

《电磁学》 同步学习指导

史祥蓉 韩仙华 主编

DIANCIXUE TONGBU XUEXI ZHIDAO



国防工业出版社

National Defense Industry Press

0441/19C

2007



《电磁学》同步学习指导

史祥蓉 韩仙华 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是针对国内高等学校广泛使用的,由赵凯华、陈熙谋编写的新概念物理教程《电磁学》教材编写的学习辅导书。本书对教材中全部思考题和习题做了详细解答,并总结了教学的基本要求和难点以及电磁学知识网络结构框架图。

本书可供国内高等学校广泛使用赵凯华、陈熙谋编写的新概念物理教程《电磁学》的师生在教学中使用,亦可供理工类专业采用其它《电磁学》教材的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

《电磁学》同步学习指导/史祥蓉,韩仙华主编. —北京:
国防工业出版社,2007.9
ISBN 978-7-118-05283-1

I. 电... II. ①史...②韩... III. 电磁学—高等学校—
教学参考资料 IV. 0441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 108502 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 1/4 字数 329 千字

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

由赵凯华、陈熙谋编写的新概念物理教程《电磁学》在全国范围内得到了相当广泛的使用。为了给使用该教材的广大师生提供更多的方便,我们编写了该书。

本书对教材中的全部思考题和习题进行了详细解答,力求概念准确、思路清晰、推理严密、方法简练、启发性强。同时对部分题目还给出了不同解法,以帮助学生加强对所学知识的理解和巩固,提高学习效果。

另外,根据教学大纲,提出了教学基本要求与教学难点;并用直观图表的形式给出了电磁学知识网络结构框架图,便于帮助学生分清层次、把握脉络,形成系统的知识体系;精选了具有代表性、新颖性、技巧性与综合性的思考题和习题作为典型例题,从而帮助学生领悟解题方法和技巧,潜移默化地引导学生思考问题,达到举一反三,拓展思路的效果。

为了引起读者对矢量的关注,本书采用书写体加矢量箭头的方法表示矢量。为了减少篇幅,本书习题详解中省去了一些代入具体数据的运算过程。

本书中的习题和思考题详解及知识网络结构框架图和部分典型例题由史祥蓉完成,韩仙华完成了教学基本要求与教学难点及部分典型例题,并对全书的设计构思做了大量的工作。

本书在编写过程中得到了海军工程大学理学院应用物理系的领导和广大老师的关心和帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

目 录

第 1 章 静电场 恒定电流场	1
1.1 基本要求与教学难点	1
1.2 典型例题	1
1.3 思考题详解	6
1.4 习题详解	18
第 2 章 恒磁场	53
2.1 基本要求与教学难点	53
2.2 典型例题	53
2.3 思考题详解	57
2.4 习题详解	63
第 3 章 电磁感应 电磁场的相对论变换	83
3.1 基本要求与教学难点	83
3.2 典型例题	83
3.3 思考题详解	87
3.4 习题详解	91
第 4 章 电磁介质	106
4.1 基本要求与教学难点	106
4.2 典型例题	106
4.3 思考题详解	111
4.4 习题详解	121
第 5 章 电路	150
5.1 基本要求与教学难点	150
5.2 典型例题	150
5.3 思考题详解	154

5.4 习题详解·····	170
第6章 麦克斯韦电磁理论 电磁波 电磁单位制 ·····	205
6.1 基本要求与教学难点·····	205
6.2 典型例题·····	205
6.3 思考题详解·····	207
6.4 习题详解·····	210
附录 知识框架图 ·····	219
参考文献 ·····	222

第 1 章 静电场 恒定电流场

1.1 基本要求与教学难点

1. 基本概念的要求

(1) 理解库仑定律及其适用条件;理解电场强度的定义、场强叠加原理及其物理意义;理解电通量的概念;理解静电场的环流定理和高斯定理的物理意义,了解它们在电磁场中的重要地位;理解电势的定义,了解电势梯度的物理意义;理解静电平衡导体上电荷分布的特点。

(2) 理解电流密度矢量的概念,电流的连续性方程,电流的稳恒条件,稳恒电流场的基本性质;理解非静电力、电动势的基本概念;了解两种导体分界面上的边界条件,电流线在导体界面上的折射。

2. 基本方法的要求

(1) 掌握应用高斯定理计算电场分布的条件和方法,并能熟练运用高斯定理求解有特定对称性分布的电荷所产生的电场的场强分布。

(2) 能熟练运用叠加原理计算简单、典型带电体及其组合体的电场分布。

(3) 掌握导体的静电平衡条件,能够熟练运用导体的静电平衡条件,求解规则形状导体静电平衡时的电荷分布与电场分布问题。

(4) 掌握用电势定义求空间电势分布的方法。

(5) 能熟练运用叠加原理计算简单、典型带电体及其组合体的电势分布。

(6) 理解电势与场强的积分关系、微分关系,并能利用其解决问题。

(7) 理解电容的物理意义,并会计算电容器及电容器组的电容;理解电容器储能的概念,并会计算电容器的储能。

(8) 了解带电体,带电体组的静电能及其计算方法,了解静电屏蔽现象及应用。

3. 教学难点

(1) 电场基本概念的理解;静电场的两条基本定理的把握及应用;电势零点的选取。

(2) 导体达到静电平衡时的性质,导体表面电荷的分布。

(3) 点电荷系统的静电能与电场能量之间的关系。

(4) 对电像法的理解及应用。

(5) 积分形式与微分形式的电荷守恒定律的理解。

1.2 典型例题

例 1-1: 根据量子理论,氢原子中心是个带正电 e 的原子核(可看成点电荷),外面是

带负电的电子云。在正常状态(核外电子处在 S 态)下,电子云的电荷密度分布球对称:

$\rho_e = -\frac{e}{\pi a_B^3} e^{-\frac{2r}{a_B}}$, 式中 a_B 是一个常量(它相当于经典模型中电子圆形轨道的半径,称为玻尔半径)。求原子内的电场分布。

解:设在原子内距原子核为 r 处的场强为 $\vec{E}$,它具有球对称性。以核为球心, r 为半径做一球面为高斯面,通过此面的电通量 $\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 4\pi r^2 E$,又该面内所包围的电荷量为

$$\sum_{s \text{ 内}} q_i = e + \int_0^r dq = e + \int_0^r 4\pi r'^2 \left(-\frac{e}{\pi a_B^3} e^{-\frac{2r'}{a_B}} \right) dr' = e \left(\frac{2r^2}{a_B^2} + \frac{2r}{a_B} + 1 \right) e^{-\frac{2r}{a_B}}$$

据高斯定理 $\Phi_e = \oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{s \text{ 内}} q_i$ 得

$$4\pi r^2 E = \frac{1}{\epsilon_0} e \left(\frac{2r^2}{a_B^2} + \frac{2r}{a_B} + 1 \right) e^{-\frac{2r}{a_B}}$$

所以,原子内的电场分布如下

$$E = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left(\frac{2r^2}{a_B^2} + \frac{2r}{a_B} + 1 \right) e^{-\frac{2r}{a_B}}$$

注意:此题是根据高斯定理求解所得,在利用高斯定理求解问题时,一定要详细说明所选用的高斯面。

例 1-2:半径为 R 的均匀带电圆面,电荷的面密度为 σ_e ,如图 1-1 所示。

- (1) 求轴线上离圆心的坐标为 x 处的场强;
- (2) 在保持 σ_e 不变的情况下,当 $R \rightarrow 0$ 和 $R \rightarrow \infty$ 时,结果各如何?
- (3) 在保持总电荷 $Q = \pi R^2 \sigma_e$ 不变的情况下,当 $R \rightarrow 0$ 和 $R \rightarrow \infty$ 时,结果各如何?
- (4) 求轴线上电势 $U(x)$ 的分布,并画出 $U-x$ 关系曲线。

解:(1) 如图 1-2 所示,在圆面上半径为 r 的地方取一宽度为 dr 的圆环,其所带电量 $dq = \sigma_e 2\pi r dr$,其在 P 点产生的场强的大小

$$dE = \frac{x dq}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{\sigma_e x}{2\epsilon_0} \cdot \frac{r dr}{(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

方向沿 Ox 轴。

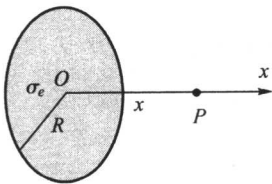


图 1-1 例 1-2

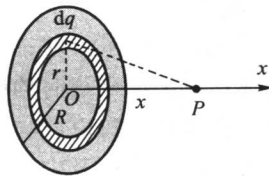


图 1-2 例 1-2 附图

整个均匀带电圆面在 P 点产生的场强大小

$$E = \int_{\text{圆面}} dE = \int_0^R \frac{\sigma_e x}{2\epsilon_0} \cdot \frac{r dr}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right)$$

方向沿 Ox 轴, 考虑到 x 的正、负, 则轴线上离圆心的坐标为 x 处的场强

$$\vec{E} = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \left(\frac{x}{|x|} - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right) \vec{i}$$

(2) 若 σ_e 不变, 当 $R \rightarrow 0, E = 0$; 当 $R \rightarrow \infty, \vec{E} = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \frac{x}{|x|} \vec{i}$ 。

(3) 若 $Q = \pi R^2 \sigma_e$ 不变, 当 $R \rightarrow 0$, 此带电圆面可视为一点电荷, 则 $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2} \frac{x}{|x|} \vec{i}$; 当 $R \rightarrow \infty, E = 0$ 。

(4) 解法一:

在圆面上半径为 r 的地方取一宽度为 dr 的圆环, 其所带电量 $dq = \sigma_e 2\pi r dr$, 其在 P 点产生的电势

$$dU = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{x^2 + r^2}} = \frac{2\pi r \sigma_e dr}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{x^2 + r^2}} = \frac{r \sigma_e dr}{2\epsilon_0 \sqrt{x^2 + r^2}}$$

整个均匀带电圆面在 P 点产生的电势

$$U = \int_{\text{圆面}} dU = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \int_0^R \frac{r dr}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - |x|)$$

考虑到 x 的正、负, 则

$$U = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - |x|)$$

$U-x$ 关系曲线如图 1-3 所示。

解法二:

因轴线上

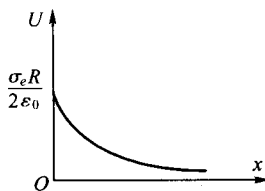


图 1-3 $U-x$ 关系曲线

$$\vec{E} = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \left(\frac{x}{|x|} - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right) \vec{i}$$

若取无限远处为势能零点, 则轴线上离圆心的坐标为 x 处的电势

$$U = \int_x^\infty \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_x^\infty \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right) \cdot dx = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - |x|)$$

考虑到 x 的正、负, 则

$$U = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0} (\sqrt{R^2 + x^2} - |x|)$$

例 1-3: 半径为 R_1 的导体球带有电荷 q , 球外有一个内外半径分别为 R_2, R_3 的同心导体球壳, 壳上带有电荷 Q (见图 1-4)。

(1) 求两球的电势 U_1 和 U_2 ;

(2) 求两球的电势差 ΔU ;

(3) 以导线把球和壳接在一起后, U_1, U_2 和 ΔU 分别是多少?

(4) 在情形(1)、(2)中, 若外球接地, U_1, U_2 和 ΔU 分别是多少?

(5) 设外球离地面很远, 若内球接地, 情况如何?

解:如图 1-5 所示,根据静电平衡时电荷分布规则可得:静电平衡时导体球表面将带有电荷 q ,球壳内表面将带电 $-q$,球壳外表面将带电 $Q+q$,并且都是均匀分布。

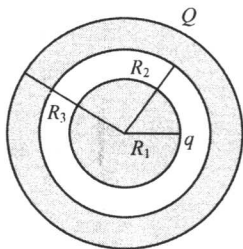


图 1-4 例 1-3

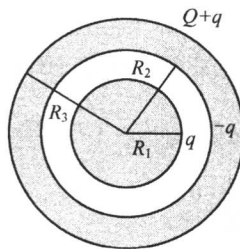


图 1-5 例 1-3 附图

(1) 解法一:

根据叠加原理,任意点处的电势应为这 3 个带电面在该处所产生的电势的代数和,取无限远处为势能零点,则
内球处电势

$$\begin{aligned} U_1 &= U_1(q) + U_1(-q) + U_1(Q+q) \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 R_2} + \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 R_3} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q}{R_1} - \frac{q}{R_2} + \frac{Q+q}{R_3} \right] \end{aligned}$$

球壳处电势

$$\begin{aligned} U_2 &= U_2(q) + U_2(-q) + U_2(Q+q) \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R_3} + \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 R_3} + \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 R_3} = \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 R_3} \end{aligned}$$

解法二:

根据高斯定理可得空间电场的分布

$$\begin{aligned} E_1 &= 0 & (r < R_1) \\ \vec{E}_2 &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} & (R_1 < r < R_2) \\ E_3 &= 0 & (R_2 < r < R_3) \\ \vec{E}_4 &= \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} & (r > R_3) \end{aligned}$$

取无限远处为势能零点,则根据 $U = \int_r^\infty \vec{E} \cdot d\vec{r}$,得

内球处电势

$$U_1 = \int_{R_1}^\infty \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_{R_1}^{R_2} \vec{E}_2 \cdot d\vec{r} + \int_{R_3}^\infty \vec{E}_4 \cdot d\vec{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q}{R_1} - \frac{q}{R_2} + \frac{Q+q}{R_3} \right]$$

球壳处电势

$$U_2 = \int_{R_3}^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_{R_3}^{\infty} \vec{E}_4 \cdot d\vec{r} = \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 R_3}$$

(2) 两球的电势差

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

(3) 用导线把球和球壳连在一起时,电荷($Q+q$)全部分布在球壳外表面,且球和球壳的电势相等

$$U_1 = U_2 = \int_{R_3}^{\infty} \vec{E}_4 \cdot d\vec{r} = \frac{Q+q}{4\pi\epsilon_0 R_3}$$

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 0$$

(4) 在(1)、(2)情形中,若外球壳接地,则外球壳的电势 $U_2=0$,两球的电势差不变

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

内球电势

$$U_1 = U_2 + \Delta U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

(5) 内球接地,则内球的带电就不可能再是 q ,设其带电量为 q' ,则球壳内表面将带电 $-q'$,外表面将带电 $Q+q'$ 。根据叠加原理,内球电势

$$\begin{aligned} U_1 &= U_1(q') + U_1(-q') + U_1(Q+q') \\ &= \frac{q'}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{-q'}{4\pi\epsilon_0 R_2} + \frac{Q+q'}{4\pi\epsilon_0 R_3} = 0 \end{aligned}$$

球壳电势

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1(q') + U_1(-q') + U_1(Q+q') \\ &= \frac{q'}{4\pi\epsilon_0 R_3} + \frac{-q'}{4\pi\epsilon_0 R_3} + \frac{Q+q'}{4\pi\epsilon_0 R_3} = \frac{Q+q'}{4\pi\epsilon_0 R_3} \end{aligned}$$

联立以上两式解之得

$$\begin{aligned} U_2 &= \frac{Q(R_2 - R_1)}{4\pi\epsilon_0(R_2R_3 - R_1R_3 + R_1R_2)} \\ \Delta U = U_1 - U_2 &= -\frac{Q(R_2 - R_1)}{4\pi\epsilon_0(R_2R_3 - R_1R_3 + R_1R_2)} \end{aligned}$$

例 1-4: (1) 无限大带电面两侧的场强 $E = \sigma_e / (2\epsilon_0)$, 这个公式对于靠近有限大小带电面的地方也适用。这就是说, 根据这个结果, 导体表面元 ΔS 上的电荷在紧靠它的地方产生的场强也应是 $\sigma_e / (2\epsilon_0)$, 但它比静电平衡时导体表面之外附近空间的场强公式 $E = \sigma_e / \epsilon_0$ 的场强小 $1/2$, 这是为什么?

(2) 根据 $E = \sigma_e / \epsilon_0$, 若一带电导体表面上某点附近电荷密度为 σ_e , 这时该点外侧附

近场强为 $E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}$ 。如果将另一带电体移近,该点场强是否改变? 公

式 $E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}$ 是否仍成立?

解:(1)如图 1-6 所示,设带电导体表面面元 ΔS 上的电荷面密度为 σ_e 。公式 $E = \sigma_e/\epsilon_0$ 是 ΔS 上的电荷在表面外附近产生的 $\vec{E}_1$ 和除 ΔS 之外,导体表面其余部分所带电荷在该处产生的 $\vec{E}_2$ 之和,即 $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ 。因为 $\vec{E}_1$ 和 $\vec{E}$ 都垂直于 ΔS ,所以 $\vec{E}_2$ 也垂直于 ΔS ,可见 $\vec{E}_1$ 和 $\vec{E}_2$ 二者均垂直于 ΔS 。上述矢量式可改写为

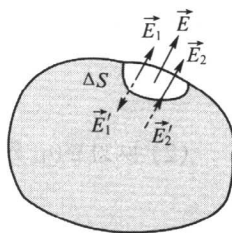


图 1-6 例 1-4

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0} \quad (1)$$

设 $\vec{E}'_1$ 为 ΔS 上的电荷在靠近自己表面内侧产生的场强,显然 $\vec{E}'_1 = -\vec{E}_1$ 。又设 $\vec{E}'_2$ 为除 ΔS 之外导体其余部分电荷在 ΔS 内侧附近产生的场强,显然 $\vec{E}'_2 = \vec{E}_2$ 。在 ΔS 内侧,根据静电平衡条件可得 $\vec{E}'_2 + \vec{E}'_1 = 0$,由于 $\vec{E}'_1$ 垂直于 ΔS ,显然 $\vec{E}'_2$ 也垂直于 ΔS ,故有 $E'_2 + E'_1 = E'_2 - E_1 = E_2 - E_1 = 0$,所以

$$E'_2 = E_1 = E_2 \quad (2)$$

由式①和式②得

$$E_1 = E_2 = \frac{E}{2} = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0}$$

可见, ΔS 附近之外的电场强度,一半是分布于 ΔS 上的电荷产生的,另一半是分布于其余表面上的电荷产生的,所以, $E_1 = \frac{\sigma_e}{2\epsilon_0}$ 比总场强 $E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}$ 小 1/2。

(2) 如果将另一带电体移近,该点场强要改变,但公式 $E = \sigma_e/\epsilon_0$ 仍成立。只不过,由于另一带电体的移近,导体表面上的电荷要重新分布,因此 σ_e 的数值有所变化。

例 1-5:为什么在点电荷组相互作用能的公式 $W_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i U_i$ 中有 $\frac{1}{2}$ 因子,而点电荷在外电场中的电势能公式 $W(P) = qU(P)$ 中没有这个因子?

解:根据定义,点电荷在外电场中的电势能等于将点电荷从无穷远处移到场中 P 点时反抗电场力所做的功,这就是 $W(P) = qU(P)$,它即是点电荷与产生外场的其它电荷之间的相互作用能,但并不包含产生外场的电荷自身之间的相互作用能。而 $W_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i U_i$ 计算的却是点电荷系统之间的所有相互作用能,式中的 U_i 表示第 i 个电荷 q_i 之外的所有 $(n-1)$ 个电荷在 q_i 处所产生的电势, $q_i U_i$ 即表示第 i 个电荷和其它 $(n-1)$ 个电荷之间的相互作用能,它和 $W(P) = qU(P)$ 意义一样。当求和遍及所有 n 个电荷时,每一对电荷都重复计算了两次,故需乘以因子 $\frac{1}{2}$,才表示系统的全部相互作用能。可见两式并无矛盾。

1.3 思考题详解

1-1 给你两个金属球,装在可以搬动的绝缘支架上,试指出使这两个球带等量异号

电荷的方法。你可以用丝绸摩擦过的玻璃棒,但不使它和两球接触。你所用的方法是否要求两球的大小相等。

答:将这两个金属球先接触,然后把一个带电体接近其中任意一球,再将两球移开即可。此法与球的大小无关。

1-2 带电棒吸引干燥软木屑,木屑接触到棒以后,往往又剧烈地跳离此棒。试解释之。

答:当干燥软木屑因被极化起电而吸引到带电棒时,与带电棒接触,棒上电荷与木屑表面的异号电荷中和后,两者带同种电荷,互相排斥,所以,木屑往往又被弹开。

1-3 用手握铜棒与丝绸摩擦,铜棒不能带电;戴上橡皮手套,握着铜棒和丝绸摩擦,铜棒就会带电。为什么两种情况有不同的结果?

答:对于第一种情况,铜棒因摩擦所起之电通过人身入地,故铜棒不能带电;对于第二种情况,铜棒已绝缘,故铜棒会积累电荷。

1-4 在地球表面上通常有一竖直方向的电场,电子在此电场中受到一个向上的力,电场强度的方向是朝上还是朝下?

答:因电子所受电场力的方向与电场方向相反,故电场方向朝下。

1-5 在一个带正电的大导体附近 P 点放置一个试探点电荷 q_0 ($q_0 > 0$),实际上测得它受力 F ;若考虑到电荷 q_0 不足够小,则 F/q_0 比 P 点的场强 E 大还是小?

答:当 q_0 不是足够小时,它将引起大导体上电荷的重新分布,结果使远离 q_0 的一侧聚集较多正电荷,这就增大了大导体上正电荷中心到 q_0 处的距离,因而 F/q_0 比 P 点的场强 E 小。若大导体带负电,则电荷重新分布的结果是在靠近 q_0 的一侧聚集较多负电荷,这就减小了大导体上负电荷中心到 q_0 处的距离,因而 F/q_0 比 P 点的场强 E 大。

1-6 一般地说电场线代表点电荷在电场中的运动轨迹吗?为什么?

答:电场线上任意一点的切线方向,代表点电荷 q 在该点所受电场力的方向,也就是 q 获得加速度的方向。所以,无论 q 的初速度方向如何, q 都要偏离电场线而运动。除非电场线是直线,且 q 的初速度方向与电场线在同一直线上。一般情况下,运动方向与受力方向不一致,所以电场线不代表点电荷在电场中的运动轨迹。

1-7 在空间里的电场线为什么不相交?

答:电场线的切线方向为该点电场强度的方向。如果电场线在空间相交,那么在交点处将会有两个不同的切线方向,不可能正确描述空间电场强度分布。所以在空间里的电场线不相交。

1-8 一点电荷 q 放在球形高斯面的中心处,试问在下列情况下,穿过这高斯面的电通量是否改变?

(1) 如果第二个点电荷放在高斯球面外附近;

(2) 如果第二个点电荷放在高斯球面内;

(3) 如果将原来的点电荷移离了高斯球面的球心,但仍在高斯球面内。

答:穿过高斯面的电通量只与面内电荷有关,而与面外电荷无关,所以(1)不改变,(2)改变了,(3)不改变。

1-9 (1) 如果上题中的高斯面被一个体积减小 $1/2$ 的立方体表面所代替,而点电荷在立方体的中心,则穿过该高斯面的电通量如何变化?

(2) 通过这立方体 6 个表面之一的电通量是多少?

答:(1) 不改变。因高斯面内电量未变。

(2) 立方体每一侧面对几何中心所张立体角相等,为 $4\pi/6$ 。点电荷在单位立体角内的电通量为 $q/(4\pi\epsilon_0)$ 。每一侧面的电通量为 $q/(6\epsilon_0)$ 。

1-10 如图 1-7 所示,在一个绝缘不带电的导体球的周围做一个同心高斯面 S 。试定性地回答,在我们将一正点电荷 q 移至导体表面的过程中

(1) A 点的场强大小和方向怎样改变?

(2) B 点的场强大小和方向怎样改变?

(3) 通过 S 面的电通量怎样变化?

答:(1) 当点电荷 $+q$ 在 A 外侧, E_A 指向球心, $+q$ 移近导体, E_A 随之增大。 $+q$ 移过 A 点, E_A 反向,并随 $+q$ 向导体球移动而减小。

(2) 随着 $+q$ 向导体球移近, E_B 单调地增大,方向是背离球心。

(3) $+q$ 在闭合曲面 S 外时,通过 S 面的电通量为零,当 $+q$ 移入 S 面内,通过 S 面的电通量为 q/ϵ_0 。

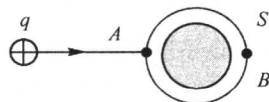


图 1-7 思考题 1-10

1-11 有一个球形的橡皮气球,电荷均匀分布在表面上。在此气球被吹大的过程中,下列各处的场强怎样变化?

(1) 始终在气球内部的点;

(2) 始终在气球外部的点;

(3) 被气球表面掠过的点。

答:(1) 球面电荷在球内产生的场强始终为零。

(2) 电荷均匀分布在球壳上与全部集中在球心对壳外产生的场强一样。所以球外的点,场强不变。

(3) 被掠过的点,场强有一跃变,从 $q/(4\pi\epsilon_0 r^2)$ 变为零,其中 r 为场点到球心的距离。

1-12 求均匀带正电的无限大平面的场强,高斯面取成如图 1-8 所示的圆柱形,具体回答以下问题。

(1) 为什么柱体的两底要对于带电面对称? 不对称行不行?

(2) 柱体底面是否需要是圆的? 面积取多大合适?

(3) 为了求距带电平面为 x 处的场强,柱面应取多长?

答:(1) 只有当两底对于带电平面对称,才能判定两底面上的电通量和场强的数值相等,从而求出场强。所以,两底必须对称。

(2) 底面的形状可以任意,只要平行于带电平面就行。但底面的面积必须有限。

(3) 柱面的长度应为 $2x$ 。

1-13 求一对等量异号或等量同号的无限大平行平板之间的场强时,能否只取一个高斯面?

答:如果先对一个均匀带电的无限大平板取一个高斯面,求出 $E = \sigma_e/(2\epsilon_0)$,再利用

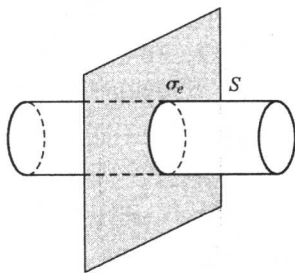


图 1-8 思考题 1-12

叠加原理,亦可求出平板间的合场强。

1-14 (1) 在图 1-9(a)所示情形里,把一个正电荷从 P 移动到 Q ,电场力的功 A_{PQ} 是正还是负? 它的电势能是增加还是减小? P 、 Q 两点的电势哪里高?

(2) 若移动的是负电荷,情况怎样?

(3) 若电场线的方向如图 1-9(b)所示,情况怎样?

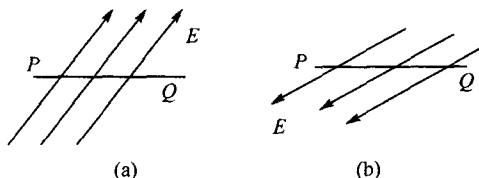


图 1-9 思考题 1-14

答:(1) 因 $A_{PQ} = q \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l}$ 且积分与路径无关,按图 1-9(a) 所示路径, $\vec{E}$ 、 $d\vec{l}$ 间恒为锐角,故有 $\int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l} > 0$, 又因 $q > 0$, 所以 $A_{PQ} > 0$, 即电场力做正功,电势能减小。再由 $U_{PQ} = U(P) - U(Q) = A_{PQ}/q > 0$ 知, P 点电势高于 Q 点。

(2) 若移动的是负电荷, $q < 0$, $A_{PQ} < 0$, $A_{PQ}/q > 0$, 故电场力做负功,电势能增加, P 点电势仍高于 Q 点,和电荷符号无关。

(3) 对图 1-9(b) 所示情形 $\vec{E}$ 、 $d\vec{l}$ 间恒为钝角, $\int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l} < 0$, 所得结论和(1)、(2)相反。

1-15 电场中两点电势的高低是否与试探电荷的正负有关,电势能的高低呢? 沿着电场线移动负试探电荷时,电势是升高还是降低? 它的电势能增加还是减小?

答:按定义, P 、 Q 两点间的电势差由公式 $U_{PQ} = U(P) - U(Q) = \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l}$ 确定,它与试探电荷的正负、电荷的电量以及是否存在试探电荷都无关,完全由电场 E 的分布确定,但电势能的高低与试探电荷的正负有关。沿着电场线移动负试探电荷时,电势降低。但因要反抗电场力做功,所以它的电势能增加了。

1-16 说明电场中各处的电势永远逆着电场线方向升高。

答:由 $U_{PQ} = U(P) - U(Q) = \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l}$, 当积分路径逆着电场线进行时, $\vec{E} \cdot d\vec{l} = -Edl$, 故 $U_{PQ} < 0$, 电势升高。

1-17 (1) 将初速度为零的电子放在电场中时,在电场力作用下,这电子是向电场中高电势处跑还是向低电势处跑? 为什么?

(2) 说明无论对正负电荷来说,仅在电场力作用下移动时,电荷总是从它的电势能高的地方移向电势能低的地方去。

答:(1) 因为电子在电场中所受电场力的方向是由低电势指向高电势,故初速度为零的电子将由低电势跑向高电势。

(2) 无论正、负电荷,从电场中的 P 移动到 Q , 其电势能变化 $W_{PQ} = W(P) - W(Q) = A_{PQ}$ 。若单在电场力作用下移动电荷,必有 $A_{PQ} > 0$, 所以 $W(P) > W(Q)$, 即电

荷总是从高电势能处移向低电势能处。实则,电场力做功是以电势能减少为代价的。

1-18 我们可否规定地球的电势为 $+100\text{V}$,而不规定它为零?这样规定后,对测量电势、电势差的数值有什么影响?

答:可以。这样规定后,空间各点的电势都要增加 100V ,但对各点间以及各点对地间的电势差没有影响。

1-19 若甲乙两导体都带负电,但甲导体比乙导体电势高,当用细导线把二者连接起来后,试分析电荷流动情况。

答:连接后,导体中的自由电子将在电场力的作用下,从低电势的乙导体沿导线流向高电势的甲导体,这等效于正电荷从甲导体流向乙导体。

1-20 在技术工作中有时把整机机壳作为电势零点。若机壳未接地,能不能说因为机壳的电势为零,人站在地上就可以任意接触机壳?若机壳接地则如何?

答:把电子仪表的机壳电势选作零,但这并不是说机壳不带电。若机壳对地电势很高,人站在地上接触机壳就会触电。若将机壳接地,机壳和地等电势,人接触它就不会触电了。

1-21 (1) 场强大的地方,是否电势就高?电势高的地方是否场强大?

(2) 带正电的物体的电势是否一定是正的?电势等于零的物体是否一定不带电?

(3) 场强为零的地方,电势是否一定为零?电势为零的地方,场强是否一定为零?

(4) 场强大小相等的地方,电势是否相等?等势面上场强的大小是否一定相等?

答:(1) 不一定。场强在数值上等于电势梯度,场强大的地方只表明该处的电势梯度大,并不表明电势高。例如:一对共轴直圆筒带有等值异号电荷且内筒为负电时,在内筒面上场强最大、电势最低,在外筒面上场强最小而电势最高。

(2) 不一定。因电势零点可以任意选取,如图1-10若规定A点电势为零,电路中电容器 C_1 的正板带正电,但电势为负; C_2 正板电势为零却带正电。

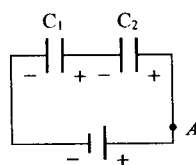


图1-10 思考题1-21

(3) 不一定。如等值同号点电荷连线中点处场强为零,但电势不为零;等值异号点电荷连线中点处电势为零,但场强不为零。

(4) 不一定。如平行板电容器内部电场是均匀的,电势则由负板到正板逐渐增大;锥形带电导体的表面是等势面,而场强则随曲率不同而异。总之,场强决定于电势梯度而不决定于电势的数值,电势的高低既和电场分布有关,也和电势零点的选择有关。场强的大小和电势的高低之间并无必然的联系。

1-22 两个不同电势的等势面是否可以相交?同一等势面是否可与自身相交?

答:不同电势的等势面不能相交,否则在交点处电势不能确定。同一等势面自身一般也不能相交,否则在交点处场强的方向(与等势面正交)就不确定了。但是,同一等势面可以在个别奇点相交,例如,两个等值同号点电荷连线中点处就是这样,在该点处,场强为零,方向没有意义。

1-23 已知一高斯面上场强处处为零,在它所包围的空间内任一点都没有电荷吗?

答:不一定。只能说在该空间内,电荷的代数和为零。

1-24 试想在图1-11中的导体单独产生的电场 $\vec{E}'$ 的电场线是什么样子(包括导

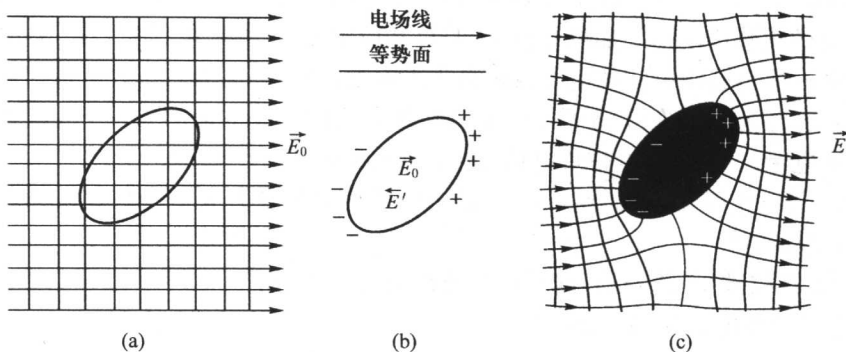


图 1-11 思考题 1-24

体内和导体外的空间)。如果撤去外电场 $\vec{E}_0$, $\vec{E}'$ 的电场线还会维持这个样子吗?

答:图 1-11 中的导体单独产生的电场 $\vec{E}'$ 的电场线如图 1-12 所示。

如果撤去外电场 $\vec{E}_0$, $\vec{E}' = 0$, 其电场线消失。

1-25 详见本章典型例题例 1-4。

1-26 详见本章典型例题例 1-4。

1-27 把一个带电物体移近一个导体壳, 带电体单独在导体空腔内产生的电场是否等于零? 静电屏蔽效应是怎样体现的?

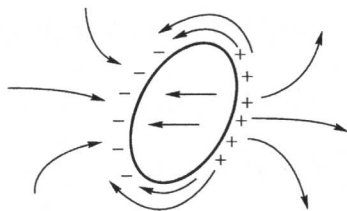


图 1-12 思考题 1-24 附图

答:带电体单独在导体空腔内产生的电场不等于零。它在导体壳近端感应出与带电体异号的电荷, 远端感应出与带电体同号的电荷, 在静电平衡时, 这些感应电荷在空腔内激发的场, 与带电体在腔内激发的场等值反向, 相互抵消, 腔内得以屏蔽。

1-28 万有引力和静电力都服从平方反比律, 都存在高斯定理。有人幻想把引力场屏蔽起来, 这能否做到? 在这方面引力和静电力有什么差别?

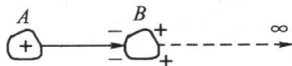
答:静电屏蔽能够实现, 是因为作为场源的电荷有正有负, 在静电感应中能产生相反的场相互抵消; 而引力场源——质量, 只有正的, 另外, 也没有与静电感应中的导体相当的物质, 故不能把引力场屏蔽起来。

引力场和静电场的主要差别有两点: 一是静电场源有正有负, 即正、负电荷, 而引力场源只有正的, 即质量; 二是静电相互作用远远大于引力相互作用, 且前者约为后者的 10^{39} 倍。

1-29 (1) 将一个带正电的导体 A 移近一个不带电的绝缘导体 B 时, 导体的电势升高还是降低? 为什么?

(2) 试论证: 导体 B 上每种符号感应电荷的数量不多于 A 上的电量。

答: (1) 导体 B 的电势 $U_B = \int_B^\infty \vec{E} \cdot d\vec{l}$, 如图 1-13 所示, 沿电场线积分, $\theta(\vec{E}, d\vec{l} \text{ 的夹角}) = 0$, 而且随着带正电导体 A 的移近, 积分路径上的 $\vec{E}$ 增大, 所以导体 B 的电势升高。



(2) 由于原导体 B 不带电, 所以导体 B 上两种感应电荷 图 1-13 思考题 1-29