

大学物理 (下册)

主 编 吴於人
于明章
刘云龙

21世纪网络版系列教材

同济大学出版社

21 世纪网络版系列教材

大学物理

下册



主编 吴於人 于明章 刘云龙
参编 李文蔚 刘海兰 倪忠强 王治国

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 下册/吴於人等主编. —上海: 同济大学出版社, 2003. 4

(21 世纪网络版系列教材)

ISBN 7-5608-2531-1

I. 大… II. 吴… III. 物理学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 093157 号

大学物理(下册)

主编 吴於人 于明章 刘云龙

责任编辑 孙一风 责任校对 徐 栩 封面设计 陈益平

出 版 同济大学出版社
发 行

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏大丰印刷二厂印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 22

字 数 440000

印 数 1—4000

版 次 2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2531-1/O · 223

定 价 30.00 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

《21 世纪网络版系列教材》编委会

主 任 李国强

副主任 薛喜民 张大也 周 箴 凌培亮

编 委 孙其明 肖蕴诗 周 俭 顾 牡

崔子钧 童学峰 郑惠强 徐鸣谦

吴泗宗 郭 超 周克荣

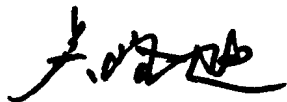
序

21世纪,将是中华民族复兴的世纪。肩负着这一空前历史重任的人民,要求必须具有与之相适应的素质。这也将是新世纪对教育提出的新任务和新要求,也就是说,教育必须适应大众化和终身化的要求。所谓“大众化”,是指人们有着更多的机会接受教育,包括高等教育在内;所谓“终身化”,是指人生过程都伴随着接受教育的机会。

在某种意义上说,网络教育正是为适应教育大众化和教育终身化的要求而产生的。信息技术和网络技术的空前发展,为网络教育的实施提供了切实可行的手段和方式,也可以说,信息和网络技术催生了网络教育。它可不受人力、地域、场地和时空的限制。网络教育方式的出现,在提升教育使命、丰富教育理念、扩大教育规模、革新教育手段、优化教育资源和提高教育质量等方面起着重要的作用。

网络教育采用的是借助现代信息技术的一种全新的教学形式,这就为网络教育的教材编写工作提出了新的要求。它更需要以其视听性、自学性、选择性、层次性、灵活性的特点去满足读者的需要,让每一个学习者都可以寻求到适应自己层次的知识点。我高兴地看到,参加这套网络系列教材编写工作的教师,都具有深厚的专业学识、丰富的教学经验,以及对现代教育技术的理解,这是整套教材的质量水平的可靠保证。

我期望,这套教材的出版,将会有助于推动教育大众化和教育终身化的进程,有利于促进网络教学的发展,有助于满足人们日益追求知识的愿望,有助于创造一个学习型社会的氛围,为中华民族的复兴作一点贡献。



2002年8月8日写于同济园

前 言

网络教育是信息社会的产物。利用现代信息技术,网络大学为千千万万的人圆了大学梦。网络教育事业的发展前景极为广阔。

然而,作为新生事物,在教育观念、教育体制、教育技术、教材等方面还有许许多多的课题有待研究,任重而道远。就拿大学物理课程来说吧,市面上相应的教材很多,其中不乏优秀教材,但是专为网络大学的学生编写的教材很少。结合目前我国网络教育的特点,我们编写了这套适用于工科大学生使用的大学物理教材——《大学物理》,以期填补空白,抛砖引玉。

编写本书的宗旨是希望学生掌握物理学的基本概念、基本知识、基本规律和基本方法,了解当代物理学发展的概况,了解当代高新技术发展的物理基础,使工科学生在学习物理的同时提升科学素养。所以在本教材中,我们注重了以下几个方面:

一、兼顾不同基础的学生

网络教学面对的对象,学习基础差距大。本教材为了使基础不同的学生均能顺利学习,适当降低了内容论述的起点,但所有内容最终均达到现行大纲的基本要求,有些地方甚至超出大纲,补充了一些物理新成果。

书中页面分两栏,分别为正文栏与提示拓展栏。对正文中的一些重点难点,提示拓展栏中会有相应的图文进行说明与归纳,或者提出问题引导学生思索。同时,提示栏也会有一些与正文相关的拓展内容,供阅读。拓展内容不是考试内容,所以写得比较简单。对拓展内容感兴趣的同学可以通过网络和图书馆查阅相关资料,在学习物理的同时学习信息的查寻与处理,非常有益。

二、适合自学者使用

本教材风格的设计上努力与自学者进行心理对接,每章前面有导学、后面有小结,正文旁有提示,使学习可以更为轻松有效。

为了远程学习者作业递交及复习的方便,另配有活页作业《大学物理习题册》配套出版。

本教材内容的表现力求基本概念、基本规律突出,物理图像描述清晰、准确。整套教材强调好学、易懂、有趣、难忘。

三、注重能力与情操的培养

整套教材内容的编排与取舍既保持传统教材中循序渐进、注重逻辑、易教易学的合理原则,又注意适当穿插知识的跳跃,使学生逻辑思维、发散思维同时得到训练,从而提高创新能力。物理学家、物理成果的图文点缀在教材之中,希望读者能感受科学规律获得的艰辛,体会科学、科学家的伟大,从而进一步培养科学的情操。

在同济大学网络学院与同济大学出版社的帮助与支持下,同济大学物理系教师赵跃英(第1至3章)、刘云龙(第4章)、刘钟毅(第5章)、于明章(第6、7章)、王治国(第8、9、15、16章)、李文蔚(第10、11章)、刘海兰(第12、13章)、倪忠强(第14章)、吴於人(第17章)共同编写了此书。全书由吴於人、于明章、刘云龙主编。严导淦、刘云龙、章南陵、吕美安、沈旻先生对本书进行了审核。

由于教学急需,本书的编写与出版较为仓促,加上编者水平有限,书中的缺憾之处肯定不少。我们想,本书出版之日,便应是下一版着手修改之时,恳请读者及时批评指正,不胜感激。

编者

2002.10

目 录

序

前言

第十章 真空中的静电场 (1)

导读 (1)

第一节 电荷及其相互作用 (3)

第二节 电场和电场强度 (6)

第三节 高斯定理 (14)

第四节 静电场的环路定律 (23)

第五节 电势能 电势 (26)

第六节 电场强度与电势的关系 (33)

小结 (36)

第十一章 静电场中的导体和电介质 (40)

导读 (40)

第一节 静电场中的金属导体 (41)

第二节 静电场中的电介质 (49)

第三节 有电介质时的高斯定理 (53)

第四节 导体的电容和电容器 (57)

第五节 电场的能量 (67)

小结 (70)

第十二章 稳恒电流的磁场 (72)

导读 (72)

第一节 电流 电流密度 (73)

第二节 磁性的起源 (79)

第三节 磁场 磁感强度 (80)

第四节 毕奥-萨伐尔定律 (83)

第五节 磁通量 磁场中的高斯定理	(91)
第六节 安培环路定理	(93)
第七节 洛伦兹力	(99)
第八节 安培力 安培定律	(105)
第九节 磁介质	(111)
小结	(122)
第十三章 电磁感应与电磁场	(126)
导读	(126)
第一节 电磁感应定律	(128)
第二节 动生电动势	(133)
第三节 感生电动势	(136)
第四节 自感和互感	(140)
第五节 磁场的能量	(146)
第六节 位移电流 麦克斯韦方程组	(149)
第七节 电磁波	(155)
小结	(160)
第十四章 波动光学	(163)
导读	(163)
第一节 光的相干性	(166)
第二节 双光干涉	(171)
第三节 薄膜干涉	(176)
第四节 光的衍射	(190)
第五节 单缝衍射	(192)
第六节 圆孔衍射 光学仪器的分辨率	(197)
第七节 衍射光栅	(200)
第八节 X 射线的衍射	(205)
第九节 偏振片的起偏和检偏	(208)
第十节 反射和折射时光的偏振	(213)
第十一节 偏振光的干涉	(218)
第十二节 旋光现象	(223)
小结	(224)

第十五章 量子论初步	(228)
导读.....	(228)
第一节 黑体辐射.....	(230)
第二节 光的波粒二相性.....	(236)
第三节 氢原子光谱 氢原子的玻尔理论.....	(244)
第四节 物质波.....	(256)
第五节 波函数 波函数的统计解释.....	(261)
第六节 海森堡的不确定性关系.....	(266)
小结.....	(269)
第十六章 量子力学基础	(273)
导读.....	(273)
第一节 薛定谔方程.....	(274)
第二节 定态薛定谔方程的简单应用.....	(277)
第三节 原子的壳层结构与周期表.....	(284)
第四节 量子力学的技术应用.....	(295)
小结.....	(302)
第十七章 物质结构	(304)
导读.....	(304)
第一节 物质世界的概貌.....	(305)
第二节 原子核.....	(310)
第三节 粒子物理简介.....	(317)
第四节 固体材料.....	(324)
小结.....	(335)

第十章 真空中的静电场

导读

一、基本要求

(1) 掌握静电场的电场强度和电势的概念;会用电场强度和电势的叠加原理计算一些简单几何形状带电体的电场强度和电势分布。

(2) 理解反映静电场性质的高斯定理和环路定律;会用高斯定理计算具有对称性电场的场强。

(3) 了解电偶极矩的概念。

(4) 理解场强和电势的关系,会利用这一关系求电场强度。

二、重点、难点

本章的重点是搞清电场的意义,掌握描写电场性质的两个重要物理量——场强和电势的概念,并在此基础上理解下列几条规律:

(1) 电荷守恒定律;

(2) 库仑定律;

(3) 静电力叠加原理,电场强度和电势的叠加原理;

(4) 高斯定理;

(5) 静电场的环路定理。

同时能运用有关规律,计算简单几何形状带电体的场强和电势。

三、学习提示

本章主要研究静电场的基本性质和规律。

第一节 首先介绍静电场的场源——电荷及其相关的一些基本特性。读者应了解物质电结构理论的基本论点,理解孤立系统电荷守恒定律,以及物质所带电量的量子化特性。在此基础上,本节从点电荷的相互作用出发,引入静止电荷之间作用的

规律——库仑定律。读者应了解静电力是如何通过库仑定律表现出来的以及静电力满足矢量叠加原理。

第二节 本节阐明了传递库仑力的媒介就是电场,并从电荷受力的角度引入描述电场的物理量——电场强度。学习中应注意以下两点:

1. 电场强度是矢量,因此多个场源电荷所激发的电场在同一点上的总电场强度应是每个电场源电荷单独在该点激发的电场强度的矢量合成;

2. 电场强度作为电场客观存在的一种描述,与场中是否存在试探电荷没有关系。

在此基础上,本节以典型几何结构带电体在真空中激发的电场为例,具体说明如何应用电场强度定义和叠加原理计算场强的分布。

第三节 电场线是一种用来刻画电场的直观几何方法,它并不是实际存在的物理线段。本节在引入电通量概念的基础上阐述了高斯定理。读者应该理解高斯定理的物理意义。从中理解静电场是有源场的性质。虽然,高斯定理说明了通过一个闭合面的电通量只与它内部的电荷有关,但式中的电场强度都是空间所有电荷共同激发的。高斯定理在计算某些对称带电体所激发的电场中有着独到的优越性。读者应学会怎样选取适当的高斯面,并计算对称带电体的场强。

第四节 本节在讨论了静电力做功与路径无关的性质后,导出了静电场的环路定理。读者应该理解环路定理的物理意义,领会静电场不仅是有源场,而且是一种保守力场。

第五节 本节根据静电力做功与路径无关的性质引入了电势能的概念,进而引入了描述静电场性质的又一个基本物理量——电势的概念,并根据电场强度的叠加原理导出了电势的叠加原理,且介绍了计算电势的基本方法。读者在掌握电势概念时,应注意电势是一个标量,而且,电势和电势能都是相对量。讨论电势时,应注意电势零点的选取。

第六节 与用电场线来形象描绘电场类似,也可用等势面形象描绘电场中电势的分布。读者在掌握等势面有关性质的基础上弄清电场线和等势面之间的关系,进而掌握它们之间的微分关系。

电磁学是物理学的一个重要分支,是研究电磁现象及其运动规律的一门学科。本章和下一章的内容属于电磁学中静电学的范围,即主要讨论相对于观察者为静止的电荷所激发的电场的性质和规律。主要内容包括:静止电荷之间相互作用的规律——库仑定律;描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势等,以及静电场的两条基本定理——高斯定理和环路定理。

一切电的现象都起源于电荷的存在或电荷的运动。

第一节 电荷及其相互作用

一、电荷

现代物理实验指出,任何物质都由分子、原子组成。原子由原子核和电子构成,而原子核和电子是物质世界中存在的两种性质不同的带电系统。原子核中包含有带正电的质子和不带电的中子,电子带负电并不断地绕核运动。在通常状态下,原子核带的正电荷,与核外电子所带的负电荷在数量上相等,原子呈现电中性。这时,物体表现为“不带电”。要想使中性的物体带电,可通过摩擦起电、接触带电和感应起电等方法。这些方法都只不过是把电荷从一个物体上转移到另一个物体上。原来不带电的物体因获得多余电子而带上负电,或者是失去一些电子而带上正电。当两个带等量异种电荷的物体相接触时,可能发现这两个物体都不再带电,这种现象称为电的中和现象。无论是起电过程或是电荷的中和过程,电荷不会创生,也不会消失,这就是电荷守恒定律。

自然界只存在两种电荷:正电荷和负电荷。

电荷守恒定律也是自然界中一条基本的守恒定律,在宏观和微观领域中普遍适用。

实验表明,一个电子的带电量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, C 是国际单位制中的电量单位,称为库仑。物体由于失去电子带正电,或者由于得到额外电子而带负电,物体的带电量 q 必然是电子电量 e 的整数倍。即 $q = ne$, n 为 $1, 2, \dots$ 。这种物体带电量的不连续性称为电荷的量子化。但在讨论宏观带电现象时,因为一般带电体所带电量远大于一个电子的电量,所以宏观带电体带的

实验表明,电子是自然界具有最小电荷的带电粒子。电荷的量子就是 e 。

电量一般可视作连续变化的。

大量实验又指出:电荷之间存在相互作用力,同性电荷相斥,异性电荷相吸。那么这种相互作用力的大小和方向如何确定?这个问题由以下“库仑定律”来回答。

二、库仑定律

1785年法国物理学家库仑利用扭秤实验直接测定了两个带电球体之间的相互作用力。库仑在实验的基础上提出了两个点电荷之间的相互作用的规律,即库仑定律。其表述为:

“点电荷”是一个抽象模型,当两个带电体本身线度 d 远比问题中所涉及的距离 r 小很多时,即 $d \ll r$,带电体可近似看作是带电的几何点,即“点电荷”。

在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力的方向沿着它们的连线,作用力的大小 F 和两个电荷所带的电量的乘积 $q_1 q_2$ 成正比,而和它们之间距离 r 的平方成反比,即

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中, k 是比例系数,其值决定于式中各量的单位,这种静电力常称库仑力。

如图 10.1 所示,若以 $\mathbf{r}$ 表示由 q_1 到 q_2 的位矢,其大小为 r ,方向从 q_1 指向 q_2 ,则电荷 q_2 受到 q_1 的作用力 $\mathbf{F}$ 的大小和方向可用矢量形式的库仑定律来表示,即

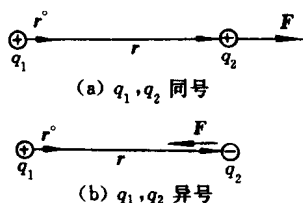
$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(\frac{\mathbf{r}}{r} \right) = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}^\circ \quad (10-1)$$

式中, $\mathbf{r}^\circ = \mathbf{r}/r$ 为沿 $\mathbf{r}$ 方向的单位矢量,它标志位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向。上式中,若 q_1 与 q_2 为同种电荷,乘积 $q_1 q_2 > 0$, $\mathbf{F}$ 沿 $\mathbf{r}^\circ$ 的方向,表示斥力,如图 10.1(a) 所示;若 q_1 与 q_2 为异种电荷, $q_1 q_2 < 0$, $\mathbf{F}$ 沿 $-\mathbf{r}^\circ$ 方向,表示引力,如图 10.1(b) 所示。

利用式(10-1),同样可求电荷 q_2 对 q_1 的作用力 $\mathbf{F}$,这时,只需把式中的 $\mathbf{r}^\circ$ 理解为从 q_2 指向 q_1 的单位矢量。

注意

库仑定律公式(10-1)是如何体现力的方向的。

图 10.1 电荷 q_1 对电荷 q_2 的作用力

在国际单位制(SI)中,电量的单位为库仑(C),距离 r 的单位为米(m),力 F 的单位为牛顿(N),实验测定比例常量 k 的数值和单位为

$$k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

通常还引入另一常数 ϵ_0 来代替 k 使

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

于是,真空中库仑定律的形式就可写成

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

这里引入的 ϵ_0 称为真空电容率,在国际单位制中它的数值和单位是

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

三、静电力叠加原理

假若空间存在两个以上的点电荷,实验证明,任意两个点电荷之间的相互作用力仍然遵循库仑定律,并不因为有其他点电荷的存在而改变。因此,当空间存在几个静止点电荷时,作用在任一点电荷上的静电力,应等于各点电荷单独存在时作用于该电荷的静电力之矢量和,即

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i \quad (10-3)$$

在库仑定律中引入因子 4π ,似乎有些烦琐,但学下去你就会看到,在由此而推出的一些重要公式中, 4π 因子不再出现,公式具有非常简洁的形式。

问题

真空中两个点电荷间的相互作用力,是否会因其他电荷的移近而改变?为什么?

这就是静电力叠加原理。

例 10.1 库仑定律与万有引力定律都是平方反比定律,在形式上十分相似。试比较氢原子中的电子与原子核(质子)间的库仑力与万有引力的大小。

解 这里电子与质子之间的距离远大于它们本身的线度,故电子与质子都可看成为点电荷,设此处的质子与电子可视为相对静止,且相距为 r ,其电荷分别为 $+e$ 和 $-e$,则它们之间的库仑力为引力。此库仑力的大小为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

设电子的质量 m_1 ,原子核(质子)的质量 m_2 。由万有引力定律知,它们之间万有引力的大小为

$$F_m = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

于是这两个力的比值为

$$\frac{F_e}{F_m} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_1 m_2}$$

已知电子的质量 $m_1 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$,质子的质量 $m_2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$,所以

$$\frac{F_e}{F_m} = 2.27 \times 10^{39}$$

注意

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,因为它们都是电中性的。

上述结果表明, $F_e \gg F_m$,即在物质的原子内,电子和原子核之间的静电力远比它们之间的万有引力为大,因此在考察原子内电子与原子核之间的相互作用时,万有引力可以忽略不计。

第二节 电场和电场强度

一、电场

库仑定律只说明两个点电荷间相互作用的定量关

系,并未指明这种作用是通过什么方式实现的。通过大量实验分析得知:电荷与电荷间相互作用力是通过一种特殊的物质——电场进行作用的。电场的基本特性是:它对位于电场中的任何电荷有力的作用。根据这一观点便可以解释电荷间存在的相互作用力。因为任意一个电荷周围空间存在着电场,它对处于其中的另一个电荷施加力的作用。即电荷间的相互作用是通过电场进行的,其作用可表示为

$$\text{电荷 } q_1 \leftrightarrow \text{电场} \leftrightarrow \text{电荷 } q_2$$

相对于观察者静止的电荷在周围空间激发的电场称为静电场。电场是客观存在的物质,其物质性表现在它对处于其中的电荷有相互作用,同时还具有能量、动量。当然场这种物质形式和一般实物粒子不同,例如实物粒子所占据的空间不能再被其他粒子所占据,但几个场可占据同一空间。

任何电荷的周围都存在一种特殊的物质,这种物质叫做电场。

二、电场强度

实验发现,对电场中任意一点 P 而言,将电量大小和电性不同的试验电荷 $q_0, 2q_0, 3q_0$ 和 $-q_0$ 置于电场中该点,其所受电场力分别为 $F, 2F, 3F$ 和 $-F$,显然,对电场中该点 P 而言,比值

$$\frac{F}{q_0} = \frac{2F}{2q_0} = \frac{3F}{3q_0} = \frac{-F}{-q_0} = \text{恒矢量}$$

与引入的试验电荷 q_0 无关,我们就把它定义为描述该点电场的物理量,称为电场强度 E ,或称 E 矢量,即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (10-4)$$

上式表明,静电场中某一点的电场强度 E 的大小在数值上等于单位正电荷在该点所受的电场力的大小,方向为正电荷在该点的受力方向。既然电场强度

试验电荷:其线度充分小,可视为几何点;其电量充分小,不至于影响原电场的分布。