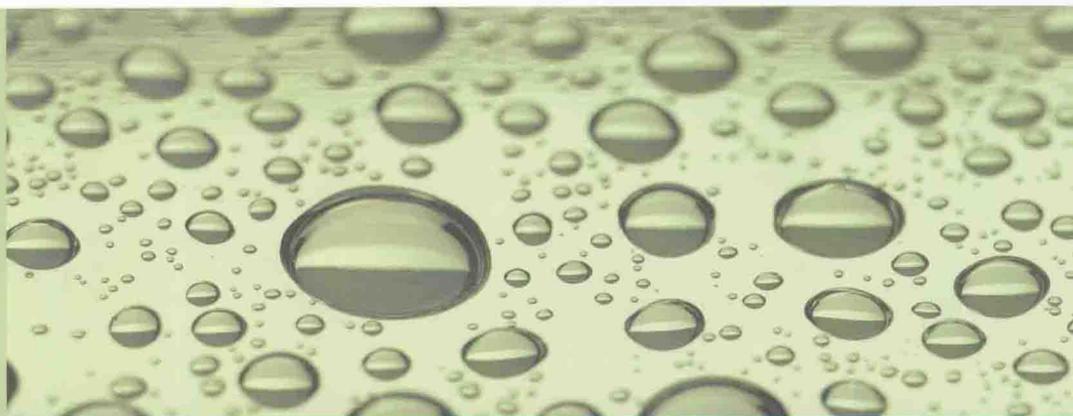


高等学校教材

大学物理简明教程

A Concise Course
for University
Physics



康爱国 刘红利 主编

高等学校教材

大学物理简明教程

Daxue Wuli Jianming Jiaocheng

康爱国 刘红利 主编

内容提要

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),针对新时期人才培养、课程体系建设和教学内容改革的要求,在广泛吸取国内外优秀教材经验的基础上,结合多年的教学实践编写而成的。本书共六篇,分别是力学的物理基础、热物理学、电磁学、振动和波动、波动光学和近代物理学基础。

本书可作为高等学校理工科非物理类专业以及专科学学生80~90学时的大学物理课程教材,也可供其他有关专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理简明教程 / 康爱国,刘红利主编. -- 北京:高等教育出版社,2014.2

ISBN 978-7-04-038901-2

I. ①大… II. ①康… ②刘… 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(2013)第277350号

策划编辑 马天魁 责任编辑 马天魁 封面设计 于涛 版式设计 于婕
插图绘制 尹莉 责任校对 刘春萍 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	高教社(天津)印务有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开本	787mm×1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印张	19.25	版次	2014年2月第1版
字数	330千字	印次	2014年2月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	26.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 38901-00

前 言

大学物理是高等学校理工科非物理类专业一门重要的基础课程,它在培养大学生科学思维能力、理论联系实际能力、科研创新能力等方面具有重要的、不可替代的作用。

在实际教学中,学生普遍反映大学物理课程难学。究其原因,我们认为:在“教”的方面,教师更多地注重了课本知识的传授,纠缠于复杂问题的解析,忽视了物理思想、物理方法的传授;在“学”的方面,学生在繁重的学业负担下,面对相比中学物理知识内容的增多、要求的提高,显得无所适从,丧失了学习的兴趣。物理学实际上讲的是一种方法论,它展现了人们认识和改造物质世界的思想和方法。诚然,要求学生在短时间内掌握学习物理学的方法并非容易的事情,我们愿意在这些方面做些努力,为提高课程的教学质量进行有益的探索。

本书是编者在多年一线教学经验积累的基础上,针对短学时非物理类专业大学物理课程的要求,在力求保持物理知识体系完整的主导思想下编写而成的。全书在相应教学大纲的基础上,对内容进行了压缩和精简,语言力求准确、简洁,注重对物理思想、原理的阐述,引导学生加强对物理学中分析问题和解决问题方法的思考。同时,本书减少了例题和各章习题的数量,增加了部分启发和拓展思维的思考题。本书在要求大学生掌握一定物理学知识的同时,旨在激发和提高他们学习物理学的热情与兴趣。

参加本书编写的人员均为太原理工大学教师,分工如下:王丽平编写第一章、第二章、第三章;康爱国编写第五章、第六章、第七章、第八章、第九章、第十章、第十四章;刘红利编写第四章、第十一章、第十二章、第十三章;全书由康爱国教授统稿。

由于时间仓促,书中缺点和错误在所难免,编者衷心希望同行与读者提出宝贵的建议和意见。

编者

2013年5月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 力学的物理基础

第一章 质点运动学	5	第三章 刚体的转动	41
1-1 参考系和坐标系 质点	5	3-1 刚体的平动、转动和定轴转动	41
1-2 描述质点运动的物理量	6	3-2 转动动能 转动惯量	42
1-3 直线运动	10	3-3 力矩 转动定律	43
1-4 运动叠加原理 曲线运动	12	3-4 力矩的功 刚体定轴转动中的动能定理	45
1-5 相对运动	16	3-5 角动量(动量矩)和冲量矩 角动量守恒定律	48
习题	17	习题	51
第二章 质点动力学	19	第四章 狭义相对论基础	53
2-1 牛顿运动定律	19	4-1 力学相对性原理	53
2-2 力的概念 力的种类及单位制和量纲	21	4-2 迈克耳孙-莫雷实验	55
2-3 牛顿运动定律的应用	22	4-3 狭义相对论的基本假设	56
2-4 惯性系和非惯性系	24	4-4 几个重要的狭义相对论效应	58
2-5 动量 冲量 动量定理 动量守恒定律	25	4-5 狭义相对论力学基础	61
2-6 功 动能 动能定理 功能原理 机械能守恒定律	29	习题	63
习题	38		

第二篇 热物理学

第五章 气体分子动理论	67	5-5 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	79
5-1 平衡状态 理想气体物态方程	67	*5-6 真实气体 范德瓦耳斯方程	80
5-2 气体分子热运动基本理论——物质分子结构理论	69	*5-7 气体内的迁移现象及其基本规律	81
5-3 能量按自由度均分定理 理想气体内能	72	习题	83
5-4 麦克斯韦速率分布律	76	第六章 热力学基础	85
		6-1 热力学第一定律	85

6-2 热力学第一定律在理想气体 等值过程中的应用	87	卡诺定理	101
6-3 循环过程 卡诺循环	95	*6-6 熵 熵增加原理 热力学第二定律 的统计意义	101
6-4 热力学第二定律	99	习题	104
6-5 可逆过程与不可逆过程			
第三篇 电 磁 学			
第七章 真空中的静电场	109	9-3 磁场 磁感应强度 磁感线 磁通量	143
7-1 场 电场 电荷	109	9-4 毕奥-萨伐尔定律	146
7-2 库仑定律	111	9-5 安培环路定理	149
7-3 电场强度	112	9-6 安培定律	152
7-4 电场线 电场强度通量 高斯 定理	116	9-7 磁力的功	158
7-5 电场力的功 电势	120	习题	159
7-6 电场强度与电势梯度的关系 ..	124	第十章 磁介质中的磁场	162
习题	125	10-1 磁介质在磁场中的磁化	162
第八章 静电场中的导体和电介质	128	10-2 铁磁质	164
8-1 静电场中的导体	128	习题	166
8-2 电容器	131	第十一章 变化的电磁场	168
8-3 电介质的极化	133	11-1 电磁感应的的基本规律	168
8-4 静电场的能量	136	11-2 磁场中运动导线内的动生 电动势	171
习题	138	11-3 涡旋电场	175
第九章 真空中的恒定磁场	140	11-4 自感和互感	178
9-1 恒定电流和恒定电场	140	11-5 麦克斯韦的电磁场理论	184
9-2 欧姆定律及其微分形式 电动势	141	习题	188
第四篇 振动和波动			
第十二章 机械振动	193	13-3 平面简谐波的能量 能流	207
12-1 简谐振动	193	13-4 惠更斯原理 波的衍射	210
12-2 简谐振动的能量	196	13-5 波的干涉	211
12-3 简谐振动的合成	197	13-6 驻波	214
习题	200	13-7 多普勒效应	216
第十三章 机械波	203	13-8 声波 次声波 超声波	217
13-1 机械波的产生和传播	203	习题	218
13-2 平面简谐波的波动方程	205		

第五篇 波动光学

第十四章 波动光学	223	14-7 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	235
14-1 光源 光的单色性和相干性	223	14-8 单缝和圆孔夫琅禾费衍射	237
14-2 光的双缝干涉实验	224	14-9 光栅衍射	242
14-3 光程 光程差	227	14-10 自然光和偏振光 马吕斯定律 布儒斯特定律	246
14-4 薄膜干涉	228	14-11 光的双折射	251
14-5 劈尖干涉 牛顿环	231	习题	253
14-6 迈克耳孙干涉仪	234		

第六篇 近代物理学基础

第十五章 从经典物理到量子物理	259	15-5 实物粒子的波粒二象性	270
15-1 黑体辐射和普朗克假设	259	15-6 不确定原理	272
15-2 光电效应 爱因斯坦光子理论	262	15-7 薛定谔方程	273
15-3 康普顿效应	265	15-8 粒子物理与天体物理简介	278
15-4 玻尔的氢原子理论	266	习题	285
附录 I 矢量及其运算	287		
附录 II 国际单位制 (SI)	291		
附录 III 常用物理常量	294		
附录 IV 物理量名称和符号	295		

绪 论

世界是物质的,物质都永恒不息地运动着。运动包括宇宙中的一切变化过程,从简单的位置变动到复杂的思维活动都属于运动,但从狭义上讲,运动专指机械运动(位置的变化)。然而物理学所研究的就是物质运动最基本最普遍的形式,包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等,这些运动普遍地存在于其他高级的复杂物质运动形式(化学、生物学等)中,无论化学、生物或其他运动都遵从物理学中所确立的能量守恒定律。因此物理学在自然科学中占有重要地位,是研究其他自然科学和工程科学的基础。

大学物理是一门很重要的课程,学习这门课程有助于我们培养科学的思维方式、学会科学的分析和处理问题的方法,建立起一个“物理头脑”。这对学习其他课程有很大的裨益。那么怎样才能学好这门课程呢?大学物理与中学物理粗略看来好像区别不大,但是在建立物理概念、分析问题的方法等方面有很大的不同。因此,在学习过程中,读者要努力跨越这个鸿沟,逐步建立起一个全新的时空观念,以适应现代科学快速发展的需要。

总之,希望同学通过观察、实践、抽象、假说到理论这一套科学的方法牢固掌握物理学的基本理论和知识,深刻理解物理规律的意义,并在实验技能和运算能力以及独立钻研能力等方面得到严格训练。

力学研究的是物质的机械运动,这是物质运动最基本的形式。几乎在物质的一切运动形式中都包含这种最基本的运动形式,因此力学是许多学科的基础。力学历经无数人的工作,成为较完善的学科。根据研究对象特征,力学可以分为经典力学、相对论力学和量子力学三个部分。

经典力学的理论基础是牛顿的三个运动定律,只适用于宏观物体的运动,而且其速度远远低于光速的情形;当物体运动的速度接近光速时,经典力学失效,需要用相对论力学来研究;当研究微观粒子的运动时,经典力学也不适用,需要用量子力学研究。

研究机械运动,首先研究如何描述机械运动现象,这部分称为运动学。然后进一步研究机械运动的内在规律,即在怎样的条件下发生怎样的运动,这部分称为动力学。运动学虽然并不深入机械运动的本质,但却有重要的意义。换句话说,运动学知识是动力学的基础。

本篇主要介绍经典力学和狭义相对论的相关内容。依据牛顿的三个定律,引入力、力矩、动量、冲量、角动量、功和能等基本概念,得到动量、角动量和机械能等守恒定律;同时对狭义相对论的基本思想、基本方法及几个重要的狭义相对论效应进行了详细的阐述。

第一章 质点运动学

所谓运动学,就是研究物体在位置变动时的轨迹以及位移、速度、加速度等物理量随时间变化关系;同时,在完善和强化基本概念的基础上,掌握描述物体做一般曲线运动的方法。

1-1 参考系和坐标系 质点

一、参考系和坐标系

我们知道,在观察和描述同一个物体的运动时,若观察者所处的状态不同,则观察的结果不同。比如,观察一个静止的楼房,人站在地上看到的楼房依然是静止的,但人在运动的车中观察的楼房是运动的。因此,要统一描述一个物体的运动就需要先选择一个共同的运动物体或几个虽在运动但相对静止的物体作为参考,然后再研究该物体相对于这些参考物体是如何运动的,这样才能得到统一的结果。

这些被选作当参考的物体称为参考系。一般来说,参考系的选取是任意的,但在处理实际问题时,参考系的选取不仅要考虑问题的特征,而且要尽量使运动的描述简单。

选好了参考系,为了能量地确定运动物体相对于参考系的各物理量,需要在参考物上建立一个固定的坐标系(平面的、立体的、极坐标、球坐标、柱坐标等),最常用的是笛卡儿坐标系(直角坐标系)。

二、质点

任何物体都有一定的大小和形状。一般地说,物体运动时内部各点的位置变化是各不相同的,因此精确地描述一般物体的运动不是简单的事,常常采用抽象的方法。如果物体的线度和形状在所研究的现象中不起作用或起的作用可以忽略不计,我们就近似地把物体看作一个没有大小和形状的理想物体,这种模型称为质点。

比如,研究地球绕太阳公转时,由于地球的直径较之公转轨道半径小得多,因此地球的各点相对于太阳的运动基本可视为相同的,此时,可以把地球看作质点。但在研究地球的自转时,把地球

看成质点就没有意义了,一个物体是否可抽象为质点,应根据问题的性质和特征而定。

1-2 描述质点运动的物理量

一、位置矢量

为了表示运动质点的位置,在选择的参考系上建立坐标系,如图 1-1 所示, P 点位置用三个坐标 x, y, z 来确定或用有向线段 $\vec{OP} = \mathbf{r}$ 来表示——称为位置矢量或径矢,可表示为

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

\mathbf{r} 的大小为

$$|\mathbf{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

\mathbf{r} 的方向由其与三个坐标轴的夹角的余弦确定:

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

一般,质点的机械运动是质点空间位置随时间而变化的过程,质点坐标 x, y, z 及位置矢量 \mathbf{r} 都是时间的函数,所谓运动方程就是表示质点运动过程的函数式,可表示为

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

或

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

上式称为质点运动方程或参数方程。

讨论:运动方程与轨迹方程

(1) 运动质点在空间所经过的路径称为轨道,轨道是直线的称为直线运动;轨道是曲线的称为曲线运动。从运动方程中消去时间 t 就得到轨道方程。

(2) 运动方程表明 \mathbf{r} 与 t 的函数关系,而轨道方程是位置坐标 x, y, z 之间的关系式,二者是不同的。

例如,已知某质点运动方程为

$$\begin{cases} x = 3 \sin 2\pi t \\ y = 3 \cos 2\pi t \quad (\text{SI 单位}) \\ z = 0 \end{cases}$$

则轨道方程为

$$x^2 + y^2 = 9$$

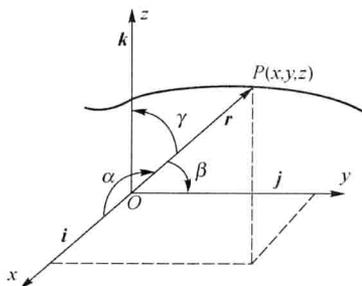


图 1-1 质点的位置

二、位移

如图 1-2 所示,设一质点在空间移动,沿一曲线(Δt 内)由 A 点移到 B 点,设 A 、 B 两点的位置矢量分别为 \mathbf{r}_A 及 \mathbf{r}_B 。

位移:表示质点在空间的位置变化。如上所述,在 Δt 时间内质点位置变化可用有向线段 \overrightarrow{AB} 来表示,利用矢量合成的平行四边形法则,可得 $\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \overrightarrow{AB}$, 则 $\overrightarrow{AB} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$ 。即位移矢量为末位置矢量与初位置矢量的差,或在 Δt 时间内质点位置矢量 \mathbf{r} 的增量,用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示为

$$\Delta \mathbf{r} = \overrightarrow{AB} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-2)$$

讨论:位移与路程

(1) 位移是矢量,路程是标量。

(2) 位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 是割线段 AB 的长度;路程的大小是弧 \widehat{AB} 的长度 Δs ,如图 1-2 所示。

例如,图 1-3(a)中,位移是 \overrightarrow{AC} ,路程是 $AB + BC$;图 1-3(b)中,位移是 0,路程是曲线的长度。

三、速度

前面我们研究了质点的位置矢量 \mathbf{r} 及其变化的量 $\Delta \mathbf{r}$,为了能够进一步研究物体运动的快慢程度,需要引入速度这个物理量。

如图 1-2 所示,设质点在 Δt 时间内由 A 点沿曲线运动到 B 点。

1. 平均速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-3)$$

(1) 大小: $|\mathbf{v}| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$;

(2) 方向:与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 方向一致,显然用平均速度描述物体的运动是比较粗糙的,只能反映在一段时间内位移的平均变化,为了更精确地描述质点在任一时刻的运动情况,引入瞬时速度的概念。

2. 瞬时速度

时间 Δt 趋于 0 时平均速度的极限值。

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-4)$$

其方向沿质点运动所在点处曲线的切线,并沿质点前进的方向。

由 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$,可以得到其在直角坐标系中的分量形式:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}$$

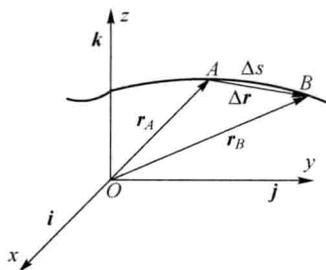


图 1-2 质点的位移

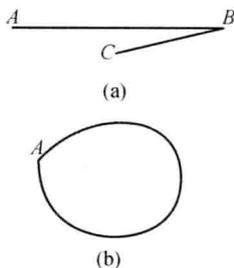


图 1-3 位移与路程

速度的大小:

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

3. 平均速率

在实际的问题中,常用速率(标量)来描述质点的运动快慢,其与质点在单位时间内所经的路程相关。如图 1-2 所示,有

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-5)$$

注意平均速率与平均速度的区别。如质点环行一周,显然质点位移等于零。即 $\bar{\boldsymbol{v}} = 0$, 但 \bar{v} 却不为零。

4. 瞬时速率

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-6)$$

在 $\Delta t \rightarrow 0$ 情况下, \widehat{AB} 长度 Δs 与线段 AB 长度 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 近似相等, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t} = |\boldsymbol{v}|$$

讨论: 速度与速率

(1) 速度是矢量, 具有瞬时性、相对性。

(2) 速率是标量。

(3) 瞬时速度的大小是瞬时速率。

(4) 平均速度的大小不等于平均速率。

例 1-1 一质点在 Oxy 平面内依照 $x = t^2$ (SI 单位) 规律沿曲线 $y = \frac{x^2}{320}$ 运动, 求该质点从第 2 s 到第 4 s 末的位移。

解: 任意时刻, 质点的位置矢量:

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} = t^2\boldsymbol{i} + \frac{t^4}{320}\boldsymbol{j}$$

第 2 s 时的位置 ($t = 2$ s 代入上式):

$$\boldsymbol{r}_1 = 4\boldsymbol{i} + \frac{1}{20}\boldsymbol{j}$$

第 4 s 时的位置 ($t = 4$ s 代入上式):

$$\boldsymbol{r}_2 = 16\boldsymbol{i} + \frac{4}{5}\boldsymbol{j}$$

位移:

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 = 12\boldsymbol{i} + \frac{3}{4}\boldsymbol{j}$$

例 1-2 同上题, 一质点在 Oxy 平面内依照 $x = t^2$ (SI 单位) 规律沿曲线 $y = \frac{x^2}{320}$ 运动, 试计算:

(1) 该质点在第 2 s 末到第 4 s 末这段时间的平均速度。

(2) 第 2 s 末和第 4 s 末的瞬时速度。

解: 由 $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} = t^2\mathbf{i} + \frac{t^4}{320}\mathbf{j}$, 可知

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 2t\mathbf{i} + \frac{t^3}{80}\mathbf{j}$$

第 2 s 末到第 4 s 末间的平均速度:

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{12\mathbf{i} + \frac{3}{4}\mathbf{j}}{2} = 6\mathbf{i} + \frac{3}{8}\mathbf{j}$$

第 2 s 末的瞬时速度 ($t = 2$ s 代入):

$$\mathbf{v}_1 = 4\mathbf{i} + \frac{1}{10}\mathbf{j}$$

第 4 s 末的瞬时速度 ($t = 4$ s 代入):

$$\mathbf{v}_2 = 8\mathbf{i} + \frac{4}{5}\mathbf{j}$$

四、加速度

为了进一步描述速度变化的快慢程度, 引入加速度这个物理量。

如图 1-4 所示, 在 t 时刻, 质点在 A 点, 速度为 \mathbf{v}_A ; 在 $t + \Delta t$ 时刻, 质点在 B 点, 速度为 \mathbf{v}_B , 由矢量合成可见, 在 Δt 时间内质点的速度增量 $\Delta\mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$ 。

1. 平均加速度

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-7)$$

反映在 Δt 内速度的平均变化率。

2. 瞬时加速度

等于当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均加速度的极限值, 即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k} \quad (1-8)$$

其分量:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

大小:

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

特点:

(1) 矢量性: 有大小和方向。方向是 $\Delta\mathbf{v}$ 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的方向, 而速度是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\Delta\mathbf{r}$ 的极限方向。两者一般不相同。

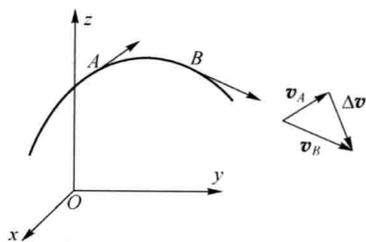


图 1-4 质点的加速度