



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理教程

(第四版)

主编 贾瑞皋 刘 冰

上册



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理教程

(第四版)

(上册)

主 编 贾瑞皋 刘 冰

副主编 展凯云 袁顺东 徐志杰
张立红 田翠锋 王 萍



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是参照教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会新制定的《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》(正式报告稿)修订的;确保了新教学基本要求中的全部核心内容(A类内容),选择了相当数量的扩展内容(B类内容)和关于高新技术及学科前沿发展的内容。本次修订在保持第三版特点的基础上,突出科学理论的逻辑体系;注重培养学生科学的思维方法,注重学生掌握课程内容的结构体系,注重培养学生分析问题、解决问题的能力。本书按节安排习题,便于学生自学。本书解决了一些大学物理教材中以前没有解决和没有解决好的问题。

本书分上、下两册,上册包括力学、振动和波动 波动光学、热物理学,下册包括电磁学和量子物理。本书可作为理工科非物理类专业大学物理课程的教材或参考书,也可用作其他相关专业的教材,还可作为成人教育或远程教育师生及中学教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程.上册/贾瑞皋,刘冰主编.—4版.—北京:科学出版社,2017.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-053766-9

I. ①大… II. ①贾…②刘… 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(2017)第 138733 号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:白 洋 / 封面设计:华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1994 年 1 月石油大学出版社第一版

1998 年 12 月石油大学出版社第二版

2009 年 1 月第 三 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 6 月第 四 版 印张:27 1/2

2017 年 6 月第十次印刷 字数:652 000

POD 定价: 99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第四版前言

大学物理课程教学应该达到以下四个层面的要求:

- (1) 使学生掌握物理知识,打好物理基础,培养建立科学的世界观.
- (2) 使学生理解理论的结构体系,各知识点的来龙去脉,以及各部分理论之间的联系和地位.
- (3) 引导学生了解理论的科学逻辑体系,建立理论的方法和步骤,理解理论的功能和验证.

不同科学理论的研究对象和研究内容不同,但是科学理论的逻辑体系是相同的,即根据研究系统(对象)的特点和研究内容,定义描述系统特征的基本概念(状态量等);提出几条基本假设;在基本假设的基础上,应用推理和演绎的方法,推导系统运动状态变化时,状态量的变化遵守的规律(重要定理).基本概念、基本假设、基本定理构成科学理论的基本框架.理论和实践的一致是理论正确性的证明.理论对已有经验规律的解释功能和对未知事实的预言功能体现理论的真理性.了解科学理论的逻辑体系,不仅使学习变得更轻松,掌握理论更扎实,理解理论更准确,使学习过程事半功倍,而且掌握科学理论的逻辑体系也是优秀科学技术人员基本的素质.

- (4) 培养学生的科学素质,激发学生的创新意识和学习创新思路,应用创新实例,演示创新方法,使学生敢于创新,学会创新,善于创新.

第四版更明确地贯彻上述教学理念,每章都以“本章的结构体系”为开篇.这对于学生掌握本章知识和理论体系起到事半功倍的作用,有利于学生体会理论建立的方法思路.用对教学内容的创新和改革实例,展示创新思路和创新方法,有利于学生创新能力的培养.

第四版除在教学理念上的改变外,内容上的主要改革介绍如下.

经典动力学部分进行重大修改,主要表现在:

- 1) 突出经典动力学的理论结构体系

从基本概念、基本假设、基本定理、理论的应用出发讲授经典动力学理论.

- 2) 内容体系

经典动力学的内容体系为:质点动力学——经典动力学理论的基础;质点系动力学——质点动力学的扩展;刚体动力学和刚体组动力学——质点系动力学在两个特殊的质点系中的应用.本书圆满解决了“作圆周运动的质点角动量定义的唯一性”问题,使得这样的内容体系非常自然和谐.

- 3) 解题的思路

理论是解决“系统运动状态变化时,状态量变化遵守的规律”的,因此,选定描述系统运动状态的状态量,列出状态量变化遵守规律的方程式,求解相应方程式,从而使问题得解.

例如,质点动力学问题的求解.描述质点运动状态的状态量可以有:①运动学状态量,

②动量,③动能,④角动量.这些状态量的变化遵守的规律分别是:①牛顿运动定律,②动量定理,③动能定理,④角动量定理.因此,原则上讲,质点动力学的习题有且仅有4种解题思路,即

- (1) 用运动学状态量描述质点的运动状态,应用牛顿运动定律求解.
- (2) 用动量描述质点的运动状态,应用动量定理求解.
- (3) 用动能描述质点的运动状态,应用动能定理求解.
- (4) 用角动量描述质点的运动状态,应用角动量定理求解.

质点系动力学、刚体动力学、刚体组动力学的习题可以用同样的思路寻找解题方法.要提高解题能力,需要准确理解基本概念,扎实掌握基本理论.这样,做习题和掌握理论就能很好地相互促进,达到事半功倍的效果,求解习题也就变得简单.

4) 按节安排习题

第四版在每节后安排习题,这方便教师布置习题,也方便学生自学,节省时间,增强学生做习题的积极性.

5) 解决了一些其他教材没有解决和没有解决好的问题

- (1) 把定轴转动刚体的角动量与质点系的角动量统一起来.

几乎所有大学物理教材都写了定轴转动刚体是一个特殊的质点系,但是,定轴转动刚体角动量的定义又与质点系的角动量无关,又定义了“刚体对转轴的角动量”.实际上,定义对转轴的角动量既不合理,也没必要.这个问题的原因是没能搞清楚“圆周运动质点角动量定义的唯一性”.本书圆满解决了这个问题.

- (2) 推导出了静电平衡过程的特征时间.

大学物理教材在讲述静电平衡时,大多说明只研究静电平衡后的电场和电荷分布,不涉及达到静电平衡前、由不平衡到平衡的过程的弛豫时间.本书推导出,在上述过程中,导体中电荷密度随时间变化的关系 $\rho = \rho_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$, 由此得到的特征时间 $\tau = \frac{\gamma}{\epsilon}$, 这一结论与其他理论结果是协调的.由此可以说明在高频情况下,导体和电介质并没有严格的界限,金属对于 X 射线也是透明的, X 射线可以作为金属探伤的手段.

(3) 给出位移电流密度中 $\partial \mathbf{P} / \partial t$ 的意义,其本质是极化电荷的运动产生的极化电流密度.

- (4) 提出电势参考点的选取原则和最佳参考点的选取方法.

关于静电场电势参考点的选取问题以前曾在《大学物理》杂志上进行了长期广泛的讨论,众说纷纭,莫衷一是.本书提出电势参考点的选取原则并论述了最佳参考点的选取方法.

- (5) 阐述应用对称性原理求解静电场和恒定磁场的方法.

在所有大学物理教材中都有应用对称性分析和高斯定理、安培环路定理求解电场、磁场的内容,但这些对称性分析实际上分别应用了库仑定律或毕-萨定律与叠加原理的结论,没有应用对称性原理.本书给出应用对称性原理和高斯定理、安培环路定理求解电场、磁场的方法.可明确看出,对称性原理把问题解决到什么程度,高斯定理和安培环路定理分别解决了哪些问题,使学生对对称性原理有更深刻的理解.

(6) 没必要定义“磁通量的方向”.

很多大学物理教材在讲述法拉第电磁感应定律和楞次定律时,引入“磁通量的方向”.通量是标量,没必要定义“通量的方向”.矢量穿过曲面有两种不同的方式,规定了面积的法线后,就可以区别“正面”和“反面”.通量大于零,表示矢量由反面穿进,从正面穿出.通量小于零,表示矢量由正面穿进,从反面穿出,没有必要定义通量的方向.

(7) “规律”和“定律”是不同的概念.

规律是事物运动过程中固有的、本质的、必然的、稳定的联系.规律是客观的.定律是规律的表示,是主观的、人为的.发现规律是创造,正确、准确地表示规律也是创造.本书通过碰撞系数的“选取”、熵增加原理、法拉第电磁感应定律公式等具体知识点阐述寻找规律表示的思路、原则、方法,培养学生分析问题、解决问题的能力.

除上述问题外还有其他问题,例如,潮汐现象中引潮力的分析方法,变化磁场的高斯定理等,也都提出了作者新的观点.

《大学物理教程(第四版)》由中国石油大学(华东)贾瑞皋教授、刘冰副教授担任主编,负责制定本书修改的指导思想,以及全书的统稿、定稿等工作.各章具体分工如下:贾瑞皋编写第1~4章,徐志杰编写第5章,展凯云编写第6章,袁顺东编写第10章,张立红编写第11章,刘冰编写第12~17章,董梅峰编写第19章;山西大同大学的王萍编写第7和第18章,山西大同大学的田翠锋编写第8章和第9章,山西大同大学的孙祝编写第20章和第21章.贾瑞皋编写和选配了第1~4章和第17~21章各节习题,董梅峰编写和选配了第5~16章各节习题.

在本书修订过程中参考了大量兄弟院校的教材,以及其他书籍和文献,也参考了互联网上的内容,在此对相关作者致以深深的感谢.在此还要感谢在前三版的编写中付出艰辛劳动的同事.

由于编者学识有限,书中疏漏和不当之处在所难免,恳请读者和同行专家给予批评指正.

贾瑞皋

2016年12月

第三版前言

《大学物理教程(第三版)》是在第二版的基础上,参照《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》(正式报告稿)修订的.本书确保了新教学基本要求中的全部核心内容(A类内容),选择了相当数量的扩展内容(B类内容)和关于高新技术及学科前沿发展的内容.

《大学物理教程(第三版)》的突出特点是:

1. 建立了大学物理力学部分的新体系

动力学按质点动力学、质点系动力学、特殊质点系——定轴转动刚体的体系编写.每章从定义描述系统运动状态的力学量着手,根据牛顿运动定律,研究系统运动状态变化时状态量的变化遵守的规律,并且这种指导思想贯穿于全书.实际上,根据所研究系统的特点和研究目的,恰当地定义描述系统状态的物理量——状态量,研究系统状态变化时状态量的变化遵守的规律,这正是物理学的主要研究任务和主要目的.以这样的体系编写大学物理教材,有利于培养学生的科学思维和科学方法.这种体系既有利于学生掌握理论知识,又有利于学生掌握理论体系,还能使学生体会建立理论体系的基本方法和思路.这种体系,逻辑上严谨、简洁,方法上简单、明了,学生学起来容易,便于自学.

2. 综合素质培养与教学内容相结合

新“教学基本要求”明确指出:“在大学物理课程的各个教学环节中都应在传授知识的同时,注重学生分析问题和解决问题能力的培养,注重学生探索精神和创新意识的培养,努力实现学生知识、能力、素质的协调发展.”本书在综合素质培养与教学内容相结合方面作了很大努力,取得一些成果.现举几例.通过角动量参考点的选取原则分析定义状态量的原则.通过牛顿碰撞定律中恢复系数的定义分析其他一类现象的归纳、综合、统一的原则、思想和方法.通过法拉第电磁感应定律公式中负号存在的相对性和必要性分析,阐述自然规律的表示方法的建立和不同方法的选用原则.通过玻尔兹曼熵公式阐述寻找自然规律的数学表示的原则、思路和方法.通过库仑定律阐述测量的本质.通过与实际结合的例题培养应用知识解决实际问题的能力.上述实例既是基本教学内容,其本身又是一种创新,用创新实例可以更有效地激发学生的创新意识,培养学生的创新思路和创新能力.

结合具体教学内容,适当介绍原有理论的局限性,甚至是危机,介绍科学家是怎样分析、提炼、形成科学问题和提出科学问题,进一步创造理论的.分析假设的必要性、合理性及其物理意义.培养学生分析问题、提出问题、解决问题的能力.注重理论联系实际,介绍历史上物理学原理的初创式开发应用,产生当时的高新技术的事例,培养学生的应用创新意识和能力.

3. 解决了一些以前没有解决和没有解决好的问题

(1) 把定轴转动刚体的角动量与质点系的角动量统一起来.定轴转动刚体是质点系,

可以类似地、像定义刚体的转动动能那样,定义其角动量.它是特殊的质点系,特殊在动量概念不适用,其角动量的参考点只能选在转轴上,且只能用质点系角动量的一个分量作为其角动量.

(2) 推导出了静电平衡过程的特征时间.本书推导出了由不平衡到平衡过程中,导体内电荷密度随时间变化的关系 $\rho = \rho_0 e^{-\frac{\gamma}{\epsilon} t}$,由此得到的特征时间 $\tau = \frac{\gamma}{\epsilon}$,这一结论与其他理论结果是协调的.

(3) 给出了位移电流密度中 $\partial \mathbf{P} / \partial t$ 项的意义,其本质是极化电荷的运动产生的极化电流密度.

(4) 提出了电势参考点的选取原则和最佳参考点的选取方法.

(5) 阐述了应用对称性原理分析静电场和恒定磁场分布特征的方法.由此可以明确看出,对称性原理把问题解决到什么程度,高斯定理和安培环路定理分别解决了哪些问题.可以使读者较深刻地理解对称性原理并与力学部分的“对称性和守恒定律”的内容相结合,对对称性原理有更深刻的理解.

(6) 不必要引入磁通量的方向.在讲述法拉第电磁感应定律和楞次定律时,不再引入磁通量的方向.不引入磁通量的方向能更简单地说明问题,所以引入磁通量的方向不是必要的.

除上述问题外还有其他问题,例如,潮汐现象中引潮力的分析方法,静电场、恒定磁场的能量密度的推导方法,变化磁场的高斯定理等,也都提出了作者新的观点.

4. 本书采用科技论文通常的写法,不采用第一人称的写法,有利于培养读者撰写科技论文的能力

与本书同时出版的还有《大学物理教程(第三版)电子教案》,教师可在此基础上方便地进行修改,以便形成各具特色的教案;《大学物理教程(第三版)习题解答》,以便教师参考.以后还将出版《大学物理教程(第三版)学习指导》供读者参考.

参加本书修订工作的有:李元成教授,提供了第1~4章的初稿;徐军副教授,提供了第6章的初稿;张军副教授,提供了第8、9章的初稿;范建中副教授,提供了第7章、第13章的初稿;其余部分和全书的统稿、定稿工作由贾瑞皋教授完成.王小明、郑海霞修订了部分章的习题.张立红、郑海霞、赵培河等老师为本书的出版做了大量有成效的工作.

在本书修订过程中参考了大量兄弟院校的教材、其他书籍和文献,也参考了互联网上的内容,在此对相关作者致以深深的感谢.编者还要感谢在前两版次付出艰辛劳动的同事:第一版:任兰亭(主编),贾瑞皋(副主编),李文瀛,朱广荣,李靖顺,宋吉华,严炽培,丁有瑚;第二版:任兰亭(主编),贾瑞皋(副主编),朱广荣,张欣,丁有瑚.

感谢中国石油大学(华东)和科学出版社在本书出版过程中给予的大力支持.

由于编者学识有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者和同行专家批评指正.

贾瑞皋

2008年7月

目 录

第四版前言

第三版前言

第一篇 力 学

第一章 质点运动学 4

§ 1.1 空间和时间 4

§ 1.2 质点运动的描述 6

§ 1.3 位移 速度 加速度 9

§ 1.4 变速运动 14

§ 1.5 圆周运动和平面曲线运动 18

§ 1.6 相对运动 27

本章小结 31

第二章 质点动力学 33

§ 2.1 牛顿运动定律 34

§ 2.2 动量 角动量 45

§ 2.3 动能 53

§ 2.4 非惯性系中的力学问题 62

本章小结 73

第三章 质点系动力学 75

§ 3.1 质心 76

§ 3.2 动量守恒定律 81

§ 3.3 角动量守恒定律 91

§ 3.4 机械能守恒定律 98

§ 3.5 碰撞 110

*§ 3.6 潮汐 119

*§ 3.7 对称性与守恒定律 125

本章小结 128

第四章 刚体力学基础 130

§ 4.1 刚体运动学 131

§ 4.2 定轴转动刚体动力学

..... 136

§ 4.3 定轴转动刚体组动力学 152

*§ 4.4 旋进 164

本章小结 166

第五章 狭义相对论 169

§ 5.1 狭义相对论的基本原理

洛伦兹变换 171

§ 5.2 狭义相对论的时空观 177

§ 5.3 狭义相对论动力学 184

§ 5.4 相对论能量 187

本章小结 191

第二篇 振动和波动 波动光学

第六章 振动和波动 194

§ 6.1 简谐振动 195

§ 6.2 阻尼振动和受迫振动 共振

..... 207

§ 6.3 简谐振动的合成 211

*§ 6.4 频谱分析 221

§ 6.5 机械波的产生和传播 223

§ 6.6 平面简谐波的波函数 227

§ 6.7 波的干涉 驻波 240

§ 6.8 多普勒效应 251

*§ 6.9 波包和非线性波 255

本章小结 258

第七章 光的干涉 261

§ 7.1 光的单色性和相干性、光程

..... 262

§ 7.2 杨氏双缝干涉·····	268	§ 10.1 气体动理论的基本概念 ·····	344
§ 7.3 薄膜干涉·····	274	§ 10.2 理想气体的压强公式与 温度公式 ·····	347
§ 7.4 迈克耳孙干涉仪 激光干涉仪 ·····	286	§ 10.3 能量按自由度均分定理 与理想气体的内能 ·····	353
本章小结 ·····	289	§ 10.4 麦克斯韦分布律 ·····	357
第八章 光的衍射 ·····	291	§ 10.5 玻尔兹曼分布律 ·····	362
§ 8.1 惠更斯-菲涅耳原理 ·····	291	§ 10.6 气体分子的平均碰撞频率 和平均自由程 ·····	364
§ 8.2 单缝的夫琅禾费衍射·····	293	§ 10.7 气体的输运现象 ·····	368
§ 8.3 圆孔衍射 分辨本领·····	301	本章小结 ·····	370
§ 8.4 衍射光栅·····	306	第十一章 热力学基础 ·····	372
§ 8.5 X射线衍射·····	316	§ 11.1 热力学第零定律和第一定律 ·····	372
本章小结 ·····	321	§ 11.2 理想气体的等值过程与摩尔 热容 ·····	377
第九章 光的偏振 ·····	322	§ 11.3 绝热过程与多方过程 ···	385
§ 9.1 光的偏振态·····	322	§ 11.4 循环过程 卡诺循环 ···	391
§ 9.2 起偏和检偏 马吕斯定律 ·····	324	§ 11.5 热力学第二定律 ·····	400
§ 9.3 反射光和折射光的偏振 ···	327	§ 11.6 熵增加原理 ·····	405
§ 9.4 双折射现象·····	330	*§ 11.7 热力学第三定律 ·····	412
§ 9.5 椭圆偏振光和圆偏振光 波片 ·····	334	*§ 11.8 信息与信息熵 ·····	414
*§ 9.6 偏振光的干涉 人工双折射 ·····	336	本章小结 ·····	420
§ 9.7 旋光现象·····	339	习题答案 ·····	422
本章小结 ·····	340		

第三篇 热物理学

第十章 气体动理论 ·····	344
------------------------	-----

第一篇 力学

力学的研究对象

力学(mechanics)的研究对象是机械运动. 机械运动是宏观物体之间, 或物体内部各部分之间相对位置随时间的变化. 经典力学研究的是在弱引力场中宏观物体的低速运动. 通常把经典力学分为运动学(kinematics)、动力学(dynamics)和静力学(statics). 运动学只研究运动描述的方法和规律, 不涉及引起运动和改变运动的原因. 动力学研究物体的运动和物体之间相互作用的联系的规律. 静力学研究物体在相互作用下的平衡问题.

学习物理学一般从力学开始, 因为力学讨论的现象多是日常可见的, 每个人多少都有这方面的经验. 力学也是最早发展起来的物理学分支.

天文学的发展

近代科学的诞生是从天文学上突破和开始的. 波兰天文学家哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473~1543)通过观察发现, 应用托勒密(C. Ptolemy)的地心模型计算的结果和观察的结果有时差别较大. 地心说对太阳和 5 颗行星运动的描述非常繁琐和复杂. 哥白尼赞成毕达哥拉斯学派宇宙是和谐的, 可以用简单数学关系表达宇宙规律的基本思想. 同时, 哥白尼也受到柏拉图哲学思想的影响, 提出了日心说. 1543 年 4 月, 在他病逝前夕出版了他的划时代的杰作《天体运行论》. 《天体运行论》的出版, 常被认为是近代科学诞生的标志.

德国天文学家开普勒(Johannes Kepler, 1571~1630)接受了丹麦天文学家第谷提供的大量天文观测资料, 经过观察和研究, 在 1609 年出版的《新天文学》一书中提出两个定律.

(1) 椭圆定律: 每个行星的轨道是一个椭圆, 太阳位于一个焦点上.

(2) 等面积定律: 在太阳与行星间作一条直线, 此直线在行星运动时于相等的时间内扫过相等的面积.

1619 年, 开普勒出版了《世界的和谐》一书. 书中发表了关于行星运动的第三定律.

(3) 和谐定律: 行星运动周期 T 的平方正比于行星与太阳平均距离 R 的三次方, 记为 $T^2 = kR^3$.

从开普勒起, 天文学才真正成为一门精确的科学, 成为近代科学的开路先锋. 开普勒已认识到, 他的定律强烈地暗示了太阳对行星有一种吸引力. 这为牛顿经典力学的建立提供了基础.

伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)用自制的望远镜观察到了一系列天文现象. 其中, 最重要的是发现了木星的四颗卫星, 以事实驳斥了亚里士多德的教义——宇宙只有一个中心, 同时维护了哥白尼的论点——除太阳外, 宇宙还有其他吸引中心. 1610 年, 伽利略出版了他的《星的使者》一书, 使他一举成名. 他把太阳的像投射到纸上, 发现了太阳的

黑子,从它的运动估算出太阳的自转周期约为 27 天(现在认为太阳相对地球的自转周期是 27.275 天).1613 年,伽利略出版了《论太阳黑子的信》,明确支持哥白尼的日心说,并要为哥白尼的模型建立一种“力学”的数学描述.1632 年,伽利略出版了名为《对两大世界体系的对话》的书.由于隐蔽地支持了哥白尼的日心说,宗教法庭于 1633 年 4 月 12 日判他终身监禁(实际是软禁在他的寓所里),并把他的《对两大世界体系的对话》一书从印刷厂里取走,与哥白尼和开普勒的书一起,被列为禁书,直到 1835 年.300 多年后,1979 年 11 月 11 日,新罗马教皇保罗二世才公开承认教会当年的判决是错误的,为伽利略正式恢复了名誉.

经典力学的诞生

2000 多年前,古希腊伟大的思想家亚里士多德主张地心说.他把运动分为自然运动和受迫运动,认为力是维持运动的原因,没有外力,运动就会停止.10~12 世纪,经过基督教学者们的努力,将亚里士多德的学说与基督教义结合起来,成为基督教福音的一部分.从此,谁反对亚里士多德的观点就是反对基督教.

第一个用观察和实验决定性地驳倒亚里士多德观点的是被称为“近代科学之父”的伽利略.他提出加速度的概念,认真考察了自由落体运动,得到位移和时间的平方成正比,重力加速度与重量无关的结论.他根据斜面实验,并应用理想实验的方法推论出惯性定律.伽利略的其他贡献还很多.爱因斯坦曾说过:“伽利略的发现以及他所用的科学推理的方法是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端.”^①

牛顿(Isaac Newton,1642~1727)18 岁进入剑桥大学三一学院学习,起初,他想学数学,精于数学和光学的巴罗(I. Barrow)教授鼓励他主要学物理,并且悉心培养.在巴罗教授的指导下,牛顿广泛阅读数学、物理、天文学和哲学等方面的书籍.牛顿在光的色散等方面有很多贡献,但他最专注的研究课题始终是力学.为了研究力学的需要,他发明了微积分.

1687 年,他把 20 多年的研究成果总结成一本名为《自然哲学的数学原理》的书.牛顿把伽利略发现的惯性定律作为第一定律.牛顿发现了第二定律和第三定律.他将第二定律、第三定律和开普勒第三定律结合起来,发现了万有引力定律,从而形成了经典力学的基础,完成了近代科学发展的第一次大综合.18 世纪以后,又经过欧拉(Euler)、拉格朗日(Lagrange)、哈密顿(Hamilton)等科学家的工作,使力学成为一门理论严密、系统完整的科学.

牛顿在科学研究上取得的巨大成就和他自觉运用科学的思维方法是分不开的.牛顿的科学思维方法是他贡献给人类的宝贵精神财富.牛顿在科学方法上的重大贡献之一,是把一般认为互相排斥的归纳法和演绎法结合起来,形成了从特殊(的现象)到一般(的规律,如自然界的力),再从一般回到特殊的研究方法.在《自然哲学的数学原理》第三篇一开始,提出了 4 条“哲学中的推理法则”,用现在惯用的文字表示,这 4 条法则可理解为:简单性原理、因果性原理、统一性原理和真理性原理.

^① 爱因斯坦,英费尔德.物理学的进化.上海:上海科学出版社,1962.

简单性原理:牛顿说过,“真理是在简单性中发现的。”爱因斯坦在《物理学的进化》一书的末尾写道,“如果不相信我们的理论结构能够领悟客观实在,如果不相信我们世界的内在和谐性,那就不会有任何科学.这种信仰是,而且永远是一切科学创造的根本动机。”

因果性原理:实际上是决定论,或因果决定论.但是在微观领域人们必须放弃决定论,而把概率性看成是基本规律.

统一性原理:统一性原理是承认物质世界具有共同的物质性.牛顿把天上的行星和地上的物体的运动都统一到他的力学三定律和万有引力定律之下,这是统一性原理的具体表现.正如爱因斯坦所说:“从那些看来与直接可见的真理十分不同的复杂现象中认识到它们的统一性,那是一种壮丽的感觉.”

真理性原理:应该承认从实验现象通过归纳分析得出的结论是真实的或接近真实的,即承认客观真理的存在.以后可能会出现新的现象,通过进一步归纳分析可使结论变得更准确,或出现例外情况而对原来的结论作出修正,使相对真理逐步接近绝对真理.真理性原理可以理解为,绝对真理是存在的,但只能逐步接近.

牛顿善于继承前人的成果,奋发好学,勤于思考.有人问牛顿是怎样发现万有引力定律的,他的回答是:“靠不停的思考.”牛顿对自己的巨大成就有清醒的认识.他谦虚谨慎,有自知之明,对真理的追求永无止境.他在给物理学家胡克的信中写道:“如果说我比其他人看得远一点的话,那是因为我站在巨人的肩上.”他在临终遗言中写道:“我不知世人将如何看待我,但是在我看来,我不过像一个在海滨玩耍的孩子,为时而发现一块比平常光滑的石子或美丽的贝壳而感到高兴;但那浩瀚的真理之海洋,却还在我面前未曾发现呢.”

牛顿力学的局限性

牛顿的《自然哲学的数学原理》从一些基本概念和几个运动定律出发,使人们对自然界的了解有了前所未有的扩展和统一.牛顿的自然哲学思想也被人们所接受,它的影响甚至超过了牛顿的物理学和天文学.19世纪的最后20年中,由于生产力的发展,人类实践范围的扩大,科学家发现了一些牛顿物理学不能解释的新现象,这些新的现象促使科学家寻找和发现新的规律,建立新的理论.20世纪初,爱因斯坦先后创立了狭义相对论和广义相对论.一大批科学家共同创立了量子力学.在相对论和量子力学的基础上产生了像半导体物理、半导体技术、量子化学和相对论量子力学等一大批新兴学科.科学的发展,使人们对自然界的认识更加深刻,更加广泛.科学的发展,促进了新技术的发明和应用,大大促进了生产力的发展和人类文明的提高.

第一章 质点运动学

质点运动学的任务是研究机械运动的描述方法.

机械运动的定义:一个物体相对另一个物体位置的变化.“另一个物体”就是参考系.由机械运动的定义可以看出:要谈运动,首先应指明参考系,没有参考系不能谈运动.为了便于定量地描述运动,可以在参考系上建一个坐标系.坐标系的原点是参考系的抽象.要描述“位置的变化”首先要确定位置的表示方法.质点的运动,是质点位置对坐标系原点的位置的变化.质点位置随时间变化的函数称为运动方程,所以运动方程是运动学的核心.运动方程如何表示运动学信息和特点,如何求运动方程就成为运动学的两类问题.

在运动学中,参考系的选择是人为的或任意的.在不同参考系中同一质点的运动描述是不同的.同一质点的运动在不同参考系中的描述(如位移、速度等)之间的关系称为相对运动.

§ 1.1 空间和时间

一、绝对空间和绝对时间

从机械运动的定义可以看出,空间和时间是运动的两个要素.人类对空间和时间的认识起源于对物体的结构和运动的观察.物体在结构上有左右、前后、上下(即四方上下)之分.牛顿在《自然哲学的数学原理》中对绝对空间、绝对时间作了概括性的描述:“绝对空间,就其本性来说,与任何外在的情况无关,始终保持着相似和不变.”其含义是,空间是客观的,与物质、物质的运动无关,空间的测量是绝对的.“绝对的、纯粹的、数学的时间,就其本性来说,均匀的流逝而与外在的情况无关.”绝对时空观认为时间的存在是绝对的,与物质、物质的运动无关,时间的测量是绝对的.现代科学认为,空间是物质和物质运动的广延性,时间是物质运动的持续性.时间和空间与物质和物质的运动相联系,时间和空间的测量是相对的.经典力学应用的是绝对时空观的概念.

二、空间的测量

空间的测量,本质上是几何长度的测量.长度的测量是待测物体与长度基准比较的过程.

1889年第一届国际计量大会通过:将保存在法国的国际计量局中 0°C 时铂铱合金棒上两条刻线间的距离定义为1米.这是长度的实物基准.物理学家更愿意用自然基准代替实物基准,1米的定义经过三次变化,1983年10月,第17届国际计量大会通过:1米等于光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内运行路程的长度.米用符号 m 表示.这个定义利用了国际物理与化学常量委员会基本物理常量任务组1973年发布的真空中光速的最

佳值(这个值至 1998 年没变化).

目前量度的空间范围,从宇宙范围的尺度 10^{26}m ($2\times 10^{10}\text{l. y.}$, 光年)到微观粒子尺度 10^{-15}m . 物理理论指出,空间长度的下限是普朗克长度: 10^{-35}m . 小于普朗克长度时,现在的空间概念就不再适用了. 表 1-1 列出了一些典型物理现象的空间尺度.

三、时间的测量

时间的观念起源于由物体运动形成的事物演化中状态出现的先后顺序性. 任何运动规律已知的物理过程原则上都可以用来规定为时间的基准. 1956 年国际计量大会定义秒为: 1 秒是回归年的 $1/31\,556\,925.974\,7$. 所谓回归年是指太阳相继两次通过春分点的时间间隔. 1967 年第十三届国际计量大会决定采用铯原子钟作为新的时间计量基准: 1 秒等于铯 133 基态两个超精细能级之间跃迁相对应的辐射周期的 $9\,192\,631\,770$ 倍. 用符号 s 表示秒. 近年来,不少科学家建议按射电脉冲星辐射来校正时间基准.

现代的标准宇宙模型认为,宇宙起源于 137 亿年前的一次大爆炸. 宇宙的年龄用秒来计大约是 10^{18}s . 已知的微观粒子的最短寿命是 10^{-24}s , 极限时间是普朗克时间 10^{-43}s , 小于普朗克时间的时间间隔,现在的时间概念就不适用了. 表 1-1 列出了一些典型物理现象的时空尺度.

表 1-1 一些典型物理现象的时空尺度

典型的物理现象	空间尺度/m	典型的物理现象	时间尺度/s
已观测的宇宙范围	$\sim 10^{26}$	宇宙年龄	10^{18}
星系团半径	10^{24}	太阳年龄	1.4×10^{17}
星系间的距离	$\sim 2\times 10^{22}$	原始人	$\sim 10^{13}$
银河系的半径	7.6×10^{20}	人的平均寿命	10^9
太阳到最近恒星的距离	4×10^{16}	地球公转(一年)	3.2×10^7
太阳到冥王星的距离	10^{12}	地球自转(一天)	8.6×10^4
日地距离	1.5×10^{11}	太阳光到地球的传播时间	5×10^2
地球半径	10^6	人的心脏跳动周期	1
无线电中波波长	10^3	中频声波周期	10^{-3}
小孩的高度	1	中频无线电波周期	10^{-6}
尘埃	10^{-3}	π^+ 介子的平均寿命	10^{-9}
人类红细胞直径	10^{-6}	原子振动周期	10^{-12}
细菌的线度	10^{-9}	光穿越原子的时间	10^{-18}
原子的线度	10^{-10}	核振动周期	10^{-21}
原子核的线度	10^{-15}	光穿越核的时间	10^{-24}
普朗克长度	10^{-35}	普朗克时间	10^{-43}

习 题

1. 说说国际单位制中基本量时间的单位秒(s)的定义及其演变.
2. 说说国际单位制中基本量长度的单位米(m)的定义及其演变.

§ 1.2 质点运动的描述

一、质点

宏观物体的大小形状是千差万别的. 在机械运动中, 其大小和形状可能发生变化. 如果在所研究的问题中, 物体的大小和形状及其变化对物体运动的影响很小, 可以忽略不计, 则可以不考虑物体的大小和形状, 把物体看成一个具有物体质量的几何点. 这样的点称为质点(mass point). 例如, 牛顿在研究和探索万有引力规律时首先证明了太阳系中所有的星球都可以看作是位于其球心处的质点.

在物理学中, 根据研究对象和所研究问题的性质, 正确分析影响所研究问题的各种因素, 突出主要因素, 忽略次要因素, 把研究对象和问题简化, 这就是建立理想模型. 质点就是一个理想模型. 应该注意, 在建立理想模型时, 要分析模型的合理性.

二、参考系和坐标系

质点相对其他物体(或彼此不作相对运动的物体群)位置的变化称为质点的机械运动(简称运动). 这些在研究运动时作为参考的物体称为参考系.

研究质点的运动可以选择不同的参考系. 同一质点的运动, 在不同参考系中看来, 其运动形式是不同的. 例如, 在匀速直线前进的火车中从一定高度由静止释放的小球的运动, 在火车参考系中看来, 小球作自由落体运动, 其轨迹是直线; 而在地面参考系中看来, 小球作平抛运动, 其轨迹是抛物线. 物体的运动形式随参考系的不同而不同, 这一事实称为运动的相对性. 所以, 在描述质点的运动时, 指明参考系是必要的. 在研究运动学问题时, 根据需求和方便, 参考系可以任意选取. 但在研究动力学问题时, 由于有些动力学规律(如牛顿三定律)只在某些特殊参考系(惯性系)中成立, 所以参考系的选取要特别慎重.

为了定量地描述质点相对参考系的位置, 需要在参考系上建立适当的坐标系, 把质点相对参考系的运动用质点相对坐标原点的运动表示. 建立何种坐标系, 原则上是任意的. 同一运动在不同坐标系中描述, 繁简程度不同, 通常以对运动的描述最简单者为最佳选择. 实际上, 坐标系是参考系的数学抽象. 所以, 在讨论一般运动学问题时, 可以只说明坐标系是如何建立的, 而不具体说明它所参照的物体.

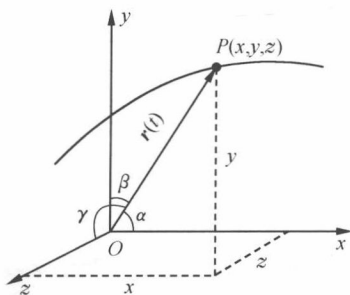


图 1-1 质点位置的坐标和位矢

三、质点位置的描述方法

能够确定空间一点位置的一个或一组有序数量都是质点位置的描述方法. 常用的描述质点位置的方法有以下几种.

1. 坐标法

设某时刻 t 质点的位置在空间 P 点处. 在参考系上建立一个坐标系, 例如, 直角坐标系 $Oxyz$, 如图 1-1 所示.

则质点的位置可以用一组坐标 (x, y, z) 表示. 用坐标表示质点位置的方法称为坐标法.

质点在一个平面上的位置可以用建立在该平面上的二维坐标系的两个坐标表示. 例如, 在平面直角坐标系中质点位置的坐标是 (x, y) . 如果质点的位置在一条直线上, 则在该直线上建立一个坐标轴, 例如 Ox 轴, 质点的位置可以用一个坐标 x 表示.

根据质点运动的不同特点, 可以选用不同的坐标系, 例如, 直角坐标系、平面极坐标系、球坐标系、圆柱坐标系等. 在不同坐标系中, 表示质点位置的一组坐标的数量也不同.

2. 位置矢量法

设质点某时刻 t 的位置在 P 点, 在参考系上任取一个固定点 O , 由 O 点向 P 点作一矢量 $\mathbf{r}$, 如图 1-1 所示. 矢量 $\mathbf{r}$ 可以表示质点的位置. 由参考系上的固定点 O 指向质点位置的矢量称为质点相对 O 点的位置矢量, 简称位矢. 用位置矢量表示质点位置的方法称为位置矢量法. 位置矢量法的特点是, 只在参考系上选择一个固定的参考点, 并不涉及具体的坐标系. 位置矢量描述与坐标系无关, 因此利于作一般性定义陈述和理论推导. 但在定量计算时常常还需要根据具体问题的特点, 选择适当的坐标系.

若以位矢 $\mathbf{r}$ 的起点 O 点为原点建立直角坐标系 $Oxyz$, 则 P 点的直角坐标 (x, y, z) 就是位置矢量 $\mathbf{r}$ 在坐标轴 Ox 、 Oy 、 Oz 上的投影, 用 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示沿坐标轴 Ox 、 Oy 、 Oz 正方向的单位矢量, 则在直角坐标系中, 位置矢量表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

位置矢量的大小(P 点离开 O 点的距离)为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

位矢的方向(P 点相对 O 点的方位)可由方向余弦来确定

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-3)$$

式中 α 、 β 、 γ 分别是 $\mathbf{r}$ 与 Ox 、 Oy 、 Oz 轴方向之间的夹角, 它们满足以下关系:

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

故三个角 α 、 β 、 γ 只有两个是独立的.

3. 自然坐标法

当质点相对参考系的运动轨迹是已知曲线时, 例如, 在地面上运动的火车, 可以先在曲线上任取一点 O , 规定从 O 点起, 沿曲线的某一个方向测量得到的曲线的长度 s 用正值表示, 沿另一方向测量得到的长度 s 用负值表示, 这样建立的系统称为自然坐标系, O 点称为自然坐标系的原点, s 称为自然坐标, 如图 1-2 所示. 自然坐标 s 可以表示质点的位置. 这种描述质点位置的方法称为自然坐标法.

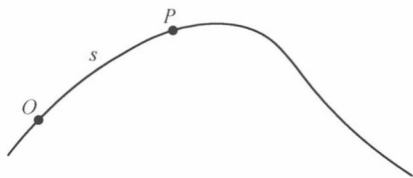


图 1-2 自然坐标系