



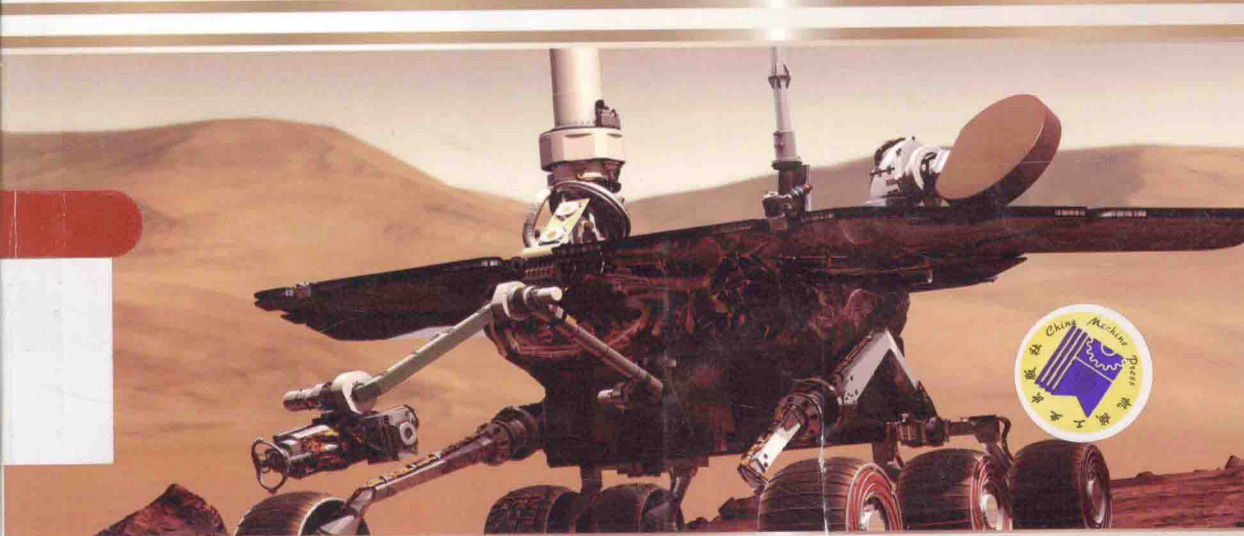
普通高等教育“十二五”规划教材
教育部世行贷款教改项目成果

大学物理学

第4版

第二卷 近代物理基础

王建邦 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

014060024

04
233-4
V2

普通高等教育“十二五”规划教材
教育部世行贷款教改项目成果

大学物理学

(第二卷 近代物理基础)
第4版

附录 (910) 目录附录

主编 王建邦
参编 张旭峰 杨 军
刘兴来 黄启宇



机械工业出版社



北航

C1746849

04
233-4
V2

100030210

本书根据教育部世行贷款教学改革项目的成果和教育部最新颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》编写而成。全书共两卷,本书为第二卷,主要内容有相对论、量子物理、激光、固体物理和核物理。

本书的一大特色、也是新的尝试是,除在叙述上力求接近学生、概念准确,并以大量实例使内容更加生动、有趣外,还在讲述基本概念、基本原理和基本理论的同时,凸显教学内容中应用的物理学研究方法。特别是,本书在每章编写一节“物理学思想与方法简述”,进一步介绍相关物理学的研究方法,提示读者应用这些研究方法的要点,同时挑选几种方法,要求学生自己通过归纳、总结和应用这些研究方法,达到既掌握知识,又提高能力的教学目的。

本书与配套的《大学物理解题思路、方法与技巧》一书一并提供学生使用。

本书为高等院校理工科非物理专业大学物理基础课教材,也可作为高校物理教师、学生和相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 第2卷/王建邦主编. —4版. —北京:机械工业出版社, 2014. 8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-47127-1

I. ①大… II. ①王… 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149084号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:李永联 责任编辑:李永联 陈崇昱
版式设计:赵颖喆 责任校对:任秀丽
封面设计:马精明 责任印制:刘 岚
北京京丰印刷厂印刷
2014年8月第4版·第1次印刷
170mm×227mm·24.5印张·466千字
标准书号:ISBN 978-7-111-47127-1
定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第4版前言

为适应社会经济发展的需要和人的全面发展,以人为本、照顾个性的教育理念为本书第4次修订提供了新的思路。作为一部适用的教材,应当使读者在“知识、能力、素质”协调发展中得到帮助。在知识、能力与素质三要素中,传授知识是基础,培养能力是关键,提高素质是根本。为此,本书在基本保持前几版特点的基础上作了以下几点修订:

一是将前几版中每章开头的“学习本章要求掌握”改为“本章核心内容”,并配以相应的图片。这一改动在教学内容基本要求上并无原则性差别,但更加细化与醒目,“细化”表现在与每次课(72学时进度)的教学内容安排吻合,有利于“教”与“学”;“醒目”意在使每位读者阅读教材时做到心中有数。

二是本书经过十多年的使用,已经形成了较稳定的经典物理基础与近代物理基础并重的知识结构和呈现方式。在此基础上,本次修订不仅注重传授知识,更为学生的探究学习提供探究的方法和可以探究的内容。为此,在文字叙述上采用了“是不是”“为什么”“怎么做”“怎么用”等潜台词,为学生的学、思结合留下足够的空间,引导学生在阅读教材时自主、积极地思考,培养学生质疑问难的意识 and 能力。著名物理学家李政道先生也告诫青年学子:“要创新,需学问,只学答,非学问;要创新,需学问,问愈透,创更新”。当前,学生缺少的就是发现问题、分析问题和研究问题的能力。怎样让学生具备这种能力呢?如果一本教材能够为学生创造一种宽松的质疑、提问的氛围,就能更好地激发学生的联想能力、发散思维能力和发现问题的能力。在第4版的修订中,在一些知识点上,我们有意识地设情造景,通过意象与读者对话;在一些知识点上,我们有意识地留有余地,点到为止;在一些知识点上,我们特意以问代答,逐步引入。在个别知识点上,我们有意识地做点遗漏,让读者自己参与补上,给他们提供一种机会与挑战。

三是注重物理学方法论的介绍与应用。“工欲善其事,必先利其器”,任何一门科学都有其方法论基础。在物理学的产生与发展过程中,形成了丰富的物理学方法。这些科学方法的总结、提炼和运用又促进着物理学这个大系统的发展,在此过程中理论与方法始终相生相伴。实际上,物理学理论本身就具有方法论功能,物理学中由文字、符号、图像、公式等组成的表象,是人类对客观规律的正确反映,因此,它是人类改造客观世界的工具。我们在第4版中结合知识点凸显了几种物理学方法,如观察方法、实验方法、假说方法、数学方法、理想化方

法、类比与模拟方法、归纳与演绎方法、分析与综合方法、整体方法、场论方法等。

四是希望使用了本教材的读者能在以下几个方面不同程度地提升物理素质：

- ①具有用物理学知识去观察、分析和思考各种物理现象是什么、为什么的物理意识；
- ②具有运用物理概念、理论以及几何、代数等数学语言去求解问题的思路；
- ③具有将物理规律以微分形式表示、实际问题采用积分计算的观点；
- ④具有从微观机理（制）追踪宏观物理现象本质的视角；
- ⑤具有从物质不同层次的相互作用、运动与结构中去认识事物的境界；
- ⑥具有在任何复杂的物理过程中都蕴含着为数不多的几个基本物理规律的思想。

本书由王建邦担任主编。参加本卷第4版修订工作的有：张旭峰（第五部分）、黄启宇（第六部分）、王建邦（第七部分）、杨军（第八部分）、刘兴来（第九部分）。

编者

第3版前言

教材是体现教学理念、课程内容、教学要求、教学模式的知识载体,又是指导学生获取知识的方法和渠道。本书为适应大学本科非物理类专业对物理教学的基本要求,针对地方高校学生层次与认知规律,按集成“知识-能力-素质”于一体的指导思想,在多年教学改革实践及前两版的基础上,着眼于学生智慧和能力培养进行修订。同时,为激发学生自主学习,引导思考,适度改变了前两版的撰写风格,在中学物理基础上、在有利学生阅读的同时,营造一种探索与创新氛围。

为了加强大学物理的基础地位,走出“一遇教学改革,物理教育就成为被削弱的对象”的怪圈,本书将大学物理分为“经典物理基础”与“近代物理基础”两卷,两卷自成体系,又相呼应,分两学期开设。按因材施教的个性化教育原则,本书有少部分内容适度超出教学基本要求,有少部分内容适度超出课堂教学所需,有少部分内容适度超出多数学生的接受能力。

本科专业教育教学计划是由相互作用、相互依赖的若干部分(要素)结合而成的、具有特定功能的系统。服务于人材培养的大学物理课程是构成专业教育教学计划的一个“要素”,本书一方面注意了传承大学物理知识结构的纵向关系,另一方面又考虑了大学物理与本科专业教育教学计划中相关课程交叉、渗透的横向关系。按系统论观点,本书部分调整了传统大学物理知识结构单元,突出作为自然科学基本规律、能长时期发挥作用的基础性内容;突出通过渗透、融合可伸向理工类院校非物理类专业或工程技术学科与课程的基础性内容。

例如,在“路论”与“场论”的关系中,“路论”是电类课程的核心,即“以电路分析为基础、以电路设计为主导、以电路应用为背景”。“场论”作为能量流、物质流及信息流的物理基础,本书彰显“场论”。第一卷在介绍质点-质点系-连续体力学后,以流速场承前启后、以真空电磁场为主、以电流场、能流场、标量场、引力场等为辅,开出场物理学,强调在不同物理问题中,场可以是一种方法、可以是一个函数、可以是一种物质。

教学内容现代化一直是大学物理课程教学内容改革的一个热点。以目前我国21个工科大类、69个专业为例,485门主要课程中,101门(含同名相近课程)或多或少涉及物理学原理与方法的延伸、拓展、“物化”与应用,其中依托近代物理基本原理的教学内容在不断增加,但专门介绍近代物理基本原理的课程不多,本书第二卷在大学物理层面上选编相对论、量子、激光、固体、原子核等基

础内容,意在加强近代物理向“材料、能源、信息”相关专业与课程的渗透。

为了帮助学生更好地掌握大学物理的基本内容,理论联系实际,加强能力培养,增强个性化学习,调动学习主动性,反复加强练习,本次修订中在部分章节“学习本章要求掌握”的栏目中,适当增加了方法论的要求;并将大部分例题与全部习题从两卷中剥离,单独编写《大学物理解题思路、方法与技巧》一书,作为教材一并提供学生使用,力求做到物理概念、原理与例题、习题的内在联系与衔接,以及教学内容与学生实际有机结合,浑然一体。

按128学时的教学时数,建议第一卷安排72学时,第二卷安排56学时,具体可根据学校情况而定。

清华大学张三慧教授审阅了第一卷(第1版),并认真修改,同时对全书的取材与布局提出了宝贵意见。中国科学技术大学张永德教授与太原理工大学冷叔棣教授分别审阅了第二卷(第1版)的第五、第六部分,提出了宝贵意见,使我们受益匪浅,在此对三位老先生一并表示衷心感谢。

本书由王建邦担任主编。参加本卷第3版修订工作的有:张旭峰(第五部分)、黄启宇(第六部分)、王建邦(第七部分)、杨军(第八部分)、刘兴来(第九部分)。

编者
2010.3

目 录

第4版前言

第3版前言

第五部分 相对论基础 1

第十八章 狭义相对论 2

第一节 伽利略相对性原理 伽利略变换 2

一、伽利略相对性原理 3

二、伽利略变换 4

三、经典力学的绝对时空观（伽利略-牛顿时空观） 7

第二节 狭义相对论的基本原理 8

一、电磁学向伽利略-牛顿相对性原理提出的挑战 8

二、狭义相对论基本原理的内容 15

第三节 洛伦兹变换 17

一、洛伦兹变换的内容 17

二、洛伦兹坐标变换的推导 19

三、相对论速度变换公式 22

第四节 狭义相对论的时空观 24

一、同时的相对性 24

二、时间延缓效应 26

三、长度的相对性 29

第五节 相对论的质量、动量和能量 32

一、相对论质量 32

二、相对论动力学方程 36

三、相对论动能 38

四、相对论质量和能量 41

录

的关系 40

五、动量与能量的关系 42

第六节 物理学思想与方法

简述 43

一、时间的测量 43

二、时间的本质 44

三、经典时空观的困难 44

四、狭义相对论中的时间 44

*第十九章 广义相对论简介 45

第一节 惯性质量与引力

质量 46

第二节 广义相对论的基本

假设 48

一、爱因斯坦升降机的理想

实验 48

二、直线加速参考系中的

惯性力 49

三、等效原理 50

四、局域惯性系 51

五、广义相对性原理 53

第三节 广义相对论的检验 53

一、行星近日点的进动 53

二、光线在引力场中偏折 54

三、雷达回波延迟 55

第四节 有引力场的空间与

时间 55

第五节 物理学思想与方法

简述 56

一、牛顿引力理论 56

二、爱因斯坦引力理论 57

第六部分 量子物理 58

第二十章 光(辐射)的波粒

二象性 60

第一节 热辐射 普朗克的量子

假设 60

一、热辐射的基本概念 61

二、基尔霍夫辐射定律 64

三、绝对黑体 64

四、绝对黑体的热辐射实验

定律 66

五、经典理论的困难和普朗克的

能量子假设 68

第二节 光电效应 70

一、光电效应的实验规律 71

二、光电效应与光的波动学的

剧烈冲突 73

三、爱因斯坦光量子论及其对光

电效应的解释 75

* 四、多光子光电效应 77

* 五、内光电效应 78

第三节 康普顿效应 78

一、实验规律 79

二、X射线实验结果的解释 80

三、简短的历史回顾 83

第四节 光的波粒二象性 84

一、爱因斯坦光量子关系式 84

二、单光子双缝干涉实验

分析 85

三、光子的不确定性关系 87

第五节 物理学思想与方法

简述 89

一、光的本性的历史争论 89

二、对光的波粒二象性的认识 90

第二十一章 电子的波粒二

象性 91

第一节 德布罗意假设 91

* 第二节 德布罗意波的

实验证明 93

一、戴维孙-革末电子衍射

实验 94

二、电子显微镜 97

第三节 不确定性关系 98

一、电子单缝衍射实验 98

二、不确定性关系的讨论 99

第四节 波函数及其统计

诠释 101

一、德布罗意平面波波函数 102

二、波函数的统计诠释 103

三、统计诠释对波函数提出

的要求 109

第五节 物理学思想与方法

简述 110

量子物理体系的建立 110

第二十二章 薛定谔方程 111

第一节 自由粒子的薛定谔

方程 111

一、方程的形式 112

二、方程的讨论 112

第二节 力场中粒子的薛定谔

方程 114

一、方程的形式 114

* 二、算符与方程 116

第三节 定态薛定谔方程 117

一、分离变量法 117

二、定态的基本特征 119

第四节 一维无限深势阱中

的粒子 120

一、一维无限深势阱模型 120

二、薛定谔方程及其解 121

三、结果讨论——解的物理

意义 123

* 第五节 势垒与隧道效应 126

一、薛定谔方程 127

二、方程解的讨论	128	第三节 光的吸收与辐射	166
三、隧道效应的应用	130	一、自发辐射	167
第六节 物理学思想与方法		二、受激吸收	167
简述	131	三、受激辐射	168
经验归纳与探索演绎	131	第四节 爱因斯坦辐射	
第二十三章 氢原子中的电子	133	理论	169
第一节 氢原子的玻尔模型	133	一、自发辐射系数 A	169
一、提出玻尔模型的历史背景	133	二、受激吸收系数 B_{12}	171
二、玻尔氢原子结构模型要点	136	三、受激辐射系数 B_{21}	171
第二节 用薛定谔方程解氢		四、爱因斯坦系数 A_{21} , B_{12} 和 B_{21}	172
原子问题	139	之间的关系	172
一、玻尔模型的缺陷	139	第五节 产生激光的基本物理	
二、氢原子的薛定谔方程	140	条件	175
第三节 量子数的物理解释	147	一、两对基本矛盾	175
一、主量子数和能量量子化	147	二、解决矛盾的方法	176
二、角量子数和角动量量子化	148	第六节 激光器的工作原理	178
三、磁量子数和角动量空间		一、工作物质粒子数反转	
量子化	150	的实现	179
第四节 氢原子的波函数与		二、谐振腔的振荡阈值条件	180
概率密度	151	三、谐振腔的选频	182
一、低量子数的氢原子波		第七节 氦氖激光器	183
函数	151	一、氦氖激光器的结构图	183
二、电子概率径向分布函数	153	二、氦氖激光器的工作原理	184
三、电子概率角度分布函数	155	第八节 物理学思想与方法	
第五节 物理学思想与方法		简述	186
简述	157	一、学科交叉与综合	186
半经典半量子方法	157	二、激光产生与发展的启示	187
第七部分 激光	159	第八部分 固体物理基础	188
第二十四章 激光原理	160	第二十五章 晶体结构与结	
第一节 激光概述	160	合力	189
一、激光的诞生	160	第一节 晶体结构及其描述	190
二、激光器的分类	162	一、晶体的性质	190
第二节 原子的能级、分布和		二、晶体结构的实验研究	194
跃迁	163	三、空间点阵	197
一、原子在能级上的分布	163	第二节 布喇菲格子	201
二、原子能级跃迁	164	一、7个晶系	201

二、14 种布喇菲胞(空间格子)	202
第三节 晶体的结合力	203
一、影响晶体结合力的若干因素	203
二、晶体中粒子的结合力	207
第四节 晶体的结合能	210
一、定义	210
二、经验原子对势	211
第五节 离子晶体的结合能	214
一、离子晶体的点阵结构	214
二、离子晶体的结合能	214
三、离子晶体内势能的计算	215
第六节 物理学思想与方法	218
一、价键理论的阶段性发展	218
二、对称性方法	219
第二十六章 晶格振动	220
第一节 晶体的热学性质	220
一、晶体的摩尔热容	221
二、固体的热传导	223
三、热膨胀	223
第二节 一维晶格振动	225
一、一维无限长弹簧振子链模型	225
二、原子振动的运动学描述	225
三、原子振动的动力学描述	226
四、耦合振动方程的解	227
第三节 格波	231
一、格波的物理意义	231
二、 k 的取值范围	231
三、玻恩-冯·卡门边界条件	232
四、格波与原子振动	233
第四节 物理学思想与方法	234
一、数学方法	234
二、研究晶格振动的近似假设	234

第二十七章 物质的电磁性质	236
第一节 电介质及其极化	236
一、分子(原子)的电结构	237
二、电介质极化的微观机理	238
三、极化面电荷	240
四、电极化强度	241
第二节 电介质的特殊效应	245
一、压电效应	246
二、铁电体	249
第三节 磁介质及其磁化	251
一、物质磁性的起源	251
二、磁介质磁化的微观机理	254
三、磁化面电流	258
四、磁化强度矢量	258
五、磁场强度矢量	261
六、磁介质的磁化规律	264
第四节 磁性材料	266
一、磁性材料的分类	266
二、铁磁性材料的磁化规律	267
三、铁磁性材料的磁化机理	270
第五节 物理学思想与方法	271
探索宏观性能的微观机理的方法	271
第二十八章 能带论基础	273
第一节 固体能带的形成	274
一、固体中的离子实与价电子	274
二、电子能带的形成	275
第二节 固体中电子的波函数	276
一、近似处理方法	277
二、晶体中电子的波函数——布洛赫函数	278
第三节 固体的能带结构	281
一、满带、导带和空带	281
二、导体、绝缘体及半导体的	

能带	286	一、原子核的电荷和电荷数	320
* 第四节 固体能带理论基础	288	二、原子核的质量和核子数	321
一、克朗尼格-朋奈模型	289	三、原子核形状、大小与密度	328
二、求解周期场中定态薛定谔方程的基本思路	289	四、核力的基本性质	330
三、数学处理与结果讨论	290	第二节 原子核的结合能	331
第五节 物理学思想与方法		一、质量亏损	331
简述	299	二、核结合能	333
能带论的建立与研究方法	299	三、比结合能	334
第二十九章 半导体	301	第三节 原子核的衰变与放射性	336
第一节 本征半导体	301	一、 α 衰变	337
一、元素半导体	302	二、 β 衰变	339
二、化合物半导体	305	三、 γ 衰变	343
第二节 掺杂半导体	306	第四节 放射性衰变的一般规律	344
一、施主型杂质与 N 型半导体	306	一、指数衰变规律	344
二、受主型杂质与 P 型半导体	308	二、放射性衰变中的几个重要物理量	346
第三节 杂质能级的计算	310	第五节 原子核反应	350
一、类氢模型	310	一、实验	351
二、类氢施主杂质能级的计算	310	二、核反应的一般表示式	351
* 三、晶体中电子有效质量的物理意义	311	三、核反应的类型	352
第四节 PN 结	313	四、核反应过程的守恒定律	353
一、PN 结的空间电荷区	314	第六节 重核的裂变及应用	354
二、内建电场 (自建电场)	314	一、获取原子能的物理基础	354
三、接触势垒	315	二、原子核裂变	356
四、PN 结的整流效应	316	三、链式反应和反应堆	359
第五节 物理学思想与方法		第七节 轻核聚变	361
简述	318	一、基本的聚变反应过程	362
半导体结构、性能与应用研究	318	二、受控热核反应	363
第九部分 原子核物理	319	第八节 物理学思想与方法	
第三十章 原子核	320	简述	364
第一节 原子核的基本特征及其组成	320	原子核的可分与不可分	364
		附录 电子的自旋	366
		物理名词索引 (中英文对照)	368
		参考文献	379

第五部分

相对论基础

本书把大学物理分为经典物理基础和近代物理基础两卷。

经典物理学是何时诞生的呢？爱因斯坦曾认为：“伽利略的发现以及他所应用的科学推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，标志着物理学的开端。”杨振宁则选择了牛顿发表他的《自然哲学的数学原理》的1687年。诗人蒲柏在西敏斯特大教堂著名的“拟牛顿墓志铭”中写道：

大自然及其法则深藏在黑夜里。

上帝说：“派牛顿去吧！”

于是，一切就都在光明之中。

实际上，20世纪之前的200余年间，物理学在两大领域都取得了巨大成功：一是由牛顿建立的经典力学（1687年），包括热力学与经典统计力学；二是由麦克斯韦建立的经典电磁学（1864年），包括光学。它们能够解释宏观的力学和电磁学现象，并在历史上分别诱发了18世纪以蒸汽机、内燃机的应用为中心的“工业革命”，19世纪以电和电磁波应用为中心的“电气革命”。

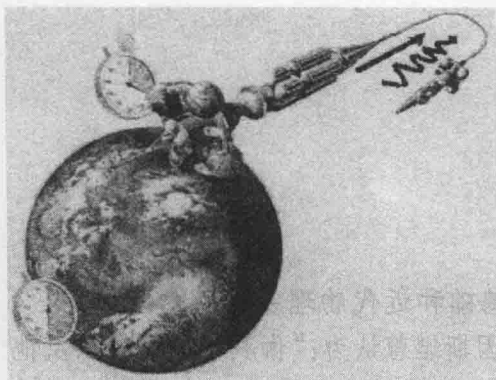
20世纪初，物理学也发生了两次革命，深刻地改变了人们对物理世界的理解。爱因斯坦创建的相对论以及始于普朗克的能量子假设的量子力学，已成为近代物理学的两大支柱。当物体在高速运动时，其中牛顿力学的成功（如蒲柏诗句），用英国诗人斯夸尔爵士的诗来说：

但这并不久长。

魔鬼大喝一声：“派爱因斯坦去！”

于是，一切恢复原样。

第十八章 狭义相对论



动钟走慢了

本章核心内容

1. 光速最大吗？真空中光速不变吗？
2. 在 S 系、 S' 系分别测时间、空间间隔 $\Delta t = \Delta t'$ 、 $\Delta x = \Delta x'$ 。
3. 质量与参考系的关系。

狭义相对论(区分于第十九章广义相对论,本章常简称相对论)是爱因斯坦于1905年创建的,是20世纪重大物理学成果之一。这个理论涉及力学、热学、电磁学、原子和原子核物理学以及粒子物理学等乃至整个物理学领域。在狭义相对论中,爱因斯坦以“相对性原理”和“光速不变原理”为基础,提出了新的时空观和物质观,并从这两个原理出发,进一步派生出其他原理。初学者常常感到有些难懂却又饶有兴趣,原因是它不合常理,它的结论似乎违背常识。因为,作为人们直觉基础的日常经验,仅局限于对低速运动和通常大小物体的观察,其运动速率比光速小得多。如地球卫星的轨道速率不到 $10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 就比光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 小得多。对于物体接近于光速的运动,人们并没有任何经验。因此,面对狭义相对论,经验将接受挑战。建议学习本章时,做好这样的思想准备:始终抓住狭义相对论的两个基本原理,无论把你引向何方,也不要有任何怀疑。

第一节 伽利略相对性原理 伽利略变换

在本书第一卷第一章中已指出,从运动的描述意义上讲,一切运动都是相对的,或者确切地说,对运动的描述是相对的。例如,不久的将来,我国登上月球的宇航员会看到,地球是运动的;而地球上的人类看到月球在运动。雨天,你会

在窗前看到窗外雨丝如帘，并在你的面前垂下，而你在雨中行驶的汽车中又会发现雨丝的帘幕似乎迎风飘起，真所谓“横看成岭侧成峰，远近高低各不同”。所以，人们看到的现象，或者对物体运动的描述，往往因观测者的位置而异；考察或描述任何一个物体的运动，都是相对于观察者所选择的特定参考系而言的。

一、伽利略相对性原理

基于以上分析，为了描述物体的机械运动，首先要做的是选择适当的参考系。之后，将相对于选定参考系的运动，都放在坐标系中描述。经验指出，对于实验观测，总希望选择一个最容易取得数据和进行分析的坐标系。那么，不同观测者选择不同参考系，对同一物体运动的观测结果有什么关系呢？会不会有人只承认自己看到的是真的，根本否认还有其他可能性呢？会不会“公说公有理、婆说婆有理”，没有是非标准呢？例如，人造地球卫星的运动，若以地球为参考系，运动轨道是圆或椭圆；若以太阳为参考系，运动轨道却是以地球公转轨道为轴线的螺旋线。这里是不是有一个必须明确的道理：物理规律(定律)应当是描述自然界中与观测者无关的客观存在。例如，早在1632年，伽利略在匀速运动的封闭船舱里仔细地观察了力学现象，他发现，在船舱中察觉不到物体的运动规律和地面上有任何的不同。

需要强调的是，伽利略做实验的船舱是作匀速直线运动的船舱，是惯性参考系。在低速运动时，在这样的参考系中，牛顿运动定律是适用的。对伽利略当时所观察到的船舱中的力学现象，可归纳为如下两种表述：

- 1) 在一个惯性系中做任何力学实验，都不能确定该惯性系是处于静止还是在作匀速直线运动。
- 2) 一切彼此作匀速直线运动的惯性系，用于描述机械运动的力学规律时是完全等价的。

注意：在2)中所说的“等价”，不是说不同惯性系观测到的力学现象相同，而是指力学现象服从的力学规律相同。因此，区分力学现象的描述和力学规律本身是十分必要的。

对以上两点，简而言之，对于所有的惯性系，经典力学定律(牛顿定律、运动定理、守恒定律等)的数学表达形式都相同。

相对性原理很重要，因为该原理是自伽利略、牛顿和爱因斯坦以来的许多物理学家，长期探索、反复思考、仔细实践所得到的一个基本结论，是物理学家用于探索自然、构造物理量、建立新理论的依据和基本出发点之一，作为“管定律的定律”，已成为人类认识自然界的一种信念。因为，它能使人们超越从不同角度(即参考系)认识问题的局限性，注意寻求不同参考系对同一观测量得到不同结果之间的变换关系，以及在不同参考系之间变换过程中保持不变的物理量。从

这个角度讲,后者是相对性原理的本质。

伽利略相对性原理连同下述的伽利略变换常被称为伽利略-牛顿相对论。

二、伽利略变换

一个参考系在数学上可以抽象成一种坐标系。在质点运动学的范畴内,描述质点运动状态的任务就是如何在参考系中描述质点的空间位置(矢量)和速度(矢量)。既然按相对性原理,力学规律在所有惯性系中是不变的,而运动的描述却是相对的,两者是如何统一起来的呢?伽利略变换就是这样一种数学工具,利用它,既可描述不同惯性系中位矢、速度的不同,又可描述不同惯性系之间力学规律的等价。其具体的数学表述包括以下三个要点:

1. 时空坐标变换

如图 18-1 所示。在相对地面做匀速直线运动的车厢中,一乘客向着车头方向掷小球。此时,地面上乘客的朋友看着火车在他面前开过。假定他俩都测量小球的速度,依据相对性原理,他们观测的结果是不相同的。为了定量讨论这一差别,必然涉及两参考系间的坐标变换,采用图 18-2 的坐标系,设图中两个笛卡儿坐标系 $S(Oxyz)$ 和 $S'(O'x'y'z')$ 的水平坐标轴相互平行,且 S' 系相对 S 系以速度 u 沿 Ox 轴的正方向运动。图中,以 r 表示在 S 系中某时刻从 O 点观测到的某质点 P 的位置矢量, r' 表示质点相对于 S' 系 O' 点的位置矢量。在相对论中,把在某一时刻处于某一位置发生的事情泛指为一事件,并用三个空间坐标加一个时间坐标加以描述。在测量长度和时间时,假设测量用尺和测量用钟,均已在同一惯性系中校准了。由于时间、空间的均匀性(详见第三节),参考系的原点和时间的起点都可任意选择。为了简单而又不失普遍性,通常的方法是选择坐标原点 O 与 O' 重合时作为计时起点,并用 t 和 t' 分别表示自 S 系和 S' 系观测同一事件发生的时间坐标,即起始时刻 $t = t' = 0$ 。由于同一事件在不同参考系中有各自的时空坐标 (x, y, z, t) 和 (x', y', z', t') , 所以两时空坐标之间的关系就是伽利略变换的核心内容。

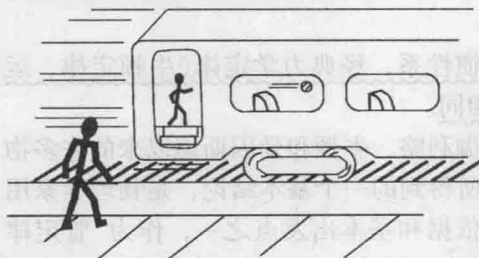


图 18-1

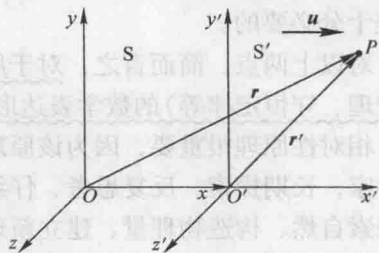


图 18-2

在经典力学的时空坐标变换中,人们用统一的不变的尺子来测量空间距离。因此,在时刻 t , 图 18-2 中点 P 在两个惯性系中的空间位置坐标有如下关系

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - ut \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned} \right\} \quad (18-1)$$

此外,人们认为时间的量度是绝对的,与参考系的选择无关,即 $t' = t$ 。这样,点 P 的时空坐标按下式变换,如果由 S 系变换到 S' 系时,有

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - ut \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \right\} \quad (18-2)$$

或由 S' 系变换到 S 系时,有

$$\left. \begin{aligned} x &= x' + ut \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned} \right\} \quad (18-3)$$

式(18-2)与式(18-3)就称为伽利略(时空)变换。

2. 速度变换(速度加法定理)

运动学的另一个基本问题是速度的变换。有了式(18-2),按速度定义式,图 18-2 中,运动质点(P)在 S' 系中的三个速度分量值为

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'}, \quad v'_y = \frac{dy'}{dt'}, \quad v'_z = \frac{dz'}{dt'} \quad (18-4)$$

在 S 系中相应的速度分量值为

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (18-5)$$

将式(18-3)[或式(18-2)]对时间求导,得速度分量值的变换关系

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v'_x + u \\ v_y &= v'_y \\ v_z &= v'_z \end{aligned} \right\} \quad (18-6)$$

式(18-6)也可以写成矢量形式

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{u} \quad \text{或} \quad \mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{u} \quad (18-7)$$

式(18-6)与式(18-7)表示,在不同惯性系中质点的速度不同,这就是运动描述的相对性。