

DAXUE WULIXUE DAXUE WULIXUE

大学物理学

刘永安 罗益民 唐英 聂耀庄 / 编著

DAXUE WULIXUE DAXUE WULIXUE

下册

中南大学出版社

D A X U E W U L I X U E

34.67 177
1786
国家工科物理教学建设基地
21 世纪课程教材

大学物理学

下 册

刘永安 罗益民 唐 英 聂耀庄 编著

中南大学出版社

大学物理学(下册)

刘永安 罗益民 唐 英 聂耀庄 编著

☐ 责任编辑 李昌佳

☐ 出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8829482

电子邮件:csucbs @ public.cs.hn.cn

☐ 经 销 湖南省新华书店

☐ 印 装 中南工业大学出版社印刷厂

☐ 开本 850×1168 1/32 ☐ 印张 15 ☐ 字数 370 千字

☐ 版次 2001 年 5 月第 1 版 2002 年 2 月第 3 次印刷

☐ 印数 19001—22000

☐ 书号 ISBN 7-81061-360-X/O · 015

☐ 本册定价 28.00 元

☐ 全套定价 48.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

本书是为实施教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》而编写的。采用现代物理观念和研究方法,以现代高科技的物理基础作为知识结构,构建了本教材的教学体系,其教学目标定位于对学生进行科学素质和知识创新教育,以适应 21 世纪的科技发展。本书在经典物理教学的现代化和近代物理教学的基础化两方面均进行了有益的探索。

全书分上、下两册,内容分成三大部分(共 6 篇)。第 1 部分为粒子系统(机械运动、相对论和热运动);第 2 部分为电磁场和电磁波(电磁场、光学);第 3 部分为量子 and 宇宙(量子力学、固体量子论、粒子物理和宇宙学)。当代物理学前沿的非线性物理(如孤子、混沌、耗散结构、非线性光学等)已有机地融合于上述体系中。全书教学参考时数为 120 学时。

本书可作为高等工科院校和理科非物理学专业的普通物理课程的教材,对物理学专业的学生和大学物理教师也有参考价值。

下册目录

第2部分 电磁场和电磁波	(1)
第3篇 电磁场	(2)
第8章 静电场	(3)
8.1 电场强度	(3)
实验定律;电场强度;带电体在外电场中所受的作用	
8.2 静电场中的高斯定理	(17)
电通量;静电场中的高斯定理	
8.3 静电场的环路定理、电势	(27)
静电场的环路定理;电势差和电势;等势面、电势梯度	
8.4 静电场的能量	(41)
电容和电容器;电容器的储能;静电场的能量	
物理沙龙:平方反比律与库仑定律和高斯定理	(48)
本章提要	(49)
思考题	(51)
习题	(53)
第9章 稳恒磁场	(57)
9.1 磁场中的高斯定理	(57)
磁现象、磁场;磁感应强度;磁通量;磁场中的高斯定理	
9.2 毕奥-萨伐尔定律及其应用	(62)
稳恒电流的磁场;运动电荷的磁场;载流线圈的磁矩; 毕奥-萨伐尔定律的应用	

9.3	磁场的安培环路定理·····	(72)
	安培环路定理;安培环路定理的应用	
9.4	电磁相互作用(一):洛仑兹力·····	(79)
	洛仑兹力;带电粒子在磁场中的运动;霍耳效应;洛仑兹力在科学与工程技术应用中的几个实例	
9.5	电磁相互作用(二):安培力·····	(94)
	安培定律、安培力;磁场对载流线圈的作用;磁力做功	
	物理沙龙:磁单极·····	(102)
	本章提要·····	(104)
	思考题·····	(106)
	习题·····	(107)
第10章	介质中的电场和磁场 ·····	(114)
10.1	静电场中的导体·····	(114)
	导体的静电平衡;有导体存在时场强与电势的计算	
10.2	电介质中的高斯定理·····	(120)
	介质电容器;电介质的极化;电介质中的电场;电位移矢量、电介质中的高斯定理	
10.3	磁介质中的安培环路定理·····	(132)
	磁介质的分类;顺磁质和抗磁质的磁化;磁场强度、磁介质中的安培环路定理	
10.4	铁磁质·····	(140)
	铁磁质的磁化规律;磁畴;铁磁材料的应用	
10.5	电磁学的应用技术举例·····	(144)
	静电的应用;压电效应、压电体和铁电体;磁记录	
	物理沙龙:真空的“极化”·····	(152)
	本章提要·····	(153)
	思考题·····	(154)
	习题·····	(155)

第 11 章 电磁感应	(159)
11.1 电磁感应的基本定律	(159)
电磁感应现象;法拉第电磁感应定律	
11.2 动生电动势和感生电动势	(163)
电源、电动势;动生电动势;感生电动势和感生电场; 电磁感应的应用	
11.3 自感应、互感应	(175)
自感;互感	
11.4 磁场的能量	(180)
自感磁能;互感磁能;磁场能量	
物理沙龙:统一场论	(185)
本章提要	(187)
思考题	(188)
习题	(190)
第 12 章 电磁场和电磁波	(195)
12.1 位移电流	(195)
位移电流;全电流定律	
12.2 麦克斯韦方程组	(200)
12.3 电磁波	(203)
电磁波的波动方程;电磁波的辐射;平面电磁波的传 播;电磁波谱	
12.4 电磁场的物质性	(209)
电磁场的能量、坡印廷矢量;电磁场的动量;电磁场 是物质的一种形态	
12.5 相对论电磁学简介	(214)
电场强度的洛仑兹变换;电场力的洛仑兹变换;电场 和磁场的洛仑兹变换	
物理沙龙:正负电子对的产生与湮灭	(222)

本章提要·····	(225)
思考题·····	(227)
习题·····	(227)
第 4 篇 波动光学与现代光学 ·····	(230)
第 13 章 波动光学 ·····	(231)
13.1 光的电磁理论、相干光源 ·····	(231)
光速和折射率;光矢量和光强;光源、相干光源;光程和光程差	
13.2 分波前干涉·····	(234)
杨氏双缝实验;菲涅尔双面镜和洛埃镜	
13.3 分振幅干涉·····	(238)
等倾干涉;等厚干涉;增透膜与增反膜;迈克尔逊干涉仪;时间相干性	
13.4 光的衍射·····	(249)
光的衍射现象及其分类;惠更斯-菲涅尔原理;单缝的夫琅和费衍射;圆孔的夫琅和费衍射;光学仪器的分辨本领	
13.5 光栅·····	(261)
光栅衍射现象;光栅衍射规律	
13.6 X 射线在晶体上的衍射 ·····	(268)
13.7 光的偏振·····	(269)
自然光和偏振光;偏振片的起偏和检偏;马吕斯定律;反射和折射时光的偏振;晶体的双折射	
13.8 偏振光的干涉·····	(278)
13.9 人为双折射、旋光现象 ·····	(280)
人为双折射;旋光现象	
本章提要·····	(282)
思考题·····	(285)

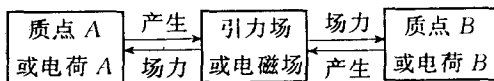
习题	(287)
第 14 章 现代光学	(292)
14.1 非线性光学简介	(292)
光学介质的线性极化与非线性极化;倍频效应;混频效应;光束的自聚焦;双光子吸收	
14.2 全息技术	(296)
全息记录;全息再现;全息的应用	
14.3 光纤技术	(302)
光纤的传输特性;光纤通信的主要优点;光孤子通信	
14.4 傅里叶光学、光学信息处理	(307)
衍射屏、屏函数;傅里叶级数、空间频谱;傅里叶变换和夫琅和费衍射;光学信息处理的基本方法	
本章提要	(314)
思考题	(316)
第 3 部分 量子 and 宇宙概述	(317)
第 5 篇 量子理论	(317)
第 15 章 量子力学基础	(318)
15.1 早期量子论	(318)
黑体辐射、普朗克的能量子假设;爱因斯坦光子假设;康普顿效应;光的波粒二象性;玻尔的原子理论	
15.2 微观粒子的波粒二象性	(328)
粒子的波动性;概率波;不确定性原理	
15.3 薛定谔方程	(337)
薛定谔方程的引入;定态薛定谔方程;物理沙龙:量子力学有哪几种表述形式?	
15.4 一维定态问题	(342)
无限深势阱;方势垒的穿透、隧道效应;扫描隧道显微镜;物理沙龙:隧道效应是一种量子效应	

15.5	力学量算符、量子力学基本原理	(350)
	态的叠加原理;力学量用算符表述;量子力学基本原理	
15.6	氢原子	(361)
	氢原子定态薛定谔方程的求解;电子的概率分布和电 子云;电子自旋	
15.7	多电子原子系统	(368)
	泡利不相容原理;能量最小原理	
	物理沙龙:薛定谔猫	(370)
	物理沙龙:EPR 论证	(370)
	本章提要	(373)
	思考题	(375)
	习题	(376)
第 16 章	固体导电理论和激光	(380)
16.1	固体中的电子	(380)
	固体中自由电子的能级和态密度;自由电子的导电理 论;电子能带;绝缘体和导体的能带结构	
16.2	半导体	(394)
	本征半导体;杂质半导体;P-N 结	
16.3	超导电性	(398)
	超导体的基本特性;超导体的 BCS 理论简述;超 导体的应用前景	
16.4	激光基础	(402)
	原子的激发、辐射和吸收;粒子数反转分布;光学谐 振腔;激光器;激光的纵模与横模;激光的特性和应用	
	本章提要	(415)
	思考题	(417)
	习题	(418)

第 6 篇 粒子物理与宇宙学基础	(419)
第 17 章 粒子物理学简介	(419)
17.1 粒子的基本性质、相互作用和分类	(420)
粒子的基本特征;粒子间的相互作用;粒子的分类	
17.2 守恒定律.....	(427)
重子数守恒定律;轻子数守恒定律;奇异数守恒定律; 同位旋 I 及同位旋分量 I_z 守恒定律;宇称守恒定律; CPT 定理	
17.3 夸克模型.....	(431)
夸克模型;介子与重子的夸克构成;夸克的色;夸克 间的相互作用	
本章提要.....	(435)
第 18 章 宇宙学简介	(437)
18.1 宇宙学原理.....	(438)
18.2 奥伯斯佯谬与宇宙的膨胀.....	(441)
18.3 大爆炸宇宙论.....	(443)
宇宙演化的历史;未来宇宙的演化;大爆炸证据; 暴涨模型	
本章提要.....	(451)
习题答案.....	(453)
附录 矢量分析.....	(462)

第2部分 电磁场和电磁波

由中学物理知识我们知道,两个质点间产生万有引力,两个静止电荷间产生电力,两个运动电荷间产生电力和磁力,等等。这些相互作用力的产生机制是怎样的呢?历史上曾有过“超距作用”的观点,即上述作用力是超越空间任何距离,无需中间传递介质,也不需要传递时间。然而,大量实践表明,力是物体间的相互作用,互不接触的两个物体间的作用力必须通过中间介质来传递,同时也需要传递时间,此即力的近距作用观点,因此,超距作用观点已为科学发展所扬弃。近代研究认为,质点或电荷在其周围空间产生“场物质”(简称场,field),常见的有引力场和电磁场等,质点或电荷间的相互作用力(通常称为场力)是以光速(因而光也是一种电磁波)在相应场中传递,浸没在场中的质点或电荷仅与它所在处的场产生相互作用。其作用方式可表示如下:



研究表明,自然界存在两种物质形态——实物粒子和场。场是一种特殊形态的物质,一方面,它具有动量、角动量和能量等实物粒子的基本属性,场与粒子相互作用时将交换上述物理量;另一方面,它又具有与粒子不同的一些特性:一个粒子在某一瞬时只能占有一个时空点,而场在宏观上连续分布于整个时空中;多个粒子不可能同时占有空间同一位置,而几个场可在同一空间各处叠加;单个粒子的运动在空间形成轨迹,而场的运动将引起整个空间的

变化而形成波动,如引力波和电磁波等。

本部分仅以电磁场作为研究对象。我们将在实验事实的基础上,根据物质空间分布的特性建立场的描述体系,包括引入场的一些基本概念及其描述方法,建立场方程(包括积分方程与微分方程)等。最后研究电磁波的产生和传播特性等。

第3篇 电磁场

电磁运动是物质的一种基本运动形式,电磁相互作用是物质间四种基本相互作用之一,研究电磁现象及其规律的学科称为**电磁学**。电磁学不仅和物理学的各个分支密切相关,而且还涉及到化学、天文、地理、生物等其他自然科学领域。电磁学理论不仅普遍应用于科学技术各个领域以及生产实践中,而且已日益成为新技术的理论基础。

电荷在空间激发的电磁场,在整个空间连续分布并具有矢量性,是一种矢量场。本篇我们将在实验基础上,根据场的这些特性,分别建立静电场、稳恒磁场和变化的电磁场的描述体系。我们还将借助于数学中的“矢量场论”,在引入场的基本参量——场强矢量的基础上,引入描述整个矢量场的两个重要概念——**通量**和**环流**,建立描述矢量场整体特性的积分形式的场方程(**通量定理**和**环路定理**),即场的整体所遵循的运动规律。此外,还将简要介绍电磁场中各局域元区的两个重要概念——**散度**和**旋度**,并给出描述矢量场中各局域元的微分形式的场方程,即场中各局域元上相关物理量间的函数关系。

第8章 静电场

相对于观察者静止的电荷所产生的电场称为**静电场**(electrostatic field), 电场强度和电势是描述电场性质的两个物理量, 库仑定律是静电场的基本实验定律。本章从库仑定律出发, 导出静电场的高斯定理和环路定理, 从而得到静电场方程, 并阐明静电场是有源场和保守力场(无旋场)。

8.1 电场强度

8.1.1 实验定律

8.1.1.1 电荷守恒定律

自然界只存在两种电荷——正电荷和负电荷, 且同种电荷互相排斥, 异种电荷互相吸引。在正常状态下, 物体内部正负电荷量值相等, 对外不显电性, 称为**电中性**(electric neutrality), 使物体带电的过程就是使它获得或失去电子(electron)的过程, 获得电子的物体带负电, 失去电子的物体带正电。因此, 物体带电的过程实际上就是把电子从一个物体(或物体的一部分)转移到另一物体(或物体的另一部分)的过程。

实验表明, 在一个与外界没有电荷交换的系统内, 正负电荷的代数和在任何物理过程中保持不变, 称为**电荷守恒定律**(law of conservation of charge)。它是物理学中最普遍的规律之一, 电荷守恒定律表明, 电荷既不能被创造, 也不能被消灭。

1913年, 密立根(R. A. Millikan)用液滴法测定了电子的电荷, 首先从实验上证明了微小粒子带电量的变化是不连续的, 它只能是某个基元电荷 e (电子或质子所带电量)的整数倍, 这称为电

荷量子化(charge quantization)。通常,由于宏观带电体所带电量都远远大于 e ,电荷的量子性显现不出来,因此可认为电荷的变化是连续的。近代物理从理论上预言基本粒子由若干种夸克(quark)或反夸克(antiquark)组成,每一个夸克或反夸克可能带有 $\pm\frac{1}{3}e$ 或 $\pm\frac{2}{3}e$ 的电量。然而,单独存在的夸克,至今尚未在实验中发现。

8.1.1.2 库仑定律

点电荷间相互作用的基本规律,称为库仑定律(Coulomb law),可表述如下:真空中两个静止的点电荷之间的作用力(称为静电力),与它们所带电量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比,作用力的方向沿着这两个点电荷的连线。其数学表达式为

$$\boldsymbol{F}_{21} = -\boldsymbol{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \boldsymbol{r}_0$$

式中, k 为比例系数, $\boldsymbol{r}_0 = \frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r_{12}}$ 为 q_1 和 q_2 连线方向上的单位矢量(见图8-1), $\boldsymbol{F}_{12}$ 表示 q_2 对 q_1 的静电力, $\boldsymbol{F}_{21}$ 表示 q_1 对 q_2 的静电力。在国际单位制中, $k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \approx 9.00 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。通常引入另一常数代替 k ,两者关系为

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

ϵ_0 称为真空中的介电常数(dielectric constant),于是,真空中的库仑定律可写成

$$\boldsymbol{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \boldsymbol{r}_0$$

若 q_1 和 q_2 同号, $\boldsymbol{F}_{21}$ 与 $\boldsymbol{r}_0$ 的方向相同,说明同种电荷互相排斥;

q_1 与 q_2 异号, F_{21} 与 r_{01} 方向相反, 说明异种电荷互相吸引。

点电荷 q_1 和 q_2 间的静电力实质上是电场力, 传递静电力的中间物质即为静电场。这就是说, 由 q_1 产生的电场对 q_2 施加电场力 F_{21} , 或者说由 q_2 产生的电场对 q_1 施加电场力 F_{12} 。

通常, 略去下标, 而将库仑定律写为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \mathbf{r} \quad (8-1)$$

在库仑定律中以 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 代替 k , 虽然库仑定律的形式因出现 4π 因子而略显复杂, 但却可使由库仑定律导出的其他公式(如高斯定律)不含 4π 而变得简单。

8.1.2 电场强度

8.1.2.1 电场强度的定义

把试验点电荷 q_0 放在电场中不同位置, 不管 q_0 的符号和大小如何变化, 比值 $\mathbf{F}/q_0$ 是一个确定的恒矢量。一般说来, 当 q_0 的位置改变时, 该矢量的大小和方向也随之改变。我们用矢量 $\mathbf{F}/q_0$ 来定量描述电场的性质, 称为电场中各点的电场强度 (electric field strength), 简称场强, 用 E 表示, 即

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (8-2)$$

由式(8-2)可知, 在电场中每一点, 可引入一个可观测量电场强度 E , 其量值等于单位电荷在该处所受到的电场力, 方向与正电荷在该处所受的电场力方向相同。

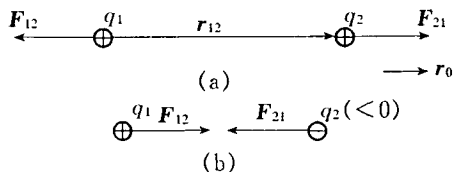


图 8-1 两个点电荷之间的作用力

如果电场中各点场强大小和方向都相同,则该电场称为匀强电场。一般情况下,电场中的不同点,其场强的大小和方向各不相同,要整体地描述电场,必须知道空间各点的场强分布,即 $E = E(x, y, z)$,故场强 E 是空间的点函数。

8.1.2.2 场强叠加原理

若空间电场是由 n 个分立的点电荷激发的,将试验电荷 q_0 放在电场中的任一点,它所受到的电场力为 F ,根据力的叠加性, F 可表示为

$$F = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \sum_{i=1}^n F_i$$

式中, $F_1, F_2, \cdots, F_n$ 分别是 $q_1, q_2, \cdots, q_n$ 单独存在时施于 q_0 的电场力。根据场强的定义, q_0 所在处的场强

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{F_1}{q_0} + \frac{F_2}{q_0} + \cdots + \frac{F_n}{q_0} = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{q_0}$$

上式右边各项分别为各点电荷单独存在时在 q_0 所在处产生的场强 $E_1, E_2, \cdots, E_n$,则

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i \quad (8-3)$$

式(8-3)说明,一组点电荷所激发的电场中某点的电场强度等于各点电荷单独存在时在该点激发的电场强度的矢量和,这一结论称为场强叠加原理。

8.1.2.3 场强的计算

如果已知电荷的分布,根据场强叠加原理,从点电荷的场强公式出发,原则上可求出电场中各点的场强分布。下面讨论几种不同的情况。

(1)点电荷的场强

在真空中有一点电荷 q ,设在该电荷产生的电场中的任意位置 P 处放置一试验电荷 q_0 ,按照库仑定律, q_0 所受的力为