

大学物理

简明教程

(上册)

DAXUE WULI
JIANMING JIAOCHENG

主编 周勋秀 马小娟 黄代绘 朱 浩



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

(上册)

西南交通大学出版社

内容简介

本教材以物理学的发展为主线,力求物理图像清晰,物理概念和基本规律表述明确;注重对物理过程的认知、分析和解决;锻炼学生的科学思维方式,将物理基础知识融入生活、高新科技和前沿课题之中。全书分为上、下两册,上册包括力学(含相对论基础)、热学、振动和波动;下册包括电磁学、光学和量子力学基础。

本书可作为高等学校非物理类专业的大学物理课程教材,也可作为各类成人高校物理课程的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理简明教程.上册 / 周勋秀等主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2010.2

ISBN 978-7-5643-0577-2

I. ①大… II. ①周… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 024565 号

大学物理简明教程

(上册)

主编 周勋秀 马小娟 黄代绘 朱浩

*

责任编辑 牛君

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 230 mm 印张: 17.625

字数: 381 千字 印数: 1—3 000 册

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0577-2

定价: 29.80 元

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

物理学是研究物质世界固有性质及其运动规律的一门科学。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域,应用于生产技术的许多部门;它是一切自然科学和工程技术的基础,也是高新技术发展的源泉和先导。

“大学物理”是理工科低年级学生的一门重要基础理论课,其作用在于使学生对物理学的基本概念、基本理论和基本方法有比较系统的认识 and 正确的理解,为以后的学习和工作打下必要的基础;同时增强学生分析问题和解决问题的能力、培养学生的探索精神和创新意识。

本书从大众化教育和我国目前工科大学物理教学实际出发,注重与高中物理知识的衔接,力求物理图像清晰,基本概念和基本规律表述明确。本书在考虑物理学的完整性和系统性的同时,将物理学方法论、物理学史、生活中的物理现象等寓于教材之中,既便于教,也便于学。

本书分上、下两册,适用于 90~110 学时或更少学时的教学。上册的具体分工为第 1 篇力学:周勋秀,第 2 篇热学:黄代绘,第 3 篇振动和波动:马小娟;下册的具体分工为第 4 篇电磁学:朱浩,第 5 篇光学:马小娟,第 6 篇量子力学基础:周勋秀。全书由黄泉保教授审阅。

本书在编写和出版过程中,吴平教授、张晓副教授自始至终都给予了极大的关心、支持与帮助,徐行可教授对本书的样章作了非常精细的审视,提出了许多有价值的意见,黄泉保教授花了大量时间对本书进行了逐字逐句的审阅,提出了具体的修改意见,王莉教授对书中内容也提出了许多宝贵的意见和建议;本书在出版过程中,得到了西南交通大学出版社的关注与支持,他们的热心帮助,为编者提供了良好的条件和机会,使本书顺利完成并出版,在此,对他们一并表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了国内外很多优秀教材,还借用了一些习题和网络上的少量插图,谨此致谢。

由于编者自身水平和教学经验的局限,书中难免存在不少疏漏和不妥之处,希望使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

2009 年 12 月

目 录

第1篇 力学

1 质点运动学	3
1.1 质点 参考系和坐标系	4
1.2 描述质点运动的基本物理量	6
1.3 几种常见运动及其描述	15
1.4 相对运动	27
本章小结	31
习 题	33
2 质点动力学	35
2.1 牛顿运动定律及其应用	36
2.2 动量定理与动量守恒定律	48
2.3 动能定理与能量守恒定律	58
2.4 质点的角动量定理与角动量守恒定律	75
*2.5 对称性与守恒定律	79
本章小结	82
习 题	84
3 刚体定轴转动	87
3.1 刚体的运动及描述	88
3.2 刚体定轴转动的转动定律	90
3.3 刚体定轴转动的动能定理	97
3.4 刚体定轴转动的角动量定理	100
本章小结	105
习 题	107
4 相对论基础	110
4.1 力学相对性原理 伽利略变换	111
4.2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换	114
4.3 狭义相对论的时空观	117

4.4 狭义相对论动力学基础	121
4.5 广义相对论简介	125
本章小结	127
习 题	129

第2篇 热 学

5 热力学基础	133
5.1 热力学状态及其描述	134
5.2 热力学第零定律 温度	135
5.3 功 热量 内能	139
5.4 热力学第一定律	142
5.5 循环过程 卡诺循环	149
5.6 热力学第二定律 卡诺定理	154
5.7 熵 熵增原理	160
5.8 热力学第三定律	164
本章小结	165
习 题	167
6 气体动理论	170
6.1 理想气体的压强和温度的统计解释	171
6.2 能量均分定理 理想气体的内能	176
6.3 麦克斯韦-玻耳兹曼分布	181
6.4 气体分子的碰撞规律	188
6.5 熵的微观意义	190
本章小结	194
习 题	196

第3篇 振动和波动

7 振 动	203
7.1 简谐振动的模型	204
7.2 简谐振动的定义	205
7.3 简谐振动的描述	209
7.4 简谐振动的能量	218

7.5 简谐振动的合成	220
7.6 阻尼振动 受迫振动	227
本章小结	229
习 题	231
8 波 动	234
8.1 波的认识	235
8.2 平面简谐波	238
8.3 波的能量	243
8.4 波的传播	246
8.5 波的干涉	250
8.6 多普勒效应	259
本章小结	263
习 题	265
习题参考答案	269
参考文献	273

第 1 篇 力 学



伽利略 (Galileo Galilei, 1564—1642 年), 杰出的意大利物理学家、天文学家和数学家。他是最早用望远镜观察天体的天文学家, 于 1632 年发表的《关于两个世界体系的对话》, 阐述了他对日心说的支持; 1638 年出版的《两种新科学的对话》一书中, 概述了他早期的实验和对力学的研究, 正是这些研究成果和思想, 为以后牛顿力学的诞生奠定了基础; 伽利略的主要成就还有他提出的著名的力学相对性原理、抛体的运动定律、摆振动的等时性等。对伽利略的成就和获得成就的方法, 爱因斯坦的赞扬具有代表性: “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”。



牛顿 (Issac Newton, 1643—1727 年), 伟大的英国物理学家, 经典物理学的奠基人。他在 1687 年出版的不朽巨著《自然哲学的数学原理》, 总结了前人和自己关于力学以及微积分学方面的研究成果, 提出了三条运动定律 (后人把它们称为牛顿运动定律, 是经典力学的基础) 和万有引力定律, 实现了物理学上的第一次大综合, 完成了具有历史意义的发现。牛顿在其他方面也有很大的贡献, 如在光学方面, 他说明了色散的起因, 发现了色差及牛顿环, 发明了反射望远镜。牛顿的成就得到了爱因斯坦的高度评价: “是牛顿才第一个成功地找到了一个用公式清楚表达的基础, 从这基础出发, 他能用数学思维, 逻辑地、定量地演绎出范围很广的现象, 并且能同经验相符合”。



爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879—1955 年), 现代物理学的开创者和奠基人。生于德国的乌尔姆, 卒于美国的普林斯顿。爱因斯坦在物理学的三个不同领域取得了历史性的成就。① 创建了光子理论, 第一次揭示了微观物体具有波粒二象性, 由于光电效应定律的建立, 爱因斯坦获得了 1921 年诺贝尔物理学奖。② 创建了狭义相对论, 后又推广为广义相对论, 在很大程度上解决了 19 世纪出现的经典物理学的危机, 推动了整个物理学理论的革命。③ 爱因斯坦对毛细现象、布朗运动的研究, 不仅为分子运动论奠定了基础, 而且解决了半个多世纪来科学家和哲学家争论不休的有关原子是否存在的问题。

力学是研究物体机械运动的普遍规律及其应用的学科，是物理学发展的起点，也是现代科学技术的基石。

：作为一门十分古老的学问，力学（以及整个物理学）是从17世纪伽利略论述惯性运动开始，继而牛顿提出了以他名字命名的三个运动定律。现在，以牛顿定律为基础的力学理论称为牛顿力学或经典力学，它曾被尊为完善普遍的理论而兴盛了约300年。但是，到了19世纪末和20世纪初，出现了许多经典力学无法解释的矛盾。对于速度很高（接近光速）的物体的运动问题，必须用相对论力学来研究（本篇的第4章将介绍相对论基础）；对于微观粒子的运动问题，要用到量子力学理论来描述（将在第6篇介绍）。因此经典力学的适用范围被明确为远低于光速的宏观物体的机械运动。但是在一般的技术领域甚至在航空航天技术中，如设计房屋、桥梁，制造飞机、轮船，发射人造卫星、宇宙飞船等，牛顿定律还是足够准确的，源自经典力学的动量、角动量和能量等的守恒定律仍然是适用的，经典力学仍保持着充沛的活力并起着基础理论的作用。

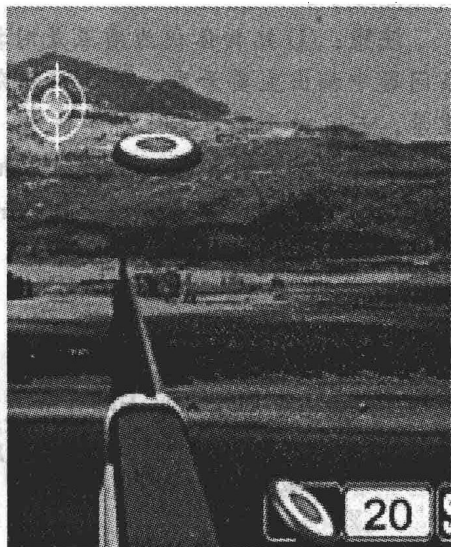
通常把力学分为运动学、动力学和静力学三部分。运动学研究物体在运动过程中其位置随时间变化的规律；动力学研究物体间的相互作用以及这种相互作用所引起的物体运动状态变化的规律；静力学研究物体在力和力矩作用下的平衡问题（本课程不专题讨论静力学的内容）。本篇研究质点的运动学和动力学问题，由于刚体的运动比较复杂，只研究刚体的定轴转动问题。

相对论是伟大的科学家爱因斯坦提出的，是关于物质运动和时间、空间关系的理论。1905年爱因斯坦从对称性思想出发，发展了牛顿力学，提出了狭义相对性原理（即一切惯性系彼此等价），首先得到了狭义相对论（局限于惯性参考系）；1916年在狭义相对论的基础上进一步发展，提出了广义相对性原理（即一切参考系都是平权的），把狭义相对论推广到一般参考系并包括引力场在内的理论，即广义相对论。相对论已是当今物理学的基础理论，它和牛顿力学联系紧密，因此本书把相对论归入力学篇。

1 质点运动学

自然界的一切物质都处于永恒的运动之中。物质的运动形式是多种多样的，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子运动等，其中，最简单、最基本又最常见的运动是机械运动，即一个物体相对于另一个物体的位置（或者一个物体的某些部分相对于其他部分的位置）随着时间而变化的过程。

运动学主要研究如何描述质点的机械运动状态及其变化的规律，不考虑引起物体运动状态改变的原因。本章在高中物理的基础上，首先介绍了研究对象的物理模型（质点）以及参考系、坐标系的选取；然后引入描述质点运动的几个基本物理量，即位置矢量、位移、速度和加速度，并强调其矢量性、相对性；再用这些物理量来描述几种常见运动（直线运动、抛体运动、圆周运动）和相对运动中物体位置随时间变化的规律。



射击最早用在军事活动和趣味性很强的狩猎活动中，后来发展成竞技项目。在打靶射击问题中，目标靶有固定的，也有运动的（如飞碟靶、抛靶、跑靶等）。要射中目标，只要开始射击时瞄准目标靶就可以了吗？命中运动的目标靶为什么比命中固定的目标靶难度大得多？这里面蕴涵着本章要学的抛体运动和相对运动等物理知识。

1.1 质点 参考系和坐标系

1.1.1 质点

物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构，即使是很小的分子、原子以及其他微观粒子也不例外。一般来说，物体运动时，其内部各点的位置变化常是各不相同的，而且物体的大小和形状也可能发生变化，因此，要精确描述物体各部分的运动状态不是一件容易的事。但是，当物体的线度相对于物体与观测者的距离很小，物体的大小和形状对物体运动状态的影响可以忽略不计时；或者物体上各点的运动状态相同（只考虑物体的平动），即物体上任一点的运动都可以代表整个物体的运动时，我们就可以近似地把该物体看做是一个具有质量、占有位置，但没有大小和形状的“点”，称为质点。

质点是经过科学抽象而形成的理想化的物理模型。把物体当做质点是有条件的、相对的，因而对具体情况要作具体分析。例如，研究地球绕太阳公转时，由于地球至太阳的平均距离（约 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ）比地球半径（约 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$ ）大得多，故地球上各点相对于太阳的运动可以看做是相同的，这时可把地球当做质点；但是，在研究地球的自转时，就不能再把地球当做质点处理了。

注意：① 把物体视为质点是对物体运动情况的简化，是科学抽象的物理模型，是从复杂问题中抽出主要矛盾，并加以研究的思维方法。这种抽象的研究方法，不仅对于学习物理学，而且对于学习其他科学技术，都是一种极为重要的方法。② 当我们所研究的运动物体不能视为质点时，原则上总可以把物体看做是由若干质点组成的质点系，弄清这些质点系的运动，就可以弄清楚整个物体的运动。因此，研究质点的运动规律也是研究一般物体运动规律的基础。

思考题

- (1) 质点模型与数学中的几何点有什么区别？
- (2) 数量级只有 10^{-10} m 的原子总能看成质点吗？

1.1.2 参考系

请思考：如图 1.1.1 所示，地面上的观察者看到小汽车在平直的公路上匀速前进，而车上的乘客却说小汽车是静止的，为什么？

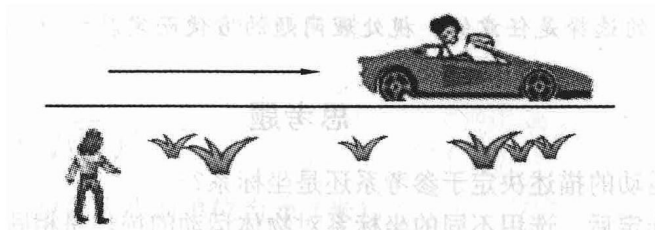


图 1.1.1 小车的运动情况

在自然界中所有的物体都在不停地运动，绝对静止不动的物体是没有的（“静止”只有相对的意义），即物体的运动是绝对的、普遍的，这就是**运动的绝对性**。但是，在观察一个物体的位置及其位置随时间的变化时，总要选取其他物体作为标准，选取的标准物不同，对物体运动情况的描述也就不同，这便是**运动描述的相对性**。

为描述物体的运动而选的标准物叫做**参考系**。不同的参考系对同一物体运动情况的描述是不同的。因此，在描述物体的运动情况时，必须指明是对哪个参考系而言的。

注意：参考系的选择是任意的，任何实物物体均可被选为参考系（场不能作为参考系）。一般要根据问题的性质和研究方便来选取。例如，在讨论地面上物体的运动时，通常选地面或相对地面静止的物体作为参考系；在研究地球绕太阳运动时，则选太阳作为参考系。

思考题

- (1) 为什么描述物体的运动要选择参考系？
- (2) 对观测者而言，参考系一定是静止的吗？

1.1.3 坐标系

为了定量地描述物体的运动，必须在选定的参考系上建立带有标尺的数学坐标，即**坐标系**。坐标系是固结于参考系上的一个数学抽象。最常用的坐标系是直角坐标系，有时根据需要也可选用其他坐标系，如极坐标系、自然坐标系、球坐标系等，本书主要采用直角坐标系。

参考系和坐标系选定后，所讨论的质点在某时刻的位置就由该坐标系中的坐标决定。如图 1.1.2 所示，在三维空间中构成一个直角坐标系 $O-xyz$ ，则在此坐标系中，用三个坐标 (x, y, z) 便可单值地确定小鸟在某时刻的位置。

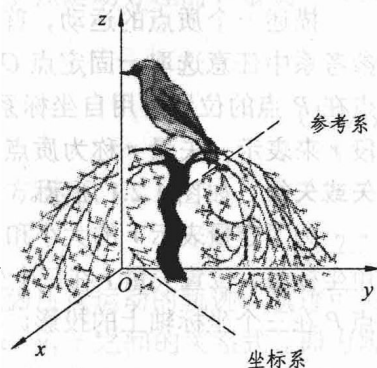


图 1.1.2 直角坐标系

注意：坐标系的选择是任意的，视处理问题的方便而定。

思考题

- (1) 对物体运动的描述决定于参考系还是坐标系？
- (2) 参考系选定后，选用不同的坐标系对物体运动的描述是相同的吗？

1.1.4 时刻与时间（时间间隔）

时刻与时间既有区别又有联系。物体的机械运动即物体位置随时间的流逝而发生的变动，在这种运动中，物体的每一位置均与一定的时刻相对应，即“时刻”指时间流逝中的一刹。物体位置的变动总是与一定的时间间隔对应的，所谓时间间隔指自某一初始时刻至终止时刻所经历的时间。按照通常的习惯，在不致引起混乱的情况下，“时间”一词有时指时间间隔，有时则指时间变量。

1.2 描述质点运动的基本物理量

本节只讨论在直角坐标系下如何描述质点的运动。

1.2.1 位置矢量

描述一个质点的运动，首先要确定它在空间的位置。在参考系中任意选取一固定点 O 为坐标系原点，在某时刻，质点在 P 点的位置可用自坐标系的原点 O 指向点 P 的有向线段 $\mathbf{r}$ 来表示，矢量 $\mathbf{r}$ 称为质点在该时刻的位置矢量，简称位矢或矢径，如图 1.2.1 所示。

为了定量表示 $\mathbf{r}$ 的大小和方向，我们建立固结于 O 的直角坐标系，位置矢量 $\mathbf{r}$ 在三个坐标轴上的分量为 x 、 y 、 z ，即点 P 在三个坐标轴上的投影。因此，位置矢量 $\mathbf{r}$ 可以表示为：

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1.2.1)$$

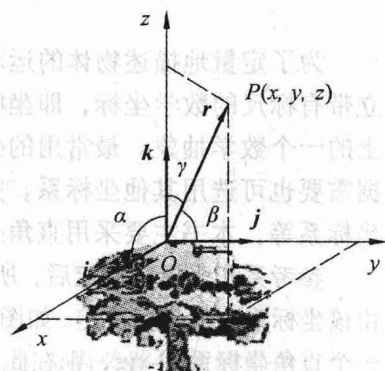


图 1.2.1 位置矢量

式中: i 、 j 、 k 分别为 x 、 y 、 z 轴正方向的单位矢量。

位矢 r 的大小为:

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1.2.2)$$

在国际单位制 (SI) 中, 位矢大小的单位为 m (米)。

位矢 r 的方向可由方向余弦确定, 即

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{x}{r} \\ \cos \beta &= \frac{y}{r} \\ \cos \gamma &= \frac{z}{r} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.3)$$

式中: α 、 β 、 γ 分别是位置矢量 r 与 x 、 y 、 z 轴正方向之间的夹角, 它们满足以下关系式

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

当质点相对于参考系运动时, 在不同时刻将占据空间的不同位置。因此, 位矢 r 的大小和方向一般都随时间在变化, 即 r 是时间的函数, 在直角坐标系中, r 可表示为

$$\mathbf{r} = r(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.2.4)$$

位矢 r 随时间 t 变化的函数式 (1.2.4) 称为质点的 **运动方程**。

或写为参数方程

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1.2.5)$$

式 (1.2.4) 称为质点运动方程的矢量式, 式 (1.2.5) 称为质点运动方程的分量式。当质点被限制在一平面内运动时, 称为二维运动, 其运动方程为

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \right\} \quad (1.2.6)$$

当质点被限制在一直线上运动时, 称为一维运动, 其运动方程为

$$x = x(t) \quad (1.2.7)$$

质点在所选定的参考系中运动时, 在空间所经过的路径称为质点运动的轨迹。轨迹可用数学形式表示, 消去运动方程式 (1.2.5) 中的时间 t , 可得出 x 、 y 、 z 之间的关系式, 即为质点运动的 **轨迹方程**。

注意：运动学的重要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

例题 1.2.1 已知一质点的运动方程为

$$\begin{cases} x = 5 \sin \frac{\pi}{4} t \\ y = 5 \cos \frac{\pi}{4} t \end{cases}$$

求质点的运动轨迹(式中时间和坐标值均采用国际单位制)。

解：由质点的运动方程知，质点在 $O-xy$ 平面上做二维运动。由所给的运动方程消去时间 t ，可得轨迹方程为

$$x^2 + y^2 = 25$$

这表明该质点的轨迹是以原点 O 为圆心，半径 r 等于 5 m，在 $O-xy$ 平面上的圆，如图 1.2.2 所示。

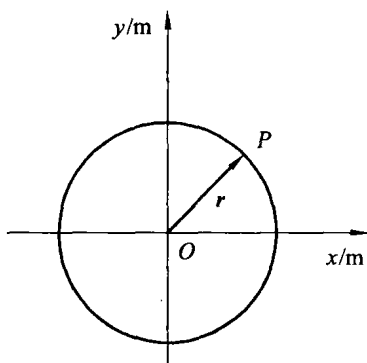


图 1.2.2 质点的运动轨迹

思考题

本题中的质点是沿着顺时针方向还是逆时针方向做圆周运动？

1.2.2 位移矢量

位移矢量是描述质点位置变动的大小和方向的物理量。如图 1.2.3 所示，有一质点沿曲线从时刻 t 的点 A 运动到时刻 $t + \Delta t$ 的点 B ，质点相对于原点 O 的位矢由 r_A 变化到 r_B 。显然，在时间间隔 Δt 内，位矢的长度和方向都发生了变化。我们将由起始点 A 指向终点 B 的有向线段称为质点在 Δt 时间内的**位移矢量**，简称**位移**，用 Δr 表示：

$$\Delta r = r_B - r_A \quad (1.2.8)$$

可见，质点在 Δt 时间内的位移 Δr 等于质点在该时间间隔内位置矢量的增量。

在直角坐标系中，位移矢量 Δr 可表示为

$$\Delta r = (x_B - x_A)i + (y_B - y_A)j + (z_B - z_A)k = \Delta x i + \Delta y j + \Delta z k \quad (1.2.9)$$

式 (1.2.9) 表明，位移可由位置坐标的增量来决定。

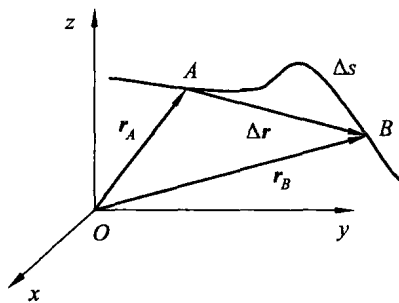


图 1.2.3 位移和路程

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的大小由下式决定

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (1.2.10)$$

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向由方向余弦决定

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{\Delta x}{|\Delta \mathbf{r}|} \\ \cos \beta &= \frac{\Delta y}{|\Delta \mathbf{r}|} \\ \cos \gamma &= \frac{\Delta z}{|\Delta \mathbf{r}|} \end{aligned} \right\} \quad (1.2.11)$$

注意：位移和路程的区别与联系：① 位移是矢量，表示质点位置变化的净效果，用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示，与质点运动轨迹无关，只与始末点有关；路程是标量，质点在运动过程中实际经历的路径的长度，用 Δs 表示，与质点运动轨迹有关，如图 1.2.3 所示。② 两点间的位移是唯一的，确定的，而路程不是唯一的。③ 一般情况下，在同一时间间隔内，位移的大小和路程并不相等。

例如：长跑运动员绕 400 m 跑道跑了 25 圈，他跑过的路程是 10 000 m，但位移却是零！

思考题

- (1) 在什么情况下，位移的大小和路程相等（即 $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta s$ ）？
- (2) 位移与坐标系原点的选取有关吗？

1.2.3 速度矢量

速度是描述质点位置变化的快慢和方向的物理量，是矢量。

设质点从 t 到 $t + \Delta t$ 的时间间隔 Δt 内的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ ，则 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值称为质点在 Δt 内的平均速度，即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.2.12)$$

平均速度的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向一致。

平均速度只反映了质点在一段时间内位置变化快慢的平均值，对非均匀变化来说，是一种粗略的描述。显然， Δt 取得越短，近似的程度越好。要精确地描述质点在某一时刻的运动速度，应该使 Δt 尽量缩短而趋近于零。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，平均速度的极限值称为质点在 t 时刻的

瞬时速度, 简称速度, 用 $\boldsymbol{v}$ 来表示, 即

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\boldsymbol{v}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1.2.13)$$

质点的瞬时速度等于位置矢量对时间的变化率或一阶导数, 其方向就是当 Δt 趋近于零时位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的极限方向。如图 1.2.4 所示, 当 Δt 逐渐减小时, B 点逐渐向 A 点靠近, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 速度的方向 (即 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向) 为质点所在处的轨道的切向并指向质点前进的方向。

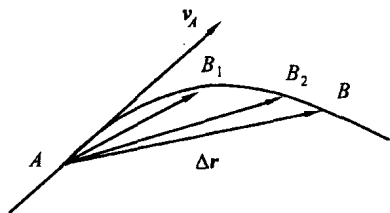


图 1.2.4 质点在轨道 A 点的速度方向

在直角坐标系中, 速度矢量也可表示为

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} \quad (1.2.14)$$

式中: $v_x = \frac{dx}{dt}$ 、 $v_y = \frac{dy}{dt}$ 、 $v_z = \frac{dz}{dt}$ 分别是速度 $\boldsymbol{v}$ 沿三个坐标轴的分量。

速度 $\boldsymbol{v}$ 的大小由下式决定

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.2.15)$$

速度 $\boldsymbol{v}$ 的方向由方向余弦决定

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{v_x}{v} \\ \cos \beta = \frac{v_y}{v} \\ \cos \gamma = \frac{v_z}{v} \end{cases}$$

注意: ① 速度是矢量, 既有大小又有方向, 二者只要有一个变化, 速度就变化; ② 速度具有瞬时性, 运动质点在不同时刻的速度不同; ③ 速度具有相对性, 在不同参考系中, 同一质点的速度表达式可以不同。

为了描述质点沿轨迹运动的快慢, 常用到平均速率和速率这两个物理量。若质点在 Δt 内经过的路程为 Δs , 则 Δs 与 Δt 的比值称为质点在 Δt 内的平均速率, 用 $\bar{v}$ 表示, 即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.2.16)$$

平均速率和平均速度是两个不同的概念。平均速率是标量, 它等于质点在单位时间内经过的路程; 而平均速度是矢量。一般情况下, 在 Δt 内, $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta s$, 所以平均速率并不等于平