

137

04-43

W366

面向新世纪课程教材
Textbook Series for the New Century

大学物理学

上册 第二版

主编 王少杰 顾 牡 毛骏健
参编 章南陵 刘海兰



同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 上册/王少杰等主编. —2版. —上海:
同济大学出版社, 2002. 2
ISBN 7-5608-2382-3

I. 大… II. 王… III. ①物理学-高等学校-教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003945 号

大学物理学 上册 第二版

主 编 王少杰 顾 牡 毛骏健

责任编辑 张智中 **责任校对** 徐春莲 **装帧设计** 陈益平

**出 版
发 行**

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市华顺印刷有限公司印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 23.25

字 数 465000

印 数 1—10000

版 次 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2382-3/O·206

定 价 27.90 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

第二版前言

《大学物理学》自 1996 年问世以来,已五年有余,承蒙广大师生厚爱,本书于 1997 年获上海市高校优秀教材。在此期间,许多教师和学生也通过不同方式,对本书提出了许多宝贵的意见和建议,编者在此表示衷心的感谢。

为了适应面向 21 世纪非物理专业物理教学形势的发展以及广大师生的需求,参考了当前国内外物理教材改革的动向,我们对本书 1996 版作了必要的修订,重点作了以下几方面的工作:

一、在保留原有风格和特色基础上,立足于稳定中求革新,对教材原有框架和体系作适当变更,以体现非物理专业物理教材的简练和紧凑。本书上册包括:第一篇力学(质点运动学,质点动力学,刚体力学基础,狭义相对论);第二篇电磁学(电荷与电场,电流与磁场,电磁场与麦克斯韦方程组)。下册包括:第三篇热学(热力学基础,气体分子动理论);第四篇振动、波动和波动光学(振动学基础,波动学基础,波动光学);第五篇近代物理基础(量子物理,原子核物理和粒子物理简介);第六篇专题(固体物理基础,非线性物理简介)。

二、在保证“课程教学基本要求”内容的基础上,力求在经典物理中渗透现代物理的观点、概念;在加强当代物理信息的同时,不断增强学生物理学原理与工程实际相联系观念。本书在内容上也作了适度调整,以适应培养 21 世纪具有基础扎实、富有创新意识和能力的工程技术人才的需要。修订中重点改写和重写部分章节和段落;删去了不相适应的内容;增加了新的阅读材料和物理学前沿发展的新成果;精选了例题,更新了部分思考题和习题。

三、改正原书中出现的印刷错误及个别表达欠确切的内容和词句,按国家标准核对了全书的物理学名词及量和单位。

本书既可作为 110~140 学时的非物理专业大学物理课程的教材,也可供相关专业选用和参考。另外,本书冠以 * 号的章节供教师和读者选用,如果跳过这些内容,并不影响全书的系统性。

参加本书修订改编工作的有章南陵、王少杰、刘海兰、毛骏健、于明章、吴天刚、顾牡等。华金龙、羊亚平参加了修订大纲的制订和讨论,最后由王少杰、顾牡、毛骏健负责统稿和定稿。毛骏健、赵跃英为本书编配了有助学生深入理解、切实掌握课程内容和复习考试的配套光盘。

本书的修订出版是在教育部工科物理教学基地的资助下完成的。在出版过程中始终得到了同济大学物理系和物理教研室全体教师及同济大学出版社各方

面的关注、支持和帮助,特此一并致谢。

由于时间仓促,并由于编者的学识水平和教学经验所限,书中不当之处难免,敬请读者批评、指正。

编者

2002年1月于同济瑞安楼

第一版前言摘录

本书是依据国家教委颁布的“高等工业学校物理课程教学基本要求”、结合编者多年的教学实践经验编写而成的。为了适应当前高新技术的发展,立足于培养跨世纪高等工程技术人才,本书除注意物理教材内容的科学性外,对课程内容的现代化也作了一些探索和改革。

本书编写过程中注意处理好以下问题:结合教学特点和物理学的新发展,在传统教学内容框架下,增加了阅读材料和专题;注意与中学物理和大学后续课程的分工和衔接;尽量处理好经典物理内容与近代、现代物理内容之间的关系,既考虑到经典物理是学生后续课程和能力、素质培养所涉及的主要知识内容,也注意到在经典物理内容中渗透近代、现代物理的观点、概念和方法;在介绍和论述物理知识的同时,注意将科学建模思想、物理学发展史、科学家创新精神、研究问题的唯物辩证方法和解决问题的能力作为课程的素质教育内容。

参加本书编写工作的有田智明、王少杰、何庆平、吴於人、陆瑞征、华金龙、唐宗岳、吴天刚、羊亚平、顾牡等,最后由王少杰、华金龙、冯伟国负责统稿和定稿。

目 录

第二版前言

第一版前言摘录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	(2)
§ 1.1 时间与空间 量纲	(2)
1.1.1 时间与空间	(2)
1.1.2 国际单位制与量纲	(3)
§ 1.2 质点运动的描述	(3)
1.2.1 质点	(3)
1.2.2 参考系 坐标系	(4)
1.2.3 位置矢量与运动方程	(4)
1.2.4 位移与路程	(5)
1.2.5 速度	(5)
1.2.6 加速度	(6)
1.2.7 自然坐标系中的速度和加速度	(10)
1.2.8 圆周运动	(12)
§ 1.3 相对运动	(14)
阅读材料(一) 天体运动 宇宙膨胀	(18)
思考题	(18)
习题	(20)
第二章 质点动力学	(23)
§ 2.1 牛顿运动定律	(23)
2.1.1 牛顿第一定律	(23)
2.1.2 牛顿第二定律	(24)
2.1.3 牛顿第三定律	(25)
2.1.4 应用	(25)
§ 2.2 惯性参考系与非惯性参考系	(30)
2.2.1 惯性参考系	(30)
2.2.2 伽利略相对性原理	(30)

2.2.3 惯性力	(31)
* 2.2.4 科里奥利力	(34)
§ 2.3 功	(36)
2.3.1 功	(36)
2.3.2 一对相互作用力的功	(37)
2.3.3 功率	(38)
§ 2.4 机械能 机械能守恒定律	(39)
2.4.1 质点动能定理	(39)
2.4.2 保守力的功	(40)
2.4.3 势能	(41)
2.4.4 质点系的功能原理	(42)
2.4.5 机械能守恒定律与能量守恒定律	(43)
§ 2.5 动量 动量守恒定律	(45)
2.5.1 质点动量定理	(45)
2.5.2 质点系动量定理	(46)
2.5.3 动量守恒定律	(47)
§ 2.6 质心	(50)
2.6.1 质心	(50)
2.6.2 质心运动定理	(52)
阅读材料(二) 微重力	(54)
思考题	(55)
习 题	(58)
第三章 刚体力学基础	(64)
§ 3.1 刚体运动的基本形式	(64)
3.1.1 平动和转动	(64)
3.1.2 描述刚体转动的物理量	(65)
§ 3.2 定轴转动定律 转动惯量	(66)
3.2.1 力矩	(66)
3.2.2 转动定律	(67)
3.2.3 转动惯量的计算	(69)
§ 3.3 刚体定轴转动的机械能和力矩的功	(73)
3.3.1 刚体转动动能	(73)
3.3.2 刚体重力势能	(73)
3.3.3 力矩的功	(74)
3.3.4 刚体定轴转动的动能定理	(74)

3.3.5	刚体定轴转动的功能原理	(75)
§ 3.4	角动量定理及角动量守恒定律	(77)
3.4.1	质点的角动量	(77)
3.4.2	刚体对定轴的角动量	(78)
3.4.3	刚体的角动量定理	(79)
3.4.4	刚体的角动量守恒定律	(80)
* § 3.5	旋进	(84)
* § 3.6	平面平行运动	(86)
3.6.1	刚体平面平行运动的描述	(86)
3.6.2	刚体平面平行运动的动力学规律	(87)
3.6.3	纯滚动	(87)
	阅读材料(三) 对称性与守恒定律	(91)
	思考题	(93)
	习题	(94)
第四章	狭义相对论	(100)
§ 4.1	爱因斯坦基本假设	(100)
4.1.1	伽利略变换	(100)
4.1.2	狭义相对论的实验基础	(101)
4.1.3	爱因斯坦基本假设(狭义相对论基本原理)	(104)
§ 4.2	洛伦兹坐标变换和速度变换	(105)
4.2.1	洛伦兹坐标变换式	(105)
* 4.2.2	洛伦兹坐标变换的推导	(107)
4.2.3	相对论速度变换	(108)
§ 4.3	狭义相对论时空观	(112)
4.3.1	“同时”的相对性	(112)
4.3.2	时间膨胀	(113)
4.3.3	长度缩短	(113)
* § 4.4	闵可夫斯基四维世界	(115)
§ 4.5	相对论动力学基础	(117)
4.5.1	相对论的质速关系	(117)
4.5.2	相对论动力学的基本方程	(119)
4.5.3	相对论动能	(119)
4.5.4	静能、总能和质能关系	(121)
4.5.5	能量和动量的关系	(121)
	阅读材料(四) 广义相对论简介	(123)

思考题	(126)
习题	(127)

第二篇 电磁学

第五章 电荷与电场	(130)
§ 5.1 库仑定律与电场强度	(130)
5.1.1 电荷及其性质	(130)
5.1.2 库仑定律	(131)
5.1.3 电场与电场强度	(132)
5.1.4 场强叠加原理	(134)
§ 5.2 电通量与高斯定理	(139)
5.2.1 电场线	(139)
5.2.2 电通量	(140)
5.2.3 高斯定理	(142)
5.2.4 高斯定理的应用	(144)
5.2.5 静电场高斯定理的微分形式	(148)
§ 5.3 静电场的环路定理与电势	(148)
5.3.1 静电场的环路定理	(149)
5.3.2 电势	(151)
5.3.3 电势差	(152)
5.3.4 电势的计算	(153)
5.3.5 等势面 电势梯度	(156)
§ 5.4 静电场中导体	(159)
5.4.1 导体的静电平衡性质	(159)
5.4.2 空腔导体和静电屏蔽	(163)
5.4.3 电容和电容器	(165)
§ 5.5 静电场中介质 介质中高斯定理	(172)
5.5.1 电介质的微观机制和极化过程	(172)
5.5.2 电极化强度矢量	(174)
5.5.3 介质中的场强	(176)
5.5.4 介质中的高斯定理 电位移 \mathbf{D}	(178)
5.5.5 有介质时静电场的计算	(180)
§ 5.6 电场的能量	(183)
5.6.1 点电荷系统的电能	(183)

5.6.2	电容器的能量	(186)
5.6.3	电场能量 电场能量密度	(187)
5.6.4	电场能量的计算	(188)
	阅读材料(五) 静电现象和应用	(190)
	思考题	(194)
	习题	(198)
第六章	电流与磁场	(205)
§ 6.1	稳恒电流和稳恒电场 电动势	(205)
6.1.1	电流形成的条件	(205)
6.1.2	稳恒电流和稳恒电场	(206)
6.1.3	电流和电流密度	(206)
6.1.4	欧姆定律的微分形式 焦耳-楞次定律的微分形式	(208)
6.1.5	电源及电源电动势	(212)
6.1.6	含源电路的欧姆定律和基尔霍夫定律	(214)
§ 6.2	磁场和磁感应强度	(218)
6.2.1	磁性起源于电荷的运动	(218)
6.2.2	磁场 磁感应强度 B	(220)
§ 6.3	毕奥-萨伐尔定律	(221)
6.3.1	毕奥-萨伐尔定律	(221)
6.3.2	毕奥-萨伐尔定律应用举例	(223)
6.3.3	运动电荷的磁场	(230)
§ 6.4	磁场中高斯定理	(231)
6.4.1	磁感应线	(231)
6.4.2	磁通量	(232)
6.4.3	磁场中高斯定理	(233)
§ 6.5	真空中磁场的安培环路定理	(234)
6.5.1	安培环路定理	(234)
6.5.2	安培环路定理的应用	(237)
§ 6.6	磁场对运动电荷和载流导线的作用	(241)
6.6.1	洛伦兹力	(241)
6.6.2	带电粒子在磁场中的运动	(242)
6.6.3	应用电场和磁场控制带电粒子的实例	(243)
6.6.4	安培力	(247)
§ 6.7	磁力的功	(253)
6.7.1	磁力对运动载流导线的功	(253)

6.7.2 磁力矩对转动载流线圈的功	(254)
§ 6.8 磁介质	(255)
6.8.1 磁介质的分类和磁化 磁化强度	(256)
6.8.2 有磁介质存在时的高斯定理和安培环路定理	(261)
6.8.3 铁磁质	(265)
* 6.8.4 简单磁路	(268)
阅读材料(六) (A) 量子霍尔效应	(270)
(B) 超导电性	(273)
思考题	(279)
习题	(280)
第七章 电磁场与麦克斯韦方程组	(289)
§ 7.1 电磁感应的基本定律	(289)
§ 7.2 动生电动势	(294)
7.2.1 动生电动势的产生原因	(294)
7.2.2 动生电动势的计算	(296)
§ 7.3 感生电动势 感生电场	(298)
7.3.1 感生电动势	(298)
7.3.2 感生电场	(299)
7.3.3 感生电动势计算	(300)
* 7.3.4 电子感应加速器	(303)
7.3.5 涡电流	(305)
§ 7.4 自感和互感	(307)
7.4.1 自感	(308)
7.4.2 互感	(310)
§ 7.5 磁场的能量	(314)
* § 7.6 LR 和 CR 电路中的暂态过程	(317)
7.6.1 LR 电路	(318)
7.6.2 RC 电路	(319)
§ 7.7 位移电流和全电流定律	(321)
7.7.1 位移电流	(321)
7.7.2 全电流定律	(323)
§ 7.8 麦克斯韦方程组	(326)
阅读材料(七) 磁悬浮列车	(329)
思考题	(333)
习题	(334)

附录	(339)
附录一 希腊字母表	(339)
附录二 国际单位制(SI)基本单位	(340)
附录三 国际单位制辅助单位	(341)
附录四 国际单位制的词头	(341)
附录五 常用物理常量表	(342)
附录六 书中物理量的符号及单位	(343)
习题参考答案	(347)

第一篇 力学

自然界中一切物质都处在永恒不息的运动中,这种运动的普遍性和永恒性又称运动的绝对性。而运动形式又是多种多样、千变万化的。其中,最简单、最普遍而又最基本的一种运动形式是一个物体在空间相对另一物体的位置(或者一物体的某一部分相对于其他部分的位置)随时间而变化的运动,这种运动称为机械运动。例如,行星绕太阳的运转、汽车的奔驰、货物的升降、战士的冲锋,……等等,都是机械运动。力学就是研究机械运动规律及其应用的学科。

力学的历史悠久,是人类最早建立的学科之一。力学发展成为一门系统的独立学科始于17世纪末期。牛顿(Isaac Newton)在分析、总结前人的实验和理论的基础上,提出了力学的三条基本定律,奠定了经典力学的基础。这部分内容又称牛顿力学。以后力学得到了迅速的发展,在理论上形成了完整的体系。19世纪末期以来,随着科学技术的发展,产生了研究物体高速运动规律的相对论力学和研究微观客体运动规律的量子力学。使牛顿力学得以进一步的扩展和修正。尽管物理学的近代发展揭示了经典力学只在宏观低速领域内适用,然而,由于一方面在相当广阔的尺度和速率范围内经典力学仍具有较大的实用价值,另一方面在包括高速和微观领域在内的整个物理学中,经典力学的一些重要概念和定律,如动量、角动量、能量及其守恒定律也同样适用,于是经典力学不仅没有失去其原有的光辉和存在的价值,而且仍然保持着作为整个物理学基础的重要地位。从而,在自然科学和工程技术的广阔领域内,牛顿力学仍然能够较精确地解决广泛的理论和实际问题。

本篇研究的问题包括牛顿力学和狭义相对论。为研究方便起见,常把牛顿力学分为运动学和动力学。前者研究物体在运动过程中位置和时间的关系,后者研究物体运动变化的原因和规律。由于本篇中广泛采用矢量、微积分等高等数学知识准确地表达牛顿力学中一些物理量和规律,将有助于读者在中学物理基础上进一步加深对这些物理量和规律的理解和应用。

第一章 质点运动学

质点运动学的任务是描述作机械运动的物体在空间的位置随时间变化的关系,而不涉及运动变化的原因。

本章首先定义描述质点运动的物理量,如位置矢量、位移、速度和加速度等,并进而讨论这些量随时间变化的关系。然后讨论曲线运动中的法向加速度和切向加速度以及圆周运动的角量描述。最后将介绍相对运动以及相对运动中的速度相加定理。

位移、速度和加速度是运动学中的重要物理量,它们都具有相对性、瞬时性和矢量性,因而也反映了物体运动的基本特性。只有掌握了这些特性,才能正确理解这些物理量的意义。

§ 1.1 时间与空间 量纲

1.1.1 时间与空间

时间和空间是客观存在的。时间反映物质运动过程的持续性和顺序性;空间反映了物质存在的广延性。时间和空间是运动着的物质存在形式。没有脱离物质的时间和空间,也没有不在空间和时间中运动的物质。时间和空间彼此不是独立的,物质的运动是时间和空间联系的纽带。

物理学所描述的现象都离不开时间和空间。物理学史上重大思想和观念的变革无不与人们的时间和空间观念演变密切相关。

时间和空间是可量度的。先选择某种物理存在作为量度的参考或标准,建立相应的量度单位。

时间的计量有赖于周期性的现象。1967年,第十三届国际计量大会定义:秒为铯-133 (^{133}Cs) 原子基态的两个超精细能级之间跃迁辐射周期的 9192631770 倍。

空间量度最基本的是长度计量(由此可确定面积、体积的计量)。1960年,第十一届国际计量大会定义:米为氪-86 (^{86}Kr) 原子的 $2P_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁辐射(橙黄色光)在真空中波长的 1650763.73 倍。

时间和空间的标准,历史上经过多次演变最后都采用了原子标准,这是由于原子标准的不变性和复现性所决定的。

由于光在真空中传播速度的大小是一个常数,1973年发布的光速最佳值是 $(2.99792458 \times 10^8 + 400) \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,1983年,第十七届国际计量大会定义:米为光在真空中 $(1/299792458) \text{s}$ 时间间隔内所行经的距离。

1.1.2 国际单位制与量纲

每一个物理量都要有一个基准单位,而表示物理规律的公式均由几个物理量相联系,显然各物理量选取的基准单位是不能各自独立和随意的。在众多的物理量之间要一一确定合适的基准单位,必须要有一个简明易行的法则。1960年,第十一届国际计量大会通过了国际单位制,缩写为SI(源于法文 Le Systeme International de Unites)。选取七个物理量:长度(L)、质量(M)、时间(T)、电流(I)、热力学温度(Θ)、物质的量(N)、发光强度(J)作为基本量,这七个基本量的基准单位相应为:米(m)、千克(kg)、秒(s)、安[培](A)、开[尔文](K)、摩[尔](mol)、坎[德拉](cd),将它们称为基本单位。其他众多物理量都可以由这几个基本量来定义,称为导出量,与之相应的单位称导出单位。

量纲(dimension)是指某一物理量借助有关的定义或定律用基本量表示时,表达式中各基本量的指数(次幂)。如在力学中长度L、质量M、时间T是基本量,力可以用 MLT^{-2} 表示,力对质量、长度的量纲为1,对时间的量纲为-2。 MLT^{-2} 称为力的量纲式。也有些物理量量纲为零,是没单位的纯数。

一个物理方程、定理或公式,等号两边各项量纲必定相同。所以,可以通过量纲分析检查方程正确与否,甚至通过量纲的分析寻找某些复杂的物理规律。

§ 1.2 质点运动的描述

1.2.1 质点

由于在某些运动中,物体上的各部分具有相同的运动规律,或物体的大小、形状对所研究的问题影响不大,可以忽略,这时用一个集中质量的几何点——质点来替代物体。质点是一个力学的理想模型。质点具有相对意义,讨论地球绕太阳公转时,地球上各点相对于太阳的运动可认为近似相同,地球可以看作质点(图 1-1);讨论地球自转时显然就不可以看作质点了。

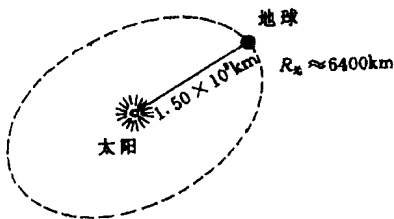


图 1-1 地球绕太阳运动

1.2.2 参考系 坐标系

运动是绝对的。因此,对物体的观测和描述必须选择另一些物体作为参考,这参考的物体称之为参考系。

在后续章节中我们在物理定律里用的一些物理量,必须是对同一参考系的。所以处理问题一定要明确各物体运动所选择的参考系,各物理量需经过变换统一到同一参考系才能求解有关问题。

为把物体的位置和运动状态作定量描述,则要在参考系中建立合适的坐标系。常用的有直角坐标系、自然坐标系,也可选极坐标系、球坐标系、柱坐标系等等。由于坐标系与参考系相关,一旦选定坐标系也表示参考系业已选定。选择

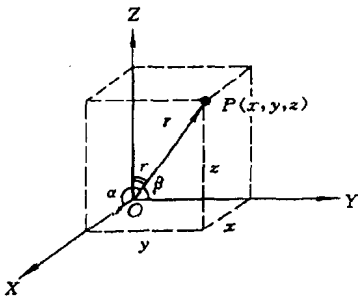


图 1-2 位置矢量

何种坐标系及坐标系设置的原则是使问题的分析和计算更加简明。

1.2.3 位置矢量与运动方程

在选定的坐标系里,用一个矢量由原点指向质点在空间的位置,该矢量称位置矢量,简称位矢,如图 1-2 所示。有向线段 OP 记为 r 。引入位置矢量是为了更方便、有效、准确地反映质点的运动状态。质点

运动时,位置不断变化,位矢是时间的函数

$$r = r(t) \quad (1-1)$$

这个函数描述了质点空间位置随时间变化的过程,称之为运动方程。

在直角坐标系里用分量表示为

$$r = xi + yj + zk \quad (1-2)$$

或

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-3)$$

位矢的大小、方向为

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-4)$$

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-5)$$

质点运动的空间轨迹(径迹)称为轨道,由式(1-3)消去 t ,得到轨道方程

$$\begin{cases} F(x, y, z) = 0 \\ G(x, y, z) = 0 \end{cases} \quad (1-6)$$

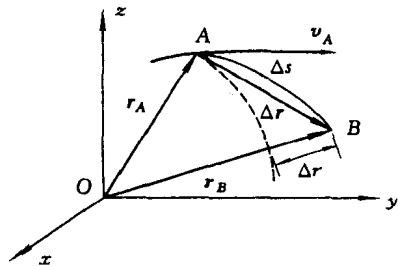


图 1-3

质点运动的轨迹若为直线称为直线运动,若为曲线则称为曲线运动。

1.2.4 位移与路程

如图 1-3, t 时刻质点位于 A 处, 位矢 r_A , 经过 Δt 时间间隔质点位于 B 处, 位矢 r_B 。在 Δt 时间间隔内位矢的增量称为位移矢量, 简称位移。即

$$\Delta r = r_B - r_A \quad (1-7)$$

在直角坐标系里写为

$$\begin{aligned} \Delta r &= r_B - r_A = (x_B i + y_B j + z_B k) - (x_A i + y_A j + z_A k) \\ &= \Delta x i + \Delta y j + \Delta z k \end{aligned} \quad (1-8)$$

位移的大小为: $|\Delta r| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$

位移的方向: 从 A 指向 B 。

要注意, $\Delta r = r_B - r_A = \sqrt{x_B^2 + y_B^2 + z_B^2} - \sqrt{x_A^2 + y_A^2 + z_A^2}$, 所以一般情况下 $|\Delta r| \neq \Delta r$ 。

路程 (Δs) 是质点运动的路径长度, 是个标量。而位移是既有大小又有方向的矢量。位移并不反映质点真实的运动路径长度, 只反映位置变化的实际效果。一般路程 Δs 与位移大小 $|\Delta r|$ 之间没有确定的关系, 只有当 Δt 趋近于零时或单向直线运动时, 两者才相等, $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta r|$, 即 $ds = |dr|$ 。

1.2.5 速度

速度是描述质点运动快慢和方向的物理量。质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间间隔内位矢的平均变化率称质点在该时间间隔内的平均速度 \bar{v}

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1-9)$$

它的方向与 Δr 相同。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限称为质点在 t 时刻的瞬时速度, 简称速度。

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-10)$$

由图 1-3 可见 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 r_B 趋近 r_A , Δr 的方向趋近于 A 点的切线方向, 即 A 点处的速度方向为 A 点的切线方向指向质点前进的一侧。

在 SI 制中速度单位为米·秒⁻¹ ($m \cdot s^{-1}$), 量纲式为 $M^0 L T^{-1}$ 。

在直角坐标系里

$$\begin{aligned} v &= \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt} i + \frac{dy}{dt} j + \frac{dz}{dt} k \\ &= v_x i + v_y j + v_z k \end{aligned} \quad (1-11)$$

瞬时速度的数值大小叫瞬时速率