（三）近代物理

狭义相对论：洛仑兹变换、时间膨胀、尺度收缩、狭义相对论动力学问题

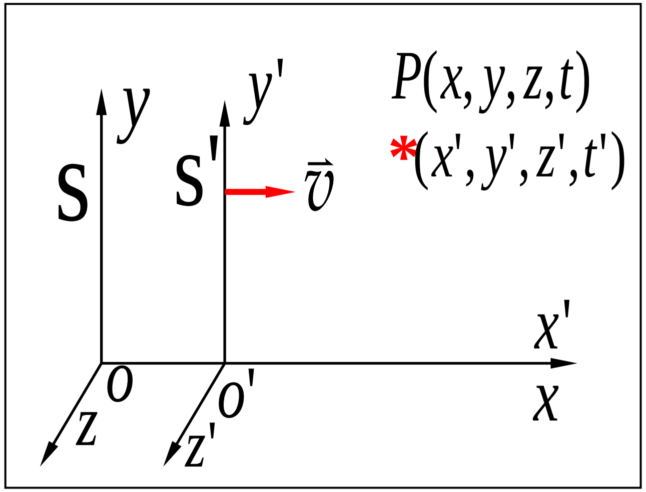
➤洛仑兹坐标变换

正变换

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \dfrac{t - \dfrac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \end{cases}$$

逆变换

$$\begin{cases} x = \dfrac{x' + vt'}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \dfrac{t' + \dfrac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \end{cases}$$



➢时间膨胀

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

➢尺度收缩

$$l = l_0\sqrt{1-\left(v/c\right)^2}$$

➢相对论动力学问题

◻质速关系

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \Rightarrow p = mv = \frac{m_o}{\sqrt{1-(v/c)^2}}v$$

◻功和动能

$$E_K = E - E_0 = mc^2 - m_o c^2$$

$$W = \Delta E = m_2c^2 - m_1c^2$$

◻能量和动量关系

$$E^2 = E_0^2 + p^2c^2 \Rightarrow \text{光子} p = \frac{E}{c}$$

8. （2011级，洛仑兹变换, 同时的相对性）

(1)对某观察者来说，发生在某惯性系中同一地点、同一时刻的两个事件，对于相对该惯性系作匀速直线运动的其它惯性系中的观察者来说，它们是否同时发生？

(2)在某惯性系中发生于同一时刻、不同地点的两个事件，它们在其它惯性系中是否同时发生？

关于上述两个问题的正确答案是：

(A) (1)同时，(2)不同时．　(B) (1)不同时，(2)同时．

(C) (1)同时，(2)同时．　(D) (1)不同时，(2)不同时．　[A]

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \Rightarrow \Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \Rightarrow$$

$$\Delta t = 0, \Delta x = 0, \text{则} \Delta t' = 0$$

$$\Delta t = 0, \Delta x \neq 0, \text{则} \Delta t' \neq 0$$

18．(2012级，时间膨胀)

μ子是一种基本粒子，在相对于μ子静止的坐标系中测得其寿命为 $\tau_0 = 3\times 10^{-6}$ s．如果μ子相对于地球的速度为 $v = 0.8c$ (c 为真空中光速)，则在地球坐标系中测出的μ子的寿命 τ=________________秒．

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

8．(2012级，尺度收缩)

边长为a的正方形薄板静止于惯性系K的Oxy平面内，且两边分别与x，y轴平行．今有惯性系K'以$0.8c$（c为真空中光速）的速度相对于K系沿x轴作匀速直线运动，则从K'系测得薄板的面积为

(A) $0.6a^2$． (B) $0.8a^2$． (C) a^2． (D) $a^2/0.6$．[A]

长度收缩只发生在运动方向上，在与运动方向垂直的方向上不发生长度收缩。

$$l_x = l_{x0}\sqrt{1-(v/c)^2} = a\sqrt{1-(0.8c/c)^2} = 0.6a \qquad S = 0.6a \times a = 0.6a^2$$

7. （2011级，相对论动力学问题）

把一个静止质量为m_0的粒子，由静止加速到$v=0.6c$（c为真空中光速）需作的功等于

$$W = mc^2 - m_0c^2$$

(A) $0.18m_0c^2$． (B) $0.25\ m_0c^2$．

(C) $0.36m_0c^2$． (D) $1.25\ m_0c^2$． [ ]

早期量子论：光电效应、康普敦效应、德布罗意波

➢光电效应

电子吸收光子能量后，一部分消耗于电子逸出金属表面时所做的功（**逸出功A**），另一部分转化成电子的动能

爱因斯坦光电效应方程

$$\boxed{h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2}$$

红限频率ν_0或红限波长λ_0：刚好能发生光电效应的入射光最小频率或最大波长

$$h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0} = A$$

当反向电压增至U_c**(截止电压or遏止电压)**时，光电流为零。

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_c$$

- 德布罗意波　　$\nu = E/h \quad \lambda = h/p$ 光子

- 康普敦效应：X射线被物质散射时，散射光中不仅有与入射光相同的波长成分，更有波长大于入射光波长的成分——证明了光具有粒子性 。

康普顿公式：$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\varphi) = \lambda_C(1-\cos\varphi)$$

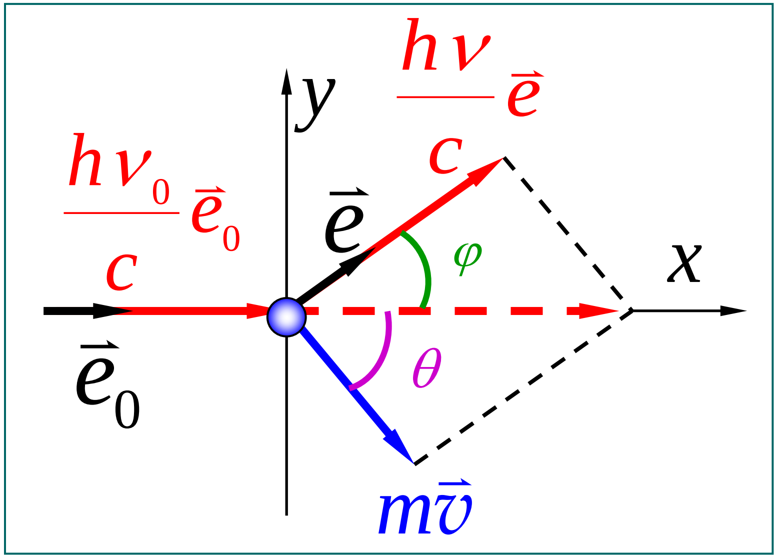
康普顿波长

康普顿效应：高能光子与静止自由电子弹性碰撞

□能量守恒

$$h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + mc^2$$

□动量守恒



x方向： $\dfrac{h\nu_0}{c} = \dfrac{h\nu}{c}\cos\varphi + mv\cos\theta$

y方向： $0 = \dfrac{h\nu}{c}\sin\varphi - mv\sin\theta$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

联立方程 $\dfrac{c}{\nu} - \dfrac{c}{\nu_0} = \dfrac{h}{m_0c}(1-\cos\varphi)$ ⇒ $\lambda - \lambda_0 = \dfrac{h}{m_0c}(1-\cos\varphi)$

康普顿波长 $\lambda_C = \dfrac{h}{m_0c} = 2.43\times10^{-12}\,\mathrm{m} = 2.43\times10^{-3}\,\mathrm{nm}$

9（2012级，光电效应）

已知一单色光照射在钠表面上，测得光电子的最大动能是 1.2 eV，而钠的红限波长是 540nm，那么入射光的波长是

(A) 535nm. (B) 500nm.

(C) 435nm. (D) 355nm. [**D**]

(普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s，1 eV $=1.60\times10^{-19}$ J)

$$\left.\begin{aligned} h\nu &= A+\frac{1}{2}mv^2 \\ \lambda &= c/\nu \end{aligned}\right\} \lambda=\frac{ch}{A+1/2\,mv^2}=\frac{ch}{hc/\lambda_0+E_k}=\frac{1}{1/\lambda_0+E_k/hc}$$

7（2010级，光电效应，洛仑兹力）

在均匀磁场 B 内放置一极薄的金属片，其红限波长为 λ_0．今用单色光照射，发现有电子放出，有些放出的电子(质量为 m，电荷的绝对值为 e)在垂直于磁场的平面内作半径为 R 的圆周运动，那么此照射光光子的能量是：

(A) $\dfrac{hc}{\lambda_0}$. (B) $\dfrac{hc}{\lambda_0}+\dfrac{(eRB)^2}{2m}$.

$$R=\frac{mv}{qB}\Rightarrow v=\frac{eBR}{m}$$

(C) $\dfrac{hc}{\lambda_0}+\dfrac{eRB}{m}$. (D) $\dfrac{hc}{\lambda_0}+2eRB$. [**B**]

光子能量$h\nu=A+\dfrac{1}{2}mv^2=h\dfrac{c}{\lambda_0}+\dfrac{1}{2}m\left(\dfrac{eBR}{m}\right)^2$

10（2012级，康普顿效应）

在康普顿散射中，如果设反冲电子的速度为光速的 60%，则因散射使电子获得的能量是其静止能量的

$\Delta E = E - E_0 = mc^2 - m_o c^2$

(A) 2 倍.　　(B) 1.5 倍.

(C) 0.5 倍.　　(D) 0.25 倍.　　[　　]

表面是康普顿效应，其实是相对论力学

19（2011级，德布罗意波，康普顿效应，相对论动力学）

令 $\lambda_c = h/(m_e c)$ (称为电子的康普顿波长，其中 m_e 为电子静止质量，c 为真空中光速，h 为普朗克常量)．当电子的动能等于它的静止能量时，它的德布罗意波长是 $\lambda =$ __________ λ_c .

$$E_k = E - E_0 = E_0 \quad \Rightarrow \quad E = 2E_0$$

$$E^2 = E_0^2 + p^2c^2 \quad \Rightarrow \quad p = \sqrt{E^2 - E_0^2}/c = \sqrt{3}E_0/c = \sqrt{3}m_e c$$

$$\lambda = h/p = h/\sqrt{3}m_e c = \lambda_c/\sqrt{3}$$

量子力学初步：波函数性质（概率波，不考薛定谔方程）、氢原子光谱及跃迁，氢原子的量子力学结论（能级、轨道角动量、角动量空间量子化）、四个量子数、壳层结构、不相容原理

➢ 氢原子光谱及跃迁

$$E_n = E_1/n^2 = -13.6eV/n^2$$

电子从E_n向E_k跃迁放出光子的频率：

$$\nu = \frac{E_n - E_k}{h} = \frac{13.6eV}{h}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

k<n

里德伯公式

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

R:里德伯常数

➢ 不相容原理

在一个原子中不可能有两个或两个以上的电子处于相同的状态，即不可能具有相同的四个量子数。

给定的主量子数(主壳层)n，最多容纳电子数$2n^2$

➢波函数的性质

在a到b内发现粒子的概率：

$$P=\int_a^b|\Psi(x,t)|^2\,dx=\int_a^b|\psi(x)|^2\,dx$$

概率密度：$|\Psi(x,t)|^2=|\psi(x)|^2$

□某一时刻在整个空间内发现粒子的概率：

$$\int|\Psi|^2\mathrm{d}V=1$$

归一化条件

□有限性 $\int|\Psi|^2\mathrm{d}V\le 1$

□单值性 $|\Psi|^2$ 是单值的

□连续性 Ψ和$\mathrm{d}\Psi/\mathrm{d}x$一般连续

➤量子数

量子数	名称	取值	物理意义
n	主量子数	**1,2,3,…**	能量是量子化 $E_n=-\frac{1}{n^2}\frac{me^4}{8\varepsilon_0{}^2h^2}=-\frac{13.6eV}{n^2}$
l	轨道量子数	**0,1,2,…,*n*-1**	“轨道”角动量是量子化 $L=\sqrt{l(l+1)}\hbar$
m_l	(轨道)磁量子数	**0, ±1, ±2, …, ±*l***	角动量的空间取向是量子化 $L_z=m_l\hbar,$
m_s	自旋磁量子数	**±1/2**	自旋的空间取向是量子化 $S_z=m_s\hbar,$

主壳层　具有相同主量子数n的电子构成一个壳层

n	1	2	3	4	5	6	7
	K	L	M	N	O	P	Q

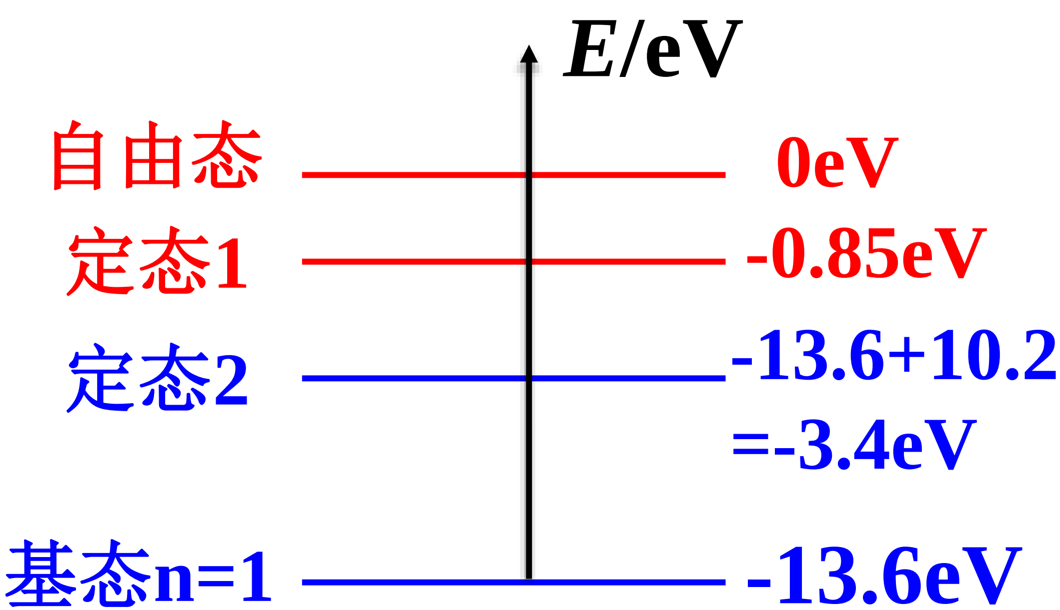
次壳层

l	0	1	2	3	4	5	6
	s	p	d	f	g	h	i

18（2009级，氢原子光谱及跃迁）

氢原子由定态 1 跃迁到定态 2 可发射一个光子．已知定态 1 的电离能为 0.85 eV，又知从基态使氢原子激发到定态 2 所需能量为 10.2 eV，则在上述跃迁中氢原子所发射的光子的能量为__________eV．

氢原子电离能：从定态(不一定是基态)到自由态(0eV)所需最小能量。



光子能量:

-0.85-(-3.4)=2.55eV

20（2012级，不相容原理，量子数）

在主量子数$n=3$，自旋磁量子数$m_s=\frac{1}{2}$的量子态中，能够填充的最大电子数是____________________. $m_s=1/2$, 最大容纳电子数n^2

10（2011级，量子数）

下列各组量子数中，哪一组可以描述原子中电子的状态？

(A) $n=2$，$l=2$，$m_l=0$，$m_s=\frac{1}{2}$.

(B) $n=3$，$l=2$，$m_l=-1$，$m_s=-\frac{1}{2}$.

(C) $n=1$，$l=2$，$m_l=1$，$m_s=\frac{1}{2}$.

(D) $n=1$，$l=0$，$m_l=1$，$m_s=-\frac{1}{2}$.

根据量子数的取值规定 [**B**]

9（2010级，量子数）

在氢原子的M壳层中，电子可能具有的量子数(n,l,m_l,m_s)是

(A) $(3,2,0,\frac{1}{2})$.

(B) $(2,0,0,\frac{1}{2})$.

M壳层，n=3

(C) $(3,3,1,-\frac{1}{2})$.

(D) $(2,1,0,-\frac{1}{2})$.

[**A**]

20（2011级，波函数性质（概率波））

粒子在一维无限深方势阱中运动（势阱宽度为a），其波函数为

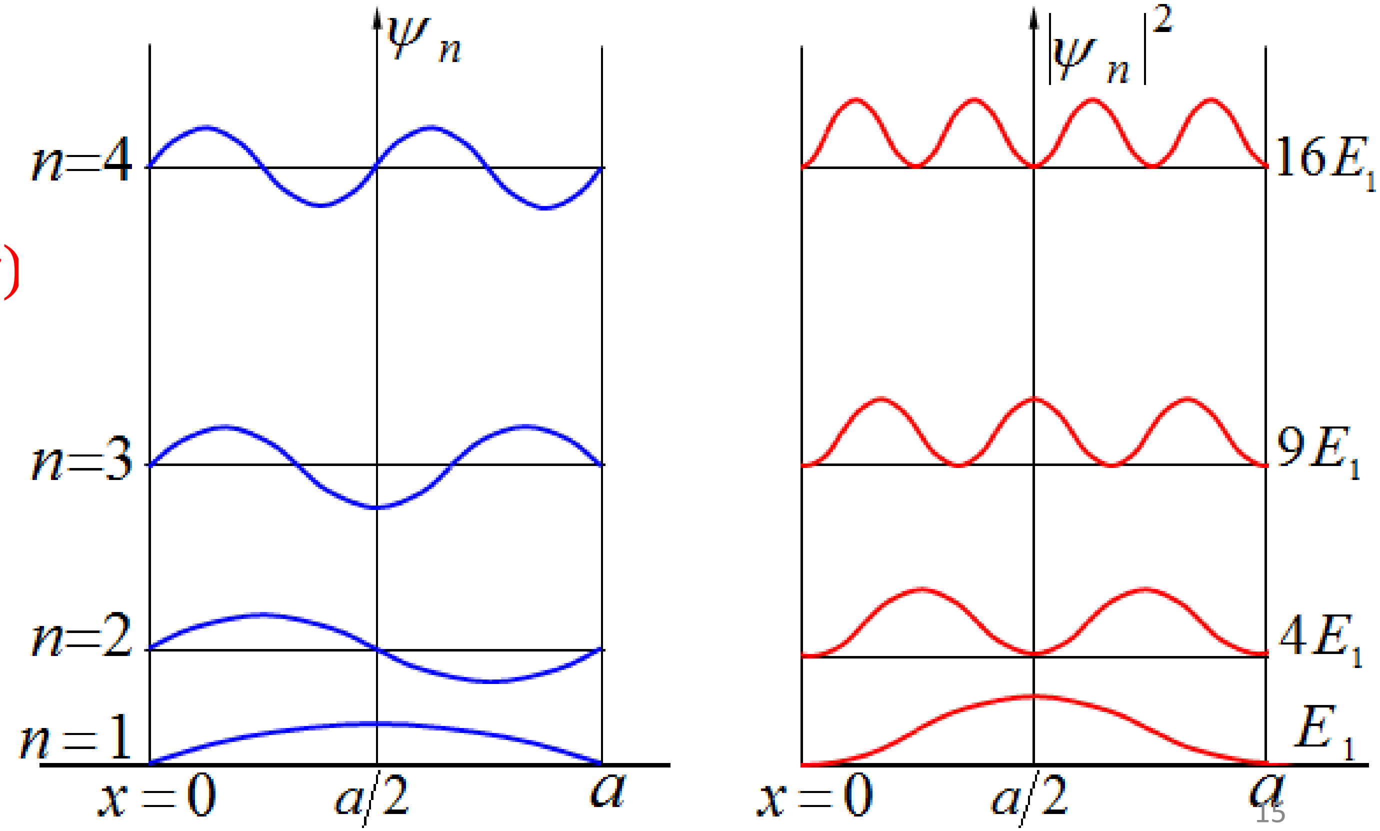
$$\psi(x)=\sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{3\pi x}{a}\qquad (0<x<a),$$

粒子出现的概率最大的各个位置是$x=$____________.

一维无限深势阱

$$\varphi(x)=\sqrt{\frac{2}{a}}\sin(\frac{n\pi}{a}x)$$

$\Rightarrow$ $n=3$



（一）静电学

真空中的静电场： 电场强度、电势、静电场力及其做功

➢ 电场强度

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

点电荷 $\vec{E} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}\vec{e}_r$

无限长带电直线 $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$ 电荷线密度

无限大带电平面 $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ 电荷面密度

在电介质中时，ε_0换成$\varepsilon = \varepsilon_0\,\varepsilon_r$

➢静电场力及其做功

$$\vec{F}=q\vec{E} \quad A=\int_l q\vec{E}\cdot d\vec{l}$$

静电场力做功仅与始末位置有关，与路径无关，是保守力。

沿闭合路径一周，电场力作功为零 $\oint_l \vec{E}\cdot d\vec{l}=0$

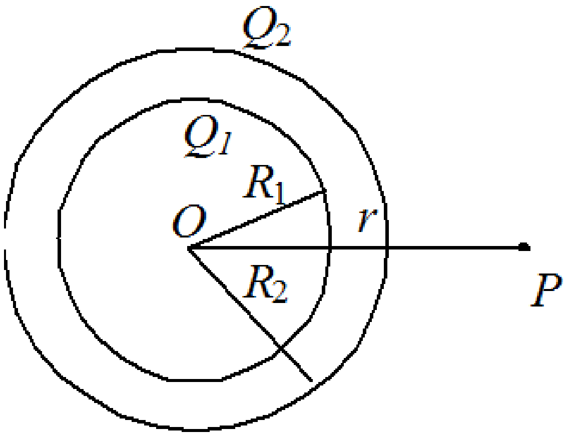
➢电势

$$U_{AB}=U_A-U_B=\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l} \quad U_A=\int_A^{\infty} \vec{E}\cdot d\vec{l}$$

点电荷电势 $U=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

1（2012级，电场强度）

如图所示，两个同心均匀带电球面，内球面半径为R_1、带有电荷Q_1，外球面半径为R_2、带有电荷Q_2，则在外球面外面、距离球心为r处的P点的场强大小E为：



(A) $\dfrac{Q_1+Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

(B) $\dfrac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0(r-R_1)^2}+\dfrac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0(r-R_2)^2}$.

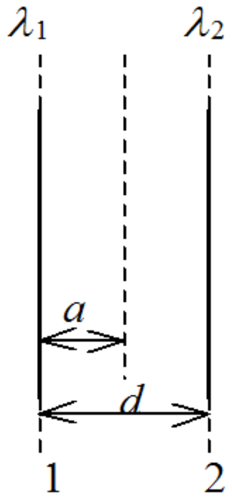
(C) $\dfrac{Q_1+Q_2}{4\pi\varepsilon_0(R_2-R_1)^2}$.

(D) $\dfrac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

[A]

$\vec{E}=\sum\limits_i \vec{E}_i$ 或直接高斯定理

11（2012级，电场强度）



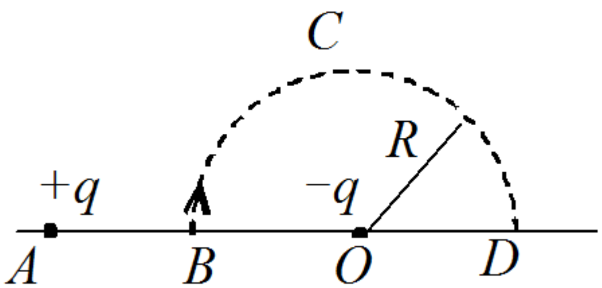
两根相互平行的“无限长”均匀带正电直线 **1**、**2**，相距为 d，其电荷线密度分别为$+\lambda_1$和$+\lambda_2$如图所示，则场强等于零的点与直线 **1** 的距离 a 为 $\dfrac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}d$.

无限长带电直线 $E=\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

$$E_1+E_2=\frac{\lambda_1}{2\pi\varepsilon_0 a}-\frac{\lambda_2}{2\pi\varepsilon_0(d-a)}=0$$

13（2012级，静电场力及其做功）

图示 **BCD** 是以 **O** 点为圆心，以 **R** 为半径的半圆弧，在 **A** 点有一电荷为 $+q$ 的点电荷，**O** 点有一电荷为 $-q$ 的点电荷．线段 $\overline{BA}=R$．现将一单位正电荷从 **B** 点沿半圆弧轨道 **BCD** 移到 **D** 点，则电场力所作的功为________________________．



静电场力做功仅与始末位置有关，与路径无关

正电荷做的功

$$A=\int_l q_0\vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l}=\int_R^{3R}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}dr=\frac{q}{6\pi\varepsilon_0 R}$$

负电荷不做功（r不变）

静电场中的导体和电介质：静电感应、真空及有电介质时的高斯定理、电通量、有电介质时的电场与电位移、电容、电场能量

➢静电感应　　静电平衡

- 导体内部任何一点处的电场强度为零
- 导体表面处的电场强度的方向，都与导体表面垂直
- 导体是等势体
- 实心导体：导体内部无净电荷，电荷只能分布于导体外表面。
- 有空腔导体
  - •腔内无电荷：电荷分布在外表面上（内表面无电荷）
  - •空腔内有电荷+*q*: 内表面因静电感应出现等值异号的电荷-*q*，外表面有感应电荷 +*q*(电荷守恒)

➢真空及有电介质时的高斯定理

真空：$\oint_S \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum q$　　有电介质：$\oint_S \vec{D}\cdot \mathbf{d}\vec{S} = \sum q_{\text{自由}}$

➢有电介质时的电场与电位移 $\vec{E} = \vec{D}/\varepsilon = \vec{D}/\varepsilon_0\varepsilon_r$

真空中场强$\mathbf{E}_0$与有介质场强$\mathbf{E}_r$的关系 $\vec{E} = \vec{E}_0/\varepsilon_r \quad \vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E} = \varepsilon_0\vec{E}_0$

➢电通量 $\Phi_e = \int_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \int_S E\cos\theta dS$

➢电容 孤立导体电容 $C = \dfrac{Q}{V}$ 电容器电容 $C = \dfrac{Q}{U} = \dfrac{Q}{Ed}$ 平行板电容器 $C = \dfrac{\varepsilon_0\varepsilon_r S}{d}$

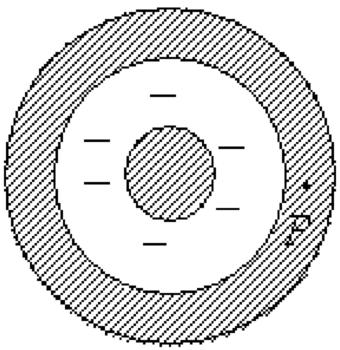
电容器间电场强度为两极板(无限大带电平面)电场的叠加，但两极板各自感受到的电场强度为极板间电场强度的一半。

电容串联 $\dfrac{1}{C} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \cdots\cdots + \dfrac{1}{C_n}$ 电容并联 $C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$

➢电场能量 电容器电能 $W_e = \dfrac{Q^2}{2C} = \dfrac{1}{2}QU = \dfrac{1}{2}CU^2$ 电场能量密度 $w_e = \dfrac{1}{2}\varepsilon E^2 = \dfrac{1}{2}ED$

2（2012级，静电感应，电势）

如图所示，一带负电荷的金属球，外面同心地罩一不带电的金属球壳，则在球壳中一点 P 处的场强大小与电势(设无穷远处为电势零点)分别为：



(A) $E = 0$，$U > 0$.　　(B) $E = 0$，$U < 0$.

(C) $E = 0$，$U = 0$.　　(D) $E > 0$，$U < 0$.

静电平衡导体内部电场为零，是等势体

$$U_A = \int_A^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

[**B**]

14（2012级，电场能量，电容）

一空气电容器充电后切断电源，电容器储能 W_0，若此时在极板间灌入相对介电常量为 ε_r 的煤油，则电容器储能变为 W_0 的________倍．如果灌煤油时电容器一直与电源相连接，则电容器储能将是 W_0 的__________倍．

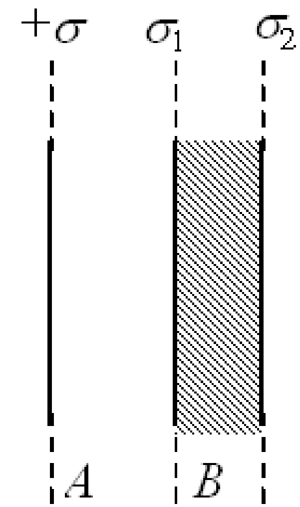
$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \qquad C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} = \varepsilon_r C_0$$

切断电源，Q不变　$$W_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{W_0}{\varepsilon_r}$$

连接电源，U不变　$$W_e = \frac{1}{2} C U^2 = \varepsilon_r W_0$$

2（2011级，静电感应，电场强度）

一“无限大”均匀带电平面 A，其附近放一与它平行的有一定厚度的不带电的“无限大”平面导体板 B，如图所示．已知 A 上的电荷面密度为 $+\sigma$，则在导体板 B 的两个表面 1 和 2 上的感生电荷面密度为：



(A) $\sigma_1=-\sigma$，$\sigma_2=+\sigma$．

(B) $\sigma_1=-\frac{1}{2}\sigma$，$\sigma_2=+\frac{1}{2}\sigma$．

(C) $\sigma_1=-\frac{1}{2}\sigma$，$\sigma_2=-\frac{1}{2}\sigma$．

(D) $\sigma_1=-\sigma$，$\sigma_2=0$．

无限大带电平面 $E=\dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

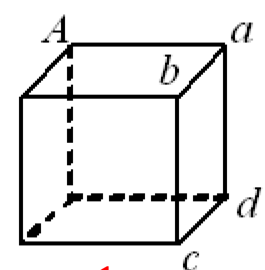
$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}=0$$

原来不带电 $\sigma_1+\sigma_2=0$

$$\left.\begin{matrix}\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}=0\\ \sigma_1+\sigma_2=0\end{matrix}\right\}\sigma_1=-\frac{1}{2}\sigma,\sigma_2=\frac{1}{2}\sigma$$

12（2011级，电通量，高斯定理）

如图所示，一点电荷 q 位于正立方体的 A 角上，则通过侧面 $abcd$ 的电场强度通量 ϕ_e = ________．



以A为中心，用8个立方体构建一个2*2*2的大立方体，其外表面的电通量，根据高斯定理：

$$\phi=\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{q}{\varepsilon_0}\qquad \phi_e=\frac{1}{24}\phi=\frac{q}{24\varepsilon_0}$$