



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

物理学 (第5版)

(下册)

严导淦 主编
严导淦 吴於人 修订



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

物理学 (第5版)

Wulixue

(下册)



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是供全日制普通高等院校大学物理课程(100~110学时)的教学,亦可用作函授院校、夜大学、网络学院、高等职业技术学院以及高等教育自学考试的教学和教学参考书。

本书是在严导淦主编《物理学》(第四版)的基础上,参照现行的《理工科类大学物理课程教学基本要求》,结合当前大学物理课程的教学实况修订而成的第五版。

修订后的第五版,在内容和论述上更简明易懂,便于教学,以适应广大师生的教学需求。

全书共18章,分上、下两册。上册主要内容为力学的物理基础、机械振动与机械波、相对论、热力学和气体动理论;下册主要内容为电磁学、光学、量子物理简介。本书为下册。

与本书配套的《物理学(第五版)阅读与解题指导》和《物理学(第五版)电子教案》亦将与本书同步出版。

图书在版编目(CIP)数据

物理学.下册/严导淦主编.—5版.—北京:高等教育出版社, 2010.5

ISBN 978-7-04-029190-2

I. ①物… II. ①严… III. ①物理学-高等学校-教材
IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第028789号

策划编辑 马天魁 责任编辑 王文颖 封面设计 李卫青
责任绘图 杜晓丹 版式设计 余杨 责任校对 王超
责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市白帆印务有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 21.25
字 数 400 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1982年6月第1版
2010年5月第5版
印 次 2010年5月第1次印刷
定 价 29.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29190-00

目 录

第 10 章 真空中的静电场	1
10.1 电荷 库仑定律	2
10.1.1 电荷 电荷守恒定律	2
10.1.2 库仑定律 静电力叠加原理	3
10.2 电场 电场强度	6
10.2.1 电场	6
10.2.2 电场强度	6
10.2.3 电场强度叠加原理	8
10.3 电场强度和电场力的计算	9
10.3.1 点电荷电场中的电场强度	9
10.3.2 点电荷系电场中的电场强度	9
10.3.3 连续分布电荷电场中的电场强度	11
10.3.4 电荷在电场中所受的力	16
10.4 电场强度通量 真空中静电场的高斯定理	17
10.4.1 电场线	17
10.4.2 电场强度通量	18
10.4.3 高斯定理	20
10.4.4 利用高斯定理求静电场的电场强度	22
10.5 静电场的环路定理 电势	25
10.5.1 静电力的功	25
10.5.2 静电场的环路定理	26
10.5.3 电势能	27
10.5.4 电势 电势差	27
10.5.5 电势的计算	28
10.6 等势面 电场强度与电势的关系	31
10.6.1 等势面	31
10.6.2 电场强度与电势的关系	32
习题	34
第 11 章 静电场中的导体和电介质	39
11.1 静电场中的金属导体	39
11.1.1 金属导体的电结构	39

11.1.2	导体的静电平衡条件	40
11.1.3	静电平衡时导体上的电荷分布	41
11.1.4	静电屏蔽	44
11.1.5	计算示例	45
11.2	静电场中的电介质	46
11.2.1	电介质的电结构	46
11.2.2	电介质在外电场中的极化现象	47
11.3	有电介质时的静电场和高斯定理	48
11.3.1	有电介质时的静电场	48
11.3.2	有电介质时静电场的高斯定理 电位移矢量 $\mathbf{D}$	49
11.3.3	有电介质时静电场的高斯定理的应用	51
11.4	电容 电容器	53
11.4.1	孤立导体的电容	53
11.4.2	电容器的电容	53
11.4.3	电容器的串联和并联	58
11.5	电场的能量	60
	习题	63
第 12 章	恒定电流的恒定磁场	67
12.1	恒定电流	68
12.1.1	电流 电流密度	68
12.1.2	电流的连续性方程 恒定电流	69
12.1.3	欧姆定律	70
12.1.4	电动势	72
12.2	磁的基本现象	73
12.2.1	磁现象的早期认识	73
12.2.2	磁力 磁性的起源	74
12.3	磁场 磁感应强度	76
12.3.1	磁场	76
12.3.2	磁感应强度	77
12.4	毕奥—萨伐尔定律及其应用	78
12.4.1	毕奥—萨伐尔定律	78
12.4.2	应用示例	80
* 12.4.3	运动电荷的磁场	83
12.5	磁感应线 磁通量 真空中磁场的高斯定理	85
12.5.1	磁感应线	85

12.5.2 磁通量	86
12.5.3 真空中磁场的高斯定理	87
12.6 安培环路定理及其应用	88
12.6.1 安培环路定理	88
12.6.2 应用示例	90
12.7 磁场对载流导线的作用 安培定律	93
12.7.1 安培定律	93
12.7.2 两条无限长直电流之间的相互作用力 “安培”的 定义	94
12.7.3 均匀磁场中的载流线圈	96
12.8 带电粒子在电场和磁场中的运动	100
12.8.1 磁场对运动电荷的作用力	100
12.8.2 带电粒子在电场和磁场中的运动	102
12.9 磁场中的磁介质	106
12.9.1 磁介质在外磁场中的磁化现象	106
12.9.2 抗磁质和顺磁质的磁化机理	107
12.9.3 磁介质的磁导率	108
12.10 有磁介质时磁场的高斯定理和安培环路定理	109
12.11 铁磁质	111
12.11.1 铁磁质的磁化特性 磁滞回线	111
12.11.2 铁磁性的磁畴理论	112
习题	114
第 13 章 电磁感应 麦克斯韦电磁场理论	121
13.1 电磁感应现象及其基本规律	122
13.1.1 电磁感应现象 楞次定律	122
13.1.2 法拉第电磁感应定律	123
13.2 动生电动势	127
13.2.1 动生电动势	128
13.2.2 动生电动势的表达式	128
13.3 感生电动势 涡旋电场	132
13.3.1 涡旋电场的产生和性质	132
13.3.2 涡电流及其应用	133
13.4 自感和互感	135
13.4.1 自感	135
13.4.2 互感	138

13.5	磁场的能量	141
13.6	麦克斯韦的位移电流假设	143
13.7	麦克斯韦电磁场理论的方程组 (积分形式)	145
13.7.1	电场	146
13.7.2	磁场	146
13.7.3	电磁场的麦克斯韦方程组的积分形式	147
13.8	电磁振荡 电磁波	148
13.8.1	电磁振荡	148
13.8.2	电磁波	150
13.8.3	电磁波的辐射和传播	151
13.8.4	电磁波的能量	153
13.9	电磁波谱	155
	习题	157
第 14 章	几何光学	164
14.1	几何光学的基本定律	165
14.1.1	光的直进定律	165
14.1.2	光的反射定律 光路可逆性原理 平面镜	166
14.1.3	光的折射定律 全反射	168
14.1.4	棱镜 全反射棱镜	170
14.2	球面傍轴成像	171
14.2.1	基本概念和符号法则	171
14.2.2	球面反射成像	173
14.2.3	球面折射成像	175
14.3	薄透镜的成像	177
14.3.1	透镜	177
14.3.2	薄透镜成像	178
14.3.3	薄透镜的焦距	179
14.3.4	薄透镜成像的作图法	180
14.4	光学仪器简介	181
14.4.1	眼睛	181
14.4.2	放大镜	182
14.4.3	显微镜	183
14.4.4	望远镜	184
14.4.5	照相机	185
	习题	186

第 15 章 波动光学	188
15.1 光强 光的干涉	189
15.1.1 光强	189
15.1.2 光的干涉 干涉场中的光强分布	190
15.1.3 相干光的获得	192
15.2 双缝干涉	194
15.2.1 杨氏双缝干涉实验	194
15.2.2 洛埃德镜 光波的半波损失	196
15.3 光程 用光程差表述光波的相干条件	198
15.3.1 光程	198
15.3.2 用光程差表述光波的相干条件	199
15.3.3 透镜不引起额外的光程差	201
15.4 薄膜的光干涉	201
15.4.1 平行平面薄膜的等倾干涉	201
15.4.2 增透膜和增反膜	204
15.4.3 劈形薄膜的等厚干涉	205
15.4.4 牛顿环	209
15.4.5 迈克耳孙干涉仪	211
15.5 光的衍射	213
15.5.1 光的衍射现象	213
15.5.2 惠更斯-菲涅耳原理	213
15.6 单缝的夫琅禾费衍射	214
15.7 衍射光栅 衍射光谱	219
15.7.1 衍射光栅	219
15.7.2 光栅衍射条纹的成因	220
15.7.3 光栅公式	222
15.7.4 光栅光谱	224
15.8 光学仪器分辨率	224
15.8.1 圆孔的夫琅禾费衍射	225
15.8.2 光学仪器的分辨率	225
* 15.9 X 射线的衍射 布拉格公式	226
15.10 光的偏振性 马吕斯定律	229
15.10.1 自然光与偏振光 起偏和检偏	229
15.10.2 偏振片的起偏和检偏	231
15.10.3 马吕斯定律	233

15.11	反射和折射时光的偏振 布儒斯特定律	234
15.12	光的双折射现象	236
15.13	椭圆偏振光和圆偏振光 偏振光的干涉及其应用	238
	习题	242
第 16 章	量子论概述	246
16.1	热辐射	246
16.1.1	热辐射及其定量表述	246
16.1.2	绝对黑体辐射定律 普朗克公式	248
16.2	光电效应	250
16.2.1	光电效应的实验定律	250
16.2.2	光电效应与光的波动理论的矛盾	252
16.2.3	爱因斯坦的光子假设 光的波粒二象性	252
16.2.4	光电效应的应用	255
16.3	康普顿效应	256
16.3.1	康普顿效应	256
16.3.2	电磁辐射的波粒二象性	258
16.4	氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	259
16.4.1	氢原子光谱的规律性	259
16.4.2	玻尔的基本假设	260
16.5	激光	264
16.5.1	激光的发光机理	264
16.5.2	激光器	266
16.5.3	激光的特点及其应用	268
	习题	269
第 17 章	量子力学基础	271
17.1	德布罗意波 海森伯的不确定关系	272
17.1.1	实物粒子的波动性——德布罗意假设	272
17.1.2	不确定关系	274
17.2	波函数及其统计诠释	276
17.2.1	波函数	276
17.2.2	波函数的统计诠释	278
17.2.3	波函数的归一化条件及标准条件	279
17.3	薛定谔方程	279
17.3.1	薛定谔方程	279
17.3.2	定态薛定谔方程	280

17.4 定态薛定谔方程的应用	281
17.4.1 一维无限深方形势阱	282
17.4.2 势垒 隧道效应	284
17.4.3 一维线性简谐振子	286
17.4.4 氢原子	287
17.4.5 电子的自旋 自旋磁量子数	290
17.5 多电子的原子 元素周期表的本源	292
17.5.1 多电子的原子	292
17.5.2 原子中的电子壳层模型 元素周期表的本源	293
17.6 固体的能带结构 半导体	296
17.6.1 固体的能带	296
17.6.2 导体 绝缘体 半导体	297
17.6.3 半导体的导电机制 pn 结	298
17.7 超导体简介	301
17.7.1 超导体的特性	301
17.7.2 临界磁场 临界电流	301
17.7.3 超导电性微观本质简介	302
17.7.4 超导体的约瑟夫森效应	302
17.7.5 高临界温度超导体的研究和应用前景	303
习题	304
第 18 章 原子核和基本粒子简介	306
18.1 原子核的结构和基本组成	306
18.1.1 原子核的组成	306
18.1.2 原子核的电荷	307
18.1.3 原子核的质量	307
18.1.4 原子核的结合能	308
18.1.5 核力	309
18.1.6 原子核的大小	310
18.2 原子核的衰变和衰变规律	311
18.2.1 天然放射性现象	311
18.2.2 原子核衰变的规律	312
18.2.3 位移定则	313
18.2.4 探测放射性现象的方法	314
18.3 核反应	315
18.3.1 人工核反应 中子	315

18.3.2	人工放射性 正电子.....	316
18.3.3	放射性同位素及其应用.....	316
18.3.4	获得高能粒子的方法.....	317
18.4	原子核能的利用.....	317
18.4.1	重核裂变.....	318
18.4.2	轻核聚变.....	320
18.5	基本粒子简介.....	322
18.5.1	基本粒子的发现 强子的夸克模型.....	322
18.5.2	夸克模型.....	322
18.5.3	基本粒子的相互作用.....	324
参考文献		326

第10章

真空中的静电场



[科技小品]

美国物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868—1953)率先于1911年测定了电子的电荷量。其实验装置如图所示。A、B为平行的两块金属平板,分别与电源 $\mathcal{E}$ 的正、负极相连接而带上等量的正、负电荷,使两板间形成一个方向竖直向下的均匀电场 E 。A板中央O处开一个小孔,从喷雾器喷出的油滴经小孔进入电场后,带负电的油滴受到电场力 F 、重力 W 和空气浮力 $F_{\text{浮}}$ 的作用,三个力的方向如图10-0所示。我们把油滴近似看做半径为 r 的小球,且空气浮力的大小可忽略不计,则重力和电

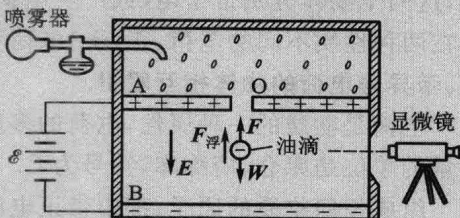


图 10-0

场力的大小分别为 $W=mg=\rho Vg=\frac{4\pi r^3 \rho g}{3}$ 和 $F=qE$ (其中, ρ 为油滴的密度)。调节电场强度 E 的大小,使油滴所受的电场力和重力达到平衡,读者可自行求出油滴所带电荷量为

$$q = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho g$$

若测得油滴的平均半径为 $r=1.64 \times 10^{-4} \text{ cm}$,油的密度为 $\rho=0.851 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,在三力平衡时的电场强度为 $E=1.92 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$,则读者不难用上式算出油滴上的电荷量为 $q=8.02 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

密立根曾用X射线照射油滴,使之带上不同的电荷,重复进行上述实验,发现油滴所带电荷量恒是某个最小电荷量 e 的整数倍,即 $q=ne$ (n 为正整数)。从而证实了电荷的不连续性。经测定,这个最小电荷量等于电子所带电荷量的绝对值 $e=1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$,称为元电荷。

电磁运动是物质运动的一种基本形式。电磁相互作用是自然界已知的四种基本相互作用之一。

电磁学是研究电磁现象及其基本规律的一门学科,乃是人类深入认识物质世界必不可少的基础理论,它在工程技术和自然科学领域中具有十分广泛的应用。学习和掌握电磁现象的基本规律有着十分重要的现实意义。

19世纪以来,许多科学家对电磁现象的规律和物质的电结构做了大量的实

验和理论研究,总结出了经典电磁场理论.

电场是一种特殊的物质形态.本章首先从静止电荷之间的相互作用出发引述真空中的**静电场**,并着重描写静电场的两个基本概念——电场强度和电势以及它们之间的联系;介绍高斯定理和环流定理,并由此揭示静电场的基本性质和规律;继而在下一章中研究导体和电介质在静电场中的表现和行为;最后讨论静电场的能量.

10.1 电荷 库仑定律

10.1.1 电荷 电荷守恒定律

实验和研究表明,两个不同材料的物体,例如丝绸和玻璃棒相互摩擦后,都能吸引羽毛、纸片等轻小物体.这时,我们就说这两个物体已处于**带电状态**,或者说,这两个物体分别带了**电**(或产生**电荷**).带了电的物体称为**带电体**.自然界只存在两种性质不同的电荷:正(+)电荷和负(-)电荷.带同号电荷的物体相互排斥,带异号电荷的物体相互吸引.

电荷是物质的一种属性,电荷的多寡可用**电荷量** Q 或 q 来表述.在SI中,电荷量的单位是**库仑**,简称**库**,符号为C.

组成任何物质的原子,都由带正电的质子和带负电的电子所组成.质子集中在原子核内,电子在核外绕核运动.经实验测定,每一个质子所带电荷量为 $+1.602 \times 10^{-19}$ C;每一个电子带负电,电荷量为 -1.602×10^{-19} C,即两者的大小相等.我们常用 e 表示这个自然界的最小电荷,即**元电荷**.在正常状态下,一个原子中的质子数和电子数相等.因此,原子呈电中性,整个宏观物体也呈电中性.当由于某种原因破坏了物体的电中性状态,使物体内电子过多或不足时,物体就相应地带了负电或正电.

摩擦起电、感应起电等实验表明,任何使物体带电的过程,都是借外界做功使物体中原有的正、负电荷分离或转移的过程.当一个物体失去一些电子时,必有其他物体同时得到这些电子.由此人们总结出:在一个与外界没有电荷交换的孤立系统内,正、负电荷的代数和在任何物理过程中始终保持不变.这个结论称为**电荷守恒定律**,它是物理学的基本定律之一.

目前认为,电子是自然界具有最小电荷量 e 的粒子,所有带电体或其他微观粒子的电荷都是电子电荷绝对值的整数倍.即物体所带电荷是不连续的,这称为**电荷的量子化**.不过,常见的宏观带电体所带的电荷远大于电子的电荷,在一般灵敏度的电学测试仪器中,电荷的量子性是显示不出来的.因此在分析带电情况时,可以认为电荷是连续变化的.这正像人们看到江河中滔滔流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由一个个水分子组成的一样.

人们还发现,在不同的惯性系中观测同一带电体的电荷量是相同的,即电荷量不随带电体的运动速度而变. 这就是电荷量不变原理.

电荷一般分布在体积为 V 的某一区域内, 则单位体积中的电荷量称为**电荷体密度**, 记作 ρ ; 有时, 电荷仅分布在某一曲面(或平面)上, 则单位面积上的电荷量称为**电荷面密度**, 记作 σ ; 若电荷仅分布在一曲线(或直线)上, 则单位长度的电荷量称为**电荷线密度**, 记作 λ . 三者可分别表述如下:

这里的 ρ 切莫与质量密度相混淆, 当它们同时出现时, 我们用 ρ_m 表示质量密度, 以资区别.

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{dq}{dV} \\ \sigma &= \frac{dq}{dS} \\ \lambda &= \frac{dq}{dl} \end{aligned} \right\} \quad (10-1)$$

它们的单位分别为 $C \cdot m^{-3}$ 、 $C \cdot m^{-2}$ 和 $C \cdot m^{-1}$. 对于不同的惯性系, 尽管电荷量保持不变, 可是考虑到相对论的尺缩效应, 将引起体积 V 的改变, 因而 ρ 值是不同的, 即 ρ 随带电体的速度而变; 至于 σ 和 λ , 则视带电的面或线在空间的方位如何而定.

上述的面电荷、线电荷实际上是一种理想模型. 线电荷是指电荷分布在一细线上, 线的横截面积可视为零; 而面电荷是指电荷分布在一薄层上, 而层的厚度可以忽略不计.

为了简单起见, 我们也像力学中首先研究质点运动那样, 采取点电荷这一模型, 便可从研究点电荷的行为出发, 进一步来讨论静电学的有关内容.

在电学中, 当所研究的带电体之间的距离比它们本身的线度大得多时, 我们便可把这些带电体看做点电荷. 点电荷本身不一定是体积很小的带电体, 只是它的形状和大小可以不必考虑, 而用一个拥有带电体全部电荷量的几何点来表示; 这样, 它在空间的位置也就便于确定.

由此可见, 点电荷只有相对的意义. 例如, 若两个带电体的线度为 d , 且两者相距为 r , 则仅当 $d \ll r$ 时, 我们才可以把它们当作点电荷来处理.

10.1.2 库仑定律 静电力叠加原理

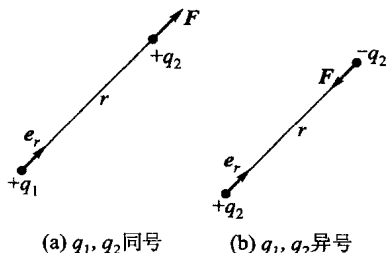
带电物体相互间有力的作用, 这是电荷的一种对外表现, 人们对电现象的认识, 就是从这种作用开始的. 一般地说, 两个带电体之间的相互作用, 除了和它们所带的电荷量有关外, 还和它们本身的大小、形状、电荷在带电体上的分布以及周围介质的性质等有关, 情况相当复杂. 为此, 下面我们先讨论最简单的、也是最基本的问题, 即两个相对静止的点电荷在真空中相互作用力的规律.

两个静止的点电荷之间相互作用力的大小与两个点电荷的电荷量 q_1 、 q_2 的乘积成正比,与两个点电荷之间的距离 r 的平方成反比,作用力的方向沿着两个点电荷的连线;同号电荷相斥,异号电荷相吸。

这就是库仑定律.它是库仑从实验中总结出来的静电学基本定律.如果两个点电荷处于真空中,把从 q_1 指向 q_2 的单位矢量设为 e_r ,那么电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 F (图 10-1)可表示为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} e_r \quad (10-2)$$

式中,比例系数 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.987\,776 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$
 $\approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ (计算时取近似值);其中 ϵ_0 称为真空电容率,它表征真空的电学特征,其值为 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.



(a) q_1, q_2 同号 (b) q_1, q_2 异号
图 10-1 q_1 对 q_2 的作用力

若 r 为自 q_1 指向 q_2 的位矢,则自 q_1 指向 q_2 的单位矢量 $e_r = r/r$ 标志了位矢 r 的方向。

静电力 F 通常又称为库仑力.如图 10-1(a)、(b)所示,当 q_1, q_2 为同号电荷时, F 与 e_r 同方向,两者之间呈现斥力;当 q_1, q_2 为异号电荷时, F 与 e_r 反方向,两者之间呈现引力。

值得指出,如果 q_1, q_2 都是静止的点电荷,且 F_{12} 为 q_2 对 q_1 的作用力, F_{21} 为 q_1 对 q_2 的作用力,则两者之间相互作用力可看做服从牛顿第三定律: $F_{12} = -F_{21}$. 当电荷运动,甚至两个电荷以相同速度运动时,即两者处于相对静止时,其作用力也与式(10-2)不同,可见,电荷之间的相互作用力在不同的惯性系中是不相同的.显然,不服从牛顿第三定律。

在一般情况下,对于两个以上的点电荷,实验证明:其中每个点电荷所受的总静电力,等于其他点电荷单独存在时作用于这个点电荷上的静电力之矢量和.这就是静电力叠加原理.也就是说,不管周围有无其他电荷存在,任何两个点电荷间相互作用力的静电力总是符合库仑定律的.设 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 分别为电荷量 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 的点电荷单独存在时,对电荷量为 q_0 的点电荷作用的静电力,则 q_0 所受静电力的合力 F (矢量和)为

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_i F_i \quad (10-3)$$

上式即为静电力叠加原理的表达式。

库仑定律与静电力叠加原理是静电学的最基本规律.原则上,有关静电学的问题都可用这两条规律解决。

例 10-1 α 粒子(即氦原子核)的质量 m 为 $6.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 它的电荷量 $q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$. 试比较两个 α 粒子间的静电斥力与万有引力的大小。

解 两个 α 粒子间静电斥力的大小为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q^2}{r^2} \right)$$

式中, r 为两个 α 粒子间的距离; 而万有引力的大小则为

$$F_G = G \left(\frac{m^2}{r^2} \right)$$

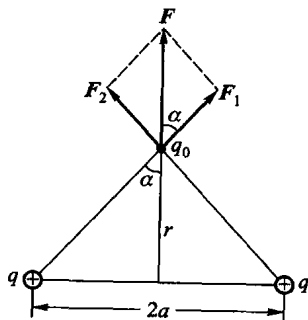
式中, 引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$. 将已知数据代入, 可算得两力大小之比为

$$\begin{aligned} \frac{F_e}{F_G} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 G} \frac{q^2}{m^2} = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \times \frac{1}{6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}} \\ &\quad \times \frac{(3.2 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(6.68 \times 10^{-27} \text{ kg})^2} = 3.1 \times 10^{35} \end{aligned}$$

显然, 在微观粒子的相互作用中, 万有引力远小于静电力, 可略去不计. 然而, 在讨论行星、恒星、星系等大型天体之间的相互作用力时, 则主要考虑万有引力, 那是因为它们都可认为是电中性的.

例 10-2 如图所示, 两个相等的正点电荷 q , 相距为 $2a$. 若一个点电荷 q_0 放在上述两电荷连线的中垂线上. 问: 欲使 q_0 受力最大, q_0 到两电荷连线中点的距离 r 为多大?

解 由库仑定律和静电力叠加原理可知, 电荷 q_0 受两个电荷 q 的静电力分别为 F_1 和 F_2 , 合力为 F , 其值随 r 而变. 当 r 较大时, q_0 与 q 之间的距离较大, 合力随这个距离的增加而减小; 当 r 较小时, q_0 受 q 的力增大, 但所受两个力之间的夹角 2α 变大, 合力仍是减小. 因此, 当 r 为某一定值时, q_0 所受的合力有最大值. 相应的 r 值可用求极值方法算出, 即



例 10-2 图

$$F = 2F_1 \cos\alpha = \frac{2q_0 q}{4\pi\epsilon_0 (a^2 + r^2)} \frac{r}{(a^2 + r^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{q_0 q r}{2\pi\epsilon_0 \sqrt{(a^2 + r^2)^3}}$$

且
$$\frac{dF}{dr} = \frac{q_0 q}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{\sqrt{(a^2 + r^2)^3} - 3\sqrt{a^2 + r^2} r^2}{(a^2 + r^2)^3} \right]$$

令
$$\frac{dF}{dr} = 0, \text{ 则}$$

$$\frac{\sqrt{(a^2 + r^2)^3} - 3\sqrt{a^2 + r^2} r^2}{(a^2 + r^2)^3} = 0$$

化简, 得

$$r = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$$

读者还可自行求出 $\left. \frac{d^2 F}{dr^2} \right|_{r=\pm \frac{a}{\sqrt{2}}} < 0$. 因此, 当 $r = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$ 时, F 具有极大值.

今后, 凡对电荷周围介质的情况未加任何说明时, 均指真空而言.

今后, 为简便起见, 常将带有电荷量 Q 或 q 的带电体 (或电荷), 分别用 Q 或 q 表示. 亦即, Q 或 q 不仅表示电荷量, 同时也分别认定是拥有电荷量 Q 或 q 的带电体或电荷.

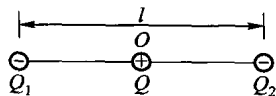
问题 10-1 (1) 试述电现象的本质是什么?

(2) 试述库仑定律及其比例系数; 什么叫做点电荷?

(3) 在库仑定律中, 倘若令 $r \rightarrow 0$, 则库仑力 $F \rightarrow \infty$, 显然没有意义. 试对此作出解释.

问题 10-2 (1) 试述静电力叠加原理.

(2) 如图, 两个带负电的静止点电荷, 其大小 $|Q_1|$ 和 $|Q_2|$ 可以相等或不相等, 相距为 l , 一个正的点电荷 Q 放在两者连线的中点 O , 试讨论电荷 Q 所受静电力的合力方向.



问题 10-2(2)图

10.2 电场 电场强度

10.2.1 电场

物体间的相互作用必须相互接触或借助于介乎其间的物质才能传递. 否则, 物体之间的相互作用就不可能发生. 电荷间的相互作用是通过一种特殊的物质——电场传递过去的. 任何电荷周围都存在**电场**. 电场的基本特征是它对位于场中的任何电荷存在着力的作用. 一个电荷之所以会受到另一个电荷的作用力, 正是由于另一个电荷周围存在着电场, 而另一个电荷因处于第一个电荷的电场中也受到作用力. 这种力称为**电场力**. 我们可以把点电荷 q_1, q_2 之间的相互作用力归结为

$$\text{点电荷 } q_1 \xrightarrow[\text{作用于}]{\text{激发}} \text{电场 } 1 \xrightarrow[\text{激发}]{\text{作用于}} \text{点电荷 } q_2$$

与观察者相对**静止**的电荷所产生的电场称为**静电场**. 电现象的本质就是在物体周围出现电场. 作为一种电场, 今后我们将会看到, 静电场只不过是**电磁场**中的一种特殊情形, 而电磁场与实物一样具有质量、能量、动量等一切物质所具有的重要属性, 电磁场一经产生还可以脱离电荷而独立存在, 因而电磁场本身是一种物质. 不过这种物质不同于通常由电子、质子和中子等所构成的实物. 例如实物原子所占据的空间不能同时为另一原子所占据, 但几个电磁场却可以同时占据同一空间.

10.2.2 电场强度

为了判断电场的存在与否和描述电场的强弱和方向, 我们可用试探电荷 q_0 进行探测. 试探电荷必须满足下列两个条件: (1) 它的电荷量 q_0 很小, 不因 q_0 的存在而对原有的电场有显著影响; (2) 它的线度必须很小而可看做点电荷. 这样, 就可以用 q_0 对空间各点电场的强弱和方向进行检测和研究. 实验表明:

(1) 在给定电场中(指产生电场的电荷、即场源电荷的分布已给定)的同一点(简称**场点**) P_1 , 改变 q_0 的大小, q_0 所受的电场力 F 将随之改变, 但比值 $\frac{F}{q_0}$ 却不变.