



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

DAXUE WULIXUE

大学物理学

(上)

(第4版·精编版)

主 编 赵近芳 王登龙

主 审 颜晓红

第十卷



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

大学物理学

(上)

(第4版·精编版)

主 编 赵近芳 王登龙
编 者 杨友田 胡 柯 张志纯
主 审 颜晓红

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内容简介

本书是在“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》”的基础上进行改编而成。全书仍分为上、下两册,上册包括力学基础、相对论、振动与波和热学;下册包括电磁学、波动光学和量子论。本书作为工科物理及理科非物理专业大学物理教材的改革尝试,采用了“高、宽、新、活、宜”的原则,即高视点选择经典内容,努力拓宽知识面,尽量反映新科技发展,注意各部分知识之间的活化联系,并保持教材内容难度适宜。书中一些重点难点知识做成了基于手机的数字资源,可通过“九斗”APP学习,方便学生自学。同时,本书还配备了多媒体课件、电子教案、网络课件、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:精编版.上/赵近芳,王登龙主编.—4版.—北京:北京邮电大学出版社,2018.7

ISBN 978-7-5635-5455-3

I. ①大… II. ①赵… ②王… 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(2018)第 116274 号

- 书 名 大学物理学(上)
主 编 赵近芳 王登龙
责任编辑 唐咸荣
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 ctrd@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 16
字 数 405 千字
版 次 2018 年 7 月第 4 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5455-3

定价:36.00 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

广益教育“九斗”APP 操作说明

本书为“互联网+”立体化教材，配有广益教育助学助教平台——“九斗”APP。请按照以下步骤操作使用。

步骤一，先使用智能手机扫描本书封面图标中的二维码（见下图），下载安装免费的“九斗”APP。提示：下载界面会自动识别安卓或苹果手机。




步骤二，安装成功之后，点击“九斗”APP 进入使用界面。

步骤三，首次使用请先注册。如果您是教师用户请提交资料进行审核，审核通过后即可获得教师的相关功能。

步骤四，注册成功后，按照软件提示或宣传视频操作即可。

提示：

1. 浏览资源请先扫描封底二维码进行教材验证；

2. 教材中带有  标志的图片可以使用“九斗”APP 中 AR 扫描功能扫描图片显示相关资源；

3. 教材中的二维码资源请使用“九斗”APP 中的扫一扫功能扫描二维码进行浏览。

在使用过程中，如有疑问，请随时与我们联系！

联系电话：010-82330186、13811568712

客服 QQ：2158198813

电子邮箱：kf@guangyiedu.com

前 言

承蒙兄弟院校的厚爱,“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》得到了全国上百所高等院校的使用,这是广大师生对这套教材的充分肯定,让我们倍感欣慰。为了更好地建设好这套教材,帮助师生们在教学过程中提高效率和兴趣、增加教学手段和扩充知识,我们对教材进行了全方位的互联网立体化建设,在高新技术与教学的融合方面做了大胆的尝试。不仅成功地利用了移动互联网平台,还引进了AR增强现实技术,这极大地丰富了教材内容,让老师和学生的知识触角延伸到了互联网。

全书仍分为《大学物理学》上、下两册。上册包括力学、相对论、振动与波、热学;下册包括电磁学、波动光学、量子物理学、新技术物理基础(专题)。全书改编过程遵循“高、宽、新、活、宜”的原则,即高视点选择经典内容,努力拓宽知识面,尽量反映新科技发展概况,注意各部分知识之间的活化联系,同时保持教材内容难度适宜。

近年来,高中物理知识和数学知识有所变动。例如,高等数学中的导数和积分基础知识在高中已开始学习,物理知识则在难度上有所降低,我们参考了近年来部分省(市)的高中物理教材,仔细研究了大学物理跟高中物理最佳的结合体系和内容。在第4版精编版上,我们尽量保持原有的体系结构和内容,而主要区别则包括以下几个方面。

1. 在例题方面做了适当的调整,替换了部分运算复杂、综合性较强的例题,选用了一些重在物理思想和方法应用的题。

2. 对原有第11章和第12章进行了合并,统一并称为“变化的电磁场”,以适应大学物理教学的发展。

3. 对全书进行了互联网立体化建设,依托广益教育“九斗”APP,全方位为老师和学生提供教与学上的服务。我们提供了AR交互动画、微视频、拓展阅读、科学家简介等。为了提高学生的学习主动性,我们还把部分附录、本章摘要和习题参考答案搬上了互联网,通过这些大胆的创新,可以帮助学生提高从互联网获取知识的能力。

4. 教材与课程建设紧密结合,配备了一套独具特色的教学资源。主要包括学习指导书、多媒体课件、电子教案和教学大纲、网络课件、组卷题库系统等。

不同院校不同专业的物理教学计划时数可能存在差异,在使用本教材时可根据具体情况对内容进行重组或取舍,教学时数可掌握在72~128

学时范围内。

本书由张志纯负责改编力学、振动与波及其相应章节的阅读材料和习题；杨友田负责改编热学、量子物理篇、新技术物理基础(专题)的所有内容；胡柯负责改编电磁学篇的所有内容；王登龙负责改编相对论、波动光学篇的全部内容。最后由赵近芳教授和王登龙教授负责全书的修改和定稿工作。在修订过程中，南华大学彭志华、中南大学罗益民等老师参加了讨论和编写，提出了许多宝贵意见。参加讨论和编写的老师还有焦志伟、白心爱、倪江利、曾爱华、胡义嘎、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。

编写适合教学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

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)力学和相对论——讨论机械运动和时空性质;
- (2)振动与波——讨论宏观领域的波动规律;
- (3)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;
- (4)电磁学——讨论电磁场的运动规律和电磁相互作用;
- (5)波动光学——讨论光的干涉、衍射和偏振;
- (6)量子物理学——讨论微观粒子的波粒二象性和量子运动特征。

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社会的文明.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.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,这有利于学生打下扎实的基础.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

第一篇 力学基础

第 1 章 质点运动学 /2



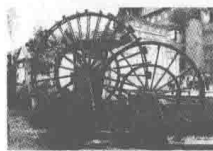
- 1.1 参考系 坐标系 物理模型 /3
- 1.2 位置矢量 位移 速度 加速度 /4
- 1.3 曲线运动的描述 运动学中的两类问题 /9
- 1.4 相对运动 /15
- 习题 /18

第 2 章 质点动力学 /20



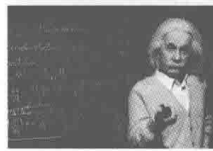
- 2.1 牛顿运动定律 /21
- *2.2 非惯性系 惯性力 /26
- 2.3 动量 动量守恒定律 *质心运动定理 /29
- 2.4 功 动能 势能 机械能守恒定律 /35
- *2.5 理想流体的伯努利方程 /48
- 习题 /53

第 3 章 刚体力学基础 /56



- 3.1 刚体 刚体定轴转动的描述 /57
- 3.2 力矩 刚体定轴转动的转动定律 /60
- 3.3 刚体定轴转动的动能定理 /66
- 3.4 刚体定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律 /68
- 习题 /76

第 4 章 狭义相对论 /79



- 4.1 伽利略变换和经典力学时空观 /80
- 4.2 狭义相对论产生的实验基础和历史条件 /82
- 4.3 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换 /85
- 4.4 狭义相对论时空观 /91
- 4.5 狭义相对论动力学 /96
- 习题 /100

第5章 机械振动 /102



- 5.1 简谐振动的动力学特征 /103
- 5.2 简谐振动的运动学 /106
- 5.3 简谐振动的能量 /110
- 5.4 简谐振动的合成 * 振动的频谱分析 /112
- 5.5 阻尼振动 受迫振动 共振 /119
- 习题 /122

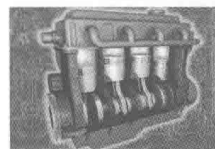
第6章 机械波 /125



- 6.1 机械波的形成和传播 /126
- 6.2 平面简谐波的波函数 /131
- 6.3 波的能量 * 声强 /138
- 6.4 惠更斯原理 波的叠加和干涉 /143
- 6.5 驻波 /149
- 6.6 多普勒效应 * 冲击波 /155
- *6.7 色散 波包 群速度 /159
- 习题 /162

第二篇 气体动理论和热力学

第7章 气体动理论基础 /166



- 7.1 平衡态 温度 理想气体状态方程 /167
- 7.2 理想气体压强公式 /170
- 7.3 温度的统计解释 /173
- 7.4 能量均分定理 理想气体的内能 /174
- 7.5 麦克斯韦分子速率分布定律 /177
- *7.6 玻耳兹曼分布律 /182
- 7.7 分子的平均碰撞频率和平均自由程 /184
- *7.8 气体内的输运过程 /187
- 习题 /190

第8章 热力学基础 /194



- 8.1 内能 功和热量 准静态过程 /195
- 8.2 热力学第一定律 /197
- 8.3 气体的摩尔热容 /200
- 8.4 绝热过程 /203
- 8.5 循环过程 卡诺循环 /206
- 8.6 热力学第二定律 /211

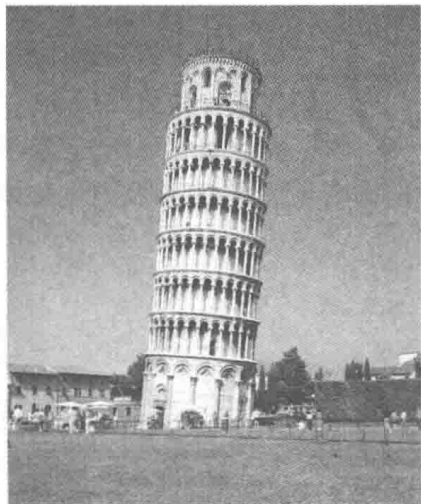
8.7 卡诺定理 克劳修斯熵 /215	
8.8 热力学第二定律的统计意义 玻耳兹曼熵 /221	
习题 /226	
附录 /230	
附录 I 矢量 /230	
附录 II 常用基本物理常量表 /241	
附录 III 其他常用参考资料 /242	

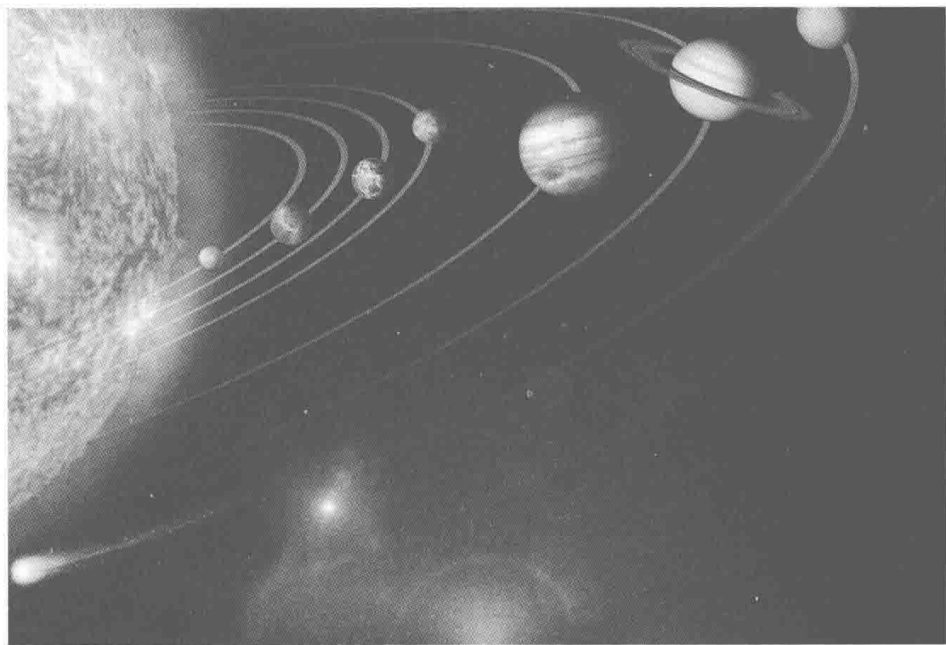
第一篇

力学基础

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,以及机械振动和机械波。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。本书也向读者介绍了这方面的基本知识——混沌。狭义相对论的时空观和牛顿力学联系紧密,亦可归入力学范畴。





第 7 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(或物体内部各部分之间)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.



本章提要



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 234 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.离开特定的环境和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.

科学家介绍



伽利略

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几何点,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



物理中的模型化

P 点的有向线段 $\overrightarrow{OP} = \boldsymbol{r}$ 来表示, 矢量 \boldsymbol{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 \boldsymbol{r} 在坐标轴上的三个分量.

在直角坐标系中, 位矢 \boldsymbol{r} 可以表示成

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.1)$$

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

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

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

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化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, 位移的大小只能记作 $|\Delta \boldsymbol{r}|$, 不能记作 Δr . Δr 通

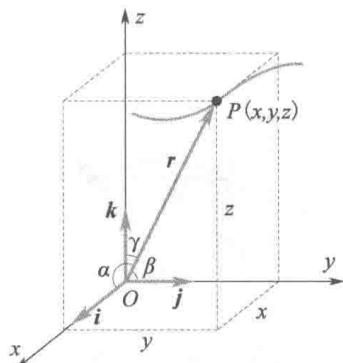
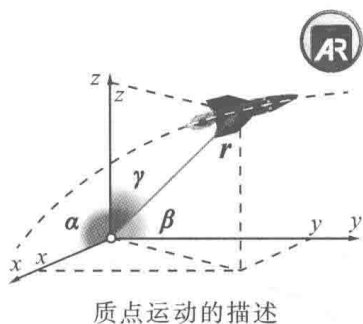


图 1.1 直角坐标系下的位矢



质点运动的描述



位移和路程的计算及理解