



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材

大学物理学

主编 赵近芳 宋秀丹

Physics



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材

大学物理学

主 编 赵近芳 宋秀丹
编 者 王 强 谢文广 张守娟
主 审 颜晓红



北京邮电大学出版社
· 北京 ·

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》(第4版)(上、下)的配套教材,全书分为力学基础篇、电磁学篇、波动光学篇、气体动理论和热力学篇、近代物理篇,共16章。在保持第4版教材风格和特色的前提下,对教材部分章节的前后位置进行了调整,使之更符合教学规律,结构更加简单,适当减少了数学运算繁琐、难度较大的例题,选用紧扣教学内容的典型题。本书与第4版共用一套学习指导书、多媒体课件、电子教案、网络课件、手机APP学习资源和网络学习平台等立体化教学资源。

本书可作为高等工科院校各专业的物理教材,也可作为综合大学和师范院校非物理专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/赵近芳,宋秀丹主编.——北京:北京邮电大学出版社,2016.1(2016.12重印)

ISBN 978-7-5635-4597-1

I. ①大… II. ①赵… ②宋… 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(2015)第301146号

- 书 名 大学物理学
主 编 赵近芳 宋秀丹
责任编辑 刘国辉
出版发行 北京邮电大学出版社
社 址 北京市海淀区西土城路10号(100876)
电话传真 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真)
网 址 www.buptpress3.com
电子信箱 cird@buptpress.com
经 销 各地新华书店
印 刷 北京泽宇印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 22
字 数 532千字
版 次 2016年1月第1版 2016年12月第3次印刷



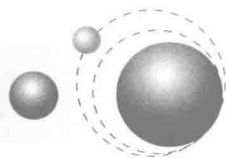
ISBN 978-7-5635-4597-1

定价:47.00元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

前 言



本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》(第4版)(上、下)的配套教材.为了使教材能够满足不同理工科院校的教学设置,更好地为广大师生服务,我们对第4版的体系结构进行了调整,并对本书内容做了进一步的修改,使全书的内容体系和结构设置能够满足不同兄弟院校大学物理课程教学的需要.


全书分为力学基础篇、电磁学篇、波动光学篇、气体动理论和热力学篇、近代物理篇,共16章.在保持《大学物理学》(第4版)(上、下)教材风格和特色的前提下,根据使用学校教学内容和教学课时的实际情况,对教材部分章节的前后位置进行了调整,使之更加符合教学规律,结构更加简单.适当减少了数学运算繁琐、难度较大的例题,选用紧扣教学内容的典型题.此外,对于难度较大的物理内容进行了删改或用星号“*”标记,内容删改后对教材的整体性没有影响.

本书由谢文广负责改编力学和机械振动部分;宋秀丹负责改编电磁学部分;王强负责改编机械波、光的干涉、光的衍射、光的偏振、热力学部分;张守娟负责改编相对论、量子物理基础和附录部分.最后由赵近芳教授负责全书的修改和定稿工作.在修订过程中,参加讨论和编写的老师还有焦志伟、白心爱、刘道军、曲蛟、汤永新、张博洋、范军怀、马双武、苏文刚、唐咸荣、杜立、韩霞等.教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会委员、颜晓红教授仔细审查了此书.北京邮电大学出版社有关人员在本书的编辑出版过程中付出了大量的辛勤劳动,在此一并表示感谢.

编写适合市场需求的教材是一种探索,由于编者水平有限,书中的疏漏和错误之处在所难免,恳请读者批评指正.

编 者

本书使用说明

本书为“互联网+”立体化教材,使用前,请先使用装有扫一扫功能的智能手机扫描本书图标中的二维码,下载安装免费的“广益课堂”APP。

安装成功之后,点击“广益课堂”APP 进入界面,点击图标,弹出扫描窗口,对准本书封底的“验证二维码”扫描,即可成功下载本书的学习资源。下载成功后,点击进入对应的学习界面,即可结合纸质图书进行学习了。

同时,本书中设计有二维码,可以直接使用手机扫码功能扫描浏览学习资源。

立体化教材内容包括纸质图书、手机 APP 学习软件和学习资源包。其中,通过扫码纸质图书中的右上方带有扫描图标的图片,即可与手机 APP 学习资源相关联,同时在智能手机上弹出相对应的辅助学习内容。也可以不用扫描,而直接在手机 APP 学习软件上浏览相关内容。另外,本书配套的学习资源包仅提供给任课老师,老师们可以凭教师身份向出版社发行单位索取。

本书的手机 APP 学习软件包括虚拟学习、智能习题、知识总结、拓展阅读和科学巨匠五个模块。

学习资源包包括物理题库系统、详细的习题解答(仅提供给老师)、PPT、电子教案、微课视频等。

如果需要更多的学习帮助,请登录 www.guangyiedu.com。

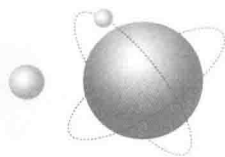
在使用过程中,如有疑问,请使用下列联系方式与我们沟通!

手机:13811568712

QQ:2181743958

电子邮箱:buptpress3@163.com

绪 论



物理学的研究对象

物理学是关于自然界最基本形态的科学,它研究物质的结构运动以及物体间的相互作用.存在于我们周围和我们意志之外的客观实在都是物质.物质有两种不同的形态:一类是实物,另一类是场.实物包括微观粒子和宏观物体,它的范围是从基本粒子的亚核世界到整个宇宙.场包括引力场、电磁场和量子场等.

物质运动和物质间的相互作用是物质的普遍属性.物质的物理运动具有粒子和波动两种图像.宏观物体的机械运动,包括天体运动和分子的无规则热运动呈现粒子图像;而场运动则呈现波动图像.在微观领域,无论是实物还是场都呈现波粒二象性.物质间有四种基本相互作用,即引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用.在 20 世纪 70 年代末,电磁相互作用和弱相互作用已经统一为电弱相互作用.研究发现,实物间的相互作用是由场来传递的,实物激发出场,场再作用于另一实物.

物质运动和相互作用总是在一定的空间和一定的时间发生.空间是物质运动广延性的反映,时间则是物质运动过程持续性的体现.在时空均匀和各向同性条件下,物质的运动和相互作用过程遵循一系列守恒定律;而在高速和强场情况下,时空的几何性质和量度与物质的分布和运动有密切关系.

大学物理课程的内容体系可以按以下顺序:

- (1)力学和电磁学——讨论机械运动和电磁场的运动规律和电磁相互作用;
- (2)振动与波——讨论宏观领域的波动规律;
- (3)波动光学——讨论光的干涉、衍射和偏振;
- (4)热学——讨论由大量分子组成的热力学系统的统计性规律和宏观表现;
- (5)相对论和量子物理学——讨论时空性质和微观粒子的波粒二象性以及量子运动特征.

物理学和科学技术的关系

物理学是一切自然科学的基础,处于诸多自然科学学科的核心地位.物理学研究的粒子和原子构成了蛋白质、基因、器官、生物体,构成了一切天然的和人造的物质以及广袤的陆地、海洋、大气,甚至整个宇宙.因此,物理学是化学、生物、材料科学、地球物理和天体物理等学科的基础.今天,物理学和这些学科之间的边缘领域中又形成了一系列分支学科和交叉学科,如粒子物理、核物理、凝聚态物理、原子分子物理、电子物理、生物物理等等.这些学科都

取得了引人瞩目的成就。

物理学的发展,广泛而直接地推动着技术的革命和文明的进步。18世纪60年代开始的第一次技术革命以蒸汽机应用为标志,它是牛顿力学和热力学发展的结果。19世纪70年代开始的第二次技术革命以电力的广泛应用和无线电通信为标志,它是电磁学发展的结果。20世纪40年代兴起的并一直延续至今的第三次技术革命是相对论和量子论发展的结果。事实证明,几乎所有重大的新技术领域学科(如电子学、原子能、激光和信息技术等)的创立,事前都在物理学中经过长期的酝酿、在理论和实验两方面积累了大量知识后,才突然迸发出来。物理学是科技生产力发展的不竭源泉。

在新世纪开始的今天,全世界范围内正面临着以信息、能源、材料、生物工程和空间技术等为核心的一场新技术革命。在这些高科技领域中必将层出不穷地涌现人们今天尚不知道的一系列新技术和新产品。物理学以其最广泛和最基本的内容正成为各个新兴学科的先导。近代物理在量子论和粒子物理等研究方向上的突破和成熟可能孕育和萌发科学与技术的新芽。建立在物理学等自然科学基础上的高科技在21世纪将出现史无前例的辉煌,使人类文明进入更高级的阶段。

努力学好物理学

物理学的理论是通过观察、实验、抽象、假设等研究方法并通过实践的检验而建立起来的。实践是检验科学真理的唯一标准。学习物理应遵循实践—理论—再实践的方法,独立思考、自己判断,不必迷信偶像和屈从权威。以实事求是、老老实实的态度对待科学真理是绝对必要的。作为大学理工科学生,学习物理首先要注重课程内容的内在联系、清晰的条理和严谨的逻辑,扎扎实实学好基本理论和基本知识。这包括对物理概念、规律、物理图像等透彻的理解,对物理学的研究方法、数学描述语言和推演技巧的熟练掌握,因此适当的记忆和做习题是很有必要。但是,掌握现有的书本知识还远远不够。物理学和一切自然科学的发展是永不停息的,纷繁复杂的自然界中人类未知的事物还远远超过已经了解的事物,发现和创新是自然科学的生命和灵魂。科学工作者应当争取有所发现、有所创新,同学们应当通过学习和掌握物理知识的过程来培养自己的创新意识和创造能力。

在培养创新能力方面,学会“体会式”的学习方法是十分重要的。著名物理学家、诺贝尔物理学奖获得者杨振宁先生在多次谈话中比较了中美两国的教育方式。他提到中国的传统教育方式强调知识的系统性,提倡循序渐进地学习,这有利于学生打下坚实的基础。而美国的教育注重知识的广泛性、提倡“渗透式”,其特点是在学习的时候,学生对所学的内容往往还不太清楚,然而就在这个过程中学生一点一滴体会到了许多东西。其优点是学生有较强的独立思考能力和创造意识,易于较快进入科学发展的前沿。这两种学习方式各具特色,长短互补。我们应当努力把两者的优点和谐地统一起来,中西兼蓄、为我所用。基于这些考虑,本书在适当章节插入一些对学生来说不很熟悉和感觉较难的内容,目的就是希望渗透一些近代或高新技术的信息,以开拓视野,希望读者能以富于进取的精神来对待这些内容。

目 录

力学基础篇

第 1 章 质点运动学 /2



- 1.1 参考系 坐标系 物理模型 /3
- 1.2 位置矢量 位移 速度 加速度 /4
- 1.3 曲线运动的描述 运动学中的两类问题 /8
- *1.4 相对运动 /15

第 2 章 质点动力学 /18



- 2.1 牛顿运动定律 /19
- *2.2 非惯性系 惯性力 /23
- 2.3 动量 动量守恒定律 /25
- 2.4 功 动能 势能 机械能守恒定律 /28

第 3 章 刚体力学基础 /38



- 3.1 刚体 刚体定轴转动的描述 /39
- 3.2 力矩 刚体定轴转动的转动定律 /42
- 3.3 刚体定轴转动的动能定理 /48
- 3.4 刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律 /50

电磁学篇

第 4 章 静电场 /58



- 4.1 电场 电场强度 /59
- 4.2 电通量 高斯定理 /66
- 4.3 电场力的功 电势 /70
- 4.4 电场强度与电势的关系 /74
- 4.5 静电场中的导体 /76
- 4.6 静电场中的电介质 /79
- 4.7 电容 电容器 /83
- 4.8 电场的能量 /86

第5章 稳恒磁场 /88



- 5.1 磁场 磁感应强度 /89
 5.2 安培环路定理 /98
 5.3 磁场对载流导线的作用 /101
 *5.4 磁场对运动电荷的作用 /107
 5.5 磁介质 /112

第6章 电磁感应 /120



- 6.1 电磁感应定律 /121
 6.2 动生电动势与感生电动势 /124
 6.3 自感应与互感应 /129
 6.4 磁场能量 /132

第7章 电磁场和电磁波 /134



- *7.1 位移电流 麦克斯韦方程组 /135
 *7.2 电磁波 /138
 *7.3 电磁场的能量与动量 /142

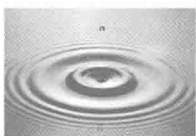
波动光学篇

第8章 机械振动 /148



- 8.1 简谐振动的动力学特征 /149
 8.2 简谐振动的运动学 /151
 8.3 简谐振动的能量 /156
 8.4 简谐振动的合成 /158
 *8.5 阻尼振动 受迫振动 共振 /165

第9章 机械波 /168



- 9.1 机械波的形成和传播 /169
 9.2 平面简谐波的波函数 /174
 *9.3 波的能量 /177
 9.4 惠更斯原理 波的叠加和干涉 /180
 *9.5 驻波 /185
 *9.6 多普勒效应 /190

第10章 光的干涉 /193



- 10.1 光源 光的相干性 /194
 10.2 杨氏双缝干涉实验 /197
 10.3 光程与光程差 /200

- 10.4 薄膜干涉 /202
 10.5 劈尖干涉 牛顿环 /204
 *10.6 迈克耳孙干涉仪 /208

第 11 章 光的衍射 /211



- 11.1 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理 /212
 11.2 单缝夫琅禾费衍射 /214
 11.3 衍射光栅 /217
 *11.4 圆孔衍射 光学仪器的分辨率 /223
 *11.5 X射线的衍射 /225

第 12 章 光的偏振 /227



- 12.1 自然光和偏振光 /228
 12.2 起偏和检偏 马吕斯定律 /230
 12.3 反射与折射时光的偏振 /232
 *12.4 散射光的偏振 /234
 *12.5 光的双折射 /235
 *12.6 偏振光的干涉 人为双折射现象 /237
 *12.7 旋光现象 /240

气体动理论和热力学篇

第 13 章 气体动理论基础 /243



- 13.1 平衡态 温度 理想气体状态方程 /244
 13.2 理想气体压强公式 /247
 13.3 温度的统计解释 /249
 13.4 能量均分定理 理想气体的内能 /250
 13.5 麦克斯韦分子速率分布定律 /252

第 14 章 热力学基础 /258



- 14.1 内能 功和热量 准静态过程 /259
 14.2 热力学第一定律 /261
 14.3 气体的摩尔热容 /264
 14.4 绝热过程 /266
 14.5 循环过程 卡诺循环 /267
 14.6 热力学第二定律 /272
 14.7 热力学第二定律的统计意义 玻耳兹曼熵 /276

近代物理篇

第 15 章 相对论 /280



- 15.1 伽利略变换和经典力学时空观 /281
- 15.2 狭义相对论产生的实验基础和历史条件 /283
- 15.3 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换 /285
- 15.4 狭义相对论时空观 /289
- 15.5 狭义相对论动力学 /294

第 16 章 量子物理基础 /298



- 16.1 黑体辐射 普朗克量子假设 /299
- 16.2 光的量子性 /302
- 16.3 玻尔的氢原子理论 /308
- 16.4 粒子的波动性 /313
- 16.5 测不准关系 /315
- 16.6 波函数 薛定谔方程 /317
- 16.7 斯特恩-盖拉赫实验 /320
- 16.8 电子自旋 /323

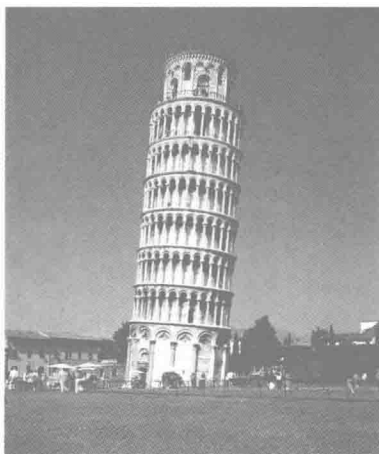
附录

- 附录 I 矢量 /325
- 附录 II 国际单位制(SI) /336
- 附录 III 常用基本物理常量表 /338
- 附录 IV 物理量的名称、符号和单位(SI)一览表 /339

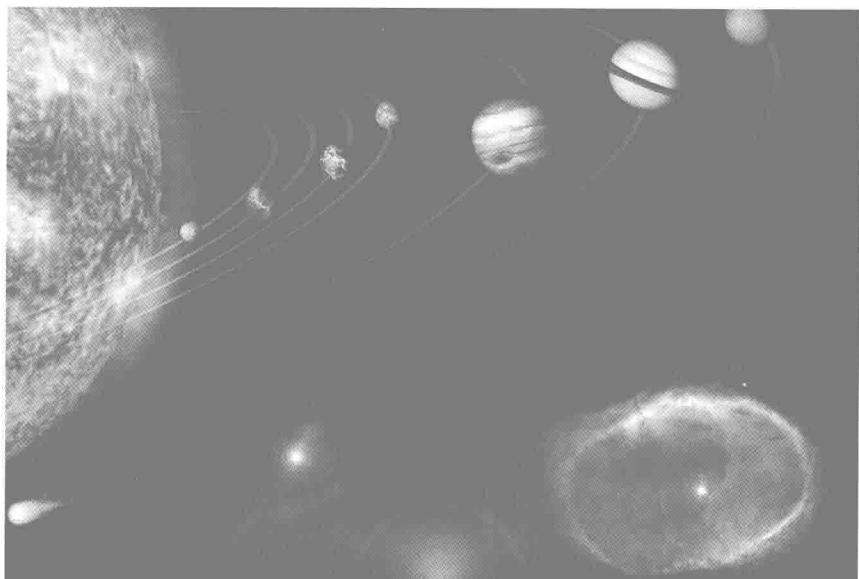


力学基础篇

力学是物理学中最古老和发展最完美的学科,它起源于公元前 4 世纪古希腊学者亚里士多德关于力产生运动的说法,以及我国《墨经》中关于杠杆原理的论述等,但其成为一门科学理论则始于 17 世纪伽利略论述惯性运动,继而牛顿提出了力学三个运动定律,以牛顿运动定律为基础的力学理论称为牛顿力学或经典力学,它所研究的对象是物体的机械运动,经典力学有严谨的理论体系和完备的研究方法,如观察现象,分析和综合实验结果,建立物理模型,应用数学表述,作出推论和预言,以及用实践检验和校正结果等,因此,它曾被人们誉为完美普遍的理论而兴盛了约三百年,直至 20 世纪初才发现它在高速和微观领域的局限性,从而在这两个领域分别被相对论和量子力学所取代,但在一般的技术领域,如机械制造、土木建筑、水利设施、航空航天等工程技术中,经典力学仍然是必不可少的重要的基础理论。



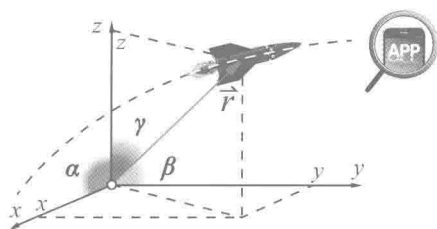
本篇主要讲述质点力学、刚体的定轴转动,着重阐明动量、角动量和能量诸概念及相应的守恒定律(并简要介绍了对称性与守恒定律的关系),长期以来,经典力学被认为是决定论的,随着现代科学技术的发展,人们发现经典力学问题实际上大部分具有不可预测性,是非决定论的。



第 1 章

质点运动学

力学所研究的是物体机械运动的规律. 宏观物体之间(或物体各部分之间)相对位置的改变称为机械运动. 在经典力学中, 通常将力学分为运动学、动力学和静力学. 本章只研究运动学规律. 运动学是从几何的观点来描述物体的运动, 即研究物体的空间位置随时间的变化关系, 不涉及引发物体运动和改变运动状态的原因.



质点运动的描述

1.1 参考系 坐标系 物理模型

为了描述物体的运动必须作三点准备,即选择参考系、建立坐标系、提出物理模型。

1.1.1 运动的绝对性和相对性

众所周知,运动是物质的存在形式,运动是物质的固有属性.从这种意义上讲,运动是绝对的.当然本书所讨论的运动,还不是这种哲学意义上的广义运动.但即使是机械运动形式,任何物体在任何时刻都在不停地运动着.例如,地球在自转的同时绕太阳公转,太阳又相对于银河系中心以大约 250 km/s 的速率运动,而我们所处的银河系又相对于其他银河系大约以 600 km/s 的速率运动着.总之,绝对不运动的物体是不存在的.

然而运动又是相对的.因此本书所研究的物体的运动都是在一定环境和特定条件下的运动.例如,当说一列火车开动了,这显然是指火车相对于地球(车站)而言的.离开特定的环境、条件谈论运动没有任何意义.正如恩格斯所说:“单个物体的运动是不存在的——只有在相对的意义下才可以谈运动.”

1.1.2 参考系

运动是绝对的,但运动的描述却是相对的.因此,在确定研究对象的位置时,必须先选定一个标准物体(或相对静止的几个物体)作为基准.那么这个被选作标准的物体或物体群,就称为参考系.

同一物体的运动,由于所选参考系不同,对其运动的描述就会不同.例如,在匀速直线运动的车厢中,物体的自由下落,相对于车厢是作直线运动;相对于地面,却是作抛物线运动;相对于太阳或其他天体,运动的描述则更为复杂.这一事实充分说明了运动的描述是相对的.

从运动学的角度讲,参考系的选择是任意的,通常以对问题的研究最方便、最简单为原则.研究地球上物体的运动,在大多数情况下,以地球为参考系最为方便(以后如不作特别说明,研究地面上物体的运动,都是以地球为参考系).但是,当在地球上发射人造“宇宙小天体”时,则应以太阳为参考系.

1.1.3 坐标系

要想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.在力学中常用的是直角坐标系.根据需要,也可选用极坐标系、自然坐标系、球面坐标系或柱面坐标系等.

总的说来,当参考系选定后,无论选择何种坐标系,物体的运动性质都不会改变.然而,坐标系选择得当,可使计算简化.

1.1.4 物理模型

任何一个真实的物理过程都是极其复杂的.为了寻找某过程中最本质、最基本的规律,总是根据所提问题(或所要回答的问题),对真实过程进行理想化的简化,然后经过抽象提出一个可供数学描述的物理模型.

现在所提的问题是确定物体在空间的位置. 当物体的线度比它运动的空间范围小很多时, 例如绕太阳公转的地球和调度室中铁路运行图上的列车等; 或当物体作平动时, 物体上各部分的运动情况(轨迹、速度、加速度)完全相同. 这时可以忽略物体的形状、大小, 而把它看成一个具有一定质量的点, 并称之为质点.

若物体的运动在上述两种情形之外, 还可推出质点系的概念. 即把这个物体看成是由许许多多满足第一种情况的质点所组成的系统. 如果弄清楚了组成这个物体的各个质点的运动情况, 那么也就描述了整个物体的运动.

在力学中除了质点模型之外, 在后续章节中还会遇到刚体、理想流体、谐振子及理想弹性介质等物理模型.

综上所述: 选择合适的参考系, 以方便确定物体的运动性质; 建立恰当的坐标系, 以定量地描述物体的运动; 提出较准确的物理模型, 以确定所提问题最基本的运动规律.

1.2 位置矢量 位移 速度 加速度

1.2.1 位置矢量

为了表示运动质点的位置, 首先应该选参考系, 然后在参考系上选定坐标系的原点和坐标轴, 参看图 1.1. 质点 P 在直角坐标系中的位置可由 P 所在点的三个坐标 x, y, z 来确定, 或者用从原点 O 到 P 点的有向线段 $\vec{OP} = \mathbf{r}$ 来表示, 矢量 \mathbf{r} 叫作位置矢量(简称位矢, 又称矢径). 相应地, 坐标 x, y, z 也就是位矢 \mathbf{r} 在坐标轴上的三个分量.

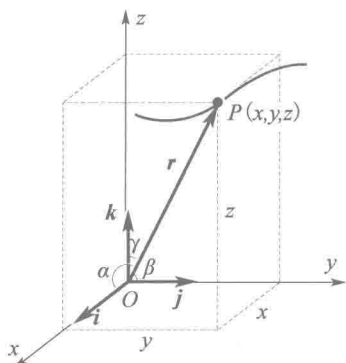


图 1.1 直角坐标系下的位矢

在直角坐标系中, 位矢 \mathbf{r} 可以表示成

$$\mathbf{r} = xi + yj + zk \quad (1.1)$$

式中 i, j, k 分别表示沿 x, y, z 三轴正方向的单位矢量. 位矢 \mathbf{r} 的大小为

$$|\mathbf{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1.2)$$

位矢的方向余弦为

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

质点的机械运动是质点的空间位置随时间变化的过程. 这时质点的坐标 x, y, z 和位矢 \mathbf{r} 都是时间 t 的函数. 表示运动过程的函数式称为运动方程, 可以写作

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.3a)$$

或

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.3b)$$

知道了运动方程, 就能确定任一时刻质点的位置, 从而确定质点的运动. 力学的主要任务之一, 正是根据各种问题的具体条件, 求解质点的运动方程.

质点在空间的运动路径称为轨道. 质点的运动轨道为直线时, 称为直线运动. 质点的运动轨道为曲线时, 称为曲线运动. 从式(1.3a)中消去 t 即可得到轨道方程. 式(1.3a)就是轨道的参数方程.

轨道方程和运动方程最明显的区别,就在于轨道方程不是时间 t 的显函数. 例如, 已知某质点的运动方程为

$$x = 3\sin \frac{\pi}{6}t, \quad y = 3\cos \frac{\pi}{6}t, \quad z = 0$$

式中 t 以 s 计, x, y, z 以 m 计. 从 x, y 两式中消去 t 后, 得轨道方程为

$$x^2 + y^2 = 9, \quad z = 0$$

其表明质点是在 $z = 0$ 的平面内, 作以原点为圆心, 半径为 3 m 的圆周运动.

1.2.2 位移

如图 1.2 所示, 设质点沿曲线轨道 \widehat{AB} 运动, 在 t 时刻, 质点在 A 处, 在 $t + \Delta t$ 时刻, 质点运动到 B 处, A, B 两点的位矢分别由 \boldsymbol{r}_1 和 \boldsymbol{r}_2 表示, 质点在 Δt 时间间隔内位矢的增量

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 \quad (1.4)$$

称之为位移, 它是描述物体位置变动大小和方向的物理量, 在图上就是由起始位置 A 指向终止位置 B 的一个矢量. 位移是矢量, 它的运算遵守矢量加法的平行四边形法则 (或三角形法则).

如图 1.3 所示, 位移的模只能记作 $|\Delta \boldsymbol{r}|$, 不能记作 Δr . Δr 通常表示位矢模的增量, 即 $\Delta r = |\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1|$, 而 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 则是位矢增量的模 (即位移的模), 而且在通常情况下 $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r$.

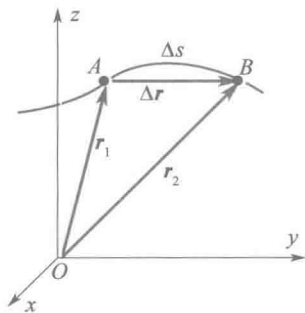


图 1.2 位移

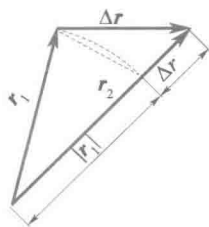


图 1.3 位移的大小

必须注意, 位移表示物体位置的改变, 并非质点所经历的路程. 例如在图 1.2 中, 位移是有向线段 \overrightarrow{AB} , 它的量值 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 为割线 AB 的长度. 路程是标量, 即曲线 \widehat{AB} 的长度, 通常记作 Δs . 一般来说, $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta s$. 显然, 只有在 Δt 趋近于零时, 才有 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| = \mathrm{d}s$. 应当指出, 即使在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| = \mathrm{d}r$ 这个等式也不成立.

在直角坐标系中, 位移的表达式为

$$\Delta \boldsymbol{r} = (x_2 - x_1)\boldsymbol{i} + (y_2 - y_1)\boldsymbol{j} + (z_2 - z_1)\boldsymbol{k} = \Delta x \boldsymbol{i} + \Delta y \boldsymbol{j} + \Delta z \boldsymbol{k} \quad (1.5)$$

位移的模为

$$|\Delta \boldsymbol{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (1.6)$$

位移和路程的单位均是长度的单位, 国际单位制 (SI 制) 中为 m.

1.2.3 速度

研究质点的运动, 不仅要知道质点的位移, 还必须知道在多长时间通过这段位

移,亦即要知道质点运动的快慢程度.

如图 1.2 所示,在时刻 t 到 $t + \Delta t$ 这段时间内,质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,那么 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值,称为质点在 t 时刻附近 Δt 时间内的平均速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.7)$$

这就是说,平均速度的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同,平均速度的大小与在相应的时间 Δt 内每单位时间的位移大小相同.

显然,用平均速度描述物体的运动是比较粗糙的.因为在 Δt 时间内,质点各个时刻的运动情况不一定相同,质点的运动可以时快时慢,方向也可以不断地改变,平均速度不能反映质点运动的真实细节.如果要精确地知道质点在某一时刻或某一位置的实际运动情况,应使 Δt 尽量减小,即 $\Delta t \rightarrow 0$,用平均速度的极限值——瞬时速度(简称速度)来描述.

质点在某时刻或某位置的瞬时速度,等于该时刻附近 Δt 趋近于零时平均速度的极限值,数学表示式为

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.8)$$

可见速度等于位矢对时间的一阶导数.

速度的方向就是 Δt 趋近于零时,平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 或位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向,即沿质点所在处轨道的切线方向,并指向质点前进的一方.

速度是矢量,具有大小和方向.描述质点运动时,也常采用一个叫作速率的物理量.速率是标量,等于质点在单位时间内所行经的路程,而不考虑质点的方向.如图 1.2 所示,在 Δt 时间内质点所行经的路程为曲线 \overline{AB} . 设曲线 \overline{AB} 的长度为 Δs ,那么 Δs 与 Δt 的比值就称为 t 时刻附近 Δt 时间内的平均速率,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.9)$$

平均速率与平均速度不能等同看待.例如,在某一段时间内,质点环行了一个闭合路径,显然质点的位移等于零,平均速度也为零,而质点的平均速率则不等于零.

尽管如此,但在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限条件下,曲线 \overline{AB} 的长度 Δs 与直线 AB 的长度 $|\Delta \mathbf{r}|$ 相等,即在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $ds = |d\mathbf{r}|$,所以瞬时速率

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \frac{|d\mathbf{r}|}{dt} = |\mathbf{v}| \quad (1.10)$$

即瞬时速率就是瞬时速度的模.

在直角坐标系中,由式(1.1)可知,速度可表示成

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \quad (1.11)$$

式中 $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, $v_z = \frac{dz}{dt}$ 叫作速度在 x 、 y 、 z 轴的分量.这时速度的模可以表示成

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.12)$$

速度和速率在量值上都是长度与时间之比,国际单位制(SI)中为 m/s.

1.2.4 加速度

在力学中,位矢 \mathbf{r} 和速度 \mathbf{v} 都是描述物体机械运动的状态参量.即 \mathbf{r} 和 \mathbf{v} 已知,质点的力