

大学物理学

(少课时版)

杨建宋 主编

李宝兴 李康 詹士昌 副主编

清华大学出版社

大学物理学

(少课时版)

杨建宋 主编

李宝兴 李康 詹士昌 副主编

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书兼顾大学普通物理教学体系的系统性和生物、医学、化学等专业的学生对物理知识的选择性,同时又考虑到整门课程课时较少的实际情况,分为课内必学内容和课外选学内容两大部分。主要内容包括牛顿力学的基本规律,流体力学,机械振动与机械波,电场和磁场的基本规律,电路和常见电学仪器,分子热运动规律和热力学,光学和光学仪器,量子物理简介等主要板块。

本书可作为生物、医学、化学等专业的学生学习大学物理课程的教材或主要参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学:少课时版/杨建宋主编. —北京:清华大学出版社,2014

ISBN 978-7-302-36423-8

I. ①大… II. ①杨… 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(2014)第 096125 号

责任编辑:邹开颜 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

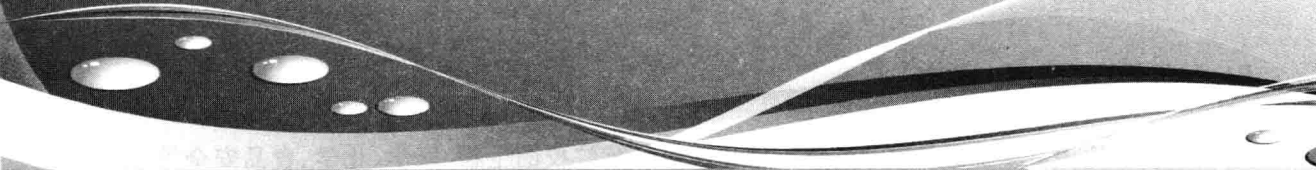
开 本:185mm×260mm 印 张:20 字 数:481 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版 印 次:2014 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00 元

产品编号:052115-01



前言

《大学物理学(少课时版)》主要针对生物、医学、化学、食品安全等专业开展大学物理教学而编写。随着大学课程改革的深入,许多院校的理工科专业尤其是上述提及的这些专业的大学物理课时不断减少。在这些专业开设“大学物理”这门课程时感到现有教材总不够合适,要么面面俱到且难度过大,要么太过浅显流于科普读物,在介绍大学物理的观念、概念、理论和应用方面总有缺憾,而且现有许多教材在处理与学生所学专业的联系时往往比较欠缺,课程的内容总让人难以取舍。我们在教学时,不得不在教材中东挑一点西挑一点,有时还得补充一些与所学专业紧密联系的内容。在课程建设中,课程组的教师都迫切感到,有必要编写一部适合的教材,以便于更好地开展相关专业的大学物理课程的教学。

《大学物理学(少课时版)》将兼顾大学普通物理教学体系的系统性和生物、医学、化学等专业的学生对物理知识的选择性,同时又考虑到整门课程课时较少的实际情况,分作课内必学内容和课外选学内容两大部分。主要内容包括牛顿力学的基本规律,流体力学,机械振动与机械波,电场和磁场的基本规律,电路和常见电学仪器,分子热运动规律和热力学,光学和光学仪器,量子物理简介等主要内容。具体章节如下:第1章为牛顿力学基本规律,包括牛顿运动定律,三大守恒定律,刚体和弹性体;第2章是流体的运动,包括流体静力学,伯努利方程及应用,粘滞流体;第3章是振动与波动,包括简谐振动,阻尼振动、受迫振动及共振,振动能量,简谐波,波动能量,多普勒效应,声波、超声波和次声波;第4章是分子动理论与热力学,包括气态方程,压强公式,温度意义,分子碰撞与扩散,热力学规律,循环,熵的概念和液体的表面现象;第5章是电磁理论Ⅰ,包括静电场的场强与电势,导体与电容,极化现象,电路计算基础;第6章是电磁理论Ⅱ,包括磁场与力,磁化与铁磁质,电磁感应,自感与互感,电磁类仪器介绍,电磁波;第7章是光学,包括几何光学,基本光学仪器介绍,光的干涉、衍射和偏振及光的本性探讨;第8章是量子物理简介,包括光电效应,黑体辐射,原子与能级,量子力学基础,原子核与磁共振,激光原理等。

本书的特色体现在以下3个方面:①必修的内容体现大学物理知识体系的系统性;②选修的内容根据学生所学专业有很强的针对性和应用性;③教材的篇幅适合40~55学时的教学,教师可避免陷入内容过多而难以取舍的纠结。

本书由杨建宋主编,李宝兴、李康、詹士昌任副主编。本书的统稿和技术加工由杨建宋完成。编写分工为:杨建宋编写绪论、刚体、弹性体;徐婕编写质点运动、牛顿运动定律、三大守恒定律;吴平和詹士昌编写流体的运动、次声波与声波和超声波、多普勒效应、X射线、核磁共振以及部分医学仪器和光学仪器的应用;杨旭昕编写振动与波动一章中的简谐振动及合成、阻尼和受迫振动及共振、简谐波与波动能量、驻波;周能吉编写分子动理论与热力学;李璇和李宝兴编写电磁理论Ⅰ;陈斌和李宝兴编写电磁理论Ⅱ;黄炜编写光学;徐以锋和李康编写量子物理简介。

本书的适用对象主要是普通高等院校和高等师范院校的生物、医学、化学、食品安全等专业的学生,可作为他们“大学物理学”或“医用物理学”课程的教材或主要参考书。书中打“*”的内容,一般涉及的是理论的深化、有关公式的推导或有关背景知识的介绍,可以布置给学生选读或在课时允许的情况下选讲。限于编者的水平,书中肯定有不够完善之处,希望读者不吝指正。

在本书的编写和出版过程中,得到了杭州师范大学理学院的大力支持,也得到了杭州师范大学“大学物理教学改革”、“近代物理实验精品课程建设”以及“经亨颐学院物理专业特色课程群建设”等课改项目的支持,李宝兴、李康、戴建辉和詹士昌等教授仔细阅读了书稿,并提出了很多有益的建议,这些建议已经在书稿的编写统稿中得到了很好的体现。在此谨向他们表示衷心的感谢。

杨建宋

2014年5月于杭州

目 录

绪论 1

第 1 章 牛顿力学基本规律 7

1.1 质点的运动规律	8
1.2 牛顿运动规律	16
1.3 三大守恒定律	18
1.4 刚体的定轴转动	31
1.5 物体的弹性	38
思考题	43
习题	43

第 2 章 流体的运动 46

2.1 理想流体的稳定流动	47
2.2 伯努利方程	49
2.3 粘性流体的流动	54
* 2.4 粘性流体的运动规律	57
思考题	60
习题	61

第 3 章 振动与波动 63

3.1 简谐运动	64
3.2 阻尼振动、受迫振动及共振	71
3.3 简谐波	72
3.4 惠更斯原理与波的叠加	76
3.5 驻波	77
3.6 多普勒效应	80
* 3.7 声波、超声波和次声波	82
思考题	89
习题	89

第 4 章 分子动理论与热力学 93

4.1 热力学基础	94
-----------------	----

4.2 分子动理论	105
4.3 液体的表面现象	113
思考题	120
习题	121
参考资料	124

第5章 电磁理论 I 130

5.1 静电场	131
5.2 高斯定理	134
5.3 电势	138
* 5.4 电偶极子和电偶层	144
5.5 静电场中的导体	146
5.6 静电场中的电介质	148
5.7 电容器	153
5.8 恒定电流	158
思考题	165
习题	166

第6章 电磁理论 II 169

6.1 磁现象和基本规律	170
6.2 载流回路的磁场	172
6.3 磁场的高斯定律与安培环路定律	176
6.4 磁场与力	179
6.5 具体应用	181
6.6 电磁感应和暂态过程	183
* 6.7 磁化与铁磁质	187
* 6.8 地球和人体磁场	189
思考题	193
习题	194

第7章 光学 196

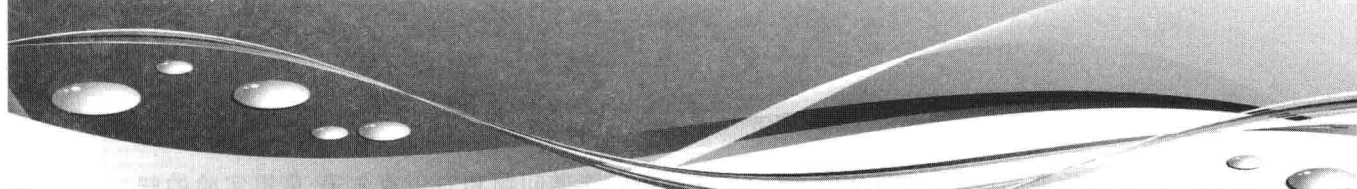
7.1 几何光学	197
7.2 光的干涉	216
7.3 光的衍射	228
7.4 光的偏振	238
* 7.5 光的本性	243
思考题	248
习题	249

第 8 章 量子物理简介 252

8.1 量子概念的提出和确立	253
8.2 氢原子的玻尔理论	260
8.3 量子力学基础	265
8.4 X 射线	279
8.5 激光和激光器	284
8.6 原子核与核磁共振	290
思考题.....	295
习题.....	295
参考资料.....	297

习题答案 301

参考文献 309



绪论

物理学的研究对象是自然界中物质的结构、相互作用和物质运动的基本现象和基本规律。在自然科学领域中,物理学所研究的对象最为广阔,也最为基础,在空间上,它从 10^{-18}m 横跨到 10^{25}m 的范围,在时间上,也从 10^{-25}s 延伸到 10^{18}s 的间隔。事实上,几乎所有的科学方法和科学思想都与之紧密相连,而且任何其他自然科学甚至某些社会科学也基于物理学的理论而发展壮大,诸如此类的事例比比皆是。化学和生物学越来越紧密地和量子理论结合在一起,熵的概念除了在化学和信息领域得到应用以外还广泛应用于经济和社会科学领域。正因为这样,物理学已经成了自然科学的基础,也对社会科学产生影响。因此,学好物理学,树立正确的科学观和世界观,为各专业学科的学习打好基础,是十分有必要的。

1. 物理学的发展

物理学是一门历史悠久的学科,但它的发展主要还是集中在近五百年间。物理学的诞生可以追溯到公元前古希腊文明时代,亚里士多德最先创立了物理学,他的开创性成就对于物理学的发展起到了深远的影响。但因时代的局限性,亚里士多德的物理学更多的是一些从哲学角度上的思考,他关于力与运动的学说也被后人证明存在致命的错误。

物理学真正的发展是从文艺复兴以后的16世纪开始的,这里最值得一提的是意大利物理学家伽利略,在经历漫长的中世纪之后,伽利略开创的实验和理论研究相结合的思想方法为400多年来物理学的大发展奠定了基础。他在静力学、动力学、光学等方面做出的开创性工作,为以后的物理学大发展起到了引路作用。在经典物理学的发展历程中,牛顿是一个伟大的物理学家,它吸收了同时代一大批出色的物理学家的成就,提出了关于力与运动的三大基本定律和万有引力定律,奠定了经典力学的基础。同样,麦克斯韦也是一位这样的集大成者。在他以前,人类对电磁现象和规律的研究已经非常深入并有丰富的积累,形成了诸如库仑定律、安培定律、法拉第电磁感应定律等一大批电磁学规律,但经过麦克斯韦开创性的假设和总结,最后纳入到他的四个方程,形成了完善强大的电磁运动理论基础。而且,他的成就还不止于此,经过他的对称考虑和分析演算,发现在电磁现象中还存在一个非常重要的领域——电磁波。随着赫兹等人在20多年后的实验证实,这个领域在人类的生活中得到的应用有了飞速的发展,已经成为现代人类生活中不可或缺的一部分。当然,随着数学的进步,微积分的创立和成熟,物理学的发展在定量计算的道路上也驶入了快车道。18世纪拉格朗日等人发展了分析力学,18世纪和19世纪热力学与统计物理成为解释热现象的成熟理论,这些都载入了物理学的发展史。

19 世纪后期的所谓的“两朵乌云”——黑体辐射能谱问题和对迈克尔逊-莫雷实验的解释,催生了新的物理学理论。从时间上来讲,我们可以粗略地把 1900 年以前的物理学看作经典物理学,把 19 世纪末之后的物理学看作近、现代物理学。经典物理学的基本特征是确定性,它采用连续并且不相干的时空,描写宏观尺度物体的低速运动,而现代物理学的基本特征是不确定性的,它采用相关联的时空,描写微观和高速情形下物体的运动情况。特别是在微观领域中,它涉及的物理量大多是离散的、可以被量子化的。现代物理学的基础是 1905 年爱因斯坦提出的狭义相对论以及之后提出的广义相对论和 1900 年普朗克提出量子假设后在 20 世纪二三十年代发展起来的量子力学,这些成就震撼了科学界,影响了人类文明的进程,也因为这些成就,人们把整个 20 世纪称为物理学的世纪。近现代物理学虽然从观念上对经典物理学有了彻底的颠覆,但在宏观低速的场合,经典物理学仍然是近现代物理学必须趋向的极限,在解决宏观低速的物理问题时,经典物理学仍然是有效的。当前物理学的发展在微观和宏观两个方面更加深入,一方面试图寻找自然界四大相互作用共同的基础,形成大统一理论;另一方面是向超大尺度或极小尺度等极端情形发展,探求更大的体系、更大尺度上的规律。而且微观领域的研究和宏观领域的研究以及宇观领域的研究也日渐融合。

同时,物理学正在与其他学科交叉和融合,形成了各种交叉学科和应用学科。由于物理学的研究对象十分广阔,物理学中丰富的思想方法,能够很好地被借用或移植到其他学科中,所以,物理学容易与其他学科形成交叉,并生长出新的学科分支。事实上,物理学与其他学科的交叉早在 20 世纪初就已经开始了,物理学与化学交叉后出现了物理化学,进一步发展成了量子化学;物理学与生物学交叉后形成了生物力学、生物物理学。DNA 结构的发现与基因图谱技术的成熟,也展现了物理学与生物学和医学的完美结合。

2. 物理学的特点

物理学的主要特点可以归纳为以下 3 个方面:

(1) 物理学是科学思想和科学方法的源泉。

随着物理学的发展,新的科学思想和科学方法不断地涌现,物理学应该说是科学思想和科学方法的源泉。在古希腊,亚里士多德的许多理论就是来源于他对日常经验的哲学思考。他对物理学的研究提出了很多科学的方法。同样,阿基米德的实验方法、伽利略的思想实验方法和理论与实验相结合的研究方法也成为后人开展科学研究的重要方法。

在物理学中发展出来的许多重要的思想方法,在其他学科也得到了广泛的移植和应用。反过来,在物理学的发展中也借用了不少其他学科发展起来的思想方法。比如在热力学中,考虑系统的混乱程度时,我们引进了熵的概念,并给出了如何用统计方法计算熵的途径。熵这个概念,现在早已突破了物理学的范畴,在信息处理,甚至在经济学和社会学领域,也得到了广泛的使用。物理学中其他的一些方法,诸如理想模型的方法、近似与简化的方法、归纳与综合方法等,在科学研究中,已经成为多学科共有的方法。物理学中的思想方法十分灵活也十分丰富,所以,在大学物理的学习中,如果能领会物理学中的各种思想方法的精髓,将对其他学科的学习和研究有很大的帮助。

(2) 物理学是理论与实验紧密联系的学科。

从伽利略时代开始,物理学的发展就脱离了纯哲学研究的范畴,实验研究的特色非常浓

厚。物理学是理论与实验紧密联系的学科,实验是理论的基础,理论必须在实验中得到检验。同样,物理实验将在物理理论的指导下进一步深入。

物理学的每一条定律都来自于实验。它们是人类实验后对自然规律的总结,也经得起各种物理实验的检验。

物理学理论的发展,有赖于实验技术的进步和实验手段的提高。比如超导现象,在人类还不能使氦气液化,达不到这样的低温时,大家普遍认为导体总是有电阻的,并设想各种电阻随温度的变化规律。但随着低温技术的进步,实验手段的提高,人类不仅发现了超导现象,还进一步发展了涉及超导的物理理论和物理应用。这种事例在整个物理学的进程中比比皆是。

同样,物理理论研究的深入,也为物理实验的开展提出了新的期盼和要求。麦克斯韦提出了电磁波的理论,为人类寻找电磁波的实验存在指出了方向;现在人类关于基本粒子结构和行为的研究,也给自己提出了新的要求,需要建造更大的加速器,需要发展更精密的探测技术。

(3) 物理学是一门定量而严谨的学科。

物理学发展了 2000 多年、特别是快速发展了近 500 年,物理学科已经是一门十分成熟的学科,是一门定量而严谨的学科。这一点不仅体现在物理学的知识体系上,还更多地体现在它的思想方法上。

自伽利略时代以来,对时间、空间和其他物理量的定量测量和分析一直是物理学的基本特色,物理学的发展几乎与数学的发展是同步的。我们知道经典力学的集大成者是牛顿,但我们也应该知道微积分的主要创始人之一也是牛顿。在很多时候,在物理学领域取得重大成就的物理学家都具有十分深厚的数学功底,我们甚至分不清这些伟大的科学家他们到底是物理学家还是数学家。黎曼的微分几何在爱因斯坦的广义相对论中有了新的生命,对物质对称性的研究极大地促进了代数中有关群理论的研究,非线性科学的发展充分体现了物理和数学的完美结合。事实上,物理学的定量和严谨与数学密不可分,数学和物理学相辅相成,相互促进。

3. 学习物理学的几点建议

大学物理学是理、工、医科学生的一门重要的基础课,其内容包括力学、热学、电磁学、光学、相对论与量子物理等分支。由于大学物理学涉及自然科学和现代科技领域的方方面面,特别是物理学中提出问题、解决问题、重视实验的思想方法,对同学们本专业课程的学习和将来的发展都极其重要,因此必须认真学好这门课。对学好这门课,我们提出三点建议。

(1) 勤于思考、悟物穷理。

爱因斯坦曾经说过:发展独立思考和独立判断的能力,应当始终放在首位,而不应当把专业知识放在首位。如果一个人掌握了他的学科的基础理论,并且学会了独立思考,他必定会找到自己的道路,与那种主要以获得知识细节为主要学习目标的人相比,他一定会在以后的人生道路中更好地适应变化并取得成就。

大学物理学是基础课程,通常是在一、二年级开设课程,同学们从中学进入大学,学习环境、学习内容、学习要求都发生了巨大变化,因此学习习惯和方式也要随之变化,以适应大学的学习环境。在大学的学习中,在教师引导下的自主性学习将是主流。大学给学生更多的

自由时间,大学课程的学习内容多,课程难度大,节奏快,更需要自己的自觉学习行为,学习中也需要更多的思考,悟物穷理,培养良好的自主学习习惯。现在大学物理课的教学内容分掌握、理解和了解三个层次要求。其中对“掌握和理解”的内容,同学们最好能在课前有所预习,在课后及时进行复习整理,定期对大学物理各章节内容作出小结,并完成相应的训练题。在此基础上,可在老师的启发下对一些感兴趣的专题进行深入思考,开展一定量的研究性学习。

(2) 善用数学、分析建模。

要使大学物理学的学习过程变得轻松,我们觉得,在大学物理的学习中,要解决以下三个问题。

① 要做好中学物理和大学物理的衔接。

学生是在已经系统学习过中学物理的基础上开始学习大学物理的。物理学知识的积累有一个螺旋式上升的过程,而大学物理的许多知识结构又大都建立在中学物理的基础上。这就要求我们的授课教师能了解学生在中学物理中学过什么,擅长什么,能因势利导,充分利用学生的中学物理基础,使同学们在新概念、新规律学习中不觉得突兀,并感到有所提升和收获。比如在刚体问题的教学中,我们完全可以从学生非常熟悉的阿特伍德机入手,事实上在中学物理甚至在前几节牛顿定律的教学时,我们总是忽略阿特伍德机中滑轮的质量和滑轮与轴间的摩擦,那么当这些因素不能被忽略时,我们是否有新的办法进行处理? 滑轮的质量和滑轮与轴间的摩擦到底在整个运动中影响如何? 我们完全可以用这种教学方法来引入刚体力学的教学。同样,在学习了刚体的理论,并用刚体力学的规律处理完这个例子时,我们可以将此和中学的结论进行对比,实现前后呼应。对学生在中学已经深入学习的内容,比如直线运动、功和能等,要注重教学中的提升;对学生在中学学习中相对空缺的内容,比如动量角动、刚体运动等,要关注基本概念的引入,基本规律的教学和应用。

② 要注重建模教学,解决学生在物理学习中的疑惑。

同学们在学习大学物理遇到的一个困难是,对重要物理概念的理解不透,因而在解决具体问题时无知从何处入手,或者不知用哪个定律求解。因此在教学中,我们一定要充分认识概念教学的重要性,并结合具体实例进行分析鉴别。要重视基本物理概念的内涵,重视物理规律的适用条件。比如在动量和角动量的教学中,同学们往往会发生混淆,什么时候可以用动量守恒,什么时候必须用角动量守恒? 借用一个子弹射击悬挂沙包的问题,我们可以让学生体会物理规律到底该怎么选用。对一根细绳悬挂沙包的问题,用动量守恒定律解决该问题往往是很多教学中的首选。那么,这时候我们能用角动量守恒来处理吗? 如果把悬挂的绳子换成直杆,或干脆把沙包也去掉了,让飞来的子弹打击悬挂的直杆上,这时动量守恒定律还能用吗? 为什么这时我们必须用角动量守恒定律来求解问题? 如果我们在教学中能把这些问题剖析清楚,正确认识动量守恒定律有时可以用而有时不能用的原因,从而对所涉问题正确建立物理模型并准确适用物理规律,我们就能很好地克服这些困难。

③ 提高用高等数学解决物理问题的能力。

同学们在学习大学物理中遇到的另一个困难是高等数学的应用能力较差,不会正确地使用高等数学处理物理问题。大学物理有别于高中物理的一个明显不同之处,是在大学物理教学中,大量使用了高等数学,这要求学生有比较好的数学功底,特别是在微积分和矢量代数方面,并且有一定的应用能力。但事实上,学生学过的高等数学往往和物理的教学有一

定的距离,甚至有的学生几乎是同步地在学习高等数学,要把高等数学自如地应用在物理问题的解决上还有比较大的距离。要解决这些问题,我们觉得学生首先要重视高等数学的学习,充分认识学好高等数学对学习大学物理是多么重要,尤其是在应用题的求解上。同时也要使同学有信心,不要因为数学基础稍差就感到紧张,实际上大学物理要用到的高等数学知识仅仅是一些比较简单的内容。只要我们坚持用,规范地用,就能迅速地克服困难。在数学的应用中,微元法对学生的学习起到一个相当重要的作用,它实际上是一种建模,把一个物理的实际问题转变为一个数学的模型问题,非常值得我们关注。

(3) 重视方法、提升素质。

在大学物理的学习过程中,物理学的基本概念和规律是学生在分析具体物理问题的过程中逐步掌握起来的。在求解一个具体物理问题时,我们将从渐渐明确解题的思路和方法开始,最终对该问题建立起一个清晰的印象。在这里,摸索和探究解题思路,不断总结解题的方法,是我们学好大学物理学的重要途径。只有真正掌握了物理的奥妙和物理学的思想方法,同学们的科学思维素质才会有质的提升。下面结合不同的内容简单介绍一些学习方法,供大家在学习中参考。

① 类比法

由于在物理研究中有许多东西在本质上是一致的,所以在物理规律的表述上就存在很多类似的情形。从教育心理学的认知角度,学生在学习一个新的知识时,如果有部分是可以和他以前学过的知识进行类比或联想的,那他就更容易接受这些新的知识并进而掌握它们。

虽然质点和刚体是力学中两个不同的物理模型,但是在考虑刚体的定轴转动时,其运动和质点的直线运动有一个共同点,即它们都是一维的运动。这样,从形式上,描述刚体定轴转动规律的角量方法和描写质点直线运动的线量方法就存在很多关联之处。在学习中,我们完全可以用列表的形式列出它们之间的类比对对应关系,帮助学生在过程中理解。

同理,电场和磁场也可以找出很多类似的对应关系。麦克斯韦在考虑完整的电磁理论时,就关注了电场和磁场的基本数学性质,即场的发散规律和场的涡旋规律。这样,在电场和磁场的学习中,必然存在这种规律上的对称性,如果我们在教学中能好好加以挖掘和利用,将有助于我们在旧有知识的基础上,接受和学习新的知识。

当然,在使用类比法时,我们还需关注它们的不同点,这就是新知识有别于旧有知识的地方。只要我们在物理学习中善于归纳类比,就可以沟通不同领域内相似问题的研究思想和方法,并由此及彼,触类旁通。

② 微元法

和中学阶段不一样,在大学物理学的学习中,我们不再回避微积分,其应用将非常普遍。对高等数学的学习来说,大学物理学实际上提供了一个很好的问题场景,使得微积分这种数学方法有了非常生动的应用。在微积分的学习中,熟练使用数学的基本定义和基本公式当然很重要,但我们觉得更为重要的是掌握好方法,这就是通常所说的微元法。使用微元法的基础是物理量的叠加原理,其实质上对真实物理问题的建模。微元法一般会表现为两种情形:一是将某个物理对象微元化,用物理规律分析这个质量元或电荷元的表现,再利用求和或积分找出整个质量分布或电荷分布的物理结果。在具体求解中,如何统一被积函数中的变量将是同学会遇到的一个困难点,需要同学在清楚物理概念的基础上很好地使用数学和几何,并在不断的学习中逐渐掌握。微元法的这种情形在大学物理中使用非常普遍,一定要

好好掌握。另一个是我们将某一物理过程微元化,找出这个元过程中各物理量的关系,进而分析整个过程。比如在火箭的运动分析时,我们可以先取一个运动的元过程,应用动量守恒定律对其进行分析,最后找出火箭的运动速度与其喷气速度及质量的关系。

③ 图像法

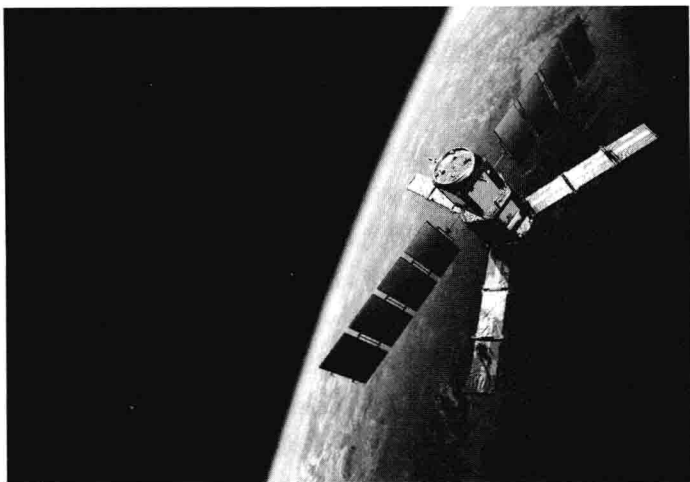
物理图像中包含了大量的物理信息,可以很直观地展现物理过程和现象的特点,在大学物理中应用得非常普遍。在中学物理阶段,实际上同学们对此已经有了不少的训练,积累了一定的基础。在大学物理的学习过程中,我们还是要用好这个方法,充分发挥它的长处。很多时候,一幅好的图像,可能就解决了困惑已久的问题。比如在热力学过程的分析中,我们就必须用好 p - V 图,借助它来展开对四个基本热力学过程的探讨;比如在原子状态和能量的分析中,我们就必须学好能级图的方法,借助于它来直观了解原子内部的状态并理解原子因跃迁而形成的发光现象。

④ 对称模型法

在大学物理中,物理模型、物理场景、物理规律中存在大量的对称性,关注这些对称性对我们学好大学物理也是十分有用的。比如在应用高斯定理分析电荷激发的电场和应用安培环路定理在分析电流激发的磁场时,我们通常处理的将是带有比较明显对称性的问题,从高度对称的球对称到对称度低一些的柱对称或盒状情形;在质点运动的分析中,一个从静止开始的匀加速直线运动和一个最终停下的匀减速直线运动就存在物理过程上的对称性,所以我们可以使用同样的物理规律来分析和理解这些问题。在振动的讨论中,相对于平衡位置而言,运动有很强的对称性,我们知道,相对于平衡位置等距的左右两点,将具有同样大小的速度、同样大小的加速度、同样大小的动能和同样大小的势能!

大学物理学的学习方法还有很多,比如量纲分析法、假设归纳法等,这些方法都有待于我们在学习过程中去摸索。只要我们充分了解了这门课的特点,能很好地使用正确的学习方法,勤于思考和探究,我们一定会有比较大的收获,大学物理学的学习也会变得轻松愉悦。

第 1 章 牛顿力学基本规律



力学是一门古老的学问,在中国可以追溯到公元前 5 世纪《墨经》中关于杠杆的原理的讨论。但力学被称为一门科学理论公认是从 17 世纪伽利略论述惯性运动开始,继而牛顿提出了牛顿三大定律。我们把以牛顿定律为基础的力学理论叫做牛顿力学,属于经典力学,在这个基础上,引入了力、力矩、动量、冲量、角动量、功和能等概念,得到了动量、角动量和机械能等的守恒定律。

经典力学只适用于低速(与光速相比)运动的情形。当物体的速度接近于光速时,经典力学就失效了,此时就需要用相对论力学来研究。

经典力学也无法适用于研究微观粒子的运动,在微观领域就要用到量子力学。不过实验与理论都证明,源自于经典力学的动量、角动量和能量等的守恒定律却仍然适用。

由于经典力学是最早形成的物理理论,后来的许多理论,包括相对论力学和量子力学的形成都受到它的影响;后来的许多概念和思想都是经典力学概念和思想的发展或改造。经典力学在一定意义上是整个物理学的基础。

本章主要介绍质点力学和刚体力学。

1.1 质点的运动规律

经典力学是研究物体的机械运动规律的。力学中描述物体运动的内容叫做运动学。现实中的物体结构复杂,大小各异,为了研究方便,并且抓住物体最实质的东西,我们引入了质点模型,即以具有一定质量的点来代表物体。本章的内容中,相当一部分已经在中学物理课程中学过了,在高等数学的基础上,我们对这些概念和公式进行了更严格、更全面也更系统化的讲解。例如在速度、加速度的定义中用了导数这一数学运算,还普遍加强了矢量的概念。

1. 参考系 坐标系 质点模型

1) 参考系

自然界中,一切物质都处于永恒的运动之中。运动是物质的存在形式,是物质的固有属性。从这种意义上讲,运动是绝对的。然而,运动又是相对的,因为我们研究的物体运动,都是在一定的环境和特定条件下的运动。因此,描述研究对象的位置时,必须先选定一个标准物体或几个彼此之间相对静止的物体作参考,这个选作参考的物体就叫做参考系。

经验告诉我们,相对于不同的参考系,同一物体的同一运动会表现为不同的形式。例如,一个自由下落的石块的运动,站在地面上观察,即以地面为参考物,它是直线运动;如果在一个变速运动的车厢内观察,则石块是作曲线运动。物体的运动形式随参考物的不同而不同,这叫运动的相对性。所以我们描述物体运动时,必须说明是相对于什么参考系来描述的。

2) 坐标系

确定了参考系后,要定量地描述物体的运动,就必须在参考系上建立适当的坐标系。在力学中常用直角坐标系。这个坐标系以参考系上的某一固定点为原点 O ,从原点 O 沿 3 个相互垂直的方向引出 3 条固定在参考系上的直线作为坐标轴,通常分别叫做 x, y, z 轴。在这样的坐标系中,一个质点的任意时刻的空间位置,例如 P 点,就可以用 3 个坐标值 (x, y, z) 来表示,如图 1.1 所示。

有结论如下:

(1) 在一个参考系中,除了上述的直角坐标系,我们还可以选取其他不同的坐标系。通常根据需要,我们会选用极坐标系、自然坐标系、球坐标系或柱面坐标系等,具体选用要视情形而定,应选方便解决问题的坐标系。

(2) 参考系的选择也是为了方便问题的解决,具有一定的任意性,视实际问题而定,当然对某一问题,参考系选取得不一样,解决此问题所花费的精力也是大不一样的。

(3) 参考系选定后,无论选用何种坐标系,物体的运动性质都不会改变。

3) 质点模型

任何物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构,所以任何一个真实的物理过程都是极其复杂的。为了找到运动过程中最本质、最基本的规律,我们对真实过程进行理想化的简

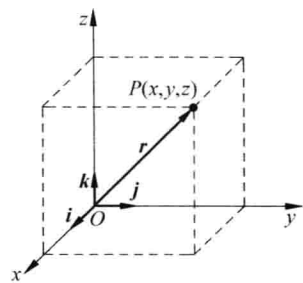


图 1.1 直角坐标系中的位矢

化,然后经过抽象,提出可供数学描述的物理模型。

如果在我们所研究的问题中,物体的大小和形状不起作用,或者所起的作用并不显著而可以忽略不计,我们可以近似地把该物体看作是一个具有质量而没有大小和形状的几何点,这是一个理想物体,是真实物体的抽象,称为质点。

一直以来,人们对天体运动的研究证明,把天体看成质点能够正确解决许多问题。所以,质点是一个恰当的物理模型。根据具体问题,提出相应的物理模型,这种方法是很有实际意义的。从理论上来说,研究质点的运动规律也是研究物体运动的基础。因为如果我们研究的物体不能直接应用质点模型时,我们可以把这个物体看作由几个或者无数个质点所组成的系统,从这些质点运动的分析入手,就有可能了解整个物体的运动规律。

在质点模型上建立的质点力学,其价值的体现在于:

(1) 相对于远距离的观察者,物体很小,其形状与大小对物体的运动的影响可以忽略。例如在天体运动中。

(2) 虽然物体不是很小,其形状与大小的因素在特定的力学问题中却不起作用。例如刚体的平动问题。

(3) 即便在物体的形状与大小因素有影响的情形下,质点力学仍有其价值。那时,将物体看作质点组,将质点力学规律予以推广,而发展成为质点组力学、刚体力学、弹性力学,乃至流体力学。

2. 位置和位移

1) 位置的表示

描述运动质点的位置,首先应该选参考系,然后在参考系上选定合适的坐标系。在这个坐标系中,质点的位置常用位置矢量(简称位矢)表示。位矢是从原点指向质点所在位置的有向线段,用矢量 $\mathbf{r}$ 表示。如图 1.1 所示,质点在 P 点时的位置坐标为 (x, y, z) ,那么,坐标 (x, y, z) 就是位置矢量 $\mathbf{r}$ 沿坐标轴的三个投影。

位矢的大小,可以表示成

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

引入沿着 x, y, z 三轴正方向的单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 后,在直角坐标系中的位矢 $\mathbf{r}$ 可以写成

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1.1.1)$$

位矢的方向余弦分别是

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r}$$

当质点在空间运动时,其位置矢量也将随时间而变化。也就是说,这时位置矢量将是时间 t 的函数

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.1.2)$$

我们把它称为质点的运动函数,或称为运动方程。它也可以用分量的形式给出:

$$x = x(t)$$

$$y = y(t)$$

$$z = z(t)$$

在中学,我们学过的平抛运动规律