

高等学校教材

DAXUE WULI

大学物理 (下)

黄仙山 主编



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

高等学校教材

大学物理

(下)

主 编 黄仙山

副主编 何贤美 夏金德 韩玉峰

参 编 (按姓氏笔画排序)

丁成祥 马建军 王 东

王 斌 刘 畅 刘 剑

刘厚通 吴建光 邹 勇

唐绪兵 莫绪涛 巢梨花

冀月霞

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/黄仙山主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2014.12
ISBN 978-7-5650-2019-3

I. ①大… II. ①黄… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 261248 号

大学物理(上、下)

黄仙山 主编

责任编辑 汤礼广 王路生

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2014 年 12 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2015 年 2 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	710 毫米×1000 毫米 1/16
电 话	理工编辑部:0551-62903087	印 张	32.75
	市场营销部:0551-62903198	字 数	600 千字
网 址	www.hfutpress.com.cn	印 刷	合肥星光印务有限责任公司
E-mail	hfutpress@163.com	发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2019-3

定价: 68.00 元(上册 38.00 元、下册 30.00 元)

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

本书中物理量的名称、符号和单位

量的名称	符号	单位名称	单位代号	备注
长度	L, S	米	m	
面积	S	平方米	m^2	
体积	V	立方米	m^3	$1\text{L}(\text{升})=10^{-3}\text{m}^3$
时间	t	秒	s	
位移	$s, \Delta r$	米	m	
速度	v, u	米每秒	m/s	
加速度	a	米每二次方秒	m/s^2	
角位移	θ	弧度	rad	
角速度	ω	弧度每秒	rad/s	
角加速度	β	弧度每二次方秒	rad/s^2	
质量	m	千克	kg	
力	F	牛顿	N	$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$
重力	G	牛顿	N	
功	W, A	焦耳	J	$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$
能量	E, W	焦耳	J	
动能	E_k	焦耳	J	
势能	E_p	焦耳	J	
功率	P	瓦特	W	$1\text{W}=1\text{J/s}$
摩擦因数	μ			
动量	p	千克米每秒	$\text{kg}\cdot\text{m/s}$	
冲量	I	牛顿秒	$\text{N}\cdot\text{s}$	
力矩	M	牛顿米	$\text{N}\cdot\text{m}$	
转动惯量	J, I	千克二次方米	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	
角动量(动量矩)	L	千克二次方米每秒	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$	
压强	p	帕斯卡	Pa	$1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$

(续表)

量的名称	符号	单位名称	单位代号	备注
热力学温度	T	开尔文	K	
摄氏温度	t	摄氏度		$t = T - 273.15$
摩尔质量	M	千克每摩尔	kg/mol	
分子质量	m_0	千克	kg	
分子有效直径	d	米	m	
分子平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m	
分子平均碰撞频率	$\bar{Z}$	次每秒	1/s	
分子数密度	n	每立方米	1/m ³	
热量	Q	焦耳	J	
比热容	c	焦耳每千克开尔文	J/(kg · K)	
质量热容	C	焦耳每开尔文	J/K	
定容摩尔热容	$C_{V,m}$	焦耳每摩尔开尔文	J/(mol · K)	
定压摩尔热容	$C_{p,m}$	焦耳每摩尔开尔文	J/(mol · K)	
比热容比	γ			
黏度	η	帕秒	Pa · s	
热导率	k	瓦每米开尔文	W/(m · K)	
扩散系数	D	二次方米每秒	m ² /s	
熵	S	焦耳每开尔文	J/K	
电流	I	安培	A	
电荷量	Q, q	库仑	C	
电荷线密度	λ	库仑每米	C/m	
电荷面密度	σ	库仑每平方米	C/m ²	
电荷体密度	ρ	库仑每立方米	C/m ³	
电场强度	E	伏特每米	V/m, N/C	
电势	U	伏特	V	1V/m=1N/C
电势差、电压	U	伏特	V	
电容率	ϵ	法拉每米	F/m	
真空电容率	ϵ_0	法拉每米	F/m	

(续表)

量的名称	符号	单位名称	单位代号	备注
相对电容率	ϵ_r			
电偶极矩	p, p_e	库仑米	$C \cdot m$	
电极化强度	P	库仑每平方米	C/m^2	
电极化率	χ_e			
电位移	D	库仑每平方米	C/m^2	
电位移通量		库仑	C	
电容	C	法拉	F	$1F=1C/V$
电流密度	j	安培每平方米	A/m^2	
电动势	ϵ	伏特	V	
电阻	R	欧姆	Ω	$=1V/A$
电导	G	西门子	S	$1S=1A/V$
电阻率	ρ	欧姆米	$\Omega \cdot m$	
电导率	γ	西门子每米	S/m	
磁感应强度	B	特斯拉	T	$1T=1Wb/m^2$
磁导率	μ	亨利每米	H/m	
真空磁导率	μ_0	亨利每米	H/m	
相对磁导率	μ_r			
磁通量	Φ	韦伯	Wb	$1Wb=1V \cdot s$
磁化强度	M	安培每米	A/m	
磁化率	χ_m			
磁场强度	H	安培每米	A/m	
线圈的磁矩	P_m	安培平方米	$A \cdot m^2$	
自感	L	亨利	H	$1H=1Wb/A$
互感	M	亨利	H	
电场能量	W_e	焦耳	J	
磁场能量	W_m	焦耳	J	
磁能密度	w_m	焦耳每立方米	J/m^3	

前 言

大学物理是大学低年级各专业的一门重要的基础课。它的主要任务是为工程应用型人才的成长较系统地打下必需的物理学基础,同时培养学生初步学习科学理论的学习方法和研究解决实际问题的基本方法,增强学生学习其他专业知识的能力,开阔学生视野,激发学生探索和创新的欲望,提高学生的综合素质。

为适应教学改革的新形势,进一步提高大学物理课程的教学质量,选择合适的教材就显得至关重要。为此,安徽工业大学应用物理系教师,结合自己多年的教学经验并吸收当前国内外大学物理课程教材编写的许多长处,集体编写了这本《大学物理》(上、下)教材。

本教材按照 120 学时设计(供选择),分为上下两册,共有 18 章。上册主要内容有力学、气体动理论和热力学基础、机械振动、机械波和波动光学等。下册主要内容有电磁学、狭义相对论和量子力学基础等。全书内容一般按照大多数高校的课堂教学顺序进行编排,这也与学生的认识过程以及物理规律的表现基本一致。

编者的初衷是为一般工科院校的大学本科生提供一套难度适中、深入浅出、篇幅不大、易教易学的大学物理教材,但在编写过程中,编者充分体会到了实现这一目标的困难与艰辛。令编者自豪的是,在困难面前,编者不仅没有止步,而且对本教材的编写还进行了适当地探索和创新。

首先,本教材对力学中质点运动学和质点动力学的内容进行了浓缩,原因是大学新生在学习大学物理之前已经在中学上了五年的物理课,再加上多年的应试教育和题海战术训练,给他们中间的许多人造成了物理课“概念抽象、内容繁多、题目难解、上课枯燥”的印象。正是出于此原因,因此本教材在力学部分中对学生已烂熟于心的力学概念不再用浩繁篇幅加以论述,而是大胆进行了简化;另外,将微积分、矢量运算等高等数学工具应用于力学概念和定理的表述,尽量做到令人有耳目一新之感。

其次,本教材打破以往大多数《大学物理》教材将电磁学放在上册的惯例,

取而代之的是机械振动、机械波和波动光学。因为这些内容虽各自独立,可相互间又紧密联系,因此与上册内容放在一起,易教易学;另外,编者在多年的教学过程中还发现如果将电磁学安排在上册,学生在学习这部分内容时由于还没有掌握足够的高等数学知识,因此往往对微积分的学习会产生畏惧心理,再加上电磁学概念晦涩,从而会让有些学生丧失学习热情。

本教材的最大特点是思路清晰,表达准确,深入浅出,能让学生乐于阅读。本书在讲解物理学中的基本概念和基本原理时,力求避免使用一些艰涩的术语和复杂的公式;对重要的概念和原理,几乎都配有例题。为了便于教学,编者将可以作为选讲内容和适合学生自学的内容,在书目中特意用“*”标出;另外,还为各章配有一定量的思考题和习题,并提供了参考答案。

本教材的编写凝聚了安徽工业大学大学物理教研室绝大部分一线教师的心血。本教材编写分工如下:第1~3章,刘畅;第4章,丁成祥;第5章,刘剑、冀月霞;第6章,马建军;第7章,邹勇;第8章,王斌;第9~10章,莫绪涛;第11章,何贤美;第12章,吴建光;第13章,王东;第14~15章,夏金德;第16章,巢梨花;第17章,刘厚通;第18章,唐绪兵;各章后的习题和答案,韩玉峰。全书由黄仙山统稿。

最后,感谢安徽工业大学招生办主任张清教授对本书的编写工作提出了许多宝贵意见,感谢安徽工业大学数理学院副院长孙文斌同志对本书的编写工作给予的大力支持,在此也对在编写过程中给予各种帮助的其他同仁表示诚挚的谢意。另外,还要感谢合肥工业大学出版社的编辑,他们为本书的顺利出版付出了同样的辛勤劳动。

教学是一门艺术,编写出好教材则能让这门艺术大放光彩。本书的成功编写是我们大学物理教研室的教师对多年教学经验总结和对教学创新的有益尝试。鉴于编者水平有限、编写时间仓促,本书难免存在疏漏和不当之处,敬请读者给予批评指正。

编 者

目 录

下 册

电 磁 学 篇

第 11 章 真空中的静电场	(4)
§ 11-1 电荷 库仑定律	(4)
§ 11-2 电场 电场强度	(7)
§ 11-3 电场强度通量 高斯定理	(18)
§ 11-4 静电场的环路定理 电势	(29)
* § 11-5 电场强度与电势的关系	(36)
本章小结	(40)
习题	(42)
第 12 章 静电场中的导体和电介质	(45)
§ 12-1 物质的电性质	(45)
§ 12-2 静电场中的导体	(46)
§ 12-3 静电场中的电介质	(52)
§ 12-4 电容 电容器	(57)
§ 12-5 电场的能量	(62)
本章小结	(65)
习题	(67)
第 13 章 稳恒磁场	(69)
§ 13-1 磁现象的电本质	(69)

§ 13-2 磁场的计算	(72)
§ 13-3 磁场线 磁通量 磁场的高斯定理	(79)
§ 13-4 安培环路定理	(82)
本章小结	(88)
习题	(89)
第 14 章 磁场对电流的作用	(92)
§ 14-1 磁场对载流导线的作用	(92)
§ 14-2 磁场对运动电荷的作用力——洛仑兹力	(97)
§ 14-3 运动电荷在电场和磁场中的运动	(97)
本章小结	(104)
习题	(105)
第 15 章 磁介质	(107)
§ 15-1 磁介质和磁介质的磁化	(107)
§ 15-2 磁场强度 磁介质中的安培环路定理	(109)
§ 15-3 铁磁质	(112)
本章小结	(114)
习题	(115)
第 16 章 电磁感应	(116)
§ 16-1 电磁感应定律	(116)
§ 16-2 动生电动势和感生电动势	(122)
§ 16-3 自感 互感	(129)
§ 16-4 磁场的能量 磁场能量密度	(134)
本章小结	(137)
习题	(137)

近代物理学篇

第 17 章 狭义相对论基础	(142)
§ 17-1 牛顿力学的相对性原理 伽利略变换式	(142)

§ 17-2 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换式	(146)
§ 17-3 狭义相对论的时空观	(150)
§ 17-4 狭义相对论的动力学基础	(155)
本章小结	(158)
习题	(159)
 第 18 章 量子物理基础	 (161)
§ 18-1 黑体辐射 普朗克能量子假设	(162)
§ 18-2 光电效应与光子	(166)
§ 18-3 氢原子的玻尔理论	(172)
§ 18-4 波粒二象性	(180)
§ 18-5 不确定关系	(182)
§ 18-6 波函数 薛定谔方程	(185)
§ 18-7 薛定谔方程在一维量子问题中的应用	(189)
本章小结	(197)
习题	(198)
 下册习题参考答案	 (201)
 参考文献	 (211)

电磁学篇

静电和静磁现象很早就被人类发现。由于摩擦起电现象,因此十八世纪以前,人们一直采用这类摩擦起电机来研究静电场,其代表人物如本杰明·富兰克林。人们在这一时期主要了解到了静电力同性相斥、异性相吸的特性、静电感应现象以及电荷守恒原理。

库仑定律是静电学中的基本定律,其主要描述了静电力与电荷电量成正比、与距离的平方成反比关系。人们曾将静电力与在当时已享有盛誉的万有引力定律做类比,发现彼此在理论和实验上都有很多相似之处。其间苏格兰物理学家约翰·罗比逊和英国物理学家亨利·卡文迪什等人都进行过实验,验证了静电力的平方反比律;法国物理学家库仑于1784年至1785年间进行了著名的扭秤实验,证实了静电力的平方反比律;库仑在其后的几年间还研究了磁偶极子之间的作用力,得出了磁力也具有平方反比律的结论。不过,他并未认识到静电力和静磁力之间有何内在联系,他一直将电力与磁力吸引和排斥的原因归结于假想的电流体和磁流体——具有正和负区别的、类似于“热质”的无质量物质。

库仑发现了磁力和电力一样遵守平方反比律,但他没有进一步推测两者的内在联系,然而人们在自然界中观察到的电流的磁现象(如富兰克林在1751年发现了放电能将钢针磁化)促使着人们不断地探索这种联系。首先发现这种联系的人是丹麦物理学家奥斯特,他本着磁力和电力一定有内在联系的信念进行了一系列有关的实验,最终于1820年发现接通电流的导线能对附近的磁针产生作用力,这种磁效应是沿着围绕导线的螺旋方向分布的。

在奥斯特发现电流的磁效应之后,法国物理学家让-巴蒂斯特·毕奥和费利克斯·萨伐尔进一步详细研究了载流直导线对周围磁针的作用力,并确定其

磁力大小正比于电流强度、反比于距离、方向垂直于距离连线,这一规律被归纳为著名的毕奥-萨伐尔定律。而法国物理学家安德烈-玛丽·安培在奥斯特的发现仅一周之后(1820年9月)就向法国科学院提交了一份更详细的论证报告,同时还论述了两根平行载流直导线之间磁效应产生的吸引力和排斥力。在这期间安培进行了四个实验,分别验证了两根平行载流直导线之间作用力方向与电流方向的关系、磁力的矢量性,确定了磁力的方向垂直于载流导体以及作用力大小与电流强度和距离的关系。安培还在数学上对作用力进行了推导,得到了普遍的安培力公式,这一公式在形式上类似于万有引力定律和库仑定律。1821年,安培从电流的磁效应出发,设想了磁效应的本质正是电流产生的,从而提出了分子环流假说,认为磁体内部分子形成的环形电流就相当于一根根磁针。1826年,安培从斯托克斯定理推导得到了著名的安培环路定理,证明了磁场沿包围产生其电流的闭合路径的曲线积分等于其电流密度,这一定理成为了麦克斯韦方程组的基本方程之一。安培的工作揭示了电磁现象的内在联系,将电磁学研究真正数学化,成为物理学中又一大理论体系——电动力学的基础。麦克斯韦称安培的工作是“科学史上最辉煌的成就之一”,后人称安培为“电学中的牛顿”。

在奥斯特发现电流磁效应之后的1821年,英国《哲学学报》邀请当时担任英国皇家研究所实验室主任的法拉第撰写一篇电磁学的综述,这也导致了法拉第转向电磁领域的研究工作。法拉第考虑了奥斯特的发现,也出于他同样认为自然界的各种力能够相互转化的信念,猜想电流应当也如磁体一般,能够在周围感应出电流。他在实验中发现对于两个相邻的线圈A和B,只有当接通或断开线圈A时,线圈B附近的磁针才会产生反应,也就是此时线圈B中产生了电流。如果维持线圈A的接通状态,则线圈B中不会产生电流,法拉第意识到这是一种瞬态效应。一个月后,法拉第向英国皇家学会总结了他的实验结果,他发现产生感应电流的情况包括五类:变化中的电流、变化中的磁场、运动的稳恒电流、运动的磁体和运动的导线。法拉第电磁感应定律从而表述为:任何封闭电路中感应电动势的大小,等于穿过这一电路磁通量的变化率。不过此时的法拉第电磁感应定律仍然是一条观察性的实验定律,确定感应电动势和感应电流方向的是俄国物理学家海因里希·楞次,他于1833年总结出了著名的楞次定律。法拉第定律后来被纳入麦克斯韦的电磁场理论,从而具有了更简洁更深刻的意义。

法拉第另一个重要的贡献是创立了力线和场的概念,力线实际是否认了超距作用的存在,这些思想成为了麦克斯韦电磁场理论的基础。爱因斯坦称其为“物理学中引入了新的、革命性的观念,它们打开了一条通往新的哲学观点的道

路”，意为场论的观念是有别于旧的机械观中以物质为主导核心的哲学观念。

麦克斯韦对电磁理论的贡献是里程碑式的。麦克斯韦自 1855 年开始研究电磁学，1856 年他发表了首篇论文《论法拉第力线》，其中描述了如何类比流体力学中的流线和法拉第的力线，并用自己强大的数学功底重新描述了法拉第的实验观测结果，这部分内容被麦克斯韦用六条数学定律概括。1861 年至 1862 年间，麦克斯韦发表了第二篇电磁学论文《论物理力线》，在这篇论文中麦克斯韦尝试了所谓“分子涡流”模型，他假设在磁场作用下的介质中存在大量排列的分子涡流，这些涡流沿磁力线旋转，且角速度正比于磁场强度，分子涡流密度正比于介质磁导率。这一模型能很好地通过近距作用之说来解释静电和静磁作用以及变化的电场与磁场的关系。更重要的是，它预言了在电场作用下的分子涡流会产生位移，从而以势能的形式储存在介质中，这相当于在介质中产生了电动势，这成为了麦克斯韦预言位移电流存在的理论基础。1865 年麦克斯韦发表了他的第三篇论文《电磁场的动力学理论》，在论文中他坚持了电磁场是一种近距作用的观点，指出“电磁场是包含和围绕着处于电或磁状态的物体的那部分空间，它可能充有任何一种物质”。至此，麦克斯韦提出了电磁场的一共包含有 20 个方程的方程组。1887 年至 1888 年间，赫兹通过他制作的半波长偶极子天线成功接收到了麦克斯韦预言的电磁波，即电磁波是相互垂直的电场和磁场在垂直于传播方向的平面上的振动，同时赫兹还测定了电磁波的速度等于光速。赫兹实验证实电磁波的存在是物理学理论的一个重要胜利，同时也标志着一种基于场论的更基础的物理学即将诞生。爱因斯坦盛赞法拉第、麦克斯韦和赫兹的工作是“牛顿力学以来物理学中最伟大的变革”，而“这次革命的最大部分出自麦克斯韦”。

本篇主要介绍静电场和稳恒磁场的规律以及电磁感应规律。

第 11 章 真空中的静电场

相对于观察者为静止的电荷所激发的电场,称为静电场。本章我们研究真空中静电场的基本特性,并从电场对电荷有力的作用,电荷在电场中移动时电场力对电荷做功这两个方面,引入描述电场的两个重要物理量:电场强度和电势。同时介绍反映静电场基本性质的场强叠加原理、高斯定理以及场强的环路定理,特别介绍了应用高斯定理求解具有对称性分布的电荷所产生的场强的方法。静电场是电磁学的入门,本章所介绍的一些概念、规律以及处理问题的方法贯穿于整个电磁学中,在学习过程中应注意提高这方面的能力。

§ 11-1 电荷 库仑定律

1. 电荷

人们对于电的认识,最初来自人为的摩擦起电现象和自然界的雷电现象。事实上,两个不同质料的物体,例如丝绸和玻璃棒,经互相摩擦后,都能吸引羽毛、碎纸片等轻微物体。表明这两个物体经摩擦后,处于一种特殊状态,我们把处于这种状态的物体称为带电体,并说它们分别带有电荷。

实验证明,物体或微观粒子所带的电荷有两种,而且自然界也只存在这两种电荷,即正电荷和负电荷。带同号电荷的物体互相排斥,带异号电荷的物体互相吸引。静止电荷之间的相互作用力称为静电力。根据带电体之间的相互作用力的大小,我们能够确定物体所带电荷的多少。表示电荷多少的量称为电量,常用符号 Q 或 q 表示,在国际单位制(SI)中,电量的单位是库仑,符号为 C。

(1) 电荷守恒定律

借助于摩擦、感应、极化均可起电。比如为什么摩擦可以使物体带电呢?我们知道,常见的宏观物体(实物)都由分子、原子组成,而任何元素的原子都由一个带正电的原子核和一定数目的绕核运动的带负电的电子所组成,原子核又

由带正电的质子和不带电的中子组成。每一个质子所带正电荷量和一个电子所带负电荷量是等值的,通常用 $+e$ 和 $-e$ 来表示。在正常情况下,原子内的电子数和原子核内的质子数相等,从而整个原子呈电中性。由于构成物体的原子是电中性的,因此,通常的宏观物体将处于电中性状态,物体对外不显示电的作用,而当两种不同质料的物体相互紧密接触时,有一些电子会从一个物体迁移到另一个物体上去,结果使两物体都处于带电状态。因此所谓起电,实际上是通过某种作用破坏了物体的电中性状态,使该物体内电子不足或过多而呈带正电或带负电状态。通过摩擦可使两物体间接触面增大且更紧密,同时,还可使接触面的温度升高,促使更多的电子获得足够的动能,易于在两物体的接触面间迁移,从而使物体明显处于带电状态。

大量实验证明,无论是摩擦起电的过程,还是用其他方法使物体带电的过程,正负电荷总是同时出现的,而且这两种电荷的量值一定相等。当两种等量的异号电荷相遇时,则互相中和,物体就不带电了。由此可见,在一个与外界没有电荷交换的系统内,无论进行怎样的物理过程,系统内正、负电荷量的代数和总是保持不变,这就是由实验总结出来的电荷守恒定律,电荷守恒定律与能量守恒定律、角动量守恒定律一样,是自然界中的基本定律。

(2) 电荷的量子性

当一种物理量只能以分立的、不连续的数量存在时,我们就说这种物理量是量子化的。到目前为止的所有实验表明,电子或质子是自然界带有最小电荷量的粒子,密立根在其著名的油滴实验中直接测得电子电荷的数值 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。任何带电体或其他微观粒子所带的电荷量都是电子或质子电荷量的整数倍。这个事实说明,物体所带的电荷量不可能连续地取任意量值,而只能取某一基本单元的整数倍值。电荷量的这种只能取分立的、不连续量值的性质,称为电荷的量子性,这个基本单元或称电荷的量子就是电子或质子所带的电荷量。虽然如此,由于电荷的基本单元(即电子电荷量 e) 很小,因而宏观过程中涉及的电荷量总是包含着大量的基本单元,例如在通常 220V、100W 的灯泡中,每秒通过钨丝的电子数就约有 3×10^{18} 个,致使电荷的量子性在研究宏观现象的实验中表现不出来。所以,在研究宏观电现象时,可以不考虑电荷的量子性,仍把带电体上的电荷看作是连续分布的。随着人们对物质结构认识的不断深入,发现基本粒子不基本,它们是由更小的粒子夸克和反夸克组成,并预计夸克和反夸克的电量应取 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 。现在一些粒子物理实验已间接证明了夸克的存在,只是由于夸克禁闭而未能检测到单个自由的夸克。不过今后即使真的发现了自由夸克,仍不会改变电荷量子性的结论。

(3) 电荷的相对论不变性

实验证明,一个电荷的电量与它的运动状态无关。如加速器将电子或质子加速时,随着粒子速度的变化,电量没有任何变化。这一实验结果表明了电子或质子的电量与其运动状态无关。所以,在不同的参照系观察,同一带电粒子的电量不变,电荷的这一性质叫电荷的相对论不变性。

2. 库仑定律

库仑定律是研究静电性质的基础,它给出了两个静止的点电荷之间的相互作用规律。

两个静止带电体之间的作用力即为静电力,一般来说,静电力与带电体的形状、大小和电荷分布、相对位置以及周围的介质等因素都有关系,非常复杂。但是当带电体本身的线度与它们之间的距离相比足够小时,就可以把该带电体看作点电荷,即带电体的形状和大小可以忽略,带电体所带电量可以看成集中到一个“点”上。

1785年,库仑(A. De Coulomb)从扭秤实验结果总结出了真空中两个静止的点电荷之间相互作用的静电力所服从的基本规律,称为库仑定律。可表述为:在真空中,两个静止点电荷之间相互作用力的大小与这两个点电荷的电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,而与这两个点电荷之间的距离 r 的二次方成反比,作用力的方向沿着这两个点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸。其数学形式可表述为

$$\boldsymbol{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \boldsymbol{e}_r \quad (11-1)$$

式中 $\boldsymbol{F}$ 为一个点电荷对另一个点电荷的作用力; $\boldsymbol{e}_r$ 为由施力点电荷指向受力点电荷的矢径 $\boldsymbol{r}$ 的单位矢量,即 $\boldsymbol{e}_r = \frac{\boldsymbol{r}}{r}$; q_1 和 q_2 均为代数量;而 ϵ_0 称为真空介电常数(又称真空电容率),是电学中常用到的一个物理量,其值为 $\epsilon_0 = 8.8541 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

库仑定律是直接由实验总结出来的规律,它是静电场理论的基础。后面我们还将看到,以库仑定律中力与距离二次方成反比为基础将导出其他重要的电场方程,因此定律中二次方反比规律的精确性以及定律的适用范围一直是物理学家关心的问题。以库仑当时所做的扭秤实验的精度,算得静电力与距离二次方成反比中的幂与2的差值约为0.2,现代更精密的实验测得幂为2的误差不超过 10^{-9} 。对于很小的范围,卢瑟福的 α 粒子散射实验(1910年),已证实距离 r 小到 10^{-15}m 的范围,现代高能电子散射实验进一步证实小到 10^{-17}m 的范围,库仑