

程守洙 江之永

普通物理学

第二册

习题与选解

朱咏春 叶善专 祝瑞琪 编

高等教育出版社

程守洙 江之永

普通物理学

第二册

习题与选解

朱咏春 叶善专 祝瑞珏 编

高等教育出版社

1982

内 容 提 要

本书为配合程守洙、江之永《普通物理学》第三版及其修订版本的辅助教材。全书分三册。第一册包括力学、分子物理学和热力学；第二册包括电学；第三册包括光学和近代物理学基础。

本书可供理工科大学和综合大学非物理系及电视大学等各专业的物理师生采用。

程守洙 江之永

普 通 物 理 学

(第 二 册)

习 题 与 选 解

朱咏春 叶善专 祝瑞琪 编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

开本 787×1092 1/32 印张 7.75 字数 180,000

1981年12月第1版 1985年2月第2次印刷

印数 365,101—434,400

书号 13010·0634

定价 1.15 元

第二册目录

第九章 静电学

习题.....1

选解.....(115)

第十章 电流

习题.....31

选解.....(145)

第十一章 电流的磁场

习题.....54

选解.....(164)

第十二章 磁场对电流的作用

习题.....69

选解.....(179)

第十三章 电磁感应

习题.....84

选解.....(192)

第十四章 电磁场理论的基本概念 电磁振荡 电磁波

习题.....103

选解.....(209)

习题答案.....218

第九章 静 电 学

一、库仑定律 电场强度 高斯定理

(题中, 未指明电介质的, 均按真空中电场计算. 又, 电通量指电位移 $\mathbf{D}$ 的通量, 或简称 $\mathbf{D}$ 通量. 场强 $\mathbf{E}$ 的通量, 则简称 $\mathbf{E}$ 通量.)

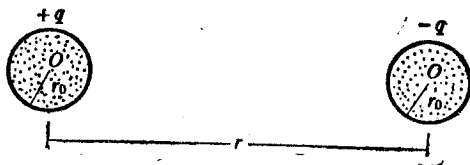
9-1 试问两个都是 1.0 C 的点电荷在真空中相距 1.0 m 时的作用力是多少牛顿? 是质量为 100 kg 的物体所受重力的多少倍?

9-2 把某一电荷 Q 分成两部分, 使它们相隔一给定距离, 如果要使分开的两部分(看作点电荷)有最大的库仑斥力, 问两部份电荷应怎样分配?

9-3 氢原子由原子核(核中有一个质子)和一个电子组成. 根据玻尔假设, 电子绕核作圆周运动, 它的角动量 L 只能是 $\hbar = 1.054 \times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ 的整数倍, 即

$$L = mr^2\omega = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

式中 m 是电子质量, r 是圆的半径, ω 是电子圆周运动的角速度. 已知质子带正电, 电子带负电, 它们的电量都是 $1.602 \times 10^{-19}\text{ C}$, 电子质量为 $9.11 \times 10^{-31}\text{ kg}$, 求 $n=1$ (基态) 的电子的轨道半径 (通常叫做玻尔半径.)

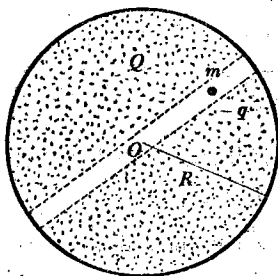


题 9-4 图

9-4 半径均为 r_0 的两个导体球 A 和 B, 带有等量异号电荷, 两球心之间的距离为 r . 在 $r \geq 20r_0$ 情况下, 如果按电量集中于球心的设想用库仑定律计算它们之间的相互吸引力, 试估算这样的计算所产生的误差的上限.

9-5 一个 $100 \mu\text{C}$ 的电荷位于 Z 轴上距原点 3 m 处, 四个 $20 \mu\text{C}$ 的同号电荷分别位于 X, Y 轴上距原点 4 m 处, 求 Z 轴上的点电荷所受的作用力.

9-6 设想一质量为 m 电荷为 $-q$ 的带电粒子, 在半径为 R 总电荷为 Q 的均匀带电球中, 沿径向运动. 试证该带电粒子的运动为简谐振动, 并求出振动的频率.



题 9-6 图

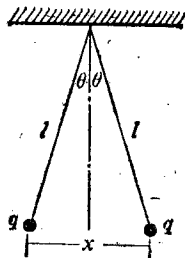
9-7 卢瑟福实验证明: 两个原子核之间的距离小到 10^{-15} m 时, 它们之间的斥力仍遵守库仑定律. 金原子核中有 79 个质子, 氢原子核(即 α 粒子)中有两个质子. 已知每个质子带电量 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$, α 粒子的质量为 $6.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$. 当 α 粒子与金核相距 $6.9 \times 10^{-15} \text{ m}$ 时(设它们仍可看作点电荷), 求:

- (1) α 粒子所受的力;
- (2) α 粒子的加速度.

9-8 把两个相同的小球用同样长度的细绳 l 悬挂于同一点, 小球的质量都为 m , 带等值同号的电荷 q , 如图所示. 设平衡时两线间夹角 2θ 很小, 试证

$$x = \left(\frac{q^2 l}{2\pi \epsilon_0 m g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

式中 x 为两球间的距离.



题 9-8 图

(1) 如果 $l=1.20\text{m}$, $m=10\text{g}$, $x=5.0\text{cm}$, 则每个小球上的带电量 q 为多少?

(2) 若每个小球以 $1.0 \times 10^{-9}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率失掉电荷, 当小球所带电量如(1)所求数值时, 两球彼此趋近的瞬时相对速率 $\frac{dx}{dt}$ 为多少?

9-9 在一个带正电的大导体球附近 P 点处, 放置正的点电荷 q_0 , q_0 所受力为 F . 若考虑到 q_0 不是足够小时, 试问 $\frac{F}{q_0}$ 与 P 点原来的场强相比是大还是小? 如果大导体球本来带负电, 情况又将如何? 为什么?

9-10 试验电荷 q_0 在电场中某点受到的电场力很大, 该点的场强是否也一定很大? 由公式 $E = \frac{F}{q_0}$ 能否得出下面结论: “因为 E 与 q_0 成反比, 所以 q_0 越大, 给定点的场强就越小.”

9-11 根据点电荷的场强公式, 当考察点和点电荷的距离趋于零时, 则场强趋向无限大, 这是没有物理意义的. 对这种似是而非的问题应如何解释?

9-12 平行板空气电容器的两极板间的距离为 d , 两极板的带电量分别为 $+q$ 和 $-q$. 有人说, 两板间的吸引力为 $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 d^2} q^2$; 也有人说, 两板间的吸引力为 $F = qE = q \frac{q}{\epsilon_0 S} = \frac{q^2}{\epsilon_0 S}$ (式中的 S 为极板面积); 又有人说, $F = qE' = q \frac{q}{2\epsilon_0 S} = \frac{q^2}{2\epsilon_0 S}$. 到底哪种说法对? 为什么?

9-13 一容器中盛有相对介电系数为 ϵ_r 的液体, 容器底板上固定一块半径为 r 的圆形金属板, 作为电容器的一块极板, 在此极板的正上方, 漂浮着半径为 r 、厚为 h 的另一块金属板, 以作为电

容器的另一块极板。如果分别使这两块金属板带有面密度为 $+\sigma$ 和 $-\sigma$ 的电荷, 试求极板浸入液体中的深度。(已知极板的密度为 ρ , 液体的密度为 ρ_0 , 两极板间距 $d \ll r$, 可不计极板的边缘效应.)

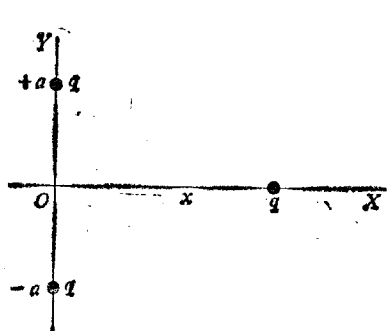
9-14 两个带正电的点电荷, 电量各为 q , 放置在 Y 轴上 $y=+a$ 和 $y=-a$ 处。第三个正点电荷 q , 具有相同的电量, 放在 X 轴上某一点, 如图。

(1) 如果第三个电荷 q 位于原点, 它所受的力是多大?

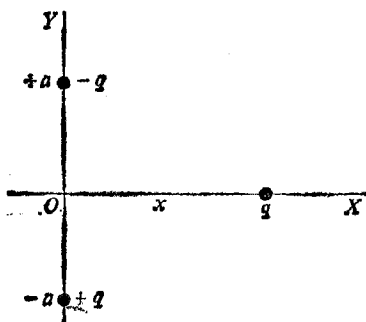
(2) 如果第三个电荷 q 位于 x 处, 它所受的力的大小和方向如何?

(3) 如果第三个电荷 q 的 x 值处于 $+4a$ 和 $-4a$ 之间, 试画出第三个电荷所受的力与 x 的函数关系曲线。

(4) 第三个电荷位于 X 轴上什么位置时所受的力最大?



题 9-14 图

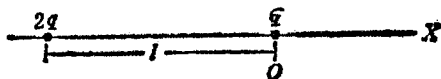


题 9-15 图

9-15 接上题, 若将上题中 $y=+a$ 处的电荷换为 $-q$, 其他条件不变, 重做(1)、(2)、(3)、(4)各小题。

9-16 三个相同的点电荷置于等边三角形的三个顶点, 在此三角形的中心应放置怎样的电荷, 才能使作用在每一点电荷上的合力为零? 若将置于中心位置的电荷改变符号, 情况又将如何?

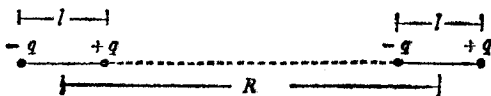
9-17 位于X轴上的两个点电荷，分别带电 $2q$ 和 q ，相距 l ，第三个点电荷 q_0 放在X轴上哪一位置时，它所受合力为零？在合力为零的位置上，这第三个点电荷处于哪一种平衡状态(稳定平衡、非稳定平衡还是随遇平衡)？



题 9-17 图

若第一点电荷为 $2q$ ，第二点电荷为 $-q$ ，情况又将如何？

9-18 如图所示，位于同一直线上的两偶极子的电矩 ($p_1 = ql$) 大小相等，方向相同，它们的中心之间相距为 R ($R \gg l$) 求这两偶极子之间的相互作用力。

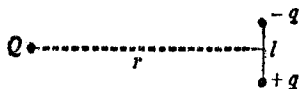


题 9-18 图

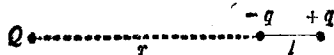
9-19 在点电荷 Q 的电场中有一电偶极子 ($p_1 = ql$)，偶极子中心与点电荷之间的距离 r 比偶极子的长度 l 大得多。如果偶极子的方位如下：

(1) 垂直于电力线(图 a)；(2) 与电力线重合(图 b)。

求在这两种情况下偶极子受到的作用力与力矩。



(a)



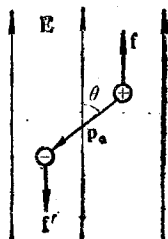
(b)

题 9-19 图

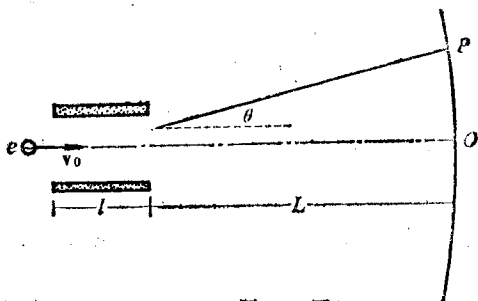
9-20 如图所示，设有一偶极子位于均匀电场 E 中，已知偶极子的电矩为 p_1 ，绕其中心轴（此轴通过偶极子的中心并与电矩垂

重)的转动惯量为 I , 现使偶极子稍离平衡位置后, 在所受电场力作用下作振动, 证明: (1) 偶极子的运动为简谐振动; (2) 振动频率为

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p_e E}{I}}.$$



题 9-20 图

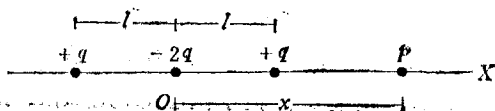


题 9-21 图

9-21 已知某一示波管中, 偏转板的长度为 $l=1\text{cm}$, 两板间隔为 $d=5\text{mm}$, 偏转板的一端离开荧光屏的距离为 $L=50\text{cm}$, 如图所示. 今有初动能为 $10 \times 10^3\text{eV}$ 的电子, 从板中央位置沿着偏转板平面的方向射入, 设两偏转板间所加直流电压为 1500V , 求电子击中荧光屏的位置离开屏中央点的距离.

9-22 图中所示是一种电四极子, 它由两个相同的电偶极子 $p_e = ql$ 组成, 这两个偶极子在一直线上, 但方向相反, 且它们的负电荷重合在一起. 试证: 在它们的延长线上、离中心(即负电荷位置)为 x 处的电场强度为

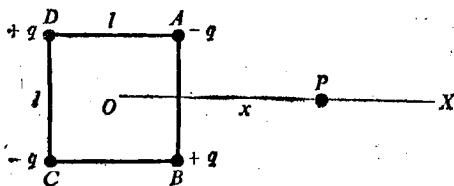
$$E = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 x^4} \quad (x \gg l)$$



题 9-22 图

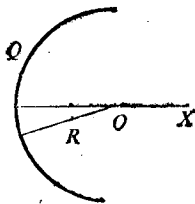
式中 $\mathcal{Q} = 2ql^2$ 称为电四极矩。

9-23 图中所示是另一种电四极子, 设 q 和 l 都已知, 图中 P 点到电四极子中心 O 的距离为 x , OP 与正方形的一对对边 (AD , BC) 平行, 求 P 点处的电场强度 E . 当 $x \gg l$ 时, P 点的 E 又如何?

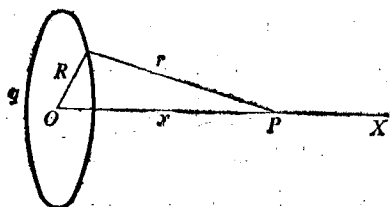


题 9-23 图

9-24 电荷 Q 均匀分布在半径为 R 的半圆周上, 求曲率中心 O 处的电场强度。



题 9-24 图



题 9-25 图

9-25 一半径为 R 的圆环, 均匀带电 q , 圆环轴线为 X 轴, 原点在环心 O 处。

(1) 证明圆环轴线上 x 处的场强为

$$E_p = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0(R^2 + x^2)^{3/2}} \mathbf{i}$$

(2) 证明: 当 $x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}R$ 时, E_p 具有极大值;

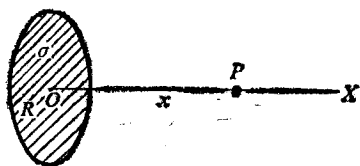
(3) 画出 $E-x$ 曲线;

(4) 一个在 X 轴上可移动的, 与 q 同号的点电荷 q_0 位于环心

O 处, 它是否处于平衡状态? 是稳定平衡、非稳定平衡还是随遇平衡状态? 若 q_0 与 q 异号, 情况如何? 若 q_0 位于 $x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}R$ 位置, 情况又将如何?

9-26 半径为 R 的圆面上均匀带电, 电荷面密度为 σ .

- (1) 求对称轴线上离圆心为 x 处 P 点的场强;
- (2) 在保持 σ 不变的情况下, 当 $R \rightarrow 0$ 和 $R \rightarrow \infty$ 时结果如何?
- (3) 在保持总电荷 $Q = \pi R^2 \sigma$ 不变的情况下, 当 $R \rightarrow 0$ 和 $R \rightarrow \infty$ 时结果又如何?



题 9-26 图

9-27 长为 $2L$ 的细棒 AB , 均匀带电 q , 求下列各点的场强:

- (1) 棒端点 B 正上方的 P_1 点(离 B 点的距离为 l_1);
- (2) AB 棒延长线上的 P_2 点(离 B 点的距离为 l_2);
- (3) 棒的中垂面上的 P_3 点(与棒的垂直距离为 l_3).



题 9-27 图

9-28 已知某一高斯面上的场强处处为零, 下面的讲法中哪一种是错误的?

- (1) 这高斯面上通过的电通量为零;
- (2) 这高斯面内, 不可能存在电荷;

(3) 这高斯面外, 可以存在电荷.

9-29 已知某高斯面上的电通量为零, 下面的讲法中哪一种是正确的?

(1) 这高斯面上各点的场强一定为零;

(2) 这高斯面内不存在电荷;

(3) 这高斯面内不存在电荷或所有电荷的代数和为零.

9-30 (1) 一点电荷 q 位于一立方体的中心, 立方体的边长为 a . 试问通过立方体的一个侧面的电通量 (D 通量) 是多少?

(2) 如将这点电荷移到立方体的一个角顶上, 这时通过立方体每一面的电通量又是多少?

9-31 下面的讲法中哪些是错误的?

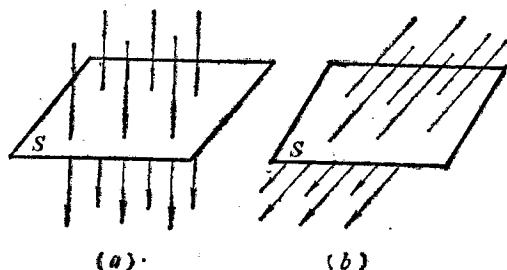
(1) 高斯定理只能在对称分布或均匀的电场中才能成立;

(2) 凡是对称分布的静电场都可通过高斯定理求出电场强度;

(3) 如果库仑定律公式分母中 r 的指数不是 2 而是其它数, 高斯定理将不成立;

(4) 在高斯定理 $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0}$ 中, 电场强度 $\mathbf{E}$ 仅与高斯面内包括的电荷 $\sum q_i$ 有关, 而与面外的电荷无关.

9-32 有两个面积相同的平面, 通过它们面上的电力线数相



题 9-32 图

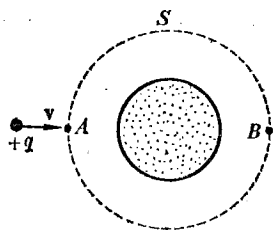
同, 如果电力线垂直地通过一个平面, 而倾斜地通过另一平面(见图), 试问这两个面上的 E 通量是否相等? 如果两种情况中的电场都是均匀电场, 它们的电场强度的大小是否相同?

9-33 在球形高斯面的球心处有一点电荷 q_1 , 试问在下列情况下, 通过这高斯面的电通量是否改变?

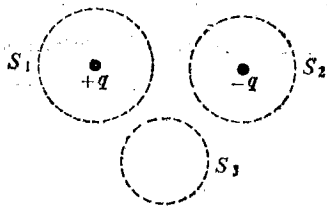
- (1) 点电荷 q_1 稍离球心, 但仍在高斯面内;
- (2) 另一点电荷 q_2 位于高斯面外;
- (3) 另一点电荷 $q_3 = -q_1$ 位于高斯面内.

9-34 如图所示, 在一个不带电的绝缘导体球的周围作一同心高斯面 S . A, B 位于 S 面的直径上. 试定性地回答: 正点电荷 q 沿直径 AB 移至导体球表面的过程中,

- (1) A 点的场强大小和方向如何变化?
- (2) B 点的场强大小和方向如何变化?
- (3) 通过 S 面的电通量如何变化?



题 9-34 图



题 9-35 图

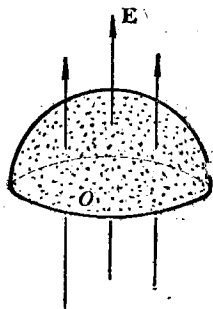
9-35 在点电荷 $+q$ 和 $-q$ 的静电场中, 作出如图所示的高斯面 S_1, S_2 和 S_3 . 试问通过 S_1, S_2 和 S_3 的 D 通量为多少? 能否通过这样的高斯面求出这一点电荷系的电场强度?

9-36 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?

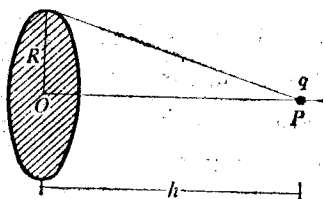
- (1) 始终在气球内部的点;
- (2) 始终在气球外部的点;
- (3)

被气球表面擦过的点。

9-37 在均匀电场 E 中，作一半径为 R 的半球面，如果半球面的轴与 E 的方向平行，试分别由积分计算和高斯定理求出通过这个半球面的电通量。



题 9-37 图



题 9-38 图

9-38 如图所示，在点电荷 q 的电场中取一半径为 R 的圆形平面， q 位于通过圆面中心 O 且垂直于圆面的轴线上的 P 点，已知 $OP=h$ ，求通过圆形平面的电通量。

9-39 一“无限长”均匀带电直线位于 X 轴上，电荷线密度 $\lambda = 30 \mu\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ ，试求通过一球面的电通量，设该球面的半径 $r = 3\text{m}$ ，球心位于原点。

9-40 一半径为 R 的球体均匀带电，电荷体密度为 ρ ，试问球体内各点的场强为多少？

9-41 (1) 地球表面附近的电场强度约为 $200 \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ，方向指向地球中心，试求地球带的总电量；

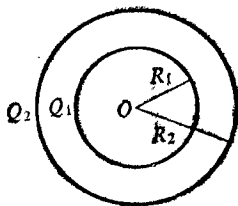
(2) 在离地面 1400m 高处，电场强度降为 $20 \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ ，方向仍指向地心。试计算在 1400m 下大气层里的平均电荷密度。

9-42 在半径为 R_1 和 R_2 的两个同心球面上，分别均匀地分布着电荷 Q_1 和 Q_2 。

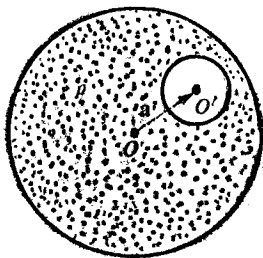
(1) 求 $r < R_1$ 、 $R_1 < r < R_2$ 及 $r > R_2$ 三个区域中任一点的电场强度;

(2) 若 $Q_1 = -Q_2$, 情况如何?

(3) 分别画出(1)、(2)两种情况中的 $E(r)-r$ 曲线.



题 9-42 图



题 9-43 图

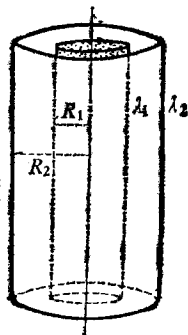
9-43 如图所示, 在体密度为 ρ 的均匀带电球体中, 挖出一小球后, 留下球形空腔, 若大球球心 O 与球形空腔的球心 O' 之间的距离为 a , 求证球形空腔中任一点的电场强度为 $\mathbf{E} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \mathbf{a}$ (均匀电场, $\mathbf{a}$ 是矢径 $\overrightarrow{OO'}$).

9-44 半径分别为 R_1 和 R_2 的两只无限长共轴直圆筒的筒面上均匀带电, 沿轴线方向上每单位长度的带电量分别为 λ_1 和 λ_2 .

(1) 求 $r < R_1$ 、 $R_1 < r < R_2$ 及 $r > R_2$ 三个区域内任一点的电场强度;

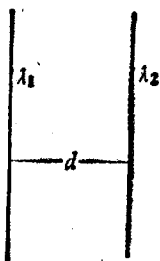
(2) 若 $\lambda_1 = -\lambda_2$, 情况如何?

(3) 画出(1)、(2)两种情况下的 $E-r$ 曲线.

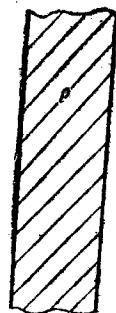


题 9-44 图

9-45 线密度分别为 λ_1 和 λ_2 的两平行长直导线, 相距为 d , 求单位长度上的电荷受到的作用力.



题 9-45 图



题 9-46 图

9-46 设真空中间距为 d 的两无限大平面之间的电荷按体电荷密度 ρ 均匀分布, 求两平面内、外的电场强度。

二、电位 电位梯度

9-47 下面的几种讲法中, 哪一些是错误的? 为什么?

- (1) 场强弱的地方, 电位一定低, 电位高的地方场强一定强;
- (2) 带正电的物体的电位一定是正的; 电位等于零的物体一定不带电荷;
- (3) 场强为零的地方, 电位一定为零; 电位为零的地方, 场强一定为零;

(4) 场强大小相等的地方电位不一定相等; 等位面上场强的大小不一定相等。

9-48 下面的几种讲法中, 哪些是正确的? 哪些是错误的? 为什么?

- (1) 沿着电力线方向移动负电荷时, 负电荷的电位能是增加的;
- (2) 初速为零的点电荷, 仅在电场力作用下运动时, 它的电位