $J = \sqrt{j(j+1)}\hbar$	$j = l + \frac{1}{2}$ 平行 $j = l - \frac{1}{2}$ 反平行

5个量子数描述状态

原子态：$3P_{\frac{1}{2}}$

$n\ l\ j$

费米子：$m_s = \pm\frac{1}{2}$（电子）

玻色子：$m_s = 0, \pm 1$

$M_z = -M_B m_l$，9.27×10^{-24} J/T

能量 $E = -M_z B$，受力 $F_z = -\frac{\partial E}{\partial z} = -m_l\mu_B\frac{\partial B_z}{\partial z}$

$E = \mp M_B \cdot B$

$\Delta E_{\Phi} = 2\mu_B B$

和一般分裂：原子在 $\nu = \frac{\Delta E}{h}$

两能级之间跃迁 $\Delta t \cdot \frac{1}{\nu}$

X射线：①连续谱：电子轰击靶时减速产生（韧致辐射）

$\lambda_{cut} = \lambda_{min} = \lambda_{Emax} = \frac{hc}{eV}$（与靶无关）

② 特征谱：$\sqrt{\nu_{K\alpha}} = 4.97 \times 10^7(Z-1)$（莫塞莱公式）

原子序数

$L \to K$ 电子跃迁

激光：①粒子数反转（正常：$N_2 << N_1$，激光：$N_2 > N_1$）

②光抽运：亚稳态 $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}}$

He-Ne激光

③He 2s, 2s 亚稳态

① 激发态：He 能级

③ 光学谐振腔

电子数目

$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT}$

① 氢原子的Schrodinger方程：$\psi(r, \theta, \varphi) = R_{nl}(r)Y_{lm}(\theta, \varphi)$，$\sum C_i$

基态的径向概率分布：$P_{1,0,0}(r) = \frac{4}{a_0^3}r^2e^{-2r/a_0}$ 在 a_0 处最大

能量 $E_n = \frac{-e^2}{2(4\pi\varepsilon_0)a_0}\frac{1}{n^2}$，$a_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}$（0.0529nm 玻尔半径）

② 泡利不相容原理

能量最低原理

化学元素周期表 + 能量最低原理

（同一状态只能有一个）

电子分布：同一个n为一层 K, L, M, N

同n, l 为支壳层 s, p, d, f $(2(2l+1)个)$

支壳层：1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s …

每层最多 $\sum_0^{n-1} 2 \cdot (2l+1) = 2n^2$ 个