



高等院校经典教材配套指导丛书

配清华社张三慧主编《大学物理学》(第2版)

大学物理学

释疑与习题详解

(中册)

武青
何丽珠 编著
刘乃生

▲考核知识点
▲专题释疑
▲原教材习题详解
▲原教材思考题详解
▲自测试卷及答案



海洋出版社

高等院校经典教材配套指导丛书

大学物理学 释疑与习题详解

Daxue Wulixue Shiyi yu Xiti Xiangjie

(配清华社张三慧主编《大学物理学》第2版)

武 青 何丽珠 刘乃生 编著

中 册

海洋出版社

2005年·北京

内 容 提 要

本书是一本与清华大学出版社出版的由张三慧主编的《大学物理学》(第2版)教材相配合的辅导教材,内容上紧扣本课程教学大纲,体例上与原教材保持一致。

本书特点:针对学生平时学习和考研需要,总结了各知识点的主要内容和基本概念,给出各章的基本要求、考点和难点。并对教材中较难理解的部分进行了专题论述,剖析典型例题,提供解题思路。对教材上的习题及思考题进行了详细的分析与解答,并在题后进行了总结或提示,以达到举一反三的目的。每一章提供了自测题及答案以供自测,其中部分试题筛选自近年各重点高校考研真题。

读者对象:本书可作为工科院校非物理类专业本科生的辅导教材和报考硕士研究生的复习资料,同时也可供有关教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学释疑与习题详解. (上、中、下册) / 何丽珠等编著.
北京:海洋出版社, 2005.10
ISBN 7-5027-6467-4

I. 大… II. 何… III. 物理学—高等学校—教学参考资料
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 123020 号

策划编辑:邹华跃
责任编辑:郑安敏 张丽萍
责任印制:严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

北京顺义兴华印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2005年10月第1版 2005年10月北京第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:41.75

字数:1000千字 印数:1~3000册

总定价:60.00元(本册定价:21.00元)

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

本书是与张三慧先生主编的《大学物理学》(第2版)教材相对应的辅导教材。它包括例题、思考题解答、有关问题说明和测验题四部分。例题的选择有两个目的:一是为了加深学习对基本概念、基本定律的理解和掌握;二是为了和教材上的例题、习题相对应,力求在方法和内容上起到辅助作用。本书对《大学物理学》第二版教材上的思考题做了全面的解答,有助于学生自学,也有利于激发学生学习物理的兴趣。书中说明的一些问题,有的是教学中的体会,有的是对某些问题的强调,有的是学生感兴趣经常问及的问题。安排测验题则是为学生提供自我检查学习的机会,一些选择题是有目的地针对一些基础概念,有助于学生对一些基本概念的理解。本书可以作为使用《大学物理学》教材的院校学生的自学辅导书,也可以作为教研者的参考书。

物理学是自然科学的许多领域和工程技术的基础。大学物理(普通物理)课程是高等工科院校各专业学生的一门重要的必修基础课。它包括的经典物理、近代物理和物理在科学技术上应用的初步知识等都是一个高级工程人员所必备的。

通过大学物理课的教学,使学生对课程中的基本概念、基本理论、基本方法能够有比较全面和系统的认识和正确的理解,并具有初步应用的能力。

全书由三册组成,其中上册含力学、热学部分;中册含电磁学部分;下册含波动与光学、量子物理部分。

本书在内容上以清华大学出版社出版、由张三慧主编的《大学物理学》(第2版)为准,各章的章名与顺序、习题与思考题的编号都与原教材篇章顺序一致。各篇的每一章由考核知识点、专题释疑、配套教材习题解析、配套教材思考题参考解、自测试卷五部分组成。

考核知识点由基本要求、重点、难点、内容提要等四部分组成,内容提要对本章的基本内容进行了归纳,加强了知识的系统性;专题释疑是对基本内容的理解提出的一些看法,作了一定的分析及应注意的问题;配套教材习题解析是对原教材习题进行了分析、列出参考答案和说明;配套教材思考题参考解是对原教材中的思考题列出参考答案;自测试卷供学生学完各章节后作自我练习和复习巩固之用,自测试题大多选自清华大学主编的工科物理试题库试题和历年考研试题,试题综合性较强,具有一定的难度,使学生从中学习一些物理学研究方法,提高分析问题和解决问题的能力。

本书《力学》、《热学》部分由何丽珠编写,《电磁学》由武青编写,《波动与光学》中的振动和波部分由何丽珠编写,光学由刘兵编写,《量子物理》由刘兵编写。本书在编写过程中参考了原教材及习题解答,还参考了许多其他相关书籍。李文文等录入了全部书稿与插图,在本书编写过程中,得到刘海疆老师和出版社的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有不妥之处,望读者批评指正。

编 者

2005年7月

目 次

第3篇 电磁学

第1章 静止电荷的电场	(217)
1.1 考核知识点	(218)
1.1.1 基本要求	(218)
1.1.2 内容提要	(218)
1.2 专题释疑	(219)
1.2.1 点电荷和库仑定律	(219)
1.2.2 电场强度、电场力与试探电荷	(220)
1.2.3 高斯定律	(220)
1.2.4 解题要点与技巧	(220)
1.3 配套教材习题解析	(224)
1.4 配套教材思考题参考解答	(237)
1.5 自测试卷及答案	(240)
1.5.1 自测试卷	(240)
1.5.2 自测试卷答案	(241)
第2章 运动电荷的电场	(243)
2.1 考核知识点	(244)
2.1.1 基本要求	(244)
2.1.2 内容提要	(244)
2.2 专题释疑	(244)
2.2.1 关于高斯定律和库仑定律的适用条件	(244)

2.2.2	关于电场变换和作匀速直线运动的点电荷的电场	(245)
2.2.3	静电场对电荷的作用力	(245)
2.3	配套教材习题解析	(246)
2.4	配套教材思考题参考解答	(248)
2.5	自测试卷及答案	(249)
2.5.1	自测试卷	(249)
2.5.2	自测试卷答案	(250)
第3章	电势	(251)
3.1	考核知识点	(252)
3.1.1	基本要求	(252)
3.1.2	内容提要	(252)
3.2	专题释疑	(253)
3.2.1	关于电势	(253)
3.2.2	关于电场线与等势面、电场强度与电势	(253)
3.2.3	场强环路定理	(253)
3.2.4	解题要点与技巧	(253)
3.3	配套教材习题解析	(256)
3.4	配套教材思考题参考解答	(269)
3.5	自测试卷及答案	(272)
3.5.1	自测试卷	(272)
3.5.2	自测试卷答案	(274)
第4章	静电场中的导体	(275)
4.1	考核知识点	(276)
4.1.1	基本要求	(276)
4.1.2	内容提要	(276)
4.2	专题释疑	(277)
4.2.1	关于导体的静电平衡条件	(277)
4.2.2	导体空腔内外的电场	(277)
4.2.3	解题要点与技巧	(278)
4.3	配套教材习题解析	(280)
4.4	配套教材思考题参考解答	(286)
4.5	自测试卷及答案	(288)
4.5.1	自测试卷	(288)
4.5.2	自测试卷答案	(289)

第 5 章 静电场中的电介质	(291)
5.1 考核知识点	(292)
5.1.1 基本要求	(292)
5.1.2 内容提要	(292)
5.2 专题释疑	(293)
5.2.1 关于电介质的极化	(293)
5.2.2 关于有电介质时的高斯定律	(293)
5.2.3 关于电容和电容器	(294)
5.2.4 关于静电场的能量和电势能	(294)
5.2.5 解题要点与技巧	(294)
5.3 配套教材习题解析	(298)
5.4 配套教材思考题参考解答	(311)
5.5 自测试卷及答案	(313)
5.5.1 自测试卷	(313)
5.5.2 自测试卷答案	(315)
第 6 章 恒定电流	(317)
6.1 考核知识点	(318)
6.1.1 基本要求	(318)
6.1.2 内容提要	(318)
6.2 专题释疑	(319)
6.2.1 关于恒定电流、电流强度及电流密度	(319)
6.2.2 关于静电场和恒定电场	(319)
6.2.3 关于电动势与电势差	(319)
6.2.4 解题要点与技巧	(320)
6.3 配套教材习题解析	(320)
6.4 配套教材思考题参考解答	(325)
6.5 自测试卷及答案	(327)
6.5.1 自测试卷	(327)
6.5.2 自测试卷答案	(328)
第 7 章 磁力	(331)
7.1 考核知识点	(332)
7.1.1 基本要求	(332)
7.1.2 内容提要	(332)

7.2 专题释疑	(333)
7.2.1 关于洛伦兹力和安培力的关系	(333)
7.2.2 关于磁偶极子	(333)
7.2.3 关于磁感应强度的定义	(333)
7.2.4 解题要点与技巧	(333)
7.3 配套教材习题解析	(336)
7.4 配套教材思考题参考解答	(345)
7.5 自测试卷及答案	(347)
7.5.1 自测试卷	(347)
7.5.2 自测试卷答案	(349)
第 8 章 磁场的源	(351)
8.1 考核知识点	(352)
8.1.1 基本要求	(352)
8.1.2 内容提要	(352)
8.2 专题释疑	(352)
8.2.1 关于毕奥-萨伐尔定律	(352)
8.2.2 关于安培环路定理	(353)
8.2.3 关于位移电流	(353)
8.2.4 解题要点与技巧	(354)
8.3 配套教材习题解析	(358)
8.4 配套教材思考题参考解答	(374)
8.5 自测试卷及答案	(377)
8.5.1 自测试卷	(377)
8.5.2 自测试卷答案	(379)
第 9 章 磁场中的磁介质	(381)
9.1 考核知识点	(382)
9.1.1 基本要求	(382)
9.1.2 内容提要	(382)
9.2 专题释疑	(383)
9.2.1 关于磁介质的磁化	(383)
9.2.2 关于磁场强度与磁感应强度	(384)
9.2.3 解题要点与技巧	(384)
9.3 配套教材习题解析	(387)

9.4 配套教材思考题参考解答	(391)
9.5 自测试卷及答案	(395)
9.5.1 自测试卷	(395)
9.5.2 自测试卷答案	(396)
第 10 章 电磁感应	(397)
10.1 考核知识点	(398)
10.1.1 基本要求	(398)
10.1.2 内容提要	(398)
10.2 专题释疑	(399)
10.2.1 关于感应电流和感应电动势	(399)
10.2.2 关于静电场和感生电场的比较	(399)
10.2.3 关于电磁感应定律的两种表述	(399)
10.2.4 解题要点与技巧	(400)
10.3 配套教材习题解析	(403)
10.4 配套教材思考题参考解答	(415)
10.5 自测试卷及答案	(417)
10.5.1 自测试卷	(417)
10.5.2 自测试卷答案	(420)
第 11 章 麦克斯韦方程组和电磁辐射	(423)
11.1 考核知识点	(424)
11.1.1 基本要求	(424)
11.1.2 内容提要	(424)
11.2 专题释疑	(424)
11.2.1 关于“涡旋电场”和“位移电流”	(424)
11.2.2 关于麦克斯韦方程组中各方程的物理意义	(425)
11.2.3 关于磁场的物质性, 场与实物的比较	(426)
11.2.4 解题要点与技巧	(426)
11.3 配套教材习题解析	(427)
11.4 配套教材思考题参考解答	(434)
11.5 自测试卷及答案	(436)
11.5.1 自测试卷	(436)
11.5.2 自测试卷答案	(438)

第3篇 电磁学

第1章 静电电荷的电场

本章考点

- 点电荷
- 库仑定律
- 高斯定律

本章难点

- 理解场的概念
- 将连续带电体划分为带电微元-电荷元，每个电荷元视为点电荷，利用点电荷产生电场强度公式及场强叠加原理计算出带电体在空间产生的电场强度

1.1 考核知识点

任何电荷周围都存在一种特殊的物质,我们称为电场,相对于观察者静止的电荷在其周围所激发的电场为静电场。

本章主要研究真空中静电场的基本性质,并从电场对电荷有力的作用引入描述电场的物理量:电场强度。同时介绍描述静电场基本性质的场强叠加原理、高斯定律。

静电场是电磁场中首次遇到的矢量场,它用空间点函数来描述场,用计算场量的通量来揭示场的基本性质,利用典型场分布及叠加原理来研究和处理问题的方法,对研究其他的相互作用和场具有普遍意义。

1.1.1 基本要求

- 掌握静电场电场强度概念和物理意义以及点电荷的电场强度公式。
- 掌握电场强度的叠加原理及点电荷系和连续分布电荷的电场强度分布的计算。
- 理解静电场的规律,掌握用高斯定律计算电场强度的条件和方法,并能熟练运用。

1.1.2 内容提要

(1) 三条实验定律

①电荷守恒定律。任一物理过程中,电荷既不能产生也不能消灭,只能从一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部分转移到另一部分。这一定律普遍适用于一切宏观和微观过程。

②库仑定律。实验表明,真空中两个静止的点电荷之间的作用力的大小与两电荷所带电量的乘积成正比,与两电荷间距离的平方成反比,作用力的方向沿着两电荷的连线,同号相斥,异号相吸。

③静电力的叠加原理。在有 n 个点电荷组成的点电荷系统中,引入一个点电荷 q ,实验表明 q 受到的合力等于各个点电荷单独存在时对 q 的作用力的矢量和。

(2) 基本概念

①电场强度:表明某点电场特性的矢量,大小等于位于该点的单位试探电荷所受到的电场力,方向为位于该点的正试探电荷所受电场力方向。

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (q_0 \text{ 为静止电荷})$$

根据库仑定律和电场强度的定义可知静止点电荷产生的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$$

若场源由若干个电荷组成, 据静电力的叠加原理知其电场强度为各个点电荷单独存在时在此处激发的电场强度矢量和:

$$\mathbf{E} = \sum_i \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} \frac{\mathbf{r}_i}{r_i}$$

②场强叠加原理:

$$\mathbf{E} = \sum_i \mathbf{E}_i$$

任何宏观带电体都可以分解成无限多个元电荷, 将这些元电荷看成点电荷, 利用点电荷产生的电场强度公式和场强叠加原理可知连续电荷产生的静电场的电场强度为

$$\mathbf{E} = \int_q \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$$

③电通量: 即电场强度通量

$$\Phi_e = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

(3) 基本定理

高斯定律: 是关于电通量的定律, 根据库仑定律和电场强度叠加原理导出。内容为: 静电场中, 通过任一闭合曲面的电通量等于该闭合曲面包围电量的代数和除以 ϵ_0 。其数学表达式为

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i$$

1.2 专题释疑

1.2.1 点电荷和库仑定律

点电荷是一个物理模型, 是从实际带电体中抽象出来的理想化的物理模型。它很类似于力学中质点的概念, 因此它也不是一个绝对概念, 只有当带电体之间的距离与它们的线度比起来大很多时, 才可以忽略带电体自身的大小、形状及它上面电荷的分布情况, 将它看成一个带电的点, 称为点电荷。

带电体的线度比它们的距离小多少时才能被看成点电荷呢? 这需要具体问题具体分析, 一般地, 当电荷之间的距离远远大于电荷自身的尺寸时, 可将电荷看成点电荷。一旦将带电体看成点电荷, 就可以用一个几何点标出它的位置。如果它不可以看成点电荷, 则可以像力学中把任何一个物体看成一群质点的集合一样, 把带电体看成点电荷的集合。

库仑定律是电磁学三大基本实验定律之一。它描述的静止点电荷之间的作用力,表明静止点电荷间的库仑力满足牛顿第三定律。实验进一步证明,静止点电荷对运动点电荷的作用力,库仑定律依然成立。但是,运动点电荷对静止点电荷的作用力库仑定律不再成立,说明运动点电荷间的库仑力不满足牛顿第三定律。

库仑力类似于万有引力广泛地存在于自然界中,但库仑力比万有引力大很多,约为万有引力的 10^{39} 倍。常见的大多数力,原子结合成分子、原子及分子结合成物质三态的结合力本质上都是库仑力。

1.2.2 电场强度、电场力与试探电荷

电场强度概念是根据电场的力学属性来定义的,将试探电荷放置在电场中的某点处,以探测它逐点受力的情况。虽然试探电荷所带电量可以不同,但是对于场内确定的点,试探电荷所受到的电场力与电荷电量的比值却是一个常矢量,反映出与试探电荷无关的一种性质的存在,因而用它作为该场点处电场强度的定义。

电场强度只取决于该场点的客观施力本领的强弱,是由该电场本身的性质决定的,与试探电荷无关。

试探电荷是用来检测电场中各场点的电场强度的大小和方向的一种工具,为了准确地测量出电场中各点(几何点)的电场强度,必须要求试探电荷的自身线度很小,同时其所带电量也很少,这样,才不会由于试探电荷的引入,而影响原来电场的分布。

1.2.3 高斯定律

高斯定律给出了静电场中通过任一闭合曲面的总的电通量与这个曲面包围的电量的代数和之间的关系,反映了电场和场源之间的普遍关系。它说明了静电场是有源场,电力线起始于正电荷,终止于负电荷。

高斯定律是描述电磁场性质的基本方程之一。它虽从库仑定律中导出,但它从场的观点来反映静电场的性质,因此应用范围比库仑定律更广泛,它不但适用于静电场,还可以推广到适用于变化的电场。而库仑定律只适用于静电场。

1.2.4 解题要点与技巧

(1) 电场强度的计算(三法):

①用点电荷产生电场的公式和场强叠加原理:

将任意带电体划分为无限多个小电荷元,每个小电荷可视为一个点电荷。已知点电荷在空间产生静电场的场强公式 $E_i = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\mathbf{r}_i}{r_i}$, 利用场强叠加原理可知,带电体在空间某处产生的电场强度,即为:无限多点电荷在此处产生的 E_i 的矢量叠加。

注意, $\mathbf{E}$ 是矢量,必须写出分量式进行叠加。

可得到几个重要的二级公式:

a) 无限长均匀带电直线周围电场强度的分布:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \quad \lambda: \text{电荷线密度, 方向沿径向}$$

b) 无限大均匀带电平面周围的电场强度分布:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \sigma: \text{面电荷密度, 方向沿法向}$$

c) 圆环中轴线上一点电场强度分布:

$$E = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}} \quad \text{沿轴向}$$

d) 均匀带电球面的场强分布:

$$E = 0 \quad (\text{球面内}) \quad E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{r}{r} \quad (\text{球面外})$$

e) 无限长均匀带电圆柱面的场强分布:

$$E = 0 \quad (\text{圆柱面内}), \quad E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \frac{r}{r} \quad (\text{圆柱面外}), \quad \lambda \text{ 为电荷线密度}$$

②利用高斯定律: $\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \sum_{S \text{ 面内}} q / \epsilon_0$

可计算某些具有特殊对称性的电场分布, 关键在于如何取合适的高斯面。

注: $\mathbf{E}$ 与 S 的内外所有电荷有关, 而 $\mathbf{E}$ 的通量只与 S 面内的电荷有关。

高斯面的取法:

a) 高斯面要经过所求场强的点。

b) 高斯面可划分成几个部分, 只要在这几个部分上分别存在 $\mathbf{E}$ 的大小处处相同, 且 $\mathbf{E}$ 的方向与 $d\mathbf{s}$ 平行或 $\mathbf{E}$ 的方向与 $d\mathbf{s}$ 垂直使 $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$ 便可。

c) 通常用的高斯面为球面、柱面、长方体面等。

③利用电势梯度求 (留在第三章中讲解)。

(2) 高斯定律的应用

①要区分电场强度矢量与电场强度通量这两个不同的概念。电场强度是电场的矢量点函数, 而电场强度通量 (电通量) 则是一个标量, 有正、负之分, 它是对一个面元或曲面而言的。

②通过高斯面的电通量只与高斯面内包围的电量代数和有关, 与高斯面外的电荷无关, 与高斯面的形状和大小无关, 与高斯面内部电荷的分布也无关。但高斯面外的电荷虽对通过高斯面的电通量无影响, 它依然在高斯面上激发电场, 只是高斯面外的电荷激发的电场, 对高斯面上各面元的电通量有正有负, 总和为零。

③高斯面上各点的电场强度是高斯面内、外所有电荷共同激发的。

例题 1-1

如图 3.1.1 所示, 半径为 R 的带电圆盘, 其电荷面密度沿圆盘半径呈线性变化, 为 $\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right)$ 。试求在圆盘轴线上距圆盘中心 O 为 x 处的场强 E 。

【解答】 取圆心 O 为坐标原点, 垂直圆盘指向点 P 的方向为 X 轴正方向。

解法一 将圆盘分为许多扇形面积, 再把每个扇形面积分为许多弧状带, 如图 3.1.1 所示。

有一与原点 O 相距 r 的弧状带, 带宽为 dr , 扇形角为 $d\theta$, 其上带电量为

$$dq = \sigma dS = \sigma r d\theta dr$$

dq 在 P 点产生场强 dE , 如图 3.1.1 所示。将 dE 分解为平行于 X 轴的 dE_x 分量和垂直于 X 轴的 $dE_\perp$ 分量, 由圆盘的对称性分析可知, 点 P 的场强只有沿 X 方向的分量。因此, 只需把全部电荷元在点 P 的场强 dE_p 的 x 分量 dE_{px} 积分, 即可求得圆盘上全部电荷在点 P 产生的场强。由于

$$dE_{px} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma ds}{x^2 + r^2} \cos \varphi$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad E_p = E_{px} &= \int dE_{px} = \iint \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\sigma_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right)}{x^2 + r^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + r^2}} r dr d\theta \\ &= \frac{\sigma_0}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R \frac{r \left(1 - \frac{r}{R}\right) x}{(x^2 + r^2)^{3/2}} dr = \frac{\sigma_0}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{R} \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + x^2}}{x}\right) \end{aligned}$$

解法二 也可把圆盘分为许多同轴圆环带, 如图 3.1.2 所示。取一与原点 O 相距为 r , 带宽为 dr 的圆环带, 其上带电量为:

$$dq = \sigma ds = \sigma \cdot 2\pi r dr$$

已知一均匀带电圆环, 带电量为 q , 半径为 r , 在轴线上产生的场强为

$$E = \frac{qx}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + x^2)^{3/2}} \quad \text{方向沿轴向}$$

因此, 图 3.1.2 中所取的圆环带在轴线上 P 点产生的场强为

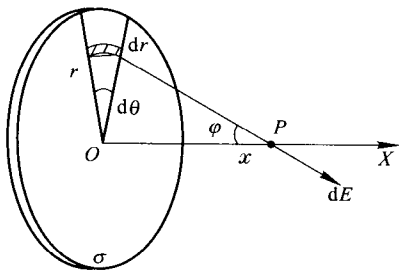


图 3.1.1

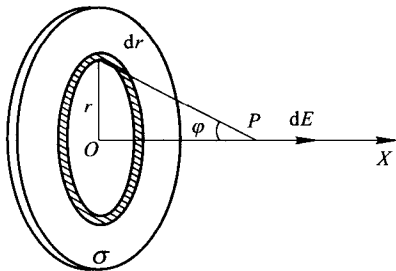


图 3.1.2

$$dE_p = \frac{dq \cdot x}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{\sigma \cdot 2\pi r dr \cdot x}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{\sigma_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \cdot 2\pi r \cdot dr \cdot x}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + x^2)^{3/2}}$$

对于整个带电圆盘来说,有

$$E_p = \int dE_p = \frac{\sigma_0 x}{2\epsilon_0} \int_0^R \frac{\left(1 - \frac{r}{R}\right) r dr}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\sigma_0}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{R} \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + x^2}}{x}\right) \text{方向沿 } x \text{ 轴向}$$

与解法一的结果相同。

注释

对于连续带电体的场强计算,一般总是先将带电体分解成若干电荷元,并解出 dq 产生的 dE , 然后通过对 dE 的积分求出总场强 E , 所以选取 dq 和确定 dE 十分关键。分析对称性,往往可以简化运算。有时也可以借助于一些已有的结果,通过一定的转换,求解原问题。

例题 1-2

如图 3.1.3 所示,一无限大均匀带电平面,电荷面密度为 $+\sigma$, 其上挖去一半径为 R 的圆孔。通过圆孔中心 O , 并垂直于平面的 X 轴上有一点 P , $OP = x$ 。试求 P 点处的场强。

【解答】 本题可用取圆环带的方法求解,也可用补偿法求解。

解法一 取一细圆环带,其半径为 r ($r > R$), 带宽为 dr , 则圆环带的面积为 $dS = 2\pi r dr$, 其上带电量为: $dq = \sigma dS = \sigma 2\pi r dr$

应用已知的带电细圆环在轴线上的场强公式,可得该圆环带在轴线上 P 点产生电场的大小:

$$dE = \frac{\sigma 2\pi r dr \cdot x}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{3/2}} \quad \text{方向沿轴向}$$

因此,该系统在 P 点产生的总场强的大小为

$$E = \int dE = \int_R^\infty \frac{\sigma 2\pi r dr \cdot x}{4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{\sigma x}{2\epsilon_0 \sqrt{R^2 + x^2}}$$

方向沿 X 轴正方向。

解法二 半径为 R 的圆孔可以看成是其上均匀地分布着电荷面密度为 $+\sigma$ 和 $-\sigma$ 的两种电荷的均质带电圆面。若在圆孔上补一个半径为 R 、电荷面密度为 $+\sigma$ 的圆盘,

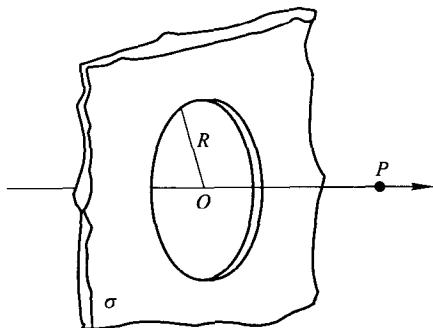


图 3.1.3