

清华大学出版社“十二五”规划教材

Textbook in Physics for Higher Education

高等院校物理教材

大学物理简明教程

(第2版)

吕金钟 主编

清华大学出版社

大学物理简明教程

(第2版)

吕金钟 主编

邱红梅 赵长春 吕金钟 编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书分为6章,简明而系统地讲述了经典力学、狭义相对论、热力学、电磁学、波动学、量子物理基础中的基本概念、规律以及基本理论的历史发展进程,其内容涵盖了大学物理教学的最基本要求。

本书注重概念的准确、物理图像的清晰。每章内容线索明确、逻辑缜密,以便于教学和自学。本书也注意展现历史上一些著名科学家的创新精神和研究方法,用不多的篇幅使读者在较完整和系统地了解整个大学物理学框架的同时,从中领略和体会物理学发展过程中的人文内涵,从而提高科学素质。

本书配有一定数量的例题、思考题和习题,可作为“不多学时”的各类型高等院校非物理学专业的理工科各专业以及经管类、文科相关专业的大学物理教材,也可作为读者的自学参考书。

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

大学物理简明教程/吕金钟主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-34507-7

I. ①大… II. ①吕… 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(2013)第274788号

责任编辑:朱红莲

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

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:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:26.5 字 数:547千字

版 次:2006年10月第1版 2014年1月第2版 印 次:2014年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00元

产品编号:049389-01

在科学与技术迅速结合和发展的今天,新兴学科不断地涌现,物理学的概念、研究方法,以及严谨而富有创新性的逻辑思维方式和实验技术在其他学科得到了广泛的应用和认同,这显示了物理学在自然科学和社会科学中重要的基础性作用。为了适应当今科技、经济、社会发展对人才的需求,近年来不少高等院校开设了学时不等的物理学课程以满足各种学科专业的需求。

大学物理是高等院校的基础课程,其重要性一方面在于它所提供的一定范围的、系统的物理知识是科学素质的基础;另一方面在于它蕴涵着思考和解决问题的科学思想、方法和态度,以及激发学习者创新意识的能力。笔者认为,不管物理学时的多少,不管是工科还是经管、文科类学习者,课程内容安排可以有所侧重,但不应偏离物理本身,应该给出基本上较完整、系统的物理学框架。这不是简单的内容压缩,而是要求内容更加有机地结合,逻辑联系更加缜密,要求教学方式和方法创新。这是在不多月学时之内既能使初学者理解物理学基本定律和物理方法,又能在理性逻辑思维能力上得到提高的一种教学追求。为此,本书基本上在每章开始向读者指出本章的理论基础,随后是为阐明理论基础和基本概念而安排的教学内容。这样使教学线索比较明确,也起到对初学者学习的引导作用。

正是在这样的指导思想下,我们编写了第一版教材,此次再版是对原版教材的修订,其框架没有变化,个别地方有稍许调整,它包括了我们多年面对不多学时的工科、少学时的经管和文科初学者教学实践的体会,也包括了不少使用过此教材同行们的建议。本书共分6章。第1章为牛顿力学基础,它简介了牛顿力学的发展过程、经典力学的基础知识,以及牛顿定律在刚体和流体中的简单应用。第2章为狭义相对论基础,简单介绍了狭义相对论的创立过程,讲述了它的基本原理、时空观和动力学的基本概念。第3章为热力学物理基础,简介了热学发展史,在介绍分子动理论统计概念和规律的基础上着重讲述了热力学第一、第二定律。第4章为电磁学基础,简介了经典电

磁理论的发展史,讲述了电磁场、电磁感应及电磁波的基本概念和规律。第5章为波动学基础,概述了波动现象的历史研究,讲述了振动和波动的基本特征,以及光波干涉、衍射、偏振的基本现象和规律。第6章为量子物理基础,包括量子概念的提出、波动力学理论的建立、原子的壳层结构模型、激光和能带等基本概念和知识。

本书由吕金钟主编,由邱红梅(北京科技大学)、赵长春(中国地质大学(北京))协力完成,吕金钟完成了全书的统稿工作。最后要特别说明,本书再编过程中参考了若干现有的教材,在许多方面得到了启发和教益,难以一一指明,在此一并表示感谢!感谢此书再编过程中同行们给予的帮助和建议,感谢北京科技大学教务处、工科物理教学基地给予的支持,特别感谢原版教材编写过程中张国华(北京科技大学)老师的辛勤劳动与智慧!对清华大学出版社朱红莲老师对本书提出的很多改进意见表示感谢!

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,敬请广大读者批评指正,谢谢!

编 者

2013年11月

第1章 牛顿力学基础	1
1.1 牛顿力学的建立与发展	1
1.1.1 牛顿力学的建立与发展概述	1
1.1.2 牛顿三定律的表述	4
1.2 加速度矢量的表示	7
1.2.1 直角坐标系中加速度的表示	7
1.2.2 圆周运动中的切向加速度和法向加速度	12
1.3 牛顿力学中的几种常见力	14
1.3.1 万有引力	14
1.3.2 弹性力	17
1.3.3 摩擦力	18
1.4 不同参照系中力学量之间的关系	20
1.4.1 惯性系之间力学量的关系	21
1.4.2 惯性系和加速平动参照系之间力学量的关系	25
1.5 力的时间和空间积累效应	26
1.5.1 动量守恒定律	27
1.5.2 机械能守恒定律	32
1.5.3 角动量守恒定律	42
1.5.4 对称与守恒	47
1.6 刚体定轴转动中的牛顿力学	48
1.6.1 刚体定轴转动的转动定律	48
1.6.2 刚体定轴转动的动能定理	54
1.6.3 进动现象	57
1.7 连续流体中的牛顿力学	58

1.7.1 流体静力学	59
1.7.2 流体动力学	65
1.7.3 黏滞流体的流动	71
思考题	74
习题	79
第2章 狭义相对论基础	86
2.1 狭义相对论的基本原理和洛伦兹变换式	87
2.1.1 狭义相对论的基本原理	87
2.1.2 洛伦兹变换和洛伦兹速度变换	89
2.2 狭义相对论的时空观	92
2.2.1 同时的相对性	92
2.2.2 长度收缩	93
2.2.3 时间延缓	94
2.3 狭义相对论质点动力学的基础概念	95
2.3.1 相对论动量 质量与速度关系 动力学基本方程	96
2.3.2 质能关系 $E=mc^2$	97
2.4 广义相对论简介	99
2.4.1 广义相对论的两条基本原理	99
2.4.2 广义相对论预言的几个可观测效应	100
思考题	101
习题	102
第3章 热力学物理基础	104
3.1 热力学第零定律与温度	104
3.2 气体动理论	106
3.2.1 分子运动论发展概述	106
3.2.2 气体分子的热运动	107
3.2.3 理想气体的压强与温度	111
3.2.4 能量均分定理	114
3.2.5 麦克斯韦速率分布率	116
3.3 热力学第一定律	120
3.3.1 热力学第一定律的建立	120

3.3.2	热力学第一定律的数学表示	121
3.3.3	在典型准静态过程中的热力学第一定律	124
3.4	热力学第二定律与熵	133
3.4.1	热力学第二定律的建立	133
3.4.2	热力学第二定律的宏观表述	134
3.4.3	热力学第二定律的数学表示 熵增原理	137
3.4.4	热力学第二定律的统计意义	141
3.5	热力学第三定律	145
	思考题	146
	习题	150
第 4 章	电磁学基础	155
4.1	麦克斯韦电磁场理论的建立	155
4.1.1	静电和静磁现象的认识和研究	155
4.1.2	电与磁的相互作用研究	160
4.1.3	麦克斯韦电磁场理论	162
4.2	静电场的基础知识	165
4.2.1	真空中的静电场	165
4.2.2	有导体存在时的静电场	184
4.2.3	有电介质存在时的静电场	194
4.3	静磁场的基础知识	202
4.3.1	真空中的静磁场	202
4.3.2	有磁介质存在时的静磁场	216
4.4	电磁感应与电磁波	219
4.4.1	变化的磁场	219
4.4.2	变化的电场 位移电流	230
4.4.3	麦克斯韦方程组和电磁波	233
	思考题	236
	习题	242
第 5 章	波动学基础	249
5.1	经典波动理论发展概述	249

5.2 机械振动	254
5.2.1 简谐振动	254
5.2.2 简谐振动的合成	265
5.3 机械波	272
5.3.1 机械波动的基本概念	272
5.3.2 波传播过程中的基本规律	283
5.3.3 波传播过程中的多普勒效应	292
5.4 光的波动	295
5.4.1 光的干涉	295
5.4.2 光的衍射	309
5.4.3 光的偏振	321
思考题	334
习题	338
第6章 量子物理基础	344
6.1 量子概念的提出	344
6.1.1 能量子概念的提出	345
6.1.2 光量子概念的提出	349
6.1.3 量子化概念在氢原子结构中的应用	355
6.2 波动量子理论的建立	357
6.2.1 德布罗意波	357
6.2.2 不确定关系	362
6.2.3 波动量子力学的建立	363
6.2.4 氢原子的量子理论简介	371
6.3 原子中电子排布的壳层模型	376
6.4 激光	377
6.5 固体的能带简介	381
思考题	387
习题	389
习题答案	393
附录 A 国际单位制(SI)	407

附录 B 常用物理常数	408
附录 C 矢量	409
附录 D 数学公式	411
附录 E 希腊字母	413
主要参考文献	414

第1章 牛顿力学基础

物理学是探究物质结构和运动基本规律的学科。物质的运动形式是多种多样的,其中最简单、最基本的运动是描述物体位置变化的机械运动,而机械运动往往被包含在其他更高级的运动形式之中,如热运动、电磁运动等。研究机械运动的是力学,它涉及地面上交通工具的行驶,宇宙的探测,大气、江河的流动,及基本粒子相互作用的径迹分析等。17世纪牛顿在伽利略、开普勒等人工作的基础上,综合了世代前人的研究成果,总结出三条运动定律(牛顿三定律)而建立了完整的经典力学理论,成为近代物理学的开端与科学发展的基础。

1.1 牛顿力学的建立与发展

1.1.1 牛顿力学的建立与发展概述

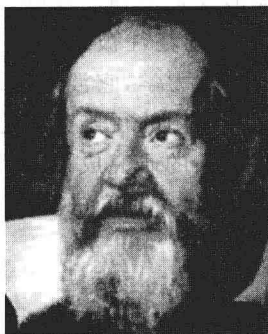
牛顿(Isaac Newton,英国,1643—1727)在给物理学家 R. 胡克(Robert Hook,英国,1635—1703)的一封信中有一句名言:“如果我看得更远,那是站在巨人的肩上”。牛顿力学的建立是一大批科学家辛勤劳动的产物,是社会发展的需求。如果说意大利科学家伽利略关于地面物体运动的理论和德国天文学家开普勒关于天体运动的理论为经典力学理论体系的建立铺平了道路,那完成这一重任的是英国科学家牛顿,他把似乎截然不同的地面运动和天体运动的规律概括在了一个严密统一的理论中。牛顿出生在英国一个不富裕的农民家庭,是遗腹子,靠祖母抚养成人。17岁进剑桥大学学数学,广泛阅读了各类书籍,涉及天文学、数学、力学、光学、化学、神学及炼金术等领域。牛顿的成就是多方面的,特别是1687年伟大的《自然哲学的数学原理》一书的出版,标志着力学作为一门严谨科学的诞生。



牛顿
(1643—1727)

亚里士多德(Aristotle,希腊,384 BC—322 BC)是古希腊古典文化的集大成者,是他首先进行科学分类。他所命名的“物理学”是泛指无生命物体的运动与时间、空间及与周

围物体之间关系的一门独立自然学科,并首先使用数学方法考察具体物理规律。不过,亚里士多德的物理学理论基本上是错误的,因为它是根据人的感觉经验和逻辑理性建立起来的经验性的体系,后经神学改装,使人们一直束缚在以生活经验为基础的亚里士多德的传统观念中近 2000 年。所以,走出这加上神学色彩的传统观念,批驳亚里士多德的错误,是一个自然哲学的基础问题,是一场重要的思想革命,意大利科学家伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)对此作出了非常重要的贡献。他的传世之作是 1632 年出



伽利略
(1564—1642)

版的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系对话》和 1638 年出版的《关于力学和局部运动两门新科学的谈话和数学证明》,在科学实验的基础上融会贯通了数学、物理学和天文学三门知识,以非凡的文学才能、生动的语言以及严密的科学推理方法证实和传播了日心说,陈述了他在力学方面研究的成果。伽利略认为世界是一个有秩序的服从简单规律的整体,要了解大自然就必须进行系统的实验上的定量观测,并且找出其中精确的数量关系。这种新的科学思想和科学研究方法的提出,开创了以实验事实为基础并具有严密逻辑体系的近代科学。爱因斯坦曾评论说:“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,而且标志着物

理学的真正开端。”伽利略第一次提出了惯性和加速度,第一次把力和运动改变联系起来;在“作匀速直线运动的船舱中物体运动规律不变”的著名论述中第一次提出了惯性参照系的概念,提出了相对性原理的思想;对弹道的研究发现了运动独立性原理和运动的合成与分解。这些以及其他物理学概念和原理的创新为牛顿力学理论体系的建立奠定了基础。

与此同时,德国天文学家开普勒(J. Kepler, 1571—1630)的行星运动三定律揭开了行星运动之谜。大约公元 150 年,亚历山大城的托勒密(C. Ptolemaeus, 90—168)提出了完善的地心说,认为宇宙有“九重天”,而地球位于宇宙中心岿然不动。他的理论能够相当准确地测算出太阳、月亮和行星的位置,在后来的 1400 年间一直是天文和航海家的有用工具。但是,利用这种宇宙模型计算和描述天体运动非常繁琐和复杂,并且和不断获得的观测数据有时相差较大而不得不对模型中的数学公式进行极麻烦的修正。尽管如此,由于以地球为参照系观测星球的运动与人们的直观经验相一致,且后来教会利用它来论证“人类中心”,地心说在天文学上一直占统治地



开普勒
(1571—1630)

位,直到1543年波兰天文学家哥白尼(Copernicus,1473—1573)提出完善的太阳中心说。哥白尼高度赞扬发光的太阳,并且发现如以太阳为宇宙中心(除月球绕地球运转外,地球和行星都一边自转一边围绕太阳作匀速圆周运动的公转)的宇宙结构模型来描述和计算天体运动时,一切将变得清晰和简单。

哥白尼的日心体系与地心体系之间的根本区别在于描述所观测运动时所选取的参照系不同。日心说的科学意义也就在于这参照系的改变,它为理解行星的运动开辟了一条新的途径。这种变化富有启发意义,正是这种启发导致开普勒等人按全新的方式来考虑行星的真实轨道。开普勒富有想象力,善于抽象思维和理论分析,他发现哥白尼行星的匀速圆周运动与实际的天文观测资料还是有出入。于是他就从这些“出入”开始,经过多年的努力,分别于1609年和1619年发表了行星运动三定律。第一定律是“轨道定律”:所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动,太阳位于这些椭圆的一个焦点上。第二定律是“面积定律”:行星和太阳之间所连直线在相等的时间内扫过的面积相等。第三定律是“周期定律”:行星绕太阳一周所需的时间(公转周期)的平方,和它的轨道长半轴的立方成正比。行星运动三定律澄清了太阳系的空间位形,它们的发现向人们提出了新课题:是什么样的力维系这些天体遵从这样的轨道运动?经过许多科学家对此问题的探索,导致了经典力学大厦一根重要支柱——万有引力定律的建立。

一大批科学家的辛勤劳动给牛顿力学的建立“预备好了最适宜的环境”。正是在这种环境下,牛顿完成了人类对自然界认识的第一次大综合,在《自然哲学的数学原理》一书中总结和提炼了当时已发现的地面上所有的力学规律。他把伽利略提出、笛卡儿(René Descartes,法国,1596—1650)完善的惯性定律作为了第一定律;在定义了质量、力和动量后,提出了动量改变与外力的关系,把它作为第二定律;在多人关于碰撞现象研究结果的基础上,提出了作用力与反作用力的关系,作为了第三定律。该书中还提到力的独立性原理、伽利略相对性原理、动量守恒定律以及对空间和时间的理解等。在该书中牛顿在开普勒等人的研究基础上,把地球上的三定律应用到了行星的运动,用微积分解释了开普勒的椭圆轨道,正确提出了地球表面物体所受的重力与地球月球之间的引力、太阳行星之间的引力具有相同的本质,得出了万有引力定律,从而宣告了天地间物体的机械运动都遵从同样的力学规律——牛顿三定律。

1750年,瑞士数学家、物理学家欧拉(Leonhard Euler,1707—1783)给出了《自然哲学的数学原理》中并未给出的第二定律的精确形式,也就是今天我们所使用的公式

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt} \quad (1-1)$$

并且,由于欧洲数学家的努力,从直角坐标系扩展到极坐标、自然坐标等坐标系,由常微分方程发展为偏微分方程,由微分形式演变为变分形式,形成了现代的分析力学。

功、能概念的出现是牛顿力学的重要发展,而以势能的变化代替保守力做功是其中一个关键性的进展。“功”的概念是早期工业革命中工程师为比较蒸汽机效率而提出的,“能”是英国医生托马斯·杨(Thomas Young, 1773—1829)于1807年提出的。直到19世纪中期,才逐步把 $\frac{1}{2}mv^2$ 确认为动能,与物体相对位置有关的势函数称做势能,统称为机械能。

18世纪在力学发展中出现了和物体转动有关的“角动量”概念,19世纪人们把它看作是基本概念之一,从此对以前不认识的客观存在的角动量守恒规律有了认识。19世纪末对三体问题的研究以及20世纪70年代混沌现象的发现是牛顿力学的另一个发展,使得我们对牛顿力学有了更深刻的认识。

1.1.2 牛顿三定律的表述

1.1.2.1 牛顿第一定律

任何物体,只要没有外力改变它的状态,便会永远保持静止或匀速直线运动的状态。其数学形式可表示为: $F=0$ 时, v =恒矢量。

1. 质点

定律中的“物体”指的是“质点”,质点是一个理想化模型,是只有质量而没有大小和形状的点。实际物体的形状、大小千差万别,在空间位置随时间变化(机械运动)过程中其形状和大小也可能发生各种变化(形变),质点就是忽略这些因素,考虑的只是物体的整体移动。比如跳水运动员,我们说他在空中的运动轨迹是一个抛物线,如图1-1所示,实际上已把他看作了一个质点。这个抛物线实际上是运动员身体质量中心(叫质心)的轨迹。又如,在考虑地球绕太阳公转时,把地球看作一质点在椭圆轨道(地球质心的轨迹)上运行,而太阳(太阳的质心)作为另一质点位于此椭圆轨迹的一个焦点上。

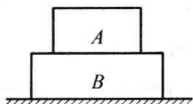
我们说一个物体从空间一个位置移动到另一位置,指的是物体的整体移动。从数学上度量物体移动时,当然需要物体准确的空间位置(数学点),数学点上积聚了物体的全部质量,这个数学点应该就是物体的质心。也就是说,无论物体上任意点运动情况如何,不论物体的大小和运动范围,当只考虑物体整体运动时都可以把它看作质点,质心的位置就是质点的位置。一个质量均匀分布的球体,其质心应是它的球心;一个质量均匀分布的立方体,其质心应是它的体心;地面上不太大的运动物体质心位置与重心相同。

如果考虑的是物体转动(比如地球自转),那就不能把物体(地球)看作质点;如果考虑组成物体各部分的运动时,当然



图 1-1 跳水运动员的运动

也不能把物体当作一个质点。如研究跳水运动员在跳水过程中其头部的运动时,跳水运动员整体不能当作质点,但其头部却可以看成质点。图 1-2 中,如果 A, B 之间有相对运动,而需要研究它们各自的运动状态时,就不能把 A 与 B 组合体看作一个质点。如果 A, B 之间没有相对运动,它们的运动情况一样,那 A 与 B 的组合体就可以当作一个质点处理。

图 1-2 A, B 组合体

2. 惯性和惯性系

第一定律表明,任何物体都有保持静止或匀速直线运动状态的特性,这种特性叫惯性,故第一定律又称惯性定律。惯性反映了物体改变运动状态的难易程度。同时,第一定律也确定了力的含义,物体质点所受的力是外界对物体的一种作用,是试图改变物体静止或匀速直线运动状态的作用。

由于任何一个物体不可能不受到外力作用,所以第一定律不能直接用实验严格验证,但可间接验证。一个具有一定初速度的物体在粗糙水平面上只能滑动一定的路程,因为有摩擦阻力存在。如果在较光滑的水平面上,摩擦外力较小,可滑动较长的距离。可以外推,如果物体在一理想的绝对光滑的水平面上,不受外来阻力的影响,它就会保持其初速度不变而匀速直线运动下去。这只不过是理想化外推而已。然而,如果物体受到两个或两个以上外力时,当外来作用相互抵消时,实验上可观测到受力平衡物体和不受到外力作用一样,保持静止或匀速直线运动的状态,不过这是间接验证。

静止、匀速直线运动等运动状态的观测是离不开参照系的。如果在 S 参照系中,观测到一受力平衡物体保持着静止或匀速直线运动的状态,而在相对 S 作加速运动的参照系 S' 中,观测到受力平衡物体不再保持静止或匀速直线运动的状态,即第一定律在 S' 中不成立。我们把惯性定律在其中成立的参照系称为惯性参照系,简称惯性系,而把 S' 称为非惯性系。一个参照系是否是惯性系,只能根据观测和实验来判断。实验证明,以太阳为参照系观测到行星和宇宙飞行器的运动非常好地符合牛顿定律,所以太阳参照系是惯性系。可以证明,相对惯性系作匀速直线运动的参照系也是惯性系。地球相对太阳既有公转又有自转,所以地球不是惯性系。不过,地面上观测到的空间范围不大、时间间隔不长的力学现象,它们也相当好地符合牛顿定律,所以地面(或地球)参照系可看作近似程度相当好的惯性系,而相对地面静止或匀速直线运动的物体都可近似地当作惯性系。

1.1.2.2 牛顿第二定律

在第一定律的基础上,牛顿第二定律进一步阐明了质点在外力作用下其运动状态变化的具体规律,即确定了力、质量、加速度的定量关系。

物体(质点)运动时总具有速度,速度是矢量,是表述物体运动状态的物理量。把质点的质量 m 与其速度 v 的乘积称做质点的动量,用 p 表示,有

$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v} \quad (1-2)$$

它也是矢量,既具有大小,也具有方向(方向与速度 $\boldsymbol{v}$ 的方向相同),其合成服从平行四边形法则。牛顿第二定律阐明了作用于质点的合外力与其动量变化的关系,即

动量为 $\boldsymbol{p}$ 的质点,某时刻受到合外力 $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{F} = \sum_i \boldsymbol{F}_i)$ 的作用,其动量随时间的变化率等于该时刻作用于质点的合外力。数学表达式为

$$\boldsymbol{F} = \frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \frac{d(m\boldsymbol{v})}{dt} = \frac{dm}{dt}\boldsymbol{v} + m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} \quad (1-3)$$

它是牛顿力学的基本方程。在经典力学中,质点的质量是不变的,即 $\frac{dm}{dt}=0$,则

$$\boldsymbol{F} = m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = m\boldsymbol{a} \quad (1-4)$$

依据矢量性质,上面矢量方程在直角坐标系中可写成分量式,为

$$F_x = \frac{dp_x}{dt}, \quad F_y = \frac{dp_y}{dt}, \quad F_z = \frac{dp_z}{dt} \quad (1-5)$$

或

$$F_x = ma_x, \quad F_y = ma_y, \quad F_z = ma_z \quad (1-6)$$

1. 力和加速度

第二定律概括了力的独立性(叠加性)。如果几个力同时作用在一个物体上, $\sum \boldsymbol{F}_i = m\boldsymbol{a}$,实验证明,物体的加速度 $\boldsymbol{a}$ 等于每个力单独作用时所产生的加速度的矢量的叠加,即 $\boldsymbol{a} = \sum \boldsymbol{a}_i$ 。这称为力的独立性原理或叠加原理,这也是运动叠加原理的实质。

对于质点,力 $\boldsymbol{F}$ 来自其他物体的作用。只要这种作用不为零, $\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}$,物体就获得加速度,所以 $m\boldsymbol{a}$ 不是力而是物体本身的属性。

2. 惯性质量

设有同样的力 $\boldsymbol{F}$ 作用在两个质量分别是 m_1 和 m_2 的物体上, $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2$ 分别表示它们获得的加速度,根据(1-4)式有, $\boldsymbol{F}=m_1\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{F}=m_2\boldsymbol{a}_2$,可得

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

即在相同外力作用下,物体的加速度和质量成反比。质量大的物体产生的加速度小,表明质量大的物体抵抗运动变化的能力强,也就是它的惯性大。物体的质量反映了物体本身改变运动状态的难易程度,即(1-3)式和(1-4)式中的质量也是物体惯性的量度,因此把它们称做惯性质量,或简称质量。

1.1.2.3 牛顿第三定律

牛顿第一、二定律是牛顿总结了伽利略等前人研究成果基础上而建立的。而史学家

们普遍认为,第三定律是牛顿独立发现的。它深刻揭示了物体机械运动的普遍客观事实——作用与反作用。牛顿写到:“任何物体拉引或推压另一物体时,同样也要被另一物体所拉引或推压。”这里明确指出:物体间的作用是相互的,且相互作用是同性质的。牛顿第三定律表述如下:

当物体 A 以力 F_1 作用于物体 B 时,物体 B 也同时以力 F_2 作用于物体 A 上,作用力 F_1 和反作用力 F_2 总是大小相等,方向相反,且在同一直线上。

第三定律指出,力总是成对出现的,作用与反作用同时出现,同时消失,它们分别作用在相互作用的两个物体上,所以不存在相互抵消问题。并且指出,弹性力的反作用力必定是弹性力,万有引力的反作用力必定是万有引力,摩擦力的反作用力也必定是摩擦力。

如图 1-3 所示,一质量为 m 的金属球用细绳吊在天花板上。由于球静止,受力平衡,根据牛顿第二定律有

$$T - p = ma = 0$$

细绳给球向上的拉力 T 和地球对球的作用力 p 都作用在球上,合作用抵消,金属球不获得加速度,保持静止。根据牛顿第三定律,细绳给球向上的拉力 T (弹性力) 的反作用力为 T' , 它和 T 大小相

等,方向相反,在一条直线上,是作用于细绳上的金属球向下拉绳的弹性力。而地球对球的作用力 p 是向下的重力(万有引力),其反作用力 p' 是金属球作用在地球上的向上的力,也是万有引力。

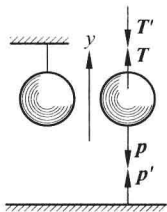


图 1-3 相互作用

1.2 加速度矢量的表示

1.2.1 直角坐标系中加速度的表示

1. 位置矢量

选定直角坐标系,就可以定量描述质点在空间的位置。设 t 时刻,质点处于空间 M 点,从坐标原点向质点的位置引一有向线段 $\overrightarrow{OM}$, 记作 $\mathbf{r}$ (图 1-4), $\mathbf{r}$ 的方向说明了 M 点相对于坐标轴的方位, $\mathbf{r}$ 的大小(它的模)表明了 M 点到原点的距离,即 $\mathbf{r}$ 完全确定了 t 时刻质点在空间的位置。用来确定质点位置的矢量 $\mathbf{r}$, 叫做质点的位置矢量,简称位矢,也叫径矢,单位是 m 。质点在运动时,位矢随时间变化,也就是说 $\mathbf{r}$ 是时间的函数,有

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-7)$$

(1-7)式就是质点的运动函数。如取 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为 x, y, z 轴正方向的单位矢量,由矢量几何性质, t 时刻的位置矢量 $\mathbf{r}$ 可由它在直角坐标系中沿坐标轴的三个分量确定,写成