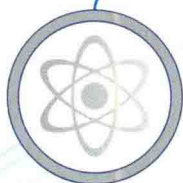


普通高等院校“十二五”规划教材
普通高等院校课程建设精品教材

大学物理



DAXUE WULI

根据“多层次、模块化、组合式”的教学理念，
夯实基础、激发兴趣、创新教育、培养能力，
力求简明而不简单，深入而不深奥。
扩展学生的知识面，激发学生的兴趣，扩大学生的视野，
贯穿“设计性”于层次化教学的全过程。

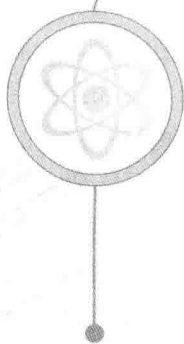
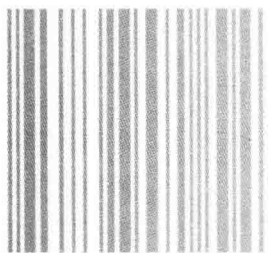
闫 红 赵永亮 © 主编

中国传媒大学出版社



普通高等院校“十二五”规划教材
普通高等院校课程建设精品教材

大学物理



DAXUE WULI

主 编：闫 红 赵永亮
副主编：刘 平 陈海燕 彭友霖
编 者：于洪杰 唐忠敏 李继军 曾庆明
张秀平 周艳红 张 翔

中国传媒大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/闫红,赵永亮主编. —北京:中国
传媒大学出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5657-1078-0

I. ①大… II. ①闫… ②赵… 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(2014)第 150979 号

大学物理

主 编 闫 红 赵永亮

责任编辑 李水仙

责任印制 曹 辉

出 版 人 蔡 翔

出版发行 中国传媒大学出版社(原北京广播学院出版社)

北京市朝阳区定福庄东街 1 号 邮编 100024

电话:010—65450532 65450528 传真:010—65779405

<http://www.cucp.com.cn>

经 销 全国新华书店

印 刷 三河市越阳印务有限公司

开 本 185×260mm 1/16

印 张 20.5

版 次 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

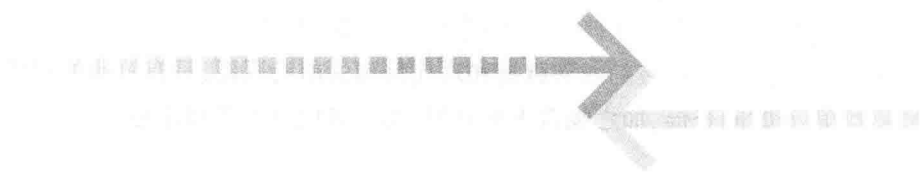
书 号 ISBN 978-7-5657-1078-0/O · 1078 定 价 39.00 元

版权所有

翻印必究

印装错误

负责调换



前言

应用型本科教育的发展是高等教育进入大众化阶段的必然趋势,已成为我国高等教育的重要组成部分,在理解《国家中长期教育改革和规划纲要(2010-2020年)》文件精神的基础上,根据教师多年来的教学体会,汲取当前国内外教学改革成果编写了本教材。在教材编写过程中,各章节在追求内在联系的基础上,有较强的独立性,而且内容完整,力争教学内容和结构符合专业培养方向的需求,适应现实,适应未来专业和学科发展的需求,在教学中及时反映科学理论和技术的新发展。

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用的自然科学。在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列科学的世界观和方法论,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,是人类文明发展的基石,在人才的科学素质培养中占据重要的地位。

大学生学习《大学物理》的第一个目标是,通过《大学物理》的学习来积累知识,从而认识自然,理解自然界中一些最基本的规律和现象,为学习后续专业课打好基础;第二个目标是,通过《大学物理》的学习来提高自身素质,建立正确的方法论,确立正确的世界观。

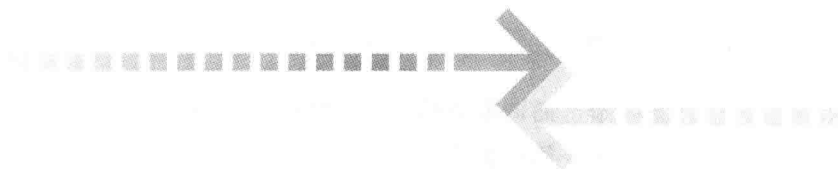
全书分上、下两编。上编:质点运动学、质点动力学、刚体力学基础、机械振动和机械波、气体动理论基础、热力学基础;下编:静电场、稳恒磁场、电磁感应和电磁场、几何光学、波动光学、光的量子性。

- 本教材的主要特点是:
1. 重视基础,完善教学体系。教材力求用简明的语言,搭建大学物理框架,注重各部分的内在联系,如光学从几何光学、波动光学、光的量子性多角度叙述,既符合光学的发展历程,又有利于学生对教学内容层次的整理,便于能力模块的构建。
 2. 注重练习,培养学生能力。教材在很多章节中精心安排了大量的例题,并注重求解问题过程的分析,侧重学生逻辑能力的培养,使学生在解题过程中,养成良好的思维习惯,同时为学生解决实际问题打下一定的能力基础。
 3. 内容全面,便于教学安排。教材在编排中既有理论知识的介绍,又有实际技术的分析,教材难易程度合理,既可以作为学生教学用书,又可以满足教师和学生参考的需要。
 4. 拓展视野,提高学生素质。教材增加了选读材料,作为正文内容的补充,可以帮助学

生建立理论体系和实践体系,同时介绍了当前高新技术领域中的基础性物理原理,使读者尽早接触现代高新科技的发展脉搏和现代物理的前沿课题,具有鲜明的时代特色。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者



目 录

上 编

第一章 质点运动学	1
第一节 质点的运动学方程	2
第二节 质点的位移、速度和加速度	5
第三节 直线运动的描述	9
第四节 平面直角坐标系中曲线运动的描述	12
第五节 自然坐标系	14
第六节 相对运动	16
习 题	19
第二章 质点动力学	21
第一节 牛顿运动定律	22
第二节 非惯性系中动力学	27
第三节 动量定理	29
第四节 功和能量	33
习 题	38
第三章 刚体力学基础	41
第一节 刚体定轴运动的描述	42
第二节 刚体定轴转动的转动定律	45
第三节 刚体定轴转动的动能定理	50
第四节 刚体定轴转动的角动量定理	53
习 题	54

第四章	机械振动	57
第一节	简谐振动的动力学特征	58
第二节	简谐振动的运动学	61
第三节	简谐振动的能量	69
第四节	简谐振动的合成	70
第五节	阻尼振动 受迫振动 共振	76
	习 题	80
第五章	机械波	81
第一节	波的基本概念	82
第二节	平面简谐波方程 波动方程	83
第三节	波的叠加和干涉	88
第四节	波的能量	95
	习 题	99
第六章	气体动理论基础	101
第一节	气体动理论的基本概念	102
第二节	理想气体状态方程	103
第三节	理想气体的压强和温度	105
第四节	能量均分定理、理想气体的内能	109
第五节	麦克斯韦速率分布律	112
第六节	气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	115
第七节	实际气体的等温线 范德瓦尔斯方程	117
	习 题	125
第七章	热力学基础	127
第一节	内能 功 热量 准静态过程	128
第二节	热力学第一定律	131
第三节	气体的摩尔热容	134
第四节	绝热过程	137
第五节	循环过程 卡诺循环	139
第六节	热力学第二定律	145
	习 题	149

下 编

第八章 静电场	151
§ 第一节 库仑定律	152
§ 第二节 电场强度	154
§ 第三节 静电场的高斯定理	158
§ 第四节 电场力的功和电势	167
§ 第五节 电场强度与电势的关系	172
§ 第六节 静电场中的导体	173
§ 第七节 静电场中的电介质	176
§ 第八节 电容 电容器 电场能量	179
习 题	184
第九章 稳恒磁场	187
第一节 磁场 磁感应强度	188
第二节 磁场作用	197
第三节 介质中的磁场	206
习 题	213
第十章 电磁感应和电磁场	217
第一节 电磁感应	218
第二节 电磁场和电磁波	231
第三节 电磁感应定律与牛顿第二定律的类比	242
习 题	244
第十一章 几何光学	247
第一节 几何光学的基本概念	248
第二节 光的反射和折射	251
第三节 薄透镜成像及其作图法	257
第四节 矩阵光学初步	261
习 题	268

第十二章 波动光学 269

第一节 光的干涉 270

第二节 光的衍射 281

第三节 光的偏振 289

第四节 反射、折射、散射光的偏振 293

第五节 偏振光干涉 296

习 题 298

第十三章 光的量子性 301

第一节 黑体辐射 302

第二节 光电效应 305

第三节 康普顿效应 308

第四节 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论 310

第五节 德布罗意物质波,微粒的波粒二象性..... 313

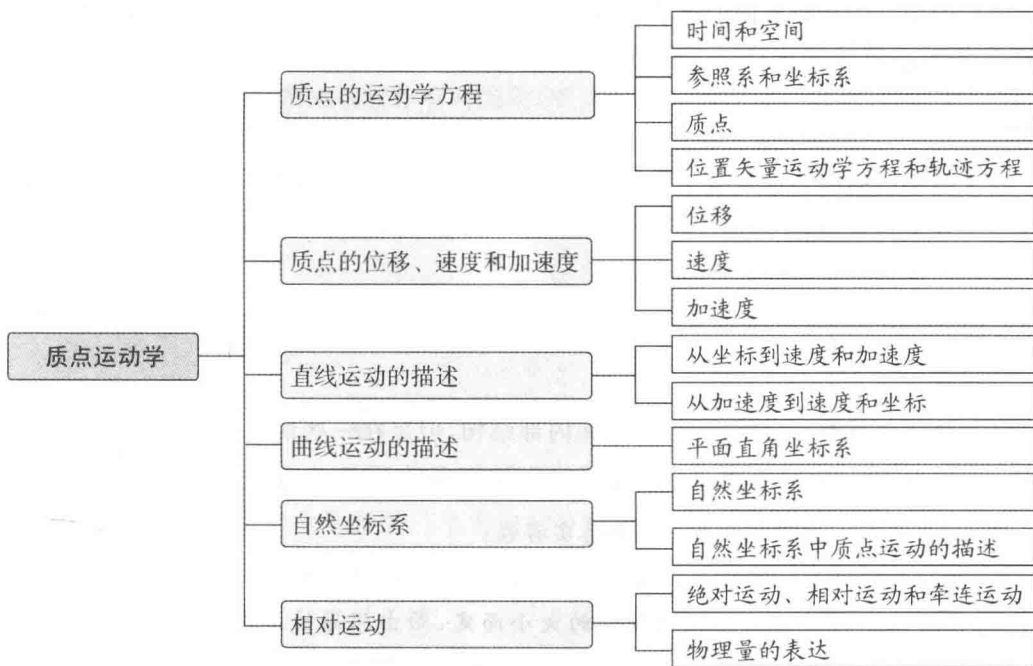
习 题 318

参考文献 320

上 编

第一章 质点运动学

【本章知识结构图】



自然界中一切物质都在永不停息地运动着,运动形式也是多种多样的.研究物体的空间位置变化(位移、速度、加速度)与时间的关系,但又不涉及引起变化原因的学科内容称为运动学.本章在引入质点等物理概念后,研究质点的运动.

第一节 质点的运动学方程

一、参照系

自然界中,一切物体都在运动,绝对静止的物体是不存在的.斗转星移,海陆变迁,物质形态的变化;从宏观物体到微观粒子的运动,从机械运动到化学运动、生物运动和社会运动,都说明宇宙一切事物都处在永恒的运动中,而运动也离不开物质,因此运动和物质二者之间是密不可分的.运动是物质的固有属性和存在方式,是普遍的、绝对的.

运动是绝对的,但是运动的描述却是相对的.例如在匀速运动的汽车中竖直向上抛出一小球,车上的乘客观察到小球的运动轨迹是直线,而路边静止的人则观察到小球的运动轨迹是抛物线.之所以有不同的结论是因为观察者分别以汽车和地球为参考标准,参考标准不同运动的描述就可能不同.

因此要描述一个物体的运动,要选择一个或几个相对静止的物体作为参考标准,被选为参考标准的物体或物体系,称为参考系.即参照系就是被选作参考的物体或物体系.

参考系具有四个性质,即标准性、任意性、统一性和差异性.即物体或物体系一旦被选做为参考系,它都将被假定为静止;参考系的选取以方便观察者的描述为原则,具有任意性;在同一问题的研究中比较不同的运动时,就选择同一参考系;同一运动,参考系选取不同,观察者的描述可能不同.

二、坐标系

为了定量的确定物体相对于参照系的位置,需要在参照系上建立固定的坐标系,选定一点作为坐标系的原点,取通过原点并标有长度的线作为坐标轴.常见的坐标系有直角坐系、极坐标系和柱坐标系.

三、质点

1. 定义

任何物体都具有一定大小、形状和内部结构,但是在一些情况下,可以把研究对象抽象为一个没有大小和形状,而只具有质量的几何点,称为质点.

注:①质点是一种理想模型而不是真实存在;

②质点突出了物体的两个基本性质:具有质量、占有位置;

③物体能否视为质点不由物体的大小而定,而由问题性质而定,不是绝对的,是相对的.

例如,地球运动的研究.(1)地球公转运动:地球的平均半径约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$,地球与太阳之间的距离约为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$,两组数据相比,地球半径比地球与太阳之间的距离小得太多,此时可以忽略地球的大小和形状,视作一质点.(2)地球自转:地球上的各点的运动是不相同的,南北极与赤道上的点的运动差异很大,此时如无法把地球视作一个质点.因此物体能否视为质点不由物体的大小而定,而由问题的性质而定,不是绝对的、是相对的.

2. 质点的判定定理

能否将物体看作质点需要满足下列条件之一:

(1) 当物体的大小与所研究的问题中其他距离相比为极小时.

(2) 一个物体各个部分的运动情况相同, 它的任何一点的运动都可以代表整个物体的运动.

3. 重要意义

(1) 问题简化; 任何物体, 无论是宏观物体, 还是微观粒子都具有一定的体积和形状. 对于所研究的问题, 物体的体积和形状是次要因素, 此时可把它们视为质点, 在研究问题时我们只要把握住问题的主要因素(如空间位置、速度和加速度), 这样问题便简化了.

(2) 任何物体, 都可以把该物体分割成无穷多个无限小的体元(如刚体), 即任何物体都可视为一个特殊的质点系, 再将质点的运动规律叠加起来得到该物体的运动规律, 这样任何物体的研究就可以看作是质点问题的研究. 质点组力学和刚体力学就是这样去处理问题的. 这种分割方法也是物理学研究的重要方法之一.

四、位置矢量运动学方程和轨迹方程

1. 质点的位置矢量

在三维直角坐标系中, 质点 P 的空间位置可以用坐标 (x, y, z) 表示, 称之为坐标法. 如图 1.1 所示.

除坐标之外, 还可以用矢量来确定质点 P 的位置. 连接在参照系中选择点 O 为参考点, 以 O 为起点, 连接质点 P 所在位置作有向线段 OP , OP 可以表示某一时刻, 质点 P 相对点 O 的位置(如图 1.2 所示), 称为位置矢量(简称位矢、径矢), 记为 $\mathbf{r}$. 如图 1.2.

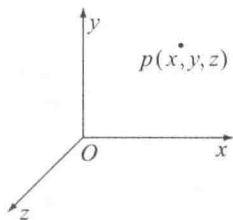


图 1.1

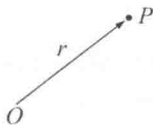


图 1.2

以参考点 O 为原点, 建立直角坐标系 $Oxyz$, 质点 P 的坐标 x, y, z 是位置矢量 $\mathbf{r}$ 沿坐标轴的三个方向的分量大小, 如图 1.3 所示. 则位置矢量可表示为

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

位置矢量大小:

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

$\mathbf{r}$ 与 x, y, z 轴之间的夹角分别用 α, β, γ 表示, 则方向余弦:

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}; \quad \cos\beta = \frac{y}{r}; \quad \cos\gamma = \frac{z}{r}. \quad (1.3)$$

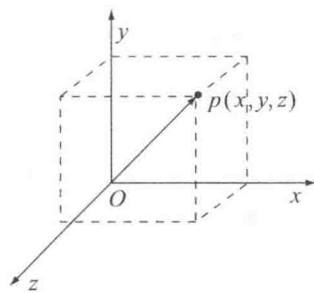


图 1.3

而: $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ 所以 α, β, γ 只有两个是独立的.

例 1.1 某时刻, 质点 P 的坐标为 $(1, \sqrt{3}, 0)$, (1) 在直角坐标系中表示该时刻质点 P 的位置矢量 $\mathbf{r}$; (2) 确定位置矢量 $\mathbf{r}$ 的大小及方向.

解: (1) 在直角坐标系中位置矢量 $\mathbf{r}$ 与质点坐标关系为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

则质点 P 在该时刻的位置矢量 $\mathbf{r} = \mathbf{i} + \sqrt{3}\mathbf{j} \text{ (m)}$

(2) 位置矢量的大小: $r = |\mathbf{r}| = \sqrt{1^2 + \sqrt{3}^2 + 0^2} = 2\text{m}$

位置矢量的方向:

$$\cos\alpha = \frac{1}{2} = 0.5; \quad \cos\beta = \frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \cos\gamma = \frac{0}{2} = 0.$$

$$\alpha = 60^\circ \quad \beta = 30^\circ \quad \gamma = 90^\circ$$

2. 质点的运动学方程

一个质点在运动过程中其空间位置随时间的变化关系, 即: 位置矢量 $\mathbf{r}$ 与时间 t 的函数关系, 称为质点的运动学方程.

在直角坐标系中质点的运动学方程有两种表述形式:

(1) 质点运动学方程的矢量表示:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.4)$$

(2) 质点运动学方程的标量表示:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1.5)$$

3. 质点的轨迹方程

在运动空间中位置矢量 $\mathbf{r}$ 的终端随着时间的变化描出一条曲线, 这条曲线就是质点运动的轨迹, 如图 1.4 所示. 与这条几何曲线对应的代数描述就是该运动质点的轨迹方程. 在直角坐标系中, 可表示为 $f(x, y, z) = 0$. 知道了质点的运动学方程, 通过消去时间 t 可以求得质点的轨迹方程 $f(x, y, z) = 0$.

例 1.2 一质点在 xy 平面内运动, 其运动方程为

$$\begin{cases} x = a\cos\omega t \\ y = b\cos\omega t \end{cases}$$

试求: (1) 该质点 t 时刻的位置矢量 $\mathbf{r}$; (2) 该质点的轨迹方程.

解: (1) 在在 xy 平面, 位置矢量 $\mathbf{r}$ 表达式为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$$

则质点 t 时刻的位置矢量 $\mathbf{r} = a\cos\omega t\mathbf{i} + b\cos\omega t\mathbf{j}$

(2) 消元法消去 t , 得到轨迹方程

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

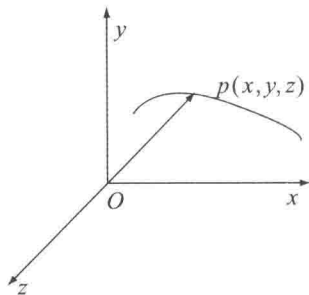


图 1.4

该质点的运动轨迹为一椭圆.

例 1.3 质点运动学方程为:

$$(1) \mathbf{r} = (3+2t)\mathbf{i} + 5\mathbf{j} \quad (2) \mathbf{r} = (2-3t)\mathbf{i} + (4t-1)\mathbf{j}$$

求质点轨迹方程.

解: (1) $x=3+2t, y=5$, 轨迹方程为 $y=5$ 的直线.

$$(2) x=2-3t, y=4t-1,$$

消去参数 t 得轨迹方程 $4x+3y-5=0$

第二节 质点的位移、速度和加速度

一、位移

1. 位移——位置矢量的增量

位移反映运动质点的位置变化. 定义为由初始位置指向末位置的有向线段, 如图 1.5 所示.

设某质点 t 时刻在 A 点, 位矢记为 $\mathbf{r}(t)$, 经过 Δt 时间后, 该质点沿轨迹曲线 S 运动到 B 点, 位矢为 $\mathbf{r}' = \mathbf{r}(t + \Delta t)$, 则位移用由 A 指向 B 的有向线段 AB 表示, 有

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.6)$$

即质点在某一时间内的位移等于该时间内的位置矢量的增量.

在直角坐标系中:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t + \Delta t) &= x(t + \Delta t)\mathbf{i} + y(t + \Delta t)\mathbf{j} + z(t + \Delta t)\mathbf{k} \\ \mathbf{r}(t) &= x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \\ \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1.7)$$

表明:

$$\begin{cases} \Delta x = x(t + \Delta t) - x(t) \\ \Delta y = y(t + \Delta t) - y(t) \\ \Delta z = z(t + \Delta t) - z(t) \end{cases} \quad (1.8)$$

位移与位置矢量的区别与联系

(1) 二者均为矢量

(2) 质点的位置矢量依赖于坐标系的选取, 而位移则与坐标选取无关.

(3) 位置矢量表明某一时刻运动质点的位置, 而位移则表示在某一时间段内运动质点的位置的变化.

2. 路程

质点在一段时间内, 沿其运动轨迹经过的路径的总长度. 用 ΔS 表示, 有

$$\Delta S = \widehat{AB} \quad (1.9)$$

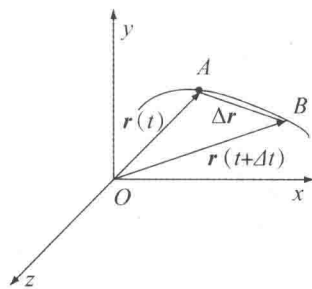


图 1.5

二、速度

1. 速度

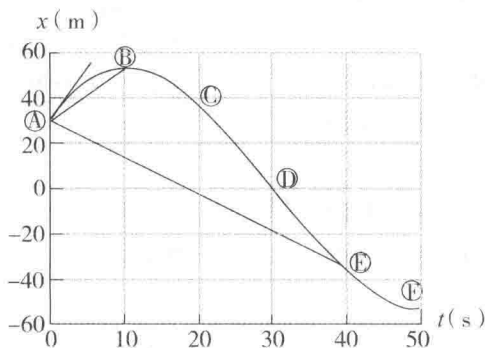
为了反映运动质点在不同时间段位置变化的快慢情况,引入平均速度的概念:质点的平均速度 $\bar{v}$ 定义为质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 除以发生这段位移所用的时间 Δt ,即

$$\bar{v} = \frac{\mathbf{r}(t+\Delta t) - \mathbf{r}(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.10)$$

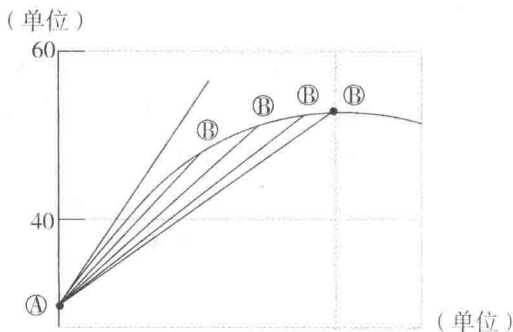
注:平均速度是矢量,方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 方向相同.

平均速度只能对时间 Δt 内运动质点位置随时间变化的情况作一粗略的描述.而人们通常要知道某一时刻的速度,如对于运动的汽车,作为乘客我们只要知道它的平均速度即可,但是作为警察,则需要了解它任一时刻的速度.

如图 1.6 所示,为不同时间段的平均速度,发现测量时间 Δt 越短,平均速度越能精细地反映运动情况.但无论时间多短,总有比它更短的时间,要精确地描述运动情况,就需要数学上的极限概念:



(a)



(b)

图 1.6

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,有 $\Delta \mathbf{r} \rightarrow 0$,比值 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 将无限地接近于一确定的矢量 $\mathbf{v}$,它就是平均速度的极限—— t 时刻的瞬时速度(简称速度)

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.11)$$

速度 $\mathbf{v}$ 是矢量,其方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向一致,沿轨迹在质点所在处的切线并指向质点前进的方向,单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

瞬时速度在直角坐标系中的正交分解式为:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \mathbf{k} \quad (1.12)$$

速度的投影(标量式)分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1.13)$$

速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.14)$$

速度的方向,可用速度矢量的方向余弦表示,有

$$\cos\alpha_1 = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\beta_1 = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\gamma_1 = \frac{v_z}{v} \quad (1.15)$$

平均速度和瞬时速度既有区别又有联系.

(1)瞬时速度是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限.

(2)变速运动中,讲平均速度时,必须指明哪一段位移或哪一段时间的平均速度;讲瞬时速度时,必须指明哪一时刻或哪一位置的瞬时速度.即平均速度是与位移、时间对应,瞬时速度是与时刻和位置相对应.

2. 速率

速率是反映质点运动快慢的又一物理量.

(1)平均速率

路程除以质点运行该路程所需时间就是平均速率.

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.16)$$

注:平均速率不是平均速度的大小.

(2)瞬时速率(速率)

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速率的极限,叫作质点的瞬时速率,简称速率.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.17)$$

注:瞬时速率是瞬时速度的大小.

例 1.4 一质点在 xOy 平面上运动,运动方程为

$$x = 3t + 5, \quad y = 0.5t^2 + 3t - 4$$

式中 t 以 s 计, x, y 以 m 计. (1)以时间 t 为变量,写出质点位置矢量的表示式; (2)求出 $t = 1s$ 时刻和 $t = 2s$ 时刻的位置矢量,计算这 1 秒内质点的位移; (3)计算 $t = 0s$ 时刻到 $t = 4s$ 时刻内的平均速度; (4)求出质点速度矢量表示式,计算 $t = 4s$ 时质点的速度; (5)计算 $t = 4s$ 时质点的速率.

解: (1) $\mathbf{r}(t) = (3t + 5)\mathbf{i} + (0.5t^2 + 3t - 4)\mathbf{j} (m)$

(2)将 $t = 1s, t = 2s$ 代入上式即有

$$\mathbf{r}(1) = 8\mathbf{i} + 0.5\mathbf{j} (m)$$

$$\mathbf{r}(2) = 11\mathbf{i} + 4\mathbf{j} (m)$$

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(2) - \mathbf{r}(1) = 3\mathbf{i} + 3.5\mathbf{j} (m)$$

(3) $\because \mathbf{r}(0) = 5\mathbf{i} - 4\mathbf{j}$

$$\mathbf{r}(4) = 17\mathbf{i} + 16\mathbf{j}$$

$$\therefore \bar{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}(4) - \mathbf{r}(0)}{4} = 3\mathbf{i} + 5\mathbf{j} (m \cdot s^{-1})$$

$$(4) \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 3\mathbf{i} + (t + 3)\mathbf{j} (m \cdot s^{-1})$$

则

$$\mathbf{v}(4) = 3\mathbf{i} + 7\mathbf{j} (m \cdot s^{-1})$$

(5)速率大小 $v = \sqrt{3^2 + 7^2} = \sqrt{58} (m \cdot s^{-1})$

三、加速度

1. 平均加速度

一般来说,当质点在空间运动的时候,其瞬时速度的大小和方向是随时间变化的,反映速度变化的物理量是加速度。

如图 1.7 所示,设 t 时刻,质点的速度为 $\mathbf{v}(t)$. 经时间 Δt 后,质点的速度变为 $\mathbf{v}(t+\Delta t)$, 则质点的速度增量 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}(t+\Delta t) - \mathbf{v}(t)$ 与时间间隔 Δt 的比值,叫质点的平均加速度,有

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1.18)$$

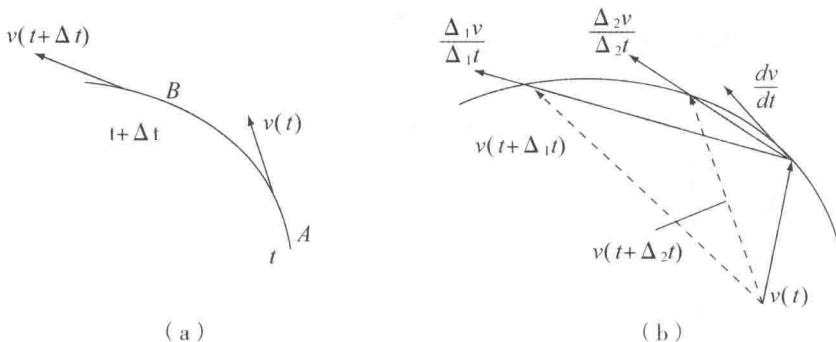


图 1.7

2. 瞬时加速度

平均加速度只能对质点速度的变化情况作一粗略性描述. 为了精确地描述质点速度的变化情况,可以仿照速度引入时的作法,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,有 $\Delta \mathbf{v} \rightarrow 0$, 比值 $\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 将无限接近于一确定的矢量 $\mathbf{a}$, 它就是平均加速度的极限—— t 时刻的瞬时加速度(简称加速度),即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1.19)$$

上式表明,加速度 $\mathbf{a}$ 是位矢 $\mathbf{r}$ 对时间的二阶导数,它的单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

在直角坐标系中加速度的正交分解式为

$$\mathbf{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} = \frac{d^2 x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2 y}{dt^2} \mathbf{j} + \frac{d^2 z}{dt^2} \mathbf{k} \quad (1.20)$$

标量式有:

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{cases} \quad (1.21)$$

加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1.22)$$

加速度矢量的方向余弦为