

458

大学物理学

(上册)

编者 王济民 罗春荣 陈长乐



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是着眼于新世纪物理教育的一套革新教材。在教材内容现代化、体系结构科学化、配套教材系列化等方面均作了有益的探索 and 改革。

全书分为上、下两册。上册包括力学和电磁学两部分。

本书可作为工科大学各专业、理科及师范院校非物理专业的教材或参考书,也可作为电大、函大师生以及有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学(上、下册)/王济民,罗春荣,陈长乐编. —西安:西北工业大学出版社,2001.11

ISBN 7-5612-1421-9

I. 大... II. ①王... ②罗... ③陈... III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 078350 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:029-8493844

网 址: <http://www.nwpup.com>

印刷者:西安市向阳印刷厂

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:19.625

字 数:350 千字

版 次:2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~5 000 册

本册定价:25.00 元

前言

回顾刚刚过去的 20 世纪,物理学研究成果对人类文明进程及生活方式的影响是惊人的。1905 年爱因斯坦建立了闻名遐迩的质能关系,给了人类打开核能宝库的钥匙,使人类进入了原子能时代。1917 年爱因斯坦又提出了受激辐射理论,为 60 年代激光器的诞生奠定了理论基础。1932 年回旋加速器的发明,1934 年电子显微镜的制成,1936 年射电望远镜的诞生,1957 年人造卫星的上天以及随后发展起来的宇航技术,60 年代建造的用作强中子源的实验性反应堆和电子同步加速器等,它们无一不是物理学的研究成果。还有固体及半导体物理的研究成果使得半导体器件及集成电路的问世,促进电子计算机迅速更新换代,使人类迈步跨入了信息时代。量子物理理论指导了扫描隧道显微镜的诞生(1981 年),在此基础上发展起来的纳米技术在世界范围内引起了巨大反响。科学家普遍认为,纳米技术将会引发一次新的工业革命,对人类社会产生深远的影响。很显然,物理学已渗透到人类活动及文明社会的各个层面及领域。物理学,特别是近代物理学,已成为各类人才所必须具备的基础知识。

为了培养 21 世纪的高素质人才,考虑到物理学自身发展的现状以及现代科学技术对人才培养的实际要求,大学物理传统教材的改革势在必行。编写本书的目的及目标也正在于此。

为了实现上述目标,本书在编写时力求体现以下特点:

1. 教材内容要保证“经典”与“近代”的相对平衡

在教材内容的安排上本着保证“经典”,加强“近代”的原则处理经典物理与近代物理的关系。尊重学科自身的内在规律,注意学科内部各部分知识之间的相对平衡,不偏颇地强调某一部分内容的重要,保持物理课程内容的广泛性,为培养知识面宽广的高素质人才发挥独到的作用。

在内容的筛选上突出基本理论,贯彻删繁就简原则。对传统教材中与中学或其他课程重复的内容,一些陈旧过时的内容,果断地舍弃,并尽力使教材内容现代化,改变传统教材几十年基本不变的状况。

2. 教材体系要兼顾知识体系的结构逻辑与教学逻辑

经典物理内容成熟,框架结构相对合理。对这部分内容我们基本保持传统结构框架,适当更新题材,注意横向联系。在概念的引入、内容的阐释、理论的应用等方面尽可能以现代科学技术中的实例来说明问题,充分反映“经典物理”在现代科技中的活力及应用价值。对气体动理论这一章在体系上则作了较大的调整,以经典统计的逻辑结构为主线组织教材,使学生对统计物理有一个比较全面系统的认识。对近代物理部分,在教学上必须加强。为了解决学生思想上认为近代物理“玄虚”、“繁难”和“无用”的问题,在教材的编写上,我们突出了近代物理的思想体系,解决问题的基本思路和方法,兼顾结构上的科学性和教学上的可接受性,尽量避免繁杂的数学推演,适当列举近代物理在现代工程技术中的应用成果。

3. 教材模式要与现代教学法相适应

教材不同于学术专著,二者在编写模式上有很大不同。一本好的教材不仅是科学知识的载体,而且还应该是开发学生智力、培养学生能力的工具。为此,本教材在编写模式上着力体现以下特点:

(1) 结合教学内容介绍物理学的基本思想与方法。例如在电磁学中明确指出:考察矢量场的通量和环流,是人们总结出来的研究矢量场的基本方法。对物理学不同分支的相应方法均作适当指点,使学生不仅学到了知识,同时也学会了科学研究的方法,以期对物理学的内容和方法、工作语言、概念和物理图象等从整体上有一个较为全面的了解,达到一个更高的层次。

(2) 教材内容的陈述要留有余地,不过分周全细致,给学生留出适当的思维空间。可以利用激疑的方式提出问题,利用提示的方式,启发生学去分析问题和解决问题。例如在介绍质点运动的表格描述法时,我们启发学生用计算机的电子表格程序对变加速运动问题进行数值求解。

(3) 强化学生能力的培养是本书的主要宗旨之一。通过教材内容的阐释,精选例题的示范等让学生了解如何切入问题,如何构建适当的模型,又如何建立已知量与未知量之间的关系。为了强化教学实践环节,本书精心选编

了适量的思考题与练习题。思考题附于每章之后,教学同步练习题则单独成册(见《大学物理教学同步练习题及详解》一书),以练习册的形式印出,便于组织教学。在题目的选编上,着力使题型丰富多样,设问角度多样化。注意对学生综合、类比、联想能力的考察,启发学生多角度开放式思维,注重对学生掌握物理理论、思想及方法的训练。

(4) 鉴于物理学科前沿的发展以及物理原理在现代工程技术中的广泛应用,本书在保证物理基础理论的同时,注意引入新知识、新理论,反映学科前沿发展的概况。除了穿插于各章节之中的有关实例介绍外,我们将物理原理在现代工程技术中的重大应用分专题以阅读材料的形式给出。以激发学生兴趣,扩大学生视野,拓宽学生的知识面。

本书是编者在多年教学实践的基础上,并吸收了国内外许多教材的特长编写的,期望能在工科物理教育中发挥好的作用。全书共计 5 篇 18 章,分为上、下两册。上册包括力学(1~3)章、电磁学(4~8 章),下册包括热学(9~10 章)、振动和波动(11~15 章)、近代物理(16~18 章)。

参加本书编写工作的有:王济民,罗春荣,陈长乐。具体分工是:王济民编写绪论,第 1,2,3,7,8,12,13,14,15 章以及阅读材料 A,C,G;罗春荣编写第 4,5,6,11,16 章以及阅读材料 B,D,F;陈长乐编写第 9,10,17,18 章以及阅读材料 E,H。全书由王济民统稿。全书插图由李普选用计算机绘制。

在本书编写过程中,得到了西北工业大学应用物理系领导以及许多同仁的大力支持和帮助,在此谨致谢忱。

由于水平所限,书中疏漏和错误之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编 者

2001 年 6 月

目 录

绪论	1
----	---

0.1 物理学的地位与作用	1
0.2 学习大学物理应该注意的几个基本问题	4

第一篇 力 学

第1章 质点运动学	13
-----------	----

1.1 质点运动的描述	13
1.2 质点运动的非解析描述	21
1.3 质点运动学的基本问题	23
1.4 叠加原理与曲线运动	27
1.5 自然坐标系中的加速度	29
1.6 相对运动	36
思考题 1	41

第2章 质点动力学	44
-----------	----

2.1 牛顿运动定律及其应用	45
2.2 惯性系与非惯性系	58
2.3 功能原理与机械能守恒定律	61
2.4 动量定理与动量守恒定律	73
2.5 火箭飞行原理	78

2.6 碰撞	80
2.7 质点的角动量定理与角动量守恒定律	82
思考题 2	85
物理原理与现代技术(A) 纳米技术	86

第3章 刚体力学 90

3.1 刚体运动概述	91
3.2 刚体的定轴转动运动学	93
3.3 刚体定轴转动定律	97
3.4 转动中的功能关系	106
3.5 刚体的角动量定理与角动量守恒定律	112
思考题 3	117

第二篇 电 磁 学

第4章 真空中的静电场 121

4.1 电荷	122
4.2 库仑定律 静电力的叠加原理	124
4.3 电场 电场强度	127
4.4 静电场的高斯定理	137
4.5 静电场的环路定理 电势	147
思考题 4	159

第5章 静电场中的导体和电介质 161

5.1 静电场中的导体	162
5.2 静电场中的电介质	174
思考题 5	186
物理原理与现代技术(B) 电流变液的介电极化模型	187

第6章 恒定磁场 192

6.1 恒定电流	193
6.2 磁场及其描述	197
6.3 毕奥—萨伐尔定律	201
6.4 磁场的高斯定理	210

6.5 安培环路定理	211
6.6 带电粒子在磁场中的运动	218
6.7 磁场对载流导线的作用	222
6.8 磁场中的磁介质	228
思考题 6	242
第 7 章 电磁感应	244
7.1 电源及其电动势	245
7.2 电磁感应的基本定律	247
7.3 动生电动势	251
7.4 感生电动势 感生电场	255
7.5 自感和互感	261
7.6 磁场的能量	267
7.7 非线状导体中的感应电流——涡电流	271
思考题 7	276
物理原理与现代技术(C) 传感技术	277
第 8 章 麦克斯韦电磁场理论	286
8.1 电磁场	286
8.2 麦克斯韦电磁场理论	291
思考题 8	294
物理原理与现代技术(D) 超导体的电磁性质	294
附录 常用物理常数表	302

绪 论

0.1 物理学的地位与作用

1. 物理学与其他自然科学

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和运动形态的基本规律的学科。物理学涉及的范围极为广泛,从基本粒子到整个宇宙,力、热、声、光、电无所不及。物理学建立的概念,研究问题的方法以及研究过程中发展成熟的物理思想大大深化了人们对自然界的认识,对其它自然科学有着极为重要的影响。自然科学的各个领域几乎都与物理学有着密不可分的“血缘”关系。传统的物理学科随着研究范围的扩大,层次的深入、应用领域上的专门化,逐渐分化独立,形成众多的新兴学科,例如工程力学,固体力学,水力学,电工学,电子学,电子光学,热工学,信息光学等。另一方面,物理学与其他相关学科结合派生,形成许多前沿交叉学科,例如化学物理,生物物理,天体物理,大气物理,地球物理,海洋物理等。

显然,物理学是总论性的基础科学,与其他自然科学关系密切,是相关学科群的带头学科。物理学作为严格的、定量的自然科学的带头学科,对自然科学的诸多领域有着极为重要的影响,始终在科学技术的发展中发挥着不可替代的作用。

2. 物理学与高新技术

20 世纪 80 年代以来,一场以高技术为核心的科技革命,揭开了世界科技发展史上新的一页。所谓高技术是指对社会经济发展起极大推动作用的当代尖端技术群。对未来产生重大影响的有六大高技术群:能源技术、材料技术、信息技术、生物技术、空间技术、海洋技术。在这六大高技术群中,物理学扮演什么角色呢?我们知道任何新技术、新工艺都依赖于新观念、新原理、新方法,而这些新原理、新方法来自于物理学的基础理论研究,物理学乃是当代高新技术至关重要的先导与基础。物理学研究的新成果源源不断地在高技术发展中得到应用,而高技术的发展又对物理学提出层出不穷的研究课题。显然,物理学与高技术息息相关。

(1) 物理学与能源技术——能源是自然资源的重要组成部分,是人类社会发展的先决条件,是国家经济发展、人民生活水平提高的重要物质基础,能源的种类和总量的扩大是社会生产力扩张的前提条件。在能源问题上,人类面临的主要问题是能源总量严重匮乏,能源种类比较单调,环境污染日趋严重。解决能源问题就是要开发新能源,改变能源消费结构,实现能源消费的多元化。物理学中的能量守恒与转化定律、热力学第二定律为解决能源问题奠定了坚实的理论基础,有关物理原理、物理效应则指出了解决能源问题的有效途径。法拉第电磁感应定律使人类进入了电气化时代,爱因斯坦的质能关系($E=mc^2$)给了人们打开核能宝库的钥匙,使人类迈步跨入了原子能时代。当今的核电工程是核裂变能的转化和利用,存在问题主要是核燃料短缺,核废料存在放射性污染。目前物理学家正致力于受控核聚变某些技术难关的研究,试图用磁约束和激光引导方式来实现这一反应。轻核的聚变能最大的优点是核燃料的存量丰富,聚变生成物为无害核,对环境污染小。核聚变能是人类理想的新能源。

除核能以外,太阳能的利用也倍受人们关注。光电效应实现了光电转换,不仅在民用,而且在高技术中也得到应用,成功地解决了卫星等空间飞行器、探测器的能源问题。

(2) 物理学与材料技术——材料是人类赖以生存和发展的物质基础,一个国家材料的品种、质量和产量是直接衡量其科学技术水平和经济发展水平的重要标志。现代材料种类繁多,按照用途,可将材料分为结构材料和功能材料两大类。结构材料是用来制造各种承载结构部件的材料,它主要利用材料的力学性能,如强度、韧性、弹性、塑性等。功能材料是用来制造各种具有特殊功能器件的材料,它主要利用材料本身具有的独特物理性质(如电、磁、声、光、热等)、化学性质或生物功能等。例如半导体材料,新型磁性材料,超导材料等

都是重要的功能材料。现代材料的研究要涉及到材料结构、合成、性能、制备加工以及材料使用过程等五个方面的问题,材料技术与物理学关系密切,物理学基础研究的新发现、新效应,新理论和新的实验技术是材料科学技术发展的主要动力之一。固体物理对硅、锗等半导体材料的研究,开劈了材料技术的新纪元,使得计算机、现代通信等高新技术获得了长足的发展,也为能源问题中的光电转换研制出了高效能的太阳能电池。凝聚态物理研究由大量原子、分子以相当强的相互作用凝聚结合而成的固体、液体,液晶形态的物质及其物理性质和规律。它的研究对象涉及金属、半导体、超导体、超流体、准晶体、电介质,磁性物质等,是物理学中内容最丰富,应用最广泛,最活跃的领域,也是材料技术的基础。在凝聚态物理中,目前正在迅速发展的重要学科前沿有:高温超导电性,半导体超晶格物理,新型晶体和晶体学、新型磁性材料物理,超微粒子物理等。

(3) 物理学与信息技术——信息技术是有关信息的采集、传输、处理、存储、显示和应用的技术。21 世纪高技术的一个重要特点将是信息技术广泛应用于各个领域。

信息技术的三大支柱是:传感技术(承担信息采集任务)、通信技术(承担信息传输任务)、计算机技术(承担信息处理及控制任务)。这三大技术均与物理学息息相关。传感技术的关键就是要大力发展各种高性能的传感器,例如压电传感器、光电传感器、光纤传感器、激光传感器等。很显然绝大多数传感器都是依赖物理原理、物理效应进行工作的。激光技术和光纤技术的发展使传统的无线电通信面貌焕然一新,由无线电通信到光纤通信实现了信息载体的变革。光通信最大的优点就在于其载波频带宽,信息传递量大,抗干扰能力强。计算机技术的快速发展依赖于电子器件的快速更新换代,由电子管到晶体管,由晶体管到集成电路,这些元器件都是固态电子学及微电子学研究的成果,作为当代微电子学主体的半导体集成电路仍处于发展之中,硅片的尺寸越做越大(现已达到 8~10 inch),微细加工尺寸则越来越小(已可缩小到 $0.15\sim 0.18\ \mu\text{m}$),集成化程度越来越高,每一芯片上集成的晶体管数可达 10 亿只甚至更多。集成电路快速发展的内在原因就在于它具有深厚的物理基础研究,这包括固体量子理论和能带理论,硅材料和硅-二氧化硅界面物理,晶体管器件物理等。没有物理学的基础研究,也就没有计算机技术的高速发展。

(4) 物理学与生物技术——生物技术也叫生物工程,它起源于近年来对遗传信息的破译,是 20 世纪后期迅速发展起来的高技术领域。这门技术可以使人类通过基因剪裁重组,细胞融合等人工控制的方法在分子水平上改进生物性状,对物种进行定向培育,可以干涉细胞繁殖等。特别是最近,科学家完成了人类基因组遗传密码的基本破译,将生物技术提高到一个新水平,这必将

对生命科学,医药卫生、农业等领域产生不可估量的影响。

物理学对生物技术的贡献之一是生物大分子和 DNA 结构的测定,尤其是物理学中隧道效应研究基础上建立起来的扫描隧道显微镜,成功地观察到 DNA 双螺旋结构和三瓣变异结构是对生物学理论的有力验证。物理学中的光谱分析方法也是生物样品的基本测量方法。现已经发现癌细胞的光谱异常,从而使光谱分析成为检测癌病变的手段。

(5) 物理学与空间技术——空间技术又称航空、航天技术。空间技术包括应用卫星技术、载人航天技术、从空间考察地球及宇宙整体行为的技术以及微重力科学技术。很显然,空间技术中有关火箭,卫星的发射、运行及控制等问题都离不开物理学的理论研究,此外,地球物理,大气物理,天体物理也是空间技术重要的背景理论及设计基础。

(6) 物理学与海洋技术——海洋技术是一个综合技术群体,它包括海洋探测技术,海洋开发保护技术、海洋通用技术三个方面。海洋探测技术担负着探测海洋物理特性(海洋水体的循环与交换,海洋温度的分布,海洋的声学特性,海洋与大气层的相互作用等)和海洋资源的任务。海洋开发技术则涉及到海洋水产业,海洋运输业,海洋化学工业,海洋油气业,海洋采矿业等领域;海洋通用技术是各种海上活动共同需要的基础性技术,例如船舶工程技术,导航定位技术,水下通信技术,海洋工程技术,潜水技术等。海洋技术涵盖了几十个技术门类,物理学中的力、热、声、光、电等理论在其中均有广泛的应用。

综上所述,可以得知物理学与高技术息息相关。我们可以毫不夸张地说,很难找出一个与物理学无关的高新技术。很显然,要想进入科学技术的任何一个领域,都必须首先敲开物理学的大门。

0.2 学习大学物理应该注意的几个基本问题

1. 理想模型

物理现象往往是由许多因素所共同决定的。这些因素有主要因素、次要因素。如果将影响问题的所有因素一并考虑,那么即使是比较简单的问题,也将难以解决,复杂问题就更不用说了。

解决复杂问题,需要摒弃那些微不足道的因素,暂时抛开次要因素,集中精力就主要因素进行研究,经过抽象概括,建立起一个理想化的物理模型。所谓理想化模型,实际上就是为了便于对实际问题进行研究,而将事物取其主干,去其叶蔓而建立的客体。运用理想模型处理实际问题,这是一个重要的科学研究方法,其优点在于:

① 可以将复杂问题归结为一些简单问题进行研究,从而大大简化处理过程,可使抽象问题形象化、具体化,突出主要矛盾。便于发挥逻辑思维的作用,其结果又不会发生大的偏差。

② 对理想模型研究的结果,加以适当修正,即可用于实际事物。

物理学中常见的理想模型主要有:质点、刚体、弹性体、理想气体、弹簧振子、点电荷、无限长直导线、无限大平板、薄透镜、点光源、绝对黑体、原子的核式模型等。

理想模型的建立,要以观察和实验作为基础,需要有对物理现象和过程的正确理解,需要有正确的分析方法和判断能力,还需要有抽象思维能力和想象能力。

同一事物,选取何种理想模型,要看研究问题的性质来决定,不能一概而论。例如,在研究地球的公转时,由于地球直径远小于地球到太阳的距离,则可忽略地球的大小,而把地球当作质点看待。当研究地球的自转时,就不能忽略地球的大小和形状,亦即不能把地球当作质点来看待。又如原子虽小,在研究原子的内部结构时,也不能把原子当质点看待。

2. 参照系与坐标系

众所周知,物体的运动本身是绝对的,但是对于运动的描述却是相对的。为了描述物体的位置和运动而事先选作标准的另一物体或彼此间无相对运动的物体群称为参照系。

为了对运动作出定量的描述,则必须在参照系上建立适当的坐标系。坐标系实质上是由实物构成的参照系的数学抽象。实际中常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系、自然坐标系、柱面坐标系和球面坐标系等。处理问题时,如果坐标系选择得当,则可以使运动的描述变得简便,处理问题的过程大为简化。

具体处理问题时,究竟选用什么坐标系,惟一的原则就是以方便分析为前提。在大学物理中,最常用的是笛卡尔直角坐标系。在平面问题中,也常用极坐标系,这些大家都比较熟悉。当质点运动的轨道已知时,一般采用自然坐标系。例如,火车的轨道,矿山运输中常用的空中索道,游乐场中过山车的离心轨道和滑道等都是已知轨道。处理已知轨道问题,如分析火车转弯时对于铁轨的侧向压力,应用自然坐标系就很方便。当所处理的问题具有球对称性时,应用球坐标系较为简便。例如量子力学的氢原子问题,原子系统的势能函数 $U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ 只与距离 r 有关,而与方向无关,具有球对称性。因此,在求解氢原子的定态薛定谔方程时,采用球面坐标系要比直角坐标系简便得多。对于具有轴对称性的问题,采用柱面坐标系较为简便。例如光纤是圆柱形介电波导,描

述光在光纤中的传输过程,采用柱面坐标系就比较方便。

当选定坐标系以后,矢量就可以用它的坐标分量来表示。矢量的坐标分量依然为矢量,但它的方向却可以用正负号来表示。已知矢量的坐标分量,其指向与所选坐标轴的正向相同时为正,反之为负。未知矢量的未知分量可以暂不考虑其正负,只用一个代数符号(字母)代表它即可,计算结果,它的量值连同方向(±号)自然分明。当用一个未知矢量表示另一个未知矢量时,也需考虑正负号,其正负取决于二者的指向相同还是相反。显然用坐标分量来表示矢量,就可以以坐标分量的代数运算来代替矢量运算,这样就会使具体结果的计算简便得多。应该指出的是,坐标分量的正负号规则应与物理规律的原始方程配套使用。如在列方程(非求解方程)时,所写出的不是原始方程的形式,而随意地将一些项移到了方程的另一边,却仍然套用上述正负号规则,这就会引起正负号的混乱,最终导致错误的结果。这也是学生中常见的错误之一,望能引起注意。

3. 物理量的单位与量纲

物理学是严谨的、定量的自然科学,建立在严格的计量基础上,而计量必然涉及到单位与量纲问题。

(1) 基本量与导出量

由于物理量之间有定义式和物理规律相联系,所以在量度物理量时,就不必给所有物理量规定单位,当少数几个物理量的单位规定后,其它物理量的单位即可由它们导出。这些被选定并独立规定单位的物理量叫做基本量,基本量的单位叫做基本单位,其余根据定义或定律由基本量导出的物理量叫做导出量,它们的单位就叫导出单位。

在国际单位制 SI(Systeme International d'Unites) 中,被选定的基本量共有七个,它们连同相应的基本单位详见表 0.1。

表 0.1 基本量与基本单位

基 本 量	单 位 名 称	单 位 符 号
长 度	米 (meter)	m
质 量	千克 (kilogram)	kg
时 间	秒 (second)	s
电 流	安[培] (ampere)	A
温 度	开[尔文] (kelvin)	K
物质的量	摩[尔] (mole)	mol
发光强度	坎[德拉] (candela)	cd

(2) 物理量的量纲

① 量纲的定义:任何导出量与基本量之间都有一定的关系,若对每一个基本量规定一个符号,就可以用这些符号的一定幂次组合来表达任何一个导出量。我们把导出量对基本量依赖的幂次关系式叫做物理量的量纲(dimension)。基本量的量纲符号详见表 0.2。

表 0.2 基本量的量纲符号

基本量	长度	质量	时间	电流	温度	物质的量	发光强度
单位符号	m	kg	s	A	K	mol	cd
量纲符号	L	M	T	I	Θ	N	J

有了基本量的量纲符号规定,则任意一个物理量 Q 的量纲式为:

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\epsilon} N^{\zeta} J^{\eta}$$

式中的幂指数 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ 称为量纲指数。力学中只有三个基本量 L, M, T , 所以力学量的量纲为 $\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma}$ 。例如速度 v 、加速度 a 、动量 P 、力 F 和功 W 的量纲式分别为:

$$\dim v = LT^{-1}$$

$$\dim a = LT^{-2}$$

$$\dim P = LMT^{-1}$$

$$\dim F = LMT^{-2}$$

$$\dim W = L^2 MT^{-2}$$

所有量纲指数均为零的物理量称为无量纲量。无量纲量的量纲式为 $\dim Q = L^0 M^0 T^0$ 。例如圆心角 $Q = s/r$ (单位 rad), 角度 θ 就是一个无量纲量, 又如折射率也是一个无量纲量。无量纲量的值用纯数表示。

应该注意的是不要将物理量的量纲与单位混为一谈, 一个量的量纲说明该物理量是由哪些基本量组成以及如何组成, 它反映出该量所描述对象的物理特性; 而物理量的单位则是量度量纲的尺度。

② 量纲的应用: 量纲分析是一种非常有用的物理方法, 其主要用途有以下两点:

● 核实物理方程的正确性

量纲服从的规律叫做量纲法则, 量纲法则是量纲分析的基础。量纲法则的具体内容为:

- a. 只有量纲相同的量才能相加、相减、相等。
- b. 指数函数, 对数函数和三角函数的宗量应当是无量纲量。

根据量纲法则, 一个正确的物理方程, 所有各项应该具有相同的量纲, 否

则它将是错误的。假如给出方程 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^3$, 不难看出, x 和 $v_0 t$ 两项的量纲均为 L , 而第三项的量纲为 LT , 显然这是一个错误的方程。如果方程中含有指数函数等超越函数, 则超越函数的宗量应该为无量纲量, 否则方程也将是错误的。例如给出方程

$$x = c_1 - c_2 e^{-at}$$

$$y = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{u} \right) + \varphi \right]$$

两式中的宗量 at 和 $\left[\omega \left(t - \frac{x}{u} \right) + \varphi \right]$ 都应该为无量纲的。

● 为推导某些复杂关系提供线索。请读者参阅有关文献资料。

4. 求解物理问题的方法

在大学物理的学习过程中, 不少同学觉得听课基本能听懂, 但课后完成作业却比较困难, 面对物理习题常常感觉无从下手。究竟如何求解物理问题呢? 请读者注意以下几点。

(1) 注重代数思维模式的运用

在中学阶段, 课程内容限定在常量问题的范围内。例如匀速运动、匀变速运动、恒力作用下的动力学问题等。就问题的性质而言, 多是一环套一环的一维链式问题。求解方法基本上是逐环解开的算术处理方法, 即就是由已知条件推算出一个中间结果, 再由此结果依次向下推演, 直到求得最后结果。然而大学物理所涉及的问题都是复杂的变量问题。就问题的性质而言, 它是多维的网式问题。带着业已习惯的常量思维定势去思索变量问题, 当然找不到求解途径。用算术思维模式去处理网式问题, 总想先求出一个中间结果来, 再依次推演下去。然而网式问题的一个环节却同时受到多个方面的钳制, 要想一步先拿出其中的一环来, 这是办不到的。处理多维的网式问题, 要果断地放弃算术思维模式, 采用代数思维模式, 根据已知条件及有关物理规律建立必要的方程组去求解。这就是说, 大学物理要求同学们跳出常量思维定势的圈子, 建立变量思维的方法。完成由算术思维模式(逐环解开的方式)向代数思维模式(用方程组求解的方式)的转变。代数思维模式可以打破无从下手的僵局。

(2) 注意多角度开放式思维方法

求解物理问题的途径往往不只一条, 当某种方法不能奏效时, 就要换一个思维角度, 寻找新的解题途径。例如计算电场力的功常用定积分 $A = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r}$ 来计算, 如果无法求出电场 $\mathbf{E}$ 的空间分布, 这种方法就走不通。但功能关系 $A = q(U_a - U_b)$ 却为我们提供了新的途径。另外, 求解物理问题的基本方法也不

只一种,有解析法、列表法、图线法供我们选择。这三种方法各有所长,方法选择得当,往往能收到事半功倍的效果。显然,多角度开放式思维可以化解思维定势所造成的僵局。

(3) 重视必要的解题规范

规范的解题步骤有助于理清思路,从容下手,防范错误。一般的解题步骤为:

① 画示意图 —— 用示意图乃至视图作为思维空间的延伸,使所研究的问题形象化,明朗化,并在图上正确、合理地标注有关物理量的符号,为下一步列方程奠定基础。

② 选择原理 —— 研究题目所给条件,找出适用的物理原理,列出含有未知量的物理方程。通常一条原理可得到一个或几个方程,复杂问题往往需要多个原理、多个方程进行联立求解。

③ 求解方程 —— 首先进行符号运算,求得一般性的文字结果,最后代入数字,求得数值解。

④ 审查讨论 —— 用量纲法则检查所得结果的正确性,分析所得数据的合理性。有时还应进行必要的讨论,考察所给物理问题本身的内涵,外延乃至问题的极限情形以及制约条件等。