

湖南高师函授教学参考资料

普通物理自学指导及习题解答

湖南省教育学院物理组编

第 册



写 在 前 面

我省高师函授物理专业的普通物理课程是采用程守洵、江之永主编的《普通物理学》(第三版)。为了帮助函授学员学好这门课程,我们编写了这本《普通物理自学指导及习题解答》。

对每一章,我们都简要地说明了该章的系统轮廓,概述了该章的主要概念、原理和定律,对容易出现混淆的概念和难懂的问题作了较详细的说明并提出了具体要求。所有这些,都是为了帮助学员很好的理解各章的内容。对每一章的习题,都一一作了解答,这样做,主要考虑到我省函授学员分散在广大工厂农村,身边没有教师,解题过程如遇到困难,就可以参考本书中的题解,使问题及时得到解决,这对于保持学习进度和提高学习积极性都有一定的好处。但是,可不能在做习题前就先看题解,更不能因为有了这本题解就不做题了,如果持这种态度,那么,学习效果是不会好的。

这本《普通物理自学指导及习题解答》由韦庆雄同志编写后,请了湖南师院物理系电磁学教研室胡堂视、袁声恩讲师进行了审查。扞图由余清河同志绘制。

师院物理系的有关老师对本书提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,错误在所难免,同志们发现有错误,
请给予批评指正。

湖南省教育学院辅导部物理组

1981年3月

目 录

第三篇 电场和磁场

第 八 章	真空中的静电场	(1—90)
第 九 章	导体和电介质中的静电场	(91—161)
第 十 章	电流和电场	(162—214)
第十一章	真空中的磁场	(215—297)
第十二章	磁介质中的磁场	(298—322)
第十三章	电磁感应	(323—378)
第十四章	电磁场	(379—397)

第三编 电 场 和 磁 场

第八章 真空中的静电场

一、系 统 轮 廓

本章从研究库仑定律入手，通过讨论由谁来传递两个电荷间相互作用而建立电场概念，并根据电场对外具有力和能量两方面的重要表现来描述电场，说明电场的性质。

先从电场对放在其中的电荷都施以力的作用，引出电场强度来描述电场，并从讨论电场强度向量的通量引出高斯定理；其次，从电场可以对放在其中的电荷做功且做功与路径无关的事实，建立场强环流定理，在这个基础上引出电势来描述电场，并阐明电场强度和电势的关系。最后，介绍了电荷在电场中受力和运动问题。

本章在理论上和方法上都是第九、十、十一等章的基础。

二、基 本 内 容

(一)基本概念

1. 电场强度

电场强度不仅是本章而且也是整个电磁学的重要概念。它

是用来描述电场的强弱和方向的一个物理量。它是向量，服从向量求和法则。

它的定义是：检验电荷在电场中某点所受的电场力 $\vec{F}$ 与检验电荷的电量 q_0 的比值，叫做该点的电场强度。

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

当 $q_0 = +1$ 单位时， $\vec{E} = \vec{F}$ ，故电场强度又可以定义为：单位正电荷在电场中某点所受的电场力叫做该点的电场强度。

在国际单位制中，它的单位是牛顿/库仑 = 伏/米。

要明确：①电场强度和电场力是两个不同的概念，不能混淆；

②引入检验电荷是为了测量场中各点的场强，检验电荷不存在时，场强仍然存在；

③检验电荷一定是点电荷，它可以是正电荷也可以是负电荷，但一般都是用正电荷来做检验电荷。

2. 电通量

电场强度矢量对某面积的通量叫电场强度向量的通量（简称电通量）。它等于电场强度 $\vec{E}$ 在给定面积上的法线方向的分量 $\vec{E}_n$ 与面积 S 的乘积。从电力线的角度来看，电通量等于垂直通过给定面积的电力线数。

当 S 是平面时： $\Phi_e = ES \cos \theta = E_n S$

当 S 是不闭合的曲面时： $\Phi_e = \iint_S E \cos \theta dS = \iint_S E_n dS$

当 S 是闭合的曲面时： $\Phi_e = \oint_S E \cos \theta dS = \oint_S E_n dS$

电通量是标量，服从标量求和法则。它有正有负。对于不闭合面来说，当这个面的法线 $\vec{n}$ 与场强 $\vec{E}$ 的夹角 $\theta < \frac{\pi}{2}$ 时， Φ 为正；当 $\theta > \frac{\pi}{2}$ 时， Φ 为负。对于闭合曲面来说，通常规定自曲面向外的法线为正方向。如果 $\vec{E}$ 的方向与 $\vec{n}$ 的方向相同， Φ 为正，相反 Φ 为负。

3. 电势(电位)

电势是电学的重要概念。它是从能量的角度来描述电场的物理量。有下面几种定义方法：

①检验电荷在电场中某点所具有的电势能 W_a 与该电荷的电量 q_0 的比值，叫做该点的电势。

$$U_a = \frac{W_a}{q_0}$$

当 $q_0 = +1$ 单位时， $U_a = W_a$ ，故电位又可定义为：

②单位正电荷在电场中某点所具有的电势能，叫该点电势。

由于电荷在电场中某点所具有的电势能等于电场力移动单位正电荷从场内 a 点到参考点 c 所做的功，故电势又可定义为：

③电场力移动单位正电荷从场内某点到参考点所做的功。

$$U_a = \frac{A_{ac}}{q_0} = \int_a^c \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

电势是标量，它有正有负，电势的正负决定于产生电场的电荷的正负。正电荷产生的电场其电势是正的，负电荷产生的电场其电势是负的。

电势是相对量，其数值随参考点的选择而变。

在国际单位制中，电势的单位是伏特 = 焦耳/库仑。

4. 电势差(电压)

电场中任意两点间的电势之差或电场力移动单位正电荷从场内某点 a 到另一点 b 所做的功叫电势差。

$$U_{ab} = U_a - U_b = \int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

电势差也是标量。它的数值与参考点的选择无关，所以它是一个绝对量。它的单位与电势的单位相同。

5. 电势梯度矢量

电场中各点的电势一般是不相同的。为了表示电势在空间中的变化快慢和变化方向，引出电势梯度矢量。

电场中某点的电势梯度矢量，在方向上与该点处电势增加率最大的方向相同，在量值上等于沿该方向的电势增加率。

$$\text{grad} U = \frac{dU}{dn} \vec{n}_0 \quad (\vec{n}_0 \text{ 为单位矢量})$$

电场强度与电势梯度的关系是：电场中某点的场强的大小等于该点电势梯度的大小，场强的方向与电势梯度的方向相反。

$$\vec{E} = - \frac{dU}{dn} \vec{n}_0 = - \text{grad} U$$

Q 6. 电矩矢量

电偶极子中一个点电荷的电量 q 与矢径 $\vec{L}$ 的乘积叫电偶极矩矢量（简称电矩矢量）

$$\vec{p}_e = q \vec{L}$$

电矩矢量是表征电偶极子性质的物理量。

在国际单位制中，它的单位是库仑·米。

(二) 基本定律

1. 电荷守恒定律

电荷不能创生也不能消灭，只能从一个物体转移到另一个物体上，在隔离的系统内，无论进行怎样的物理过程，系统内电量的代数和总是保持不变，这就是电荷守恒定律。

2. 库仑定律

在真空中，两个点电荷 q_1 和 q_2 之间相互作用力的方向沿着这两个点电荷的连线，同号电荷相排斥，异号电荷相吸引，作用力的大小与电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比，而与这两个点电荷之间的距离平方成反比。用矢量式表示为：

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \text{ 牛顿米}^2/\text{库仑}^2$$

✓ 真空中的介电常数 $\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2/\text{牛顿米}^2$ 。

库仑定律是由实验得来的。它说明了点电荷间相互作用所遵循的规律。由它可以导出点电荷的场强公式和高斯定理等，它是本章的基础。

(三) 基本原理和定理

d9 1. 场强迭加原理 1.17 北 321 的 E.

电场中任一点的总场强等于各个点电荷在该点各自产生的

场强的矢量和。这就是场强的叠加原理。

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

它反映了电场具有独立性的性质。用它和点电荷的场强公式可以计算点电荷系和任何带电体的场强，它是一个重要的原理。

2. 高斯定理(高斯的通量定理)

在真空的静电场中，通过任一闭合曲面的电通量等于这个闭合曲面所包围的电荷代数和的 ϵ_0 分之一，这就是真空中的高斯定理。

$$\Phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

当 q 为正电荷时， $\Phi_e > 0$ ，表示有电力线从 q 发出，由闭合曲面穿出；当 $\Phi_e < 0$ 时，表示有电力线穿入闭合曲面而终止于 q 。

高斯定理说明了电力线始于正电荷而止于负电荷；它揭露了静电场是有源场，所以它从一个侧面反映了静电场的性质。此外，它还反映了静电场的分布规律，用它可以计算具有对称电场的场强。

3. 环流定理

在静电场中，场强的环流等于零，这就是场强环流定理。

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

它与静电场力移动电荷做功与路径无关的说法是等价的。

它反映了静电场是位场，所以它是从另一个侧面反映了静电场的性质。由于静电场是位场，我们才能引入电势来描述电

场。

(四)求场强的方法

【方法一】：用点电荷的场强公式加场强迭加原理求场强。

这种方法可以用来求点电荷系和任何形状带电体的场强，是一种最基本的方法，但在运算上随电荷分布的复杂而复杂化。

求点电荷系的场强时，先根据点电荷的场强公式

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

求出各点电荷在该点的场强，然后按场强迭加原

理用矢量合成方法求出该点总场强。

求电荷连续分布的带电体的场强时，先在带电体上取电荷元 dq ，并把电荷元看作点电荷，求出电荷元在所求点所产生的场强 dE ，然后把 dE 沿 x 、 y 方向分解为 dE_x 和 dE_y ，再用积分方法求出 x 、 y 方向的总场强 E_x 和 E_y ，最后用迭加方法（ $\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y$ ）就可求出 E 来了。

【方法二】：用高斯定理求场强。

高斯定理是普遍成立的，但用它来求场强时，电场必须具有对称性。例如，点（包括球）对称、轴对称和面对称。因为场具有对称性，才能在正确选择高斯面的情况下，把 E 提到积分符号外，才能进行积分运算。所以用高斯定理求场强的方法具有局限性，但用它来计算具有场对称的电场强度时又很简便，况且在实际中又常迁到具有对称性的场，因此，它是一种求场强的重要方法。

用高斯定理求场强时，第一步，先分析场的对称性，这一

步如果分析错了，整个运算也就错了，所以这是关键性的一步。一般说来，对于无限长均匀带电直线，无限大均匀带电平面，均匀带电球体和点电荷等，其场分布是对称的，可用高斯定理求场强分布。对于有限长均匀带电直线，有限大均匀带电平面，均匀带电圆环等，其场分布是不对称的，因而不能用高斯定理求场强分布。第二步，要正确选择高斯面。选择高斯面时，一般是使场强垂直于或平行于高斯面，并且面上各点的场强大小都相同，这可使运算大大简便。第三步，根据高斯定理列方程求解。

【方法三】：根据电场强度和电势梯度的关系求场强。

如果场中某点的电势已经知道或者虽然未知道但很易求出，那么，就可以根据关系式

$$\vec{E} = - \frac{dU}{dn} \vec{n}_0$$

求出电势的变化率 dU/dn ，即可求出该点电场强度的大小。

由于电势是标量，在运算上比较方便，因此用这种方法求场强就比较简便。

(五) 求电势的方法

【方法一】：根据电势的定义式求电势。

根据电势定义式求场中某点的电势时，首先求出该点的场强 E ，然后再按定义式用积方法求电势。从原则上讲，只要能求出电场强度，就可以用这种方法求电势。

要指出的是：用这种方法求像带电球壳的电势时要特别注

分段积分和积分路径选择 表达式

↑ 分段积分和积分路径的选择。例如在图8-1中，金属球A带电为 q_A ，金属球壳B带电为 q_B ，这时A、B两球间的电场强度 E_I 与球壳B以外的电场强度 E_{II} 的大小是不相同的，这时要求A球的电势时必须分段积分，即

$$U_A = \int_{R_1}^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{R_1}^{R_2} \vec{E}_I \cdot d\vec{l} + \int_{R_2}^{\infty} \vec{E}_{II} \cdot d\vec{l}$$

同时，为了运算上的方便，积分路径必须沿球半径的方向。因为这样选择积分路径可以使 $\vec{E}$ 和 $d\vec{l}$ （即 $d\vec{r}$ ）的夹角为零，从而 $\cos\theta = 1$ ，这时 $\vec{E} \cdot d\vec{l} = E dl$ 。总之，必须注意运算上的科学性和简便性。

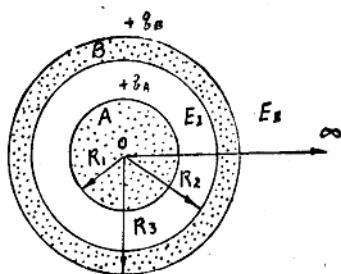


图 8-1

【方法二】：用点电荷的电势公式加电势迭加原理求电势。

电势也遵循迭加原理。但是，由于电势是标量，所以迭加是用代数求和而不是向量求和。

用这种方法可以求点电荷系和电荷连续分布的带电体所产生电场中的电势。求点电荷系的电势时，先用点电荷的电势公式($U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$)求出各点电荷在该点所产生的电势，然后根

据各点电荷产生电势的正负用代数求和的方法求出该点总电势。求电荷连续分布的带电体的电势时，先在带电体上取电荷元 dq ，并把电荷元看作点电荷，求出电荷元在该点的电势，然

后根据迭加原理用积分方法求出总电势。

三、应注意的问题

(一)对高斯定理, 要注意弄清下面几点区别:

1. 要把场强 E 和场强 E 的通量区别清楚。

E 是矢量点函数, 而 E 的通量是 E 与面积 S 的乘积, 是标量。由 $\Phi_e = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$ 知道: 当 $E=0$ 时, $\Phi_e=0$; 反之, 当 $\Phi_e=0$ 时, E 就不一定等于零了, 这可以从两方面来看: 一方面, 因为 $d\Phi_e = \vec{E} \cdot d\vec{S} = EdS\cos\theta$, 当 S 的法线 n 与 E 夹角 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 时, $\cos\theta=0$, $\Phi_e=0$, 但 $E \neq 0$ (图 8-2 (a))。另一方面 [如图 8-2 (b)], 闭合面上 A 点的 E 不仅由闭合面内 $+q$ 、

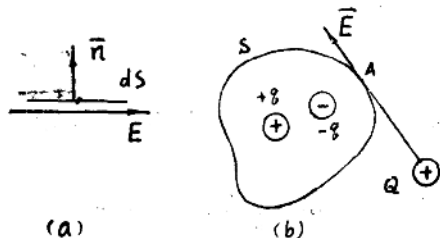


图 8-2

$-q$ 产生, 而且由闭合面外的电荷 Q 产生, 所以闭合面 S 的通量为零, 但闭合面上的 E 不一定为零。

2. 要把 E 的部分通量和 E 的总通量加以区别清楚。

穿过闭合曲面的总通量为正时, 不一定说明没有负通量穿

过这个闭合面，只是正通量大于负通量罢了〔图 8—3 (a)〕；同样，穿过闭合面的总通量为负时，也不一定说明没有正通量，只是负通量大于正通量罢了〔图 8—3 (b)〕。反之，当穿过闭合面的总通量为零时，部分通量也未必为零只是正通量等于负通量罢了。〔图 8—3 (c)〕。

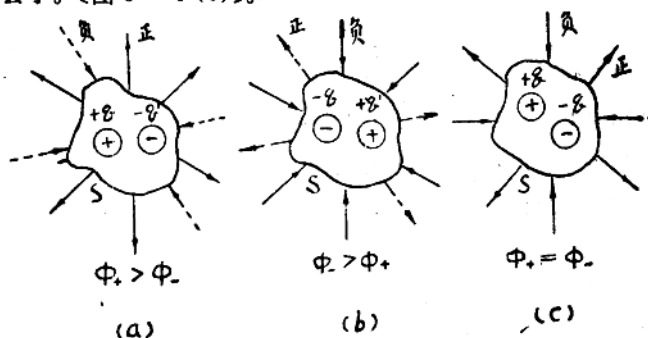


图 8—3

3. 要把闭合面内没有电荷和电荷代数数和为零（即净电荷为零）加以区别清楚。

闭合面内如果没有电荷，无疑穿过闭合面的通量当然为零。同样，当闭合面内的电荷代数数和为零时，穿过闭合面的通量也为零，但这时闭合面内是有电荷的，只不过是正、负电荷的电量相等罢了（图 8—4）。

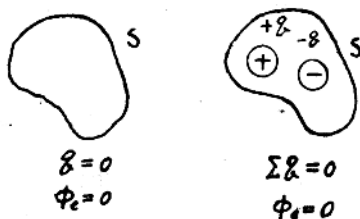


图 8—4

(二)对于场强和电势梯度的关系，要注意弄清下面的问题：

要明确电场强度和电势虽然有关系，但并没有一一对应关系，即电场强度等于零时，电势不一定等于零；反之，电势等于零时，电场强度也不一定等于零。因为电场强度只决定于电势的变化率，并不决定于电势的有无。场强等于零，只说明电势没有变化，并不一定说明电势等于零。例如，导体处于静电平衡时，导体是等势体，电势并不为零。同样，电位为零，但如果是变化的话，则场强就不为零。我们选平板电容器中间为零电势，那么，平板电容器板间各点的电势是不相同的，从正极板到负极板，各点电势是逐渐降低的。显然，各点的电势是逐点变化的，板间各点的场强是不等于零的(图8—5)。

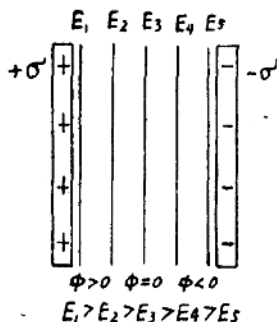


图 8—5

(三)要弄清点电荷、单位电荷和检验电荷的区别。

点电荷是在研究带电体相互作用时为了使问题简化而建立的理想电学模型。当两带电体间的距离远大于带电体本身的线度时，带电体的大小和形状就不考虑，就可以把带电体简化为点电荷来处理。点电荷的电量不一定是一个单位电量。单位电

荷是电量为一个单位的电荷。检验电荷是指用来检验电场的电荷。我们要求把检验电荷引进电场以后，对电场不发生影响，因而要求它的体积越小越好，电量越少越好，它的电量不一定恰好是一个单位电量，但它一定是点电荷。

(四)本章通过例题的形式介绍了几个典型带电体的场强或电势的计算方法。

例如无限长均匀带电导体、无限长带电圆柱体、均匀带电球面、球体、均匀带电圆盘、圆环、均匀带电平面等等。这些带电体虽然是典型的、特殊的，但是有些带电体是由这些典型带电体组合而成的，例如平行板电容器，就是由两块带电平板组合而成的，因此掌握这些典型带电体的场强公式、电势公式是非常重要的。

四、目 的 要 求

(一)库仑定律和迭加原理是研究本章问题的基础，
要很好地掌握并会运用， $\frac{q}{r^2}$

(二)要正确理解电场强度和电势的物理含义、相互
关系和计算方法， E, U

(三)对高斯定理和环流定理要理解其含义，明确它
反映了电场的什么性质，并掌握高斯定理的应用。
 $\frac{q}{\epsilon_0}$