

大学物理

讲义

(上册)

赵先锋 编



西南交通大学出版社

大学物理讲义

(上册)

赵先锋 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是为适应建设高水平应用型本科院校的要求,在内容选取上,除基本内容外,还以一定篇幅介绍了物理学相关章节所需的数学知识和物理学史料内容。全书共 21 章,分上、下两册,其中上册 12 章,包括质点运动学、牛顿运动定律、动量守恒定律、功和能、机械能守恒定律、角动量守恒定律、刚体定轴转动、狭义相对论基础、真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒磁场、磁介质和电磁感应等内容。

本书可作为高等院校非物理类理科、工科的大学物理教材和教学参考书,还可作为教师教学和学生自学的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理讲义.上册/赵先锋编. —成都:西南
交通大学出版社, 2015.12
ISBN 978-7-5643-4397-2

I. ①大… II. ①赵… III. ①物理学—高等学校—教
学参考资料 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 268988 号

大学物理讲义(上册)

赵先锋 编

责任编辑 张宝华
装帧设计 墨创文化

印张 11.25 字数 278千

成品尺寸 185 mm × 260 mm

版本 2015年12月第1版

印次 2015年12月第1次

印刷 四川森林印务有限责任公司

书号: ISBN 978-7-5643-4397-2

出版发行 西南交通大学出版社

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

地址 四川省成都市金牛区交大路146号

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

定价: 26.00元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

大学物理是理工类专业一门十分重要的基础课,为适应高水平应用型本科院校的建设要求,编者结合多年的教学经验以及当前国内外物理教材改革的动态,编写了这本大学物理讲义上、下册。本教材共 21 章,分上、下两册,其中上册 12 章,下册 9 章。上册内容包括:质点运动学、牛顿运动定律、动量守恒定律、功和能、机械能守恒定律、角动量守恒定律、刚体定轴转动、狭义相对论基础、真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒磁场、磁介质、电磁感应;下册内容包括:气体动理论、热力学基础、机械振动、机械波、光的干涉、光的衍射、光的偏振、早期量子论和波动力学基础。本书内容紧紧围绕大学物理课程的基本要求,以工程技术实践中广泛应用的基本物理原理为依据,尽量做到系统性、科学性和思想性的统一,注重理论联系实际,注重知识的应用性、启发性和趣味性相结合。在教材中适量引用了相关的物理学史料,目的是增强物理学理论的真实感和生动感,有助于学生形成科学的世界观和方法论,有利于激发学生的学习兴趣和培养学生的创新能力。

本书具有如下特点:(1)适当补充了必要的数学工具,便于学生学习之用;(2)精选内容,减轻学生负担,既保证内容基本系统完整,又为后续课程提供必要的基础;(3)适当介绍物理学发展史上的重要事件,使学生了解物理学发展的规律、科学研究的方法以及科学家的科学精神;(4)精选例题和习题,既减轻了学生的学习负担,又使学生通过习题的练习,达到巩固学习内容和提高解题能力的目的。

本教材内容相对比较完整,老师们在讲解时可以根据不同专业的大纲要求选择相应的内容,具有一定的灵活性。

本书的编写工作得到了滁州学院教学研究重点项目(2012jyz004)和滁州学院校级“规划教材”(《大学物理讲义》)项目的支持。

西南交通大学何青硕士、滁州学院的彭云梦同学参与了第一章至第四章的文字录入工作,在此深表谢意。滁州学院电子与电气工程学院的吴正怀老师、上海无线电设备研究所的王平硕士和西南大学的涂玉兵博士仔细阅读了书中的相关内容,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中缺点和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目 录

绪 论	1
第一章 质点运动学	4
第一节 质点运动的描述	4
第二节 描述质点运动的物理量	6
第三节 圆周运动	14
第四节 运动学的两类问题	18
第五节 相对运动	21
习 题	24
第二章 牛顿运动定律	25
第一节 牛顿运动定律	25
第二节 牛顿运动定律的应用	27
习 题	29
第三章 动量守恒定律	31
第一节 质心运动定理	31
第二节 动量定理	33
第三节 动量守恒定律	37
习 题	39
第四章 功和能 机械能守恒定律	40
第一节 能量转化与守恒定律的发现	40
第二节 动能定理	42
第三节 保守力和势能	44
第四节 机械能守恒定律	47
习 题	50
第五章 角动量守恒定律	52
第一节 质点的角动量定理	52
第二节 质点系的角动量定理	56
第三节 角动量守恒定律	58
习 题	60
第六章 刚体定轴转动	62
第一节 刚体定轴转动的物理量描述	62
第二节 刚体的转动惯量	63

第三节 刚体定轴转动角动量守恒定律	67
第四节 刚体定轴转动机械能守恒定律	70
习 题	72
第七章 狭义相对论基础	75
第一节 伽利略变换	75
第二节 洛伦兹变换	78
第三节 狭义相对论的时空观	81
第四节 狭义相对论动力学	84
习 题	88
第八章 真空中的静电场	89
第一节 静电场的描述: 库仑定律	89
第二节 电场强度	91
第三节 真空中静电场的高斯定理	96
第四节 电 势	101
第五节 电场强度和电势梯度的关系	104
习 题	107
第九章 静电场中的导体和电介质	109
第一节 静电场中的导体	109
第二节 静电场中的电介质	113
第三节 电容和电容器	116
第四节 电场的能量	121
习 题	122
第十章 稳恒磁场	124
第一节 真空中磁场的高斯定理	124
第二节 毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律	126
第三节 真空中磁场的安培环路定理	128
第四节 磁场对载流导线的作用	132
第五节 磁场对运动电荷的作用	134
习 题	138
第十一章 磁介质	139
第一节 磁介质和磁介质的磁化	139
第二节 磁介质中的安培环路定理	141
第三节 铁磁质	144
习 题	146
第十二章 电磁感应	148
第一节 电磁感应定律	148
第二节 动生电动势	151

第三节 感生电动势	153
第四节 互感 自感	155
第五节 磁场的能量	160
第六节 麦克斯韦方程组	161
习 题	163
习题答案	166
参考文献	171

绪 论

一、爱因斯坦的宇宙观

爱因斯坦是 20 世纪最伟大的理论物理学家。他对我们这个宇宙有独特的见解，他认为世界是简单的、和谐的和美的，这些观点对我们极具启发性。

1. 世界是简单的

这可以从以下三个方面来理解。

(1) 从宇宙的结构上来看，世界上各种物质都可归结为 100 多种元素，更进一步讲，可归结为由有限的几种夸克组成。

现在已知，自然界中的物质由分子和原子组成，原子的种类只有 100 多种。

其中原子由原子核及核外电子组成；原子核由质子、中子（称为核子）组成，核子由夸克组成。夸克迄今已知共有六种味道： u, d, s, c, b, t 。整个自然界都可归结于由夸克和轻子组成。就是这 100 多种元素组成了丰富多彩的世界，甚至人也是由它们组成的。费曼曾经说过：“你可能想到，那个在你面前走来走去与你攀谈的东西（人）可能是一大堆排列得非常复杂的原子。当我们说，我们是一堆原子，这并不意味着我们只是一堆原子。当你站在镜子前，你就会在镜子里看到一堆并非简单的一个个排列的原子所组成的东西，此时你也许会想到它是如何丰富而生动的”。

万事万物可归结为仅由几种夸克组成，其结构何其简单！

(2) 从物质的作用形式上看，迄今已知共有四种相互作用形式。

这四种作用形式包括：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{万有引力作用: } F = G \frac{Mm}{r^2}; \\ \text{电磁相互作用: } F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}; \\ \text{强相互作用;} \\ \text{弱相互作用,} \end{array} \right.$$

其中，万有引力作用主要存在于大尺度的宏观天体之间，电磁相互作用存在于带电体之间，强相互作用存在于强子之间，弱相互作用存在于如 β 衰变等过程中。

宇宙万物之间的相互作用都可归结于这四种作用形式。譬如说，人之所以能够行走，是由于人的鞋底与地面之间有摩擦力的存在。这种摩擦力，就其本质来讲乃是电磁作用。

(3) 逻辑的简单性。

任何一门学科理论，其内容可能非常丰富而复杂，但究其理论基础却是简单的。

欧几里得的《几何原本》是关于平面几何的权威性论著，共有 13 卷，包括 465 个关于平面几何的命题，内容非常繁杂。但是，其理论基础非常简单：共有 23 条定义、5 条公设和 5 条公理。

狭义相对论是爱因斯坦创立的关于时空的理论,其理论基础只有 2 条假设。

广义相对论是爱因斯坦创立的关于引力的理论,其理论基础也非常简单,同样只有 2 条假设。

因此,任何一门科学理论就其理论基础来说都是简单的,这表现了宇宙的逻辑简单性。

2. 世界是和谐的

关于世界和谐性的认识,人们经历了两个历史发展阶段。

(1) 在古代,人们普遍认为天地之间需要严加区别。

古希腊哲学家亚里士多德认为:“空间是多层次的,天地之间存在着质的差异,其分界在月球处。月球之外的天是摆脱了一切变化的完美无缺的世界。天体牵引的自然运动描绘出完整的图形。在月球之下的世界里,万物皆变,生灭不息,物体的自然运动为直线。地上的世界由土、水、空气、火四种元素构成,而天则由有灵魂的第五种元素以太构成。天由几层同心球构成,各个球和附和在它上面的星星一起围绕地球运动。”

他们认为,既然天地有质的区别,那么,置于其中的物体将会遵从不同的物理规律。也就是说,天和地是不和谐的。

(2) 在近代,近代物理学认为世界是和谐统一的。

近代物理学认为,自然界是和谐统一的,天和地没有本质的区别,满足同样的物理规律。

在牛顿《自然哲学之数学原理》的序言中,在论述物理规律是各处相同时说:“如果重力是一块在欧洲的石头下落的原因,谁能怀疑它是美洲石头下落的原因?如果在欧洲的石头与地球间有相互作用,谁能否认在美洲也有相同的情形?”。

但是,早在中国的春秋、战国时代,老子就有了“天人合一”的思想,庄子也提出了“齐物论”的观点。这是中国古代先贤对人类认识自然所做出的卓越贡献。

3. 世界是美的

关于物理世界的理论体系,是对自然界的逼近描述。它一方面可以反映自然界的真;另一方面,它还可以反映自然界的美。物理理论体系所反映的世界的美主要有简单美、奇异美、真理美、对称美、和谐美和统一美等。

譬如,广义相对论中的爱因斯坦引力场方程

$$G_{\mu\nu} = -\kappa T_{\mu\nu}$$

其中 $G_{\mu\nu}$ 称为爱因斯坦张量,描述了空间的弯曲程度; $T_{\mu\nu}$ 是物质的能量动量张量,描述了物质间的引力; κ 称为相对论引力常数。爱因斯坦引力场方程将引力与空间的弯曲等价起来,深刻地反映了自然界的对称美。

二、物理学的基本结构

粗略地看(就大学物理层面),物理学的基本结构包括如下几个部分:

(1) 经典力学。

起初,亚里士多德写了《物理学》一书,用思辨的方法讨论了物体的运动。

之后,伽利略将物理实验引入到物理学研究中来,使之真正成为一门科学。

再往后,牛顿在前人工作的基础上提出了牛顿运动三定律,并得出了万有引力定律,确立了经典力学的基本内容。

最后,拉格朗日、达兰贝尔等人将牛顿的理论形式化,给出了其完备的数学形式。

(2) 电磁学。

法拉第从实验上发现了电磁学的基本规律,并创立了以电力线来描述电场的方法。

麦克斯韦将法拉第的工作形式化,提出了麦克斯韦方程组,使电磁学臻于完善。

麦克斯韦之后几十年的电磁学发展的成果总结于斯特莱顿的《电磁理论》一书。

(3) 光学。

牛顿在《光学》一书中提出光的粒子说,几乎同时,惠更斯在《论光》一书中提出了光的波动说。

麦克斯韦理论上预言了光是电磁波,之后,赫兹实验上证实了电磁波的存在。

到了20世纪初,爱因斯坦在论文《关于光的产生和转化的一个启发性观点》中提出了光的波粒二象性观点。

(4) 热学。

热力学是关于物体冷热现象规律的唯一理论,其微观机制解释的理论要用到统计学的方法。

将统计学知识应用到热力学的探究中去,形成了热力学统计物理学。目前,热力学统计物理学已发展成为一门非常完善的学科。

(5) 近代物理。

近代物理包括相对论和量子力学两大支柱。

相对论包括狭义相对论和广义相对论,由爱因斯坦分别于1905年和1916年创立。

量子力学是20世纪30年代创立的。它的诞生与发展,凝聚了多位理论物理学家的心血和智慧。普朗克最早提出能量子假说;N. 玻尔将量子观点用于解释氢原子光谱,提出了量子定态假说;薛定谔提出了量子的波动力学,给出了薛定谔方程;波恩给出了波函数的统计诠释;海森堡创立了矩阵力学;费曼创立了量子力学的路径积分方法;狄拉克创立了相对论量子力学;泡利发现了泡利不相容原理,等等。总的来看,量子力学包括波动力学、矩阵力学和路径积分三大部分。

三、大学物理与中学物理的关系

大学物理与中学物理的关系主要表现在如下三个方面:

(1) 数学工具不同。

中学物理使用的数学工具主要是初等代数、平面几何等方面的知识;大学物理使用的数学工具为微积分、微分方程、矢量分析等高等数学的知识。

(2) 内容的深度和广度不同。

虽然大学物理和中学物理的研究内容在很多方面相同,但其内容的深度有区别。中学物理只给出了一些结论,而大学物理则揭示了为什么会有这些结论。

(3) 内容的广度不同。

大学物理的广度也较中学物理扩展了不少。例如,大学物理增加了狭义相对论的知识等。

第一章 质点运动学

力学研究物体的机械运动。所谓机械运动是指物体的宏观位置随时间的变化。物体的机械运动通过物体的运动方程 $\vec{r} = \vec{r}(t)$ 来描述。

最早, 希腊的亚里士多德在其著作《物理学》中, 用纯粹思辨的方法讨论了物体运动和静止的关系。

伽利略将实验引入到物理学中, 使物理学真正成为了一门科学。在《两大世界的对话》一书中, 他对抛体运动进行了详细的研究。

在《自然哲学之数学原理》一书中, 牛顿将他发明的微积分方法应用到质点运动中, 运用此方法, 可以由质点的轨迹求得其运动速度。

本章首先讨论了描述质点运动的物理量: 位置矢量、位移矢量、速度矢量和加速度矢量, 然后, 讨论了质点的圆周运动, 最后讨论了质点的相对运动。

第一节 质点运动的描述

一、理想模型

由于事物具有多个方面, 因此, 具体的物理对象是非常复杂的。要想描述物体的运动状态, 首先要对物体进行分析, 舍弃其非主要因素, 把对象简化, 并建立起理想模型, 然后, 再对理想模型进行研究。理想模型不是客观对象, 但是, 它可以近似地反映客观现实。

力学中建立的理想模型主要有质点、质点系和刚体。

(1) 质点。

只有质量, 没有形状和体积的点称为质点。

一个物体可否简化为质点, 在于所讨论的问题中物体的尺度大小是否可以忽略不计, 而不在于其实际尺度的大小。如研究原子中核外电子的自旋, 电子虽小却不可视为质点; 研究地球绕日运动, 地球虽大却可视为质点。

(2) 质点系。

对于质量连续分布的物体, 可以将物体的不同部分视为质点, 而把物体视为由大量质点组成的质点系。

质点系内部的质点之间必须有相互作用, 一群毫不相关的质点放在一起不能称之为质点系。质点系的基本属性是其中的质点只占有位置, 不占有空间, 它具有被代替物质的全部质量。

(3) 刚体。

任意两个质点间的距离在运动过程中保持不变的质点系, 称为刚体。

刚体也是对现实物体的理想抽象。在物理过程中, 当物体的形变非常小, 以至于对物理结果几乎没有什么影响时, 可以将物体视为刚体。如研究飞轮。当要研究飞轮的转动运动时, 其形变对运动结果的影响不太大, 此时可将飞轮视为刚体; 而当要研究飞轮的应力分布时,

此时必须要考虑其形变与应力的关系,因此,这时不可将飞轮视为刚体。

二、参考系和坐标系

1. 参考系

为描述一个物体的运动而选定的另一个作为参考的物体,称为参考系。

当描述一个物体的运动时,参考系的选取不同,对物理过程描述的结果也不同。如图 1-1-1 所示,一列车以匀速度 $\vec{v}$ 相对于地面向右运动。对于车内桌上小球 m 的运动状况,车内的人 A 和相对地面静止的人 B 会得出不同的结论。车内的人 A 认为小球是静止的,而地面上的人 B 则认为小球是运动的。

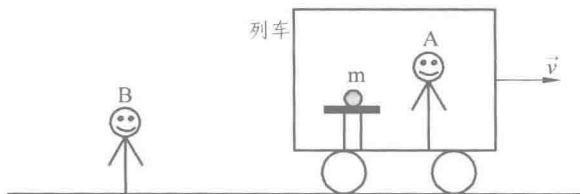


图 1-1-1 参考系的选取不同,对物理过程描述的结果也不同

2. 坐标系

要想定量地描述物体的运动,还需要在参考系上建立坐标系。

常用的坐标系主要有以下几种:

(1) 笛卡儿直角坐标系。

三维笛卡儿直角坐标系用有序数组 (x, y, z) 来表示质点在空间的位置。

(2) 柱面坐标系。

柱面坐标系是由平面极坐标系再加上描述质点高度的 z 轴而形成的。它用 (r, θ, z) 三个变量表示。

(3) 球坐标系。

球坐标系是用 (r, θ, φ) 三个变量来表示质点空间位置的(图 1-1-2)。这三个变量与直角坐标系的三个变量满足关系:

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \varphi \\ y = r \sin \theta \sin \varphi \\ z = r \cos \theta \end{cases} \quad (1-1-1)$$

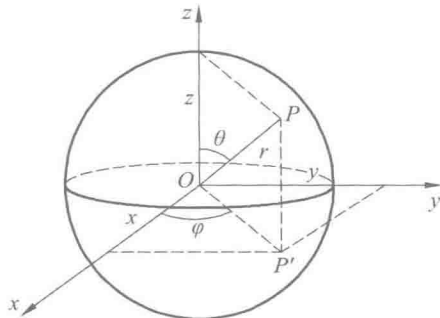


图 1-1-2 球坐标系

（4）自然坐标系。

自然坐标系是动坐标系。在质点运动的轨迹上在某点取切向单位向量为 $\vec{e}_t$ ，主法向单位向量为 $\vec{n}$ ，副法向单位向量为 $\vec{b}$ ，则 $(\vec{e}_t, \vec{n}, \vec{b})$ 建立了一个动坐标标架，称为自然坐标系（图 1-1-3）。该坐标系适合描述质点的曲线运动。

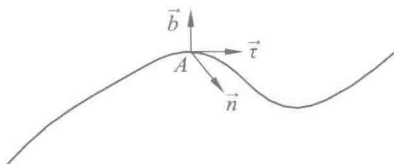


图 1-1-3 自然坐标系

第二节 描述质点运动的物理量

描述质点运动的物理量包括线量和角量，前者描述质点的平动运动，后者描述质点的转动运动。线量包括位置矢量、位移矢量、速度矢量和加速度矢量；角量包括角位置、角位移、角速度和角加速度。

将描述质点运动的物理量推广为矢量表示，就可以描述质点的二维和三维运动了，而标量表示只能描述一维运动。

描述质点运动的角量和线量之间满足一定的关系。

一、线量表示

描述质点运动的线量包括质点的位置矢量、位移矢量、速度矢量和加速度矢量。

1. 位置矢量和位移矢量

若 t 时刻质点位于 P 点，选固定点 O 为参考点，则 $\vec{r} = \vec{OP}$ 称为位置矢量，如图 1-2-1 所示。位置矢量和时间的函数关系 $\vec{r} = \vec{r}(t)$ 称为质点的运动方程。

在国际单位制（SI）中，位置矢量的单位是 m。

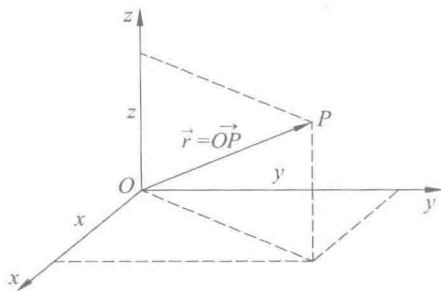


图 1-2-1 位置矢量

在直角坐标系中，位置矢量的表达式为

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad (1-2-1)$$

设质点在 t_1 时刻的位置矢量为 $\vec{r}_1$ ，在 t_2 时刻的位置矢量为 $\vec{r}_2$ ，则在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内位置矢量的改变量为

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \quad (1-2-2)$$

称为位移矢量，简称位矢。

位移矢量的大小为

$$|\Delta\vec{r}| = |\vec{r}_2 - \vec{r}_1| \quad (1-2-3)$$

方向为由矢量 $\vec{r}_1$ 的末端指向矢量 $\vec{r}_2$ 的末端 (图 1-2-2)。

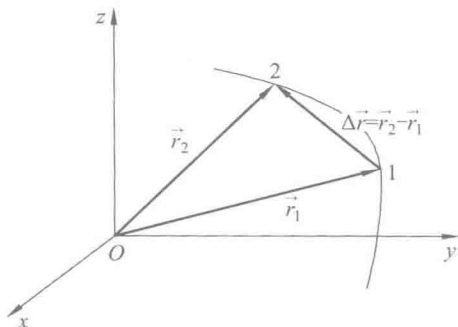


图 1-2-2 位移矢量

在笛卡儿直角坐标系中，两个时刻位置矢量的直角坐标表示分别为

$$\begin{aligned} \vec{r}_1 &= x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k} \\ \vec{r}_2 &= x_2\vec{i} + y_2\vec{j} + z_2\vec{k} \end{aligned}$$

则 Δt 时间内发生的位移为

$$\begin{aligned} \Delta\vec{r} &= \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k} \\ &= \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k} \end{aligned} \quad (1-2-4)$$

其中，位移矢量在三个坐标轴上的分量表达式分别为

$$\begin{cases} \Delta x = x_2 - x_1 \\ \Delta y = y_2 - y_1 \\ \Delta z = z_2 - z_1 \end{cases} \quad (1-2-5)$$

在直角坐标系中，位移的大小表示为

$$|\Delta\vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (1-2-6)$$

位移矢量与路程是否一回事儿呢？它们之间有何区别和联系呢？这可以从以下两个方面理解：

(1) 位移矢量 $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ 是质点位置矢量的差，是矢量；路程 s 则表示质点运动的路径，是标量。

譬如, 运动员绕操场跑一圈, 跑过的路程是 $s = 400 \text{ m}$, 但发生的位移却是零。

(2) 对于 dt 时间内发生的元位移为 $d\vec{r}$, 其大小不等于 dr , 而是等于 $|d\vec{r}|$ (图 1-2-3)。

dr 表示在位置矢量 $\vec{r}$ 方向上大小 r 基础上的一个增量, 是一个数值, 与方向无关; 元位移 $d\vec{r}$ 的大小则是指位移矢量 $d\vec{r}$ 的模。因此, 绝对不可以将 dr 表示为元位移 $d\vec{r}$ 的大小。

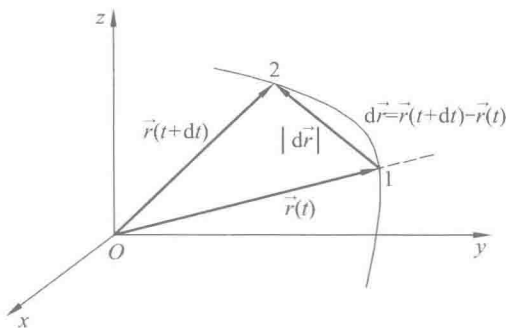


图 1-2-3 元位移

2. 速度矢量

随着时间的推移, 质点的位置矢量发生了改变, 产生了位移, 即质点在运动。假设两个质点发生了相同的位移, 然而是在不同的时间间隔内发生的, 那么该如何表征质点运动的快慢呢?

设质点在 Δt 时间内发生的位移是 $\Delta\vec{r} = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$ (图 1-2-4), 在此 Δt 时间内质点运动的快慢可由平均速度矢量描述。

$$\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad (1-2-7)$$

它表示质点在 Δt 时间内平均运动的快慢。

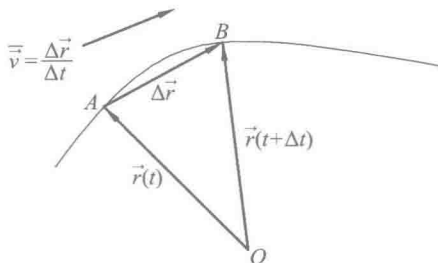


图 1-2-4 平均速度矢量

如果要精确地刻画某一时刻质点运动的快慢, 则可以采取对时间 Δt 取极限的方法:

令 $\Delta t \rightarrow 0$, 这时得到的速度称为瞬时速度矢量:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (1-2-8)$$

它表示质点在某一时刻运动的快慢 (图 1-2-5)。

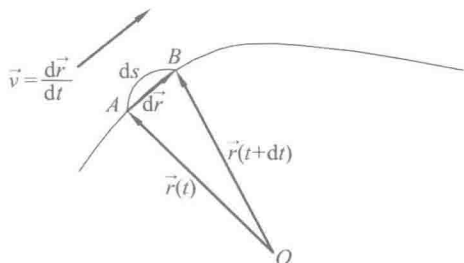


图 1-2-5 瞬时速度矢量

由图 1-2-5 可见, 当位移为元位移 $d\vec{r}$ 时, 元位移 $d\vec{r}$ 的模与弧长 ds 相等。因此, 速度矢量的大小为

$$|\vec{v}| = \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| = \frac{|d\vec{r}|}{dt} = \frac{ds}{dt} = v \quad (1-2-9)$$

式中, v 表示质点的速率。可见, 速度矢量的大小即为速率。

速度矢量的方向为元位移 $d\vec{r}$ 的方向。由图 1-2-5 可见, 当时间为 dt 时, 质点的末位置 B 将无限靠近其初始位置 A , 元位移 $d\vec{r}$ 的方向即为质点初始位置 A 处的切线方向, 故速度矢量的方向即为该点的切线方向, 且指向运动方向。

国际单位制中, 速度矢量的单位为 m/s 。

在笛卡儿直角坐标系中, 速度矢量可表示如下

$$\begin{aligned} \vec{v} &= \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}) \\ &= \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} \end{aligned} \quad (1-2-10)$$

其中, 速度矢量的直角坐标分量分别为

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} \\ v_z = \frac{dz}{dt} \end{cases} \quad (1-2-11)$$

速度矢量的大小为

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (1-2-12)$$

3. 加速度矢量

当汽车启动时, 其速度由慢变快; 当汽车刹车时, 其速度由快变慢。这两种情形汽车的

速度都随时间发生了改变。下面讨论如何描述速度变化的快慢。

设质点在 t_1 时刻处于 A 点, 速度为 $\vec{v}_A$; 在 t_2 时刻处于 B 点, 速度为 $\vec{v}_B$ 。质点在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内变化的快慢为

$$\bar{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_B - \vec{v}_A}{t_2 - t_1} \quad (1-2-13)$$

它表示质点速度平均变化的快慢, 称为平均加速度矢量。

为了精确地刻画质点在 t 时刻的运动快慢, 我们引入瞬时加速度矢量, 简称加速度矢量 (图 1-2-6)。

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1-2-14)$$

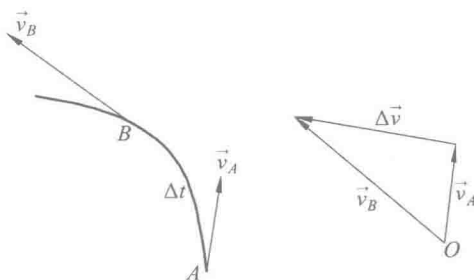


图 1-2-6 加速度矢量

由式 (1-2-8), 加速度矢量也可写为

$$\vec{a} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \right) = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (1-2-15)$$

加速度 $\vec{a}$ 是矢量, 有大小也有方向。加速度矢量的大小为

$$a = |\vec{a}| = \left| \frac{d\vec{v}}{dt} \right| = \frac{|d\vec{v}|}{dt} \quad (1-2-16)$$

加速度矢量 $\vec{a}$ 的方向由速度矢量增量 $d\vec{v}$ 决定, 情况较复杂, 以后在讨论平面曲线运动时再仔细研究。

在笛卡儿直角坐标系中, 加速度矢量的表达式为

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k} \\ &= \frac{d^2 x}{dt^2} \vec{i} + \frac{d^2 y}{dt^2} \vec{j} + \frac{d^2 z}{dt^2} \vec{k} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \end{aligned} \quad (1-2-17)$$

上式意味着加速度在三个坐标轴上的分量表达式分别为