



第一章 静电场

第一节 电荷的量子化 电荷守恒定律

一、电荷的基本性质

- (一)电荷的种类:正电荷与负电荷
- (二)电荷的量子性:基本电荷单位 $e = 1.602 \times 10 19$ C, Miliken 油滴试验
- (三)电荷守恒:湮灭和产生不违背电荷守恒
- (四)电荷的相对论不变性:一个电荷的电量与它的运动状态无关。

二、电荷守恒定律

在孤立系统中,电荷的代数和保持不变(自然界的基本守恒定律之一)

第二节 库仑定律



一、库仑定律的发现过程

(类比方法的应用)

二、点电荷

点电荷:带电体线度 << 带电体之间距离

三、库仑定律

1785 年, C.A. Coulomb 扭秤实验:
$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{e}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

强调:适用条件,有心力,平方反比律,叠加原理(两个点电荷之间的作用力并不因第三个点电荷的存在而有所改变,叠加原理与库仑定律相结合,构成了整个静电学的基础)。

第三节 电场强度



一、关于场的概念

(介绍超距作用和近距作用;实验证实场的观点的正确性,电场和磁场是客观存在的物质,具有动量和能量,可脱离电荷和电流单独存在;静电场的概念)

二、电场强度

 $\vec{E} = \vec{F}/q_0$ (场源电荷,试验电荷);

三,点电荷的场强公式

$$\vec{\mathrm{d}E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\mathrm{d}q}{r^2} \vec{e}_r$$

四 电场叠加原理

(它是电力叠加原理的直接结果,是求解电场的一个重要基础。)

- 1)点电荷系电场中的场强 $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$ (电偶极子例题)
- 2) 电荷连续分布的带电体的场强 $\vec{E} = \int d\vec{E}$ (体分布;面分布;线分布)

解体思路:

- 1)建立适当的坐标系;
- 2)选取空间分布物理量的的元量;
- 3)写出由此元量引起所求物理量元量的定义式,是矢量必须写成分量形式;
- 4)对整个分布空间进行积分。
- 例 1:均匀带电圆环轴线上的电场强度
- 例 2.均匀带电圆盘轴线上的电场强度(特别记忆无限大带电平面的场强公式)



一、电场线

(电场的图示法)

- 1)规定:曲线上每一点的切线方向就是该点的电场强度的方向,曲线的疏密程度表示该点的电场强度强度的大小
 - 2)性质(起始于正电荷,终至于负电荷;不相交;不闭合)
 - 3)用电场线表示电场场强度 $E = d\Phi/dS$

二、电场强度通量

(电通量)

- 1)定义:通过磁场中某一曲面的电场线数叫做通过此曲面的电通量
- 2)根据定义推导磁通量的表达式
- 3)闭合曲面的电通量(规定:面元法线方向由闭合面内指向面外

三、高斯定理

(在真空中,通过任一闭合曲面的电场强度通量,等于该闭合曲面所包围的所有电荷的 代数和除以 ϵ_0 : $\Phi_e = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i$)

- 1)高斯定理简略证明
- 2) 高斯定理的物理意义:

高斯定律可从库仑定律严格导出,它是平方反比规律的必然结果。但库仑定律只适用 于静止点电荷产生的电场,而高斯定律则是关于电场的普遍的基本规律(适用运动电荷的 电场)。

高斯定律中的 E 是封闭曲面上各点的场强,是由面内和面外所有电荷共同产生的,不只由封闭面内电荷所产生。但通过封闭曲面的总电通量只取决于它所包围的电荷。

高斯定律反应了静电场是有源场:从电量为 q 的正电荷总是反射出 q/0 条电场线,周围的电荷只能改变电场线的分布情况,但不能改变该点电荷反射出的电场线的总条数。

在已知电场分布的情况下,可根据高斯定律求出任意区域内的电荷;当电荷分布具有某种对称性时,也可利用高斯定律求出电场分布

四、高斯定理求解场强的一般步骤

- 1)对称性分析:根据电荷分布对称性分析电场对称性。
- 2)选择适当的闭合积分曲面作为高斯面:电场垂直于或密切于高斯面。垂直于高斯面 的电场应当有相同的值,其通量就等于场强的量值和面积的乘积;密切于高斯面的电场提供 的通量为零。

五、典型例题

1)求均匀带电球面的电场分布。设球面半径为 R,球面上所带总电量为 q (q>0)。

$$0 < r < R \ \ \vec{E} = 0, r > R \ \ \ \vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

2)求均匀带电无限长圆柱面(λ, R)(或直导线)的电场分布。(与叠加法比较)

圆柱面:
$$0 < r < R$$
 时 $\vec{E} = 0$, $r > R$ 时 $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$

直导线:
$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

3)求无限大均匀带电平面的电场分布。已知带电平面面电荷密度为 $\sigma_{\rm o} E \approx \frac{\sigma}{2\varepsilon_{\rm o}}$

第五节 静电场的环路定理 电势能



一、静电场力所做的功

- (一)点电荷的电场做功;
- (二)任意电荷组的电场做功。 $W = \sum_i q_0 \int_l \vec{E}_i \cdot d\vec{l}$

结论:静电场力做功与路径无关

二、静电场的环路定理

 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ (说明静电场是保守场)

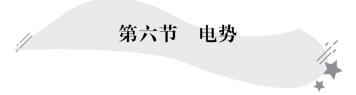
三、电势能

1)试验电荷 q0 在电场中某点的电势能,在数值上就等于把它从该点移到零势能处静电场力所作的功。

$$\Leftrightarrow E_{\rm pB} = 0$$
, $E_{\rm pA} = \int_{AB} q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$

2)静电场是保守场,静电场力是保守力。静电场力所做的功就等于电荷电势能增量的 负值

电势能的大小是相对的,电势能的差是绝对的。



一、电势

 $V_A = \int_A^{V=0} \vec{E} \cdot d\vec{l}$ (注意电势是如何引入的,类似于电场强度的引入。电势是电场强度外另一描述电场的物理量,为标量,是势函数)

- 1)物理意义: A 点的电势为把单位正试验电荷从点 A 移到电势零点处时,静电场力所作的功
- 2)电势零点的选取:有限带电体以无穷远为电势零点,实际问题中常选择地球电势为零 (解释其合理性:以点电荷为例,如取点电荷处为零点,各点电势为无穷大,这样就掩盖了各 点间的电势差异)
- 3) 电势差 $U_{AB}=V_A-V_B=\int_{AB}\vec{E}\cdot\mathbf{d}\vec{l}$ (电势差是绝对的,与零点的选择无关;电势是相对的)
 - 4) 静电力做功 $W_{AB}=q_0V_A-q_0V_B=-q_0U_{BA}$

二、点电荷的电势

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$
 (注意,以无限远为电势零点)

三、求电势的方法

方法一:已知电荷分布,目选无限远为电势零点时应用点电荷电势叠加。

方法二:已知场强分布时用定义式。

典型例题:均匀带电球面的电势分布

第七节 电场强度与电势梯度



一、等势面

(电势图示法)空间电势相等的点连接起来所形成的面称为等势面. 为了描述空间电势的分布,规定任意两相邻等势面间的电势差相等

- 1)在静电场中,电荷沿等势面移动时,电场力做功0。
- 2)在静电场中,电场强度总是与等势面垂直的,即电场线是和等势面正交的曲线簇[根据电力线与等势面正交的性质,我们便可以从电力线看出电势的分布,反之可以从等势面估计出电场的分布,实际上往往先知道电势分布。这是因为 a、电势更容易计算;b、实验的方法更容易确定电势图;c、最重要的原因是:实际的场合,用外部条件控制的不是电荷分布,而是电场中某些等势面的形状和电势值(利用导体的性质)。]
- 3)电场强度的方向恒指向电势降落的方向;4、等势面的疏密程度同样可以表示场强的 大小

二、电场强度与电势梯度

$$\vec{E} = -\nabla V$$

- 1)空间某点电场强度的大小取决于该点领域内电势的空间变化率
- 2)电场强度的方向恒指向电势降落的方向
- 3)为求电场强度提供了一种新的途径



第二章 静电场中的导体与电介质

第一节 静电场中的导体



一、静电感应

<u>导体</u>中(包括表面)没有<u>电荷</u>定向移动的状态叫做静电平衡静电平衡条件:(或者说导体为一等势体,与下列说法等效)

- 1)导体内部任何一点处的电场强度为零;(导体内部自由电荷无定向移动)
- 2)导体表面处的电场强度的方向,都与导体表面垂直(导体表面自由电荷也无定向移动)

二、静电平衡时导体上电荷的分布

- 1)实心导体(结论:导体内无电荷,注意是无静电荷,电荷分布在表面上)
- 2)有空腔导体(结论:空腔内无电荷,并且内表面无电荷,电荷分布在外表面上)
- 3)导体表面电场强度与电荷面密度的关系(表面电场强度的大小与该表面电荷面密度成正比)
- 4) 导体表面电荷分布(曲率大的地方面密度大;尖端放电:电风实验;高压输电的电线;避雷针;)

三、静电屏蔽(及应用)

- 1)屏蔽外电场:空腔导体可以屏蔽外电场,使空腔内物体不受外电场影响。这时,整个空腔导体和腔内的电势也必处处相等。
 - 2)屏蔽腔内电场:接地空腔导体将使外部空间不受空腔内的电场影响。

第二节 电介质及其极化



一、电介质对电场的影响

$$E = E_0 / \varepsilon_r$$
, $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

二、电介质的极化

(有极分子:转向极化;无极分子:位移极化)

三、电介质中的电场强度

极化电荷与自由电荷的关系 $Q'=Q_0(\varepsilon_r-1)/\varepsilon_r$

第三节 电位移矢量、有介质存在时的高斯定理

以均匀介质的平行板电容器为例,由静电场高斯定理(消去等式右边的极化电荷):

这就是有电介质时的高斯定理。

- 1)引入电位移矢量的原因:
- 2)有介质时先求: $\vec{D} \rightarrow \vec{E} \rightarrow U$;

第四节 电容器和电容



一、电容器的电容

1) $C = Q/(V_A - V_B) = Q/U$ (电容的大小仅与导体的形状、相对位置、其间的电介质有

关,与Q无关)

- 2)单位:
- 3) 击穿场强; 击穿电压(电容器中的电介质能承受的最大电场强度和电压)
- 4)求电容步骤:(1)设两极板分别带电±Q:(2)求场强 E:(3)求电势 U:(4)求电容 C。
- 5)例题(平行板电容器、球形电容器、圆柱形电容器)

二、电容器的串联和并联

- 1)电容器的并联: $C = C_1 + C_2$;
- 2)电容器的串联: $1/C = 1/C_1 + 1/C_2$

第五节 静电场的能量



一、电容器的电能

(通过外力做功转化为电能的机理,讨论平行板电容器的带电过程,得出电容器的电能)设有一平行板电容器,某时刻电势差为U,若此时把 + dq 电荷从负极板移动到正极板时,外力克服静电力需做功为:+ $dq \Rightarrow W_{\rm e} = \frac{1}{C} \int_0^Q q {\rm d}q = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2$ 即电容器储存的电容

二、静电场的能量

能量密度(物理意义:电场是一种物质,它具有能量)

$$W_{\rm e} = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon S}{d}(Ed)^2 = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 Sd$$

- 1)电场能量密度: $w_{\rm e} = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} ED$;
- 2)电场空间所存储的能量: $W_{\rm e} = \int_V w_{\rm e} {
 m d}V = \int_V \frac{1}{2} \varepsilon E^2 {
 m d}V$



第三章 恒定磁场

第一节 恒定电流 电动势



一、电流

- 1)已知的定义:电流为通过截面 S 的电荷随时间的变化率 I=dq/dt
- 2)微观上:dq=qnvddtdScosa;I=qnvddScosa。(形成电流的带电粒子称为载流子,定向移动的平均速度叫漂移速度)
- 3)为了更加全面地描述电流,我们引入电流密度矢量的概念,大小为 j=qnvd,则 $I=\int_{s}\vec{j}\cdot d\vec{S}$
- ▲ j 表示单位时间内过该点附近垂直于正电荷运动方向的单位面积的电荷,方向沿着正电荷运动方向。
 - ▲电流为通过某一面积的电流密度通量 $I = \oint_s \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dQ_{in}}{dt}$ (电流的连续性方程)

二、恒定电流

(导体中电流(或电流密度)不随时间变化的电流)

- 1) $\oint \vec{j} \cdot d\vec{S} = 0$; $\Rightarrow \sum I_i = 0$ (节点电流方程或基尔霍夫第一方程)
- 2)恒定电流一定是闭合的:

三、恒定电场

- (不随时间改变的电荷分布产生不随时间改变的电场)
- 1)恒定电场和静电场均符合高斯定理、环路定理,也可引入电势的概念。

对于闭合恒定电流回路: $\oint_{l} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \Rightarrow \sum U_{i} = 0$ (回路电压方程基尔霍夫第二方程) 2) 恒定电场伴随能量的转换: 导体内部恒定电场不为零

四、电源电动势

把单位正电荷从负极经电源内部移至正极时非静电力所做的功

第二节 磁感强度



电荷之间的作用(静止对静止;静止对运动;运动对静止;运动对运动)

一、实验现象

- (说明运动电荷与运动电荷有相互作用力——磁力)
- 1)磁铁对电流的作用
- 2)磁铁对运动电荷的作用
- 3)电流对磁针的作用(奥斯特)
- 4) 电流对电流的作用(法拉第)

二、磁场的定义

大小: $B = \frac{F_{\text{max}}}{qv}$; 方向: 正电荷不受力的时候运动的方向。

第三节 毕奥萨伐尔定律



一、毕奥一萨伐尔定律

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

二、毕奥一萨伐尔定律应用举例

1)长直导线 $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$ (特别的: 无限长时 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0}$; 半无限长:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}$$

- 2) 圆形线圈 $B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$ (特别的: 圆心处; 无穷远处)
- 3)螺线管 $B = \mu_0 nI$

三、磁偶极距

 $\vec{m} = IS\vec{e}_n$

第四节 磁场的高斯定理和安培环路定理

一、磁感线

- 1)规定:曲线上每一点的切线方向就是该点的磁感强度 B 的方向,曲线的疏密程度表示该点的磁感强度 B 的大小
 - 2)性质(不相交;闭合,无头无尾;右手螺旋)
 - 3)用磁感线表示磁场强度 $B = d\Phi/dS$

二、磁诵量

- 1)定义:通过磁场中某一曲面的磁感线数叫做通过此曲面的磁通量
- 2)根据定义推导磁通量的表达式
- 3)闭合曲面的磁通量
- 4)磁场的高斯定理:通过任意闭合曲面的磁通量必等于零
- (物理意义:通过任意闭合曲面的磁通量必等于零故磁场是无源的.)

三、安培环路定理

在稳恒磁场中磁感强度沿任一闭合环路的线积分等于穿过该环路的所有电流的代数和

的 μ 0 倍。表达式为: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i$

1)适用范围:稳恒磁场;2)说明磁场为非保守场;3)各量的含义

四、安培环路定理的应用

对于一些高对称分布的电流可以通过取合适的环路 L 利用磁场的环路定理比较方便地 求解磁场(类似于电场强度的高斯定理的解题)

- 1)无限长的载流圆柱面的磁场
- 2) 无限长的载流圆柱体的磁场
- 3)长直密绕螺线管的内磁场
- 4)载流螺绕环的内磁场

第五节 磁场对运动电荷和电流的作用



一、带电粒子在电场和磁场中所受的力

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

洛仑兹力的方向(与正负电荷的关系;不做功)

二、带电粒子在匀强磁场中的运动

- 1)粒子的初速度与磁场平行:粒子以初速度做匀速直线运动
- 2)粒子的初速度与磁场垂直:粒子以初速度做匀速圆周运动

(回旋半径和回旋频率
$$R = \frac{mv_0}{qB}$$
; $f = \frac{qB}{2\pi m}$)

3)粒子的初速度与磁场有一夹角:粒子以初速度做螺旋运动

(螺距
$$d = v_{//}T = v\cos\theta \frac{2\pi m}{qB}$$
;磁聚焦)

三、霍尔效应

四、安培力

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$

闭合线圈在均匀磁场中受到的磁场力为零

在均匀磁场中对任一弯曲载流导线的作用力,等效于对弯曲导线起点到终点的矢量方向的一根直导线的作用力

第六节 磁介质



一、磁介质

- 1)磁介质(顺磁质、抗磁质、铁磁质)
- 2)顺磁质和抗磁质的磁化
- 3)磁化强度
- (通过电介质引入,简单介绍顺磁质、抗磁质、铁磁质)

二、磁介质中的安培环路定理 磁场强度

- 三 铁磁质
- 1)磁 畴
- 2)磁化曲线 磁滞回线
- 3)铁磁性材料
- 4)磁屏蔽



第四章 电磁感应 电磁场和电磁波

一、电磁感应定律

(电流有磁效应,那么能否有磁效应产生电流呢?)

1)介绍法拉第发现电磁感应现象(两类实验)

电磁感应现象: 当穿过闭合导体回路的磁通量发生变化时,不管这种变化是什么原因引起的,闭合导体回路中就会出现电流。这样的电流称为感应电流。

2)总结规律(电磁感应定律):电磁感应定律:当穿过闭合回路所围面积的磁通量发生变化时,回路中会产生感应电动势,且感应电动势正比于磁通量对时间变化率的负值。

$$E_{i} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

3)楞次定律:闭合的导线回路中所出现的感应电流,总是使它自己所激发的磁场反抗任何引发电磁感应的原因(反抗相对运动、磁场变化或线圈变形等)。

约定:1)首先任意规定回路绕行方向。2)当磁力线方向与绕行方向成右手螺旋关系时,磁通量的值取正;否则取负。3)计算结果的正负给出了电动势的方向。

二、动生电动势和感生电动势

1)引起磁通量变化的原因

磁场不变,导体的运动、回路面积大小或取向的变化:动生电动势

导体不动,磁场的变化:感生电动势

2) 动生:
$$\mathbf{E}_i = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$
; 感生: $\mathbf{E}_i = \oint_L \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s}$

- 3) 感生电场和静电场对比(从这几方面:对电荷的作用,电场线,产生,是否为保守场,是 否为有源场)
- 4) 涡电流感应电流不仅能在导电回路内出现,而且当大块导体与磁场有相对运动或处 在变化的磁场中时,在这块导体中也会激起感应电流。这种在大块导体内流动的感应电

流,叫做涡电流,简称涡流。

三、自感和互感

- 1)通过闭合回路中的电流变化时,在自身回路中引起感应电流的现象称为自感。自感仅与线圈形状、磁介质及 N 有关。长直密绕螺线管,其自感 $L = \mu n^2 V$
- 2)当一个线圈中的电流发生变化时,在其周围会激发变化的磁场,从而引起相邻线圈内产生感生电动势和感生电流。这种现象称为互感。所产生的电动势称为互感电动势。互感仅与两个线圈形状、大小、匝数、相对位置以及周围的磁介质有关(无铁磁质时为常量)

四、磁场的能量

自感线圈的磁能:
$$\mathbf{W}_m = \frac{1}{2}LI^2$$

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

磁场空间所存储的能量:
$$W_m = \int_v w_m dv = \int_v \frac{B^2}{2\mu} dv$$

五、麦克斯韦方程组

(一) 位移电流:

麦克斯韦假设:通过电场中某一截面的位移电流等于通过该截面电场强度通量对时间的变化率与 ε_{0} 的乘积

- (二)位移电流与全电流的差别:
- 1)全电流是连续的;
- 2)位移电流和传导电流一样激发磁场;
- 3)传导电流产生焦耳热,位移电流不产生焦耳热,
- (三)麦克斯韦方程组

$$\begin{split} &\oint_{S} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\varepsilon_{0}} \\ &\oint_{I} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_{S} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \\ &\oint_{S} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \\ &\oint_{I} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_{S} (\mu_{0} \vec{j}_{c} + \mu_{0} \varepsilon_{0} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \cdot d\vec{s} \end{split}$$



机械波、波动光学