



高等学校教材

大学物理学

下册

黄祝明 吴 锋 主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

大学物理学

下册

黄祝明 吴 锋 主编

胡亚联 余仕成 李端勇 夏守之 编

化学工业出版社

教材出版中心

·北京·

物理学是整个自然科学的支柱，是人类文明、现代科技和工业的根基。纵观世界科技发展史，物理学的每一次重大突破，都极大地促进了社会生产力的发展。现代原子能、激光、航天、计算机、信息等新兴产业，都利用了 20 世纪物理学的最新成就。

物理学是一切自然科学的基础。物理学所研究的粒子和原子，构成了蛋白质、基因、器官、生物体、一切人造的和天然的物质、陆地、海洋和大气等等。在这个意义上，物理学构成了化学、生物学、材料科学和地球物理学等学科的基础，物理学的基本概念和技术被应用到了所有的自然科学。在这些学科和物理学之间的边缘领域中，形成了一系列新的分支学科和交叉学科，从而促使自然科学更加迅速地发展。

物理学一直是自然科学的带头学科。它与现代应用技术的广泛结合,为人类认识自然、改造自然、发展生产提供了强有力的武器。一方面,物理学为所有的科学领域提供了理论基础、实验手段和研究方法。现代物理学已发展到能够说明小到分子、原子、原子核、基本粒子、超弦,大到恒星、星系、宇宙的种种现象和规律。它能够说明种种线性的和非线性的复杂问题。物理学理论为自然科学和工程科学的大厦奠定了坚不可摧的基石;另一方面,物理学的重要作用还在于它利用其重要的理论框架,建立了许多相关学科或交叉学科。如生物物理、天体物理、化学物理、原子物理、量子化学、量子生物学、生物磁学等。

物理学决定着人们对物质世界的根本性看法。物理学发现的关于物质运动遵循的“决定论法则”、“随机性法则”以及“混沌性法则”，是迄今为止人类对自然认识的最高境界。物理学的研究方法和思维也是无与伦比的。“理想模型法”、“实验方法”、“类比方

法”、“科学假说”、“思想实验”、“对称性思维”等，无一不闪耀着科学和智慧的光辉，对所有学科都有借鉴作用。

既然物理学对于自然科学的发展、社会生产力的进步起着如此巨大的带头和推动作用，大学物理学在高等教育中的地位就不言而喻了。在人类所有的才能之中，最重要最神奇的就是思维能力和创新能力。大学物理在人才的创新能力、思维能力的培养方面有着重要的不可替代的作用。大学物理通过物理学的基本思维方法、基本观念、基本实验的设计思想、方法、技能等的教学来实现对人才科学素质的培养。

21 世纪高等教育的观念正在发生转变，社会和市场需要高素质、有创新能力的“复合型”人才。因此，大学物理的教学目的，应当是培养和提高学生的科学素质、科学思维方法和科学研究的能力。人才培养是一个系统工程，大学物理教学必须为高等教育人才培养的总目标服务。大学物理教学的任务除了使学生掌握基本的物理知识及实际应用，并得到有关技术技能、技巧的训练外，更重要的是发展学生智力，提高学生能力，培养学生的科学世界观和科学素质。大学物理教学必须着重培养学生的观察和实验能力，科学思维能力，分析和解决实际问题的能力，自学能力等等；另外，大学物理还应把发展学生的非智力因素纳入自己的教学任务。主要是通过揭示物质运动规律培养学生辩证唯物主义的科学世界观，通过严格的实验训练培养学生实事求是的科学态度，通过物理学史的教学来激发学生的学习兴趣，通过物理学理论体系的整体介绍，使学生能够鉴赏什么是和谐、对称、统一的科学美，培养学生的科学情趣。

工科专业的学生为什么要学物理？在我国以前的看法是为专业课服务。于是专业课需要的内容就讲，不需要的内容就不讲或少讲。这种陈旧的观点显然不能适应 21 世纪人才培养的需要。著名理论物理学家，诺贝尔奖得主理查德·费曼说：“科学是一种方法，它教导人们：一些事物是怎样被了解的，什么事情是已知的，现在了解到什么程度（因为没有事情是绝对已知的），如何对待疑问和

不确定性，证据服从什么法则，如何去思考事物，做出判断，如何区别真伪和表面现象。”所以，大学物理课不仅仅是物理知识的教育，不仅仅是为专业课服务。大学物理学是学习一切工程技术知识，培养学生科学素质的最有效的基础课，是 21 世纪迎接新技术挑战的必修课，是科技和工程技术人员终身学习过程中必须在大学阶段学习的重要理论课。大学物理课应当把对学生的科学素质教育作为自己的首要任务，应当使学生对物理学的内容和方法，工作语言，概念和物理图像，其历史现状和前沿等方面，从整体上有一个全面的了解。

国家教育部非常重视 21 世纪工科物理教材编写工作。目前国内新编大学物理教材数十余种，侧重点各有千秋。有的突出了理论物理学的内容，有的将计算机引入教材，有的增加了物理技术应用方面的篇幅。这些教材由于把一些理论物理的内容引入了普通物理，使得教材难度增大，不适合一般工科本科院校使用，特别是不适应学生自学。

教学内容的核心就是教材。21 世纪大学物理教材一方面要在新内容、高起点、技术应用等方面有较大突破，另一方面也应具有易教易学的特点。一般工科本科院校的大学物理教学如何面向 21 世纪，教材又如何适应新世纪教学改革的需要？这些问题一直是我们教学研究和探讨的主题。1998 年我们申报立项了省级《面向 21 世纪工科物理教学内容和方法的改革探讨》课题，三年来，我们按照“九五”国家级重点教材及教育部面向 21 世纪课程教材规划的要求和一般工科本科院校学生的实际情况，集多年教学之经验，在备课教案和讲义的基础上，编写了这本教材。本书仍基本保持传统模式，适当更新了教学体系和内容，深度和广度较适当，同时吸取的近年来国内出版的面向 21 世纪课程教材的一些先进的思想和出色的方法，力求做到“经典物理现代化，物理前沿普物化”，便于学生自学和教师教学。为适应不同的教学对象和不同专业类别的教学需要，还编入了一些打“*”号，并用小字排印的选学内容（第二十二章全章为选学内容，为便于阅读，未用小字排印）。本书每

章后编有物理前沿和物理学史,可拓展学生的知识面,有利于提高学生的科学素质。

本书曾在武汉化工学院 2000 级部分专业中试用,受到学生的欢迎和好评。

本书由黄祝明、吴锋主编,他们负责制定本教材的编写提纲,提出要求,并进行全书的修改和统稿工作以及组织在教学中试用。

各篇章的具体执笔人如下:第一篇力学:黄祝明;第二篇热学基础:吴锋;

第三篇电磁学第十章到第十二章:胡亚联;第十三章至第十五章:余仕成;

第四篇波动光学、近代物理第十六章、第二十章、第二十一章、第二十二章:李端勇;第十七章至第十九章夏守之、黄祝明。

本书出版过程中,得到武汉化工学院教务处、物理与热能工程系和化学工业出版社的关心和支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有缺点和错误,敬请老师和同学们在使用中提出宝贵的意见。

编者 2002 年 4 月于武汉化工学院

目 录

第十三章 介质中的电场和磁场	1
第一节 静电场中的导体	1
一、静电平衡	2
二、电容及电容器	13
三、电源的电动势、基尔霍夫定律、焦耳-楞次定律	19
第二节 静电场中的电介质	25
一、电介质及其极化机制	26
二、电介质的极化规律	28
三、有介质时的高斯定理 电位移	31
四、电介质在电容器中的作用	37
第三节 静电场的能量	39
一、带电体系的静电能	39
二、电场的能量和能量密度	43
第四节 磁场中的磁介质	46
一、磁介质及其磁化机制	47
二、磁介质的磁化规律	50
三、有磁介质时的安培环路定理 磁场强度	53
第五节 铁磁质	58
一、磁化曲线	59
二、软磁材料和硬磁材料	61
三、磁畴理论	61
*第六节 超导电性	63
一、维持超导态的条件	63
二、超导体中的电场和磁场	64
三、第二类超导体	66
四、BCS 理论	67
五、约瑟夫森效应	68

六、超导在技术中的应用	69
七、高温超导	71
本章提要	72
第十四章 电磁感应和暂态过程	76
第一节 电磁感应定律	76
一、电磁感应现象	76
二、电磁感应规律	77
第二节 动生电动势	80
第三节 感生电动势 感生电场	86
一、感生电动势与感生电场	86
二、自感与互感	92
第四节 磁场的能量	97
一、自感磁能	97
二、互感磁能	98
三、磁场的能量	100
*第五节 暂态过程	102
一、 RL 电路的暂态过程	102
二、 RC 电路的暂态过程	104
三、 RLC 电路的暂态过程	106
本章提要	111
第十五章 电磁场和麦克斯韦方程组	113
第一节 位移电流	113
一、稳恒电磁场的基本规律	113
二、位移电流	114
三、安培环路定理的普遍形式	116
第二节 麦克斯韦方程组和边界条件	119
一、麦克斯韦方程组	119
二、电磁场的边界条件	122
第三节 电磁波	125
一、电磁波的产生	126
二、电磁波的基本性质	128
三、电磁场的物质性	130
本章提要	132

第四篇 波动光学近代物理

第十六章 振动和波动	139
第一节 线性振动	140
一、简谐振动	140
二、阻尼振动	151
三、受迫振动和共振	154
第二节 振动的合成与分解	157
一、振动的合成	157
二、振动的分解	164
* 第三节 非线性振动	167
一、单自由度非线性振动	169
二、单摆的非线性振动	173
三、混沌	177
第四节 机械波的产生和传播	182
一、波的基本概念	182
二、平面简谐波	188
三、波的能量	192
四、声波	196
第五节 波的叠加	198
一、波的干涉	198
二、驻波的形成和特点	201
* 第六节 多普勒效应	206
一、波源静止而观察者运动	206
二、观察者静止而波源运动的情况	207
三、观察者和波源在同一条直线上运动	208
四、冲击波	209
* 第七节 波包与非线性波	210
本章提要	212
第十七章 光的干涉	215
第一节 相干光	215

第二节 杨氏双缝干涉实验、双面镜、劳埃镜	217
一、杨氏双缝干涉实验	217
二、菲涅耳双面镜和劳埃镜实验	221
第三节 薄膜干涉	223
一、光程和光程差	223
二、薄膜干涉公式	225
三、半波损失	227
第四节 劈尖膜和牛顿环	229
一、劈尖膜干涉	229
二、牛顿环	232
三、增透膜与增反膜	234
第五节 迈克尔逊干涉仪	236
*第六节 多光束的干涉	239
本章提要	240
第十八章 光的衍射	244
第一节 惠更斯-菲涅耳原理	244
一、光的衍射现象	244
二、惠更斯-菲涅耳原理	245
三、两类衍射	246
第二节 单缝夫琅和费衍射	247
第三节 衍射光栅	253
一、光栅的构成	253
二、光栅衍射条纹的形成	254
三、光栅方程	256
四、光栅衍射图样的几点讨论	257
第四节 圆孔衍射 光学仪器分辨本领	260
第五节 X射线衍射	264
本章提要	266
第十九章 光的偏振	273
第一节 自然光和偏振光	273
第二节 反射和折射时光的偏振	276
第三节 晶体的双折射和偏振棱镜	278

第四节 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	284
第五节 偏振光的干涉	287
本章提要	290
物理与现代技术 光纤通信	291
第二十章 量子力学基础	294
第一节 量子论的提出	294
一、黑体辐射 普朗克的能量子假说	294
二、光电效应 爱因斯坦的光量子假说	298
三、康普顿效应	303
四、光的波粒二象性	306
第二节 量子力学的建立	308
一、氢原子的玻尔理论	308
二、德布罗意波	311
三、概率波	314
四、运动方程	317
* 五、算符与力学量	319
* 六、力学量的对易关系 不确定关系	320
本章提要	324
第二十一章 定态薛定谔方程	331
第一节 一维定态问题	331
一、一维无限深势阱	331
二、一维方势垒、隧道效应	335
三、线性谐振子	337
* 四、周期场中的粒子运动	338
第二节 氢原子	340
一、氢原子波函数及概率的分布	340
二、电子的自旋	346
三、多电子原子的壳层结构	349
本章提要	351
* 第二十二章 固体的能带与激光	352
第一节 固体的能带结构	352
一、固体中的电子	352

二、固体的能带	354
三、导体、半导体和绝缘体	357
四、半导体	359
第二节 激光的基本原理	362
一、粒子数按能级的统计分布	362
二、自发辐射, 受激辐射和受激吸收	363
三、粒子数反转与光放大	365
四、激光的产生	366
五、常用激光器及应用	370
本章提要	371

第十三章

科学出版社 (E)

介质中的电场和磁场

前面讨论了真空中的静电场和静磁场，在本章将讨论介质中的静电场和静磁场，也就是要讨论物质与电场和磁场的相互影响及其相互作用规律。物质按其电性质可分为导体、绝缘体（也称做电介质）、半导体、超导体，在本章第一节和第二节中主要介绍了导体和绝缘体与电场的相互作用规律。物质按其磁性质可分为抗磁质、顺磁质和铁磁质，在本章第四节中介绍了它们与磁场的相互作用规律。第三节将讨论静电场的能量问题。

第一节 静电场中的导体

导体的电结构特征是在其内部有大量的可以自由移动的电荷。将导体放到电场中，导体要受电场的影响，影响来源于导体内部的自由电荷由于受电场力作用而在导体内部重新分布；反过来，自由电荷重新分布后的导体对电场也有影响。本节讨论这种相互影响的规律。作为基础知识，只讨论各向同性的均匀的金属导体与电场的相互影响。在讨论之前，有必要对几个有关金属导体的术语给出明确的意义。

(1) 带电导体

总电量不为零的导体叫做带电导体，也就是带电导体的净电荷不为零。若净电荷为正，则说导体带正电；若净电荷为负，则说导体带负电。

(2) 中性导体

总电量为零的导体叫做中性导体，也称为不带电导体。

(3) 孤立导体

——与其他物体距离足够远的导体叫做孤立导体。这里的“足够远”是指其他物体上的电荷在该导体上激发的场强小到可以忽略。因此，物理上就可以说孤立导体之外没有其他物体。

一、静电平衡

1. 静电平衡条件

当导体中的电荷没有宏观定向移动，该导体处于静电平衡状态。

静电平衡的条件是导体内部场强处处为零。

这个平衡条件的必要性（充分性的证明要用到静电场边值问题的惟一性定理，超出本课程的范围，故从略）可论证如下：如果导体内部的电场 E 不处处为零，则在 $E \neq 0$ 的地方自由电荷将会移动，亦即导体没有达到静电平衡。换句话说，当导体达到静电平衡时，其内部场强必处处为零。

上述平衡条件只有在导体内部的电荷除静电场力外不受其他力的情况下才成立，如果电荷还受其他力（例如由化学原因引起的所谓“化学力”等，统称为非静电力），平衡条件应改为导体内部的电荷所受的合力为零。所以在有非静电力的情况下，为了静电平衡，导体内部某些点的场强恰恰不能为零，以便与非静电力抵消。本节的讨论只限于导体内部不存在非静电力时的静电平衡问题。

前面的讨论未涉及导体从非平衡态趋于平衡态的过程，这样的过程通常很复杂，下面只定性说明一下：当把一个中性金属导体放入静电场 E_0 中，在最初极短暂的时间内（约 10^{-6} s 的数量级），导体内会有电场存在，这个电场将驱使导体内的自由电子相对于金属晶格点阵做宏观的定向运动，从而引起导体中正负电荷重新分布，结果使导体的一端带正电荷，另一端带负电荷，这就是静电感应现象。导体两端的正、负电荷将产生一个附加电场 E' ， E' 与 E_0 叠加的结果，使导体内、外的电场都发生重新分布。在导体内部 E' 的方向是与外加电场 E_0 相反

的,当导体两端的正、负电荷积累到一定程度时, E' 的数值就会大到足以把 E_0 完全抵消。当导体内部的总电场 $E = E_0 + E'$ 处处为零时,自由电荷便不再移动,导体两端正、负电荷不再增加,于是达到了静电平衡。

导体的静电平衡状态可以由于外部条件的变化而受到破坏,但在新的条件下又将达到新的平衡。

从静电平衡条件出发,可以直接导出导体在静电平衡时有以下两点性质。

(1) 导体是个等势体,导体表面是个等势面

因导体内任意两点 P 、 Q 之间的电势差为 $U_{PQ} = \int_{(P)}^{(Q)} E \cdot dl$, 而 $E=0$, 所以 $U_{PQ} = \varphi_P - \varphi_Q = 0$, 即 $\varphi_P = \varphi_Q$, 导体内部任意两点的电势相等,则导体是个等势体,从而导体表面是个等势面。

(2) 导体外紧邻导体表面的各点的场强与导体表面垂直

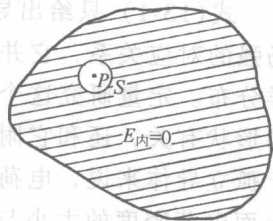
因为电力线处处与等势面正交,而导体表面是等势面,所以导体外紧邻导体表面的各点的场强必与导体表面垂直。

2. 电荷分布

处于静电平衡的导体上的电荷有以下分布规律。

(1) 导体内无净电荷,净电荷只可能分布在导体表面

这一规律可以用高斯定理证明,在导体内部围绕任意 P 点作一个小封闭曲面 S , 如图 13-1 所示。由于静电平衡时导体内部场强处处为零,因此通过此封闭曲面的电通量必然为零。由高斯定理可知,此封闭曲面所包围的电量的代数和为零。由于这个封闭曲面很小,而且 P 点是导体内任意一点,所以在整个导体内部无净电荷,净电荷只可能分布在导体表面上。



(2) 表面上各处的面电荷密度与当地表面紧邻处的场强大小成正比

图 13-1 导体内无净电荷

这个规律也可以用高斯定理证明,为此,在导体表面紧邻处取

一点 P ，以 E 表示该处的场强，如图 13-2 所示。过 P 点作一个平行于导体表面的小面元 ΔS ，以 ΔS 为底，以过 P 点的导体表面的法线为轴作一个圆筒，圆筒的另一底面 $\Delta S'$ 在导体的内部。由于导体内部的场强为零，而导体外表面紧邻处的场强又与表面垂直，所以通过圆筒的电通量就是通过 ΔS 面的电通量，即等于 $E\Delta S$ ，以 σ 表示导体表面上 P 点附近的面电荷密度，则圆筒包围的电荷就是 $\sigma\Delta S$ 。根据高斯定理可得

$$E\Delta S = \frac{\sigma\Delta S}{\epsilon_0}$$

由此得 $\sigma = \epsilon_0 E$ (13-1)

图 13-2 导体表面电荷面密度与场强的关系

此式说明处于静电平衡的导体表面上各处的面电荷密度与当地表面紧邻处的场强大小成正比。

利用式 (13-1) 可以由导体表面某处的面电荷密度 σ 求出当地表面紧邻处的场强 E 来。但在理解式 (13-1) 时应注意，导体表面紧邻处的场强不仅仅是由当地导体表面上的电荷产生的，而是由所有电荷（包括该导体上的全部电荷和导体之外存在的其他电荷）产生的。

(3) 孤立导体表面各处的面电荷密度与各处表面的曲率有关，曲率越大的地方，面电荷密度越大

式 (13-1) 只给出导体表面上每一点的电荷面密度与紧邻处场强的对应关系，它并不能告诉我们在导体表面上电荷究竟怎样分布。定量研究这个问题是比较复杂的，这不仅与这个导体的形状有关，还和它附近有什么样的其他带电体有关。但是对于孤立导体来说，电荷的分布有如下定性的规律：在孤立导体上面电荷密度的大小与表面的曲率有关。导体表面凸出而尖锐的地方（曲率较大），电荷就比较密集，面电荷密度 σ 较大；表面较平坦的地方（曲率较小）， σ 较小；表面凹进去的地方（曲率为负）， σ 更小。

以上规律可利用图 13-3 所示的实验演示出来。带电导体 A 表面上 P 点特别尖锐, 而 Q 点凹进去。以带有绝缘柄的金属球 B 接触尖端 P 后, 再与验电器 C 接触, 则金属箔张开较显著。用手接触小球 B 和验电器 C 以除去其上的电荷后, 使 B 与导体凹进处 Q 附近接触, 再接触验电器 C, 这时, 发现验电器 C 几乎不张开。这表明 Q 处电荷比 P 处少得多。

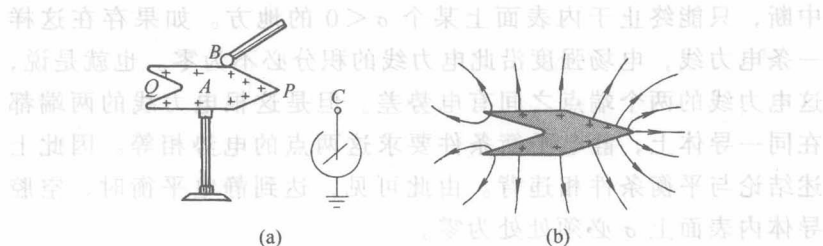


图 13-3 导体表面曲率对电荷分布的影响

根据式 (13-1) 可知, 孤立导体表面附近的场强分布也有同样的规律, 即尖端的附近场强大, 平坦的地方次之, 凹进去的地方最弱 [参见图 13-3 (b) 中电力线的疏密程度]。

3. 空腔导体内外的静电场

上面我们讨论了处在静电平衡状态时导体的电荷分布和场强分布的规律, 现在我们来定性讨论静电平衡时空腔导体的电荷和场强分布。

(1) 腔内无带电体

当空腔内没有其他带电体时, 导体内表面上处处没有电荷, 电荷只能分布在导体外表面; 空腔内场强处处为零, 或者说, 空腔内的电势处处相等。

为了证明上述结论, 在导体内、外表面之间取一闭合曲面 S, 将空腔包围起来 (如图 13-4)。由于闭合面 S 完全处于导体内部, 根据平衡条件, 其上场强处处为

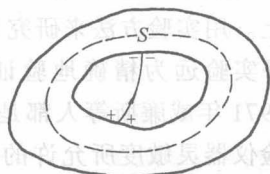


图 13-4 证明导体空腔的性质