

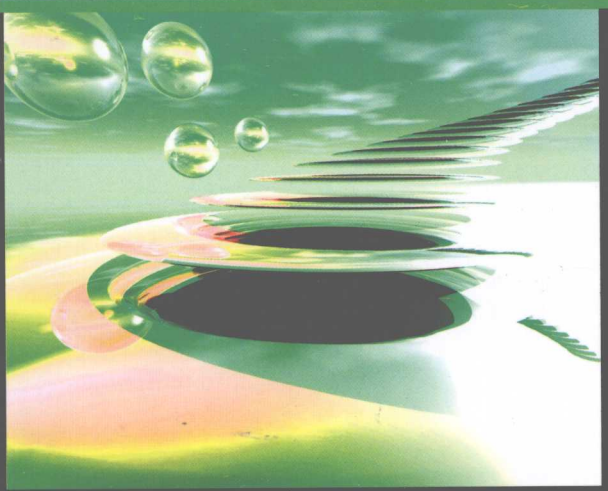


高等院校“十一五”规划教材（少学时本科·高职高专）

大学

物理

主编 周 军



突出学时配置

经典物理学与近代物理学相结合

增加了STS（科学·技术·社会）阅读材料

全国优秀出版社倾力打造



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高等院校“十一五”规划教材
(少学时本科·高职高专)

大学物理

主编 周军

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是参照高等学校大学物理课程教学基本要求组织编写的。内容包括:绪论、质点力学、刚体力学、流体力学、机械振动和机械波、波动光学、热力学基础、气体分子动理论、静电场、稳恒电流、稳恒磁场、电磁感应、电磁振荡和电磁波、量子、激光技术、附录共 16 部分。本书通俗易懂,对物理概念和物理规律的阐述既清晰又透彻,并注意理论联系实际。同时还在每章后面加入 STS(科学·技术·社会)教育阅读材料,以提高学生学习兴趣、开阔学生眼界和培养其创新精神。

本书可作为高等院校本科少学时专业、专科院校各专业的大学物理教材,也可作为职业技术学院、成教学院和电视大学的物理教材。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/周军主编. —北京:国防工业出版社,2007.8
高等院校“十一五”规划教材. 少学时本科·高职高专
ISBN 978-7-118-05220-6

I. 大... II. 周... III. 物理学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 118987 号

※

国防工业出版社 出版发行

· (北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

· 天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19¼ 字数 500 千字

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《大学物理》编委会

主 编 周 军

副主编 魏秉国 王素霞

王殿宾 白·巴根那

编 委 逯云杰

前 言

本书是作者根据高等学校大学物理教学大纲,参照高等学校大学物理课程教学的基本要求,结合一般理工院校专业的特点和实际情况组织编写的,它具有以下几个特点:

(1) 注重对基本物理概念和物理规律的阐述,编写中对定理、公式的推导论证较少,但对重点和难点内容的讲解力求清晰、透彻,以帮助学生建立起清晰的物理图像。

(2) 贯彻理论联系实际的原则,在阐述清楚物理学原理的同时,注意讨论物理学原理在生产技术中的应用,并注重辩证唯物主义观点的渗透。

(3) 本书内容虽然以经典物理学知识为主,但适当扩展知识面,介绍了一些近代物理学知识,注意把经典物理学与近代物理学结合起来,以扩大学生的科学视野。

(4) 本书在每章的后面增加了 STS(科学·技术·社会)教育阅读材料。这些阅读材料有的介绍了科学家的生平事迹;有的介绍了大学物理知识在工程技术中的实际应用;还有的介绍了物理学中常用的研究方法。通过这些材料的学习,有利于培养学生学习大学物理的兴趣和提高其学习积极性,有利于开阔学生眼界,有利于培养学生的科学思想、科学方法和科学精神,对培养学生分析解决问题的能力 and 创新精神也是十分有益的。

(5) 考虑到各专业对大学物理课程的差异,所以书中带“*”部分为选学内容,各专业可以根据实际需要选择。

(6) 本书注意内容精选,文字叙述较为简炼,对高中物理内容一般不再重复,直接在其基础上引入大学物理教学内容。

(7) 全书的物理量和单位均采用国家法定标准。

本书由周军任主编,负责全书的筹划和统稿,魏秉国、王素霞、王殿宾、白·巴根那任副主编,逯云杰任编委。

限于编者水平和教学经验的不足,加之时间仓促,书中难免会有缺点和错误,敬请读者批评指正。

目 录

第0章 绪论	1
第1章 质点力学	3
1.1 质点运动的描述	3
1.2 几种典型的质点运动	7
1.3 牛顿运动定律及应用	11
1.4 变力的功	13
1.5 势能	16
1.6 能量守恒定律	17
1.7 动量和动量定理	19
1.8 动量守恒定律	20
* 1.9 洛伦兹变换 伽利略变换	23
* 1.10 相对论的时空观:同时的相对性 长度收缩 时间膨胀	25
习题	27
※STS教育材料※	30
第2章 刚体力学	34
2.1 刚体的平动和转动	34
2.2 转动动能 转动惯量	37
2.3 力矩 转动定律	39
2.4 力矩的功 刚体定轴转动中的动能定理	40
2.5 角动量和角动量守恒定律	42
习题	45
※STS教育阅读材料※	46
第3章 流体力学	50
3.1 流体动力学的基本概念	50
3.2 伯努利方程及应用	52
3.3 流体的黏滞性	55
习题	58
※STS教育阅读材料※	59
第4章 机械振动和机械波	61
4.1 简谐运动	61

4.2	简谐振动的矢量描述	67
4.3	阻尼振动 受迫振动 共振	70
4.4	简谐振动的合成与振动的分解	72
4.5	机械波的产生和传播	77
4.6	平面简谐波的波方程	79
4.7	波的能量 能流密度	84
4.8	波的叠加原理 波的干涉 驻波	86
4.9	多普勒效应	90
	习题	92
	※STS 教育阅读材料※	93
第 5 章	波动光学	96
5.1	相干光	96
5.2	杨氏双缝干涉实验 劳埃德镜	98
5.3	光程 薄膜干涉	101
5.4	劈尖和牛顿环	107
5.5	迈克耳逊干涉仪	109
5.6	光的衍射	110
5.7	单缝衍射	112
5.8	圆孔衍射 光学仪器的分辨率	115
5.9	衍射光栅	117
5.10	X 射线的衍射	120
5.11	光的偏振性 马吕斯定律	122
5.12	双折射和偏振棱镜	127
	习题	130
	※STS 教育阅读材料※	133
第 6 章	热力学基础	135
6.1	气体状态参量 平衡态 理想气体状态方程	135
6.2	功 热量 热力学能	136
6.3	准静态过程 热力学第一定律	137
6.4	热力学第一定律的应用	138
6.5	循环过程 卡诺循环 热机效率和制冷系数	143
6.6	热力学第二定律	146
	习题	148
	※STS 教育阅读材料※	149
第 7 章	气体分子动理论	151
7.1	气体分子动理论的基本观点 统计规律性	151

7.2 理想气体的压强公式	153
7.3 理想气体分子的平均平动动能与温度的关系	154
7.4 气体分子速率分布规律	155
7.5 能量均分定理	159
习题	161
※STS教育阅读材料※	163
第8章 静电场	165
8.1 电荷 库仑定律	165
8.2 电场 电场强度	167
8.3 电场线 电通量 高斯定理	170
8.4 静电场的环路定理 电势	177
8.5 静电场中的金属导体	181
8.6 电容 电容器	185
8.7 静电场中的电介质	186
8.8 静电场的能量	188
习题	189
※STS教育阅读材料※	191
第9章 稳恒电流	194
9.1 稳恒电流 电流密度	194
9.2 电阻率 欧姆定律的微分形式	197
9.3 电源 电动势	198
9.4 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	199
9.5 基尔霍夫定律	202
习题	206
※STS教育阅读材料※	208
第10章 稳恒磁场	211
10.1 磁场	211
10.2 毕奥—萨伐尔定律	213
10.3 磁场的高斯定理	217
10.4 磁场的环路定理及其应用	219
10.5 磁场对运动电荷的作用	223
10.6 磁场对载流导线的作用	225
10.7 磁介质	228
习题	231
※STS教育阅读材料※	233

第 11 章 电磁感应	235
11.1 电磁感应定律	235
11.2 动生电动势和感生电动势	238
11.3 自感与互感	241
11.4 磁场能量	243
11.5 涡流和趋肤效应	244
* 11.6 位移电流及麦克斯韦方程组	246
习题	247
※STS 教育阅读材料※	249
第 12 章 电磁振荡和电磁波	251
12.1 电磁振荡	251
12.2 电磁波	254
习题	257
※STS 教育阅读材料※	258
第 13 章 量子	261
13.1 量子假说与光子理论	261
13.2 光电效应 爱因斯坦光子理论	265
13.3 氢原子的量子理论	268
13.4 微观粒子的波粒二象性	272
13.5 不确定关系	274
13.6 波函数	276
习题	278
※STS 教育阅读材料※	279
第 14 章 激光技术	281
14.1 激光的特性	281
14.2 激光的产生	282
14.3 激光器常见类型	285
14.4 激光的应用	287
习题	289
※STS 教育阅读材料※	289
附录一 矢量代数	291
附录二 导数公式和定理	295
附录三 常用物理常数	296
参考文献	297

第0章 绪 论

我们生活在一个无限广阔、丰富多彩和变化万千的自然界。人们在认识自然和改造自然的过程中,探索了自然界的奥秘,获得了自然界的科学抽象,形成了现代的自然科学。

一切物质都在永恒地运动着,绝对不动的物质是不存在的。物质运动的形式是多种多样的,它们既遵守共同的普遍规律,又有自己的特殊规律,对各种不同运动形式的研究,形成了自然科学的各个学科。

物理学是自然科学中最重要的基本学科之一。物理学研究宇宙间物质存在的各种主要的基本形式,它们的性质、运动和转化以及内部结构,从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律。物理学的各分支学科是按物质的不同存在形式和不同运动形式来划分的。经典力学研究宏观物体的低速机械运动的现象和规律。宏观是相对于分子、原子等微观粒子而言的,低速是相对于光速而言的。热学研究热的产生和传导,研究物质处于热状态下的性质和这些性质是如何随着热状态的变化而变化的。经典电磁学研究宏观电磁现象和客观物体的电磁性质。光学研究光的性质及其和物质的各种相互作用。对于高速运动现象的研究建立了狭义相对论,对于原子内部运动状态的研究,导致了量子力学的诞生。相对论和量子力学是近代物理学的两大支柱,物理学以此为基础得到了迅速发展,建成了宏伟的物理学大厦。

物理学是一门应用广泛的基础学科。化学、生物学、地质学、医学、工程技术及交通运输等都需要物理学的知识。近几十年来物理学与其他学科结合产生了许多边缘学科,比如,生物物理学、天体物理学、地球物理、海洋物理、化学物理等。同时物理学与技术有着密切的联系,二者的关系存在两种模式。一是以提高动力机械为主导的第一次工业革命所标志的“技术→物理→技术”模式。18世纪末瓦特改进蒸汽机,使之成为真正的动力,但那时蒸汽机的效率很低,只有5%~8%。1828年,卡诺提出卡诺定理,为解决热机效率提供了理论依据,到20世纪蒸汽机的效率达到了15%,内燃机达到40%。这种模式是技术向物理提出问题,促使物理理论发展,反过来又提高了技术。二是“物理→技术→物理”模式,这种模式是物理的发展导致了技术的进步,而技术的进步又反过来促进了物理的发展。例如,从1785年库仑定律的建立,到1831年法拉第发现电磁感应定律,基本上是物理上的探索,没有应用的研究。随着物理学原理在技术领域的应用,此后半个多世纪,各种交直流发电机、电动机和电报机应运而生,而技术的发展,又导致了麦克斯韦电磁理论的建立和电磁波的发现。在当今世界中,第二种模式的重要性更为显著,物理学已成为现代高新技术发展的先导与基础学科。反过来,高新技术发展对物理学提出了新的要求,同时也提供了先进的研究条件与手段,进一步促进了物理学的发展。

在物理学的发展过程中,不仅建立了系统完整的知识体系,而且逐渐形成了一整套研究物理学的科学思想和科学方法。如常规方法——观察、实验、逻辑思维(分析、综合、归纳、演绎、类比、理想化方法)、数学方法等,非常规方法——直觉、猜想、灵感等。其中基本的研究方法是在观察和实验的基础上,对物理现象进行分析、抽象和概括,从而建立物理规律,形成物理理论,再回到实践中去,经过新的实验事实的检验,不断地修改,使物理理论更好地反映客观实际的规律性。

学好物理学,还应该掌握以下学习方法。

勤于思考,着重理解。要克服死记硬背的学习习惯,逐步养成刻苦钻研、独立思考的习惯。在学习物理概念时,应理解物理概念的内涵与外延,了解概念与有关概念的区别与联系,并学会概念的运用。在学习物理规律时,要深入理解物理规律的物理意义,明确物理规律的适用条件和范围,弄清楚所学习的物理规律与有关物理概念和规律的关系,学会运用物理规律说明和理解物理现象,分析和解决实际物理问题,提高运用物理知识分析解决问题的能力。由于物理学是一门实验科学,因此在学习物理学的过程中,还要注意观察各种物理现象和进行必要的实验,并运用新学的知识对其进行科学地分析和思考,作出合理的解释。这样可以巩固和加深对物理概念、定理、定律和物理过程的理解,能够收到良好的学习效果。

注意学习物理学的科学思想和研究方法。因为只有领会了物理思想,掌握了物理学方法,才能真正把知识学到手,才能获得不断掌握新知识、解决新问题的能力。所以在物理学的学习过程中应注重思想和方法的领会和掌握。要重视物理实验,善于观察和分析物理现象,学会建立模型和运用模型解决实际问题的方法,学会抽象思维和理论概括的方法,并要不断提高运用数学手段分析和解决物理问题的能力。

总之,物理学是一门重要的基础理论课,通过学习,能掌握物理学中的基本概念和基本规律以及研究问题的科学方法,同时在科学实验能力、计算能力和抽象思维能力等方面会受到严格的训练,使分析问题和解决问题的能力得到较大幅度的提高,为其他专业课的学习奠定良好的物理基础。

第1章 质点力学

力学是研究机械运动规律及其应用的学科。一个物体相对另一个物体,或者是一个物体的某些部分相对于其他部分的位置的变化,称为机械运动。如星体在太空中的运动、机器运转中各部件的运动及车辆在行驶中相对位置的改变等。力学在各种自然科学中发展的最早。17世纪形成了以牛顿定律为基础的经典力学,其理论体系在19世纪上半期即告完成,成为物理学其他分支研究的基石和起点,并广泛应用于生产实际之中,成为工程技术的重要基础。

任何物体都有一定的大小和形状,当物体运动时,其中各点的位置变化,一般来说是各不相同的。因此,要精确描述某一实际物体的运动不是一件简单的事情。但在某些实际问题中,如果物体各点的运动状态完全相同,或者物体本身形状、大小可以忽略不计,那么就可以把物体看做一个具有质量而没有大小和形状的点,这种理想的模型称为质点。能否把物体当做质点处理,要看具体情况。例如,研究一辆汽车行驶的快慢和路程时,汽车作为一个整体,各点的运动是相同的,所以可以把汽车看做一个质点。但是在研究空气阻力对汽车运动的影响时,汽车自身的形状、大小就不能忽略,此时就不能把它看成质点。又如,研究地球绕太阳公转时,由于地球运行的轨道半径比地球半径大10000多倍,因而地球上各点相对于太阳的运动可以看做是相同的,故可以把地球当做质点处理。但是,在研究地球本身自转时,地球上各点的运动并不相同,这时就不可再把地球当做质点处理了。因此,一个物体是否可以抽象为质点是有条件的,是相对的。本章学习质点力学的基本知识。

1.1 质点运动的描述

1. 参考系与坐标系

1) 参考系

要考察一个物体是否运动和怎样运动,必须选择另一个物体作为参考,这个被选为参考的物体称为参考系。

不同的参考系对同一物体运动情况的描述是不同的。如在作匀速直线运动的火车上研究一物体自由下落时,如果以运动着的火车为参考系,那么该物体是竖直下落的;如果以车站为参考系,那么该物体的运动轨迹是向下的抛物线。这就是说,运动的描述是相对的。在阐述物体运动规律时,必须指明选用的是什么参考系。

2) 坐标系

要想定量描述物体(质点)的运动规律,仅有参考系是不够的,还需要在参考系上建立适当的坐标系。在坐标系中,物体的位置由坐标定量地确定。常用的坐标系有笛卡儿坐标系、极坐标系、球坐标系等。具体描述物体的运动规律时,可根据具体情况选择坐标系形式。坐标系选择的不同,只是描述物体运动所用的参数不同而已,对物体的运动性质及规律并无影响。不过坐标系选择得恰当,可以简化计算。由于坐标系是固定于参考系上的,因此坐标系实质是参考系的数学抽象,指明了坐标系也就指明了参考系。

2. 位置矢量 运动方程

1) 位置矢量

如图 1-1 所示,质点 P 在笛卡儿坐标系中的位置可以由原点 O 指向 P 点的有向线段 $\mathbf{r}$ 来表示,矢量 $\mathbf{r}$ 叫做位置矢量,简称位矢。在笛卡儿坐标系中, $\mathbf{r}$ 可由坐标 x, y, z 表示,于是位置矢量 $\mathbf{r}$ 可写成

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

式中: $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为 X, Y, Z 轴的单位矢量。

其大小为

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

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向余弦为

$$\cos\alpha = \frac{x}{|\mathbf{r}|}$$

$$\cos\beta = \frac{y}{|\mathbf{r}|}$$

$$\cos\gamma = \frac{z}{|\mathbf{r}|}$$

式中: α, β, γ 分别为 $\mathbf{r}$ 与 OX 轴、 OY 轴和 OZ 轴之间的夹角。

2) 运动方程

质点运动时,它的位置矢量 $\mathbf{r}$ 是随时间 t 而变化的,所以 $\mathbf{r}$ 是 t 的函数。表示 $\mathbf{r}$ 随时间 t 变化的关系式称为运动方程。可以写为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-2)$$

在笛卡儿坐标系中,运动方程可表示为

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

知道了质点的运动方程,就能够确定质点的整个运动情况。所以力学的主要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

质点在空间所经历的路径称为轨道或轨迹,由式(1-3)消去 t 后即可得轨道方程。

如果质点在 XOY 平面上运动,则运动方程式(1-3)

可简化为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \quad (1-4)$$

从两式中消去参数 t 得轨道方程

$$y = y(x) \quad (1-5)$$

3) 位移与路程

如图 1-2 所示,质点在空间沿曲线从 A 运动到 B ,在时刻 t ,质点位于 A 点,其位置矢量为 $\mathbf{r}_A$,经过时间 Δt 后,质点位于 B 点,其位置矢量为 $\mathbf{r}_B$ 。在时间 Δt 内,质点的位置变化,可用从 A 到 B 的有向线段 $\Delta\mathbf{r}$ 来表示,它称为质点在 Δt 时间内的位移。

位移是矢量,从图 1-2 中可以看出位移 $\Delta\mathbf{r}$ 和位矢 $\mathbf{r}_A, \mathbf{r}_B$ 的关系为

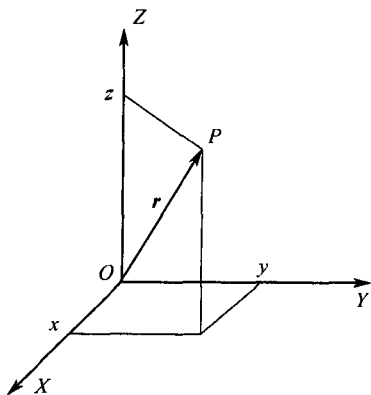


图 1-1 位置矢量

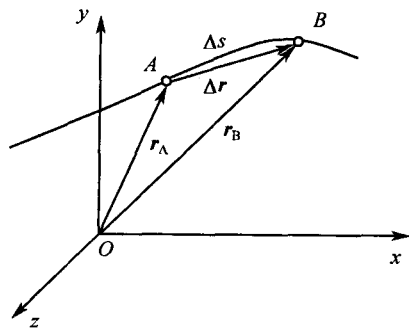


图 1-2 质点的位移 $\Delta\mathbf{r}$ 和路程 Δs

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-6a)$$

上式表明,位移等于质点末时刻的位置矢量 $\mathbf{r}_B$ 与初始时刻位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 的矢量差。在笛卡儿坐标系中,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 可表示成

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \quad (1-6b)$$

从 A 点到 B 点质点运动的实际路径是曲线线段 Δs 的长度,称为 Δt 时间内这个质点的路程。位移和路程是两个截然不同的物理概念,位移是矢量,而路程是标量,一般情况下,二者的大小并不相等。例如一个人沿圆形轨道走一圈,他的路程为 $2\pi R$,但位移为零。

3. 速度

速度是描述质点运动快慢和方向的物理量,同时也是描写质点运动状态的一个参量。如图 1-2 所示,在 Δt 时间内质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,称 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比为质点在这段时间 Δt 内的平均速度,可写成

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

平均速度是矢量,它的方向与位移的方向相同,其大小等于在相应时间 Δt 内,单位时间的位移。

平均速度仅是对质点运动状态的粗略描写,它只表示一段时间内位移的平均变化情况。显然,时间间隔 Δt 取得越小,其平均速度越接近运动的实际情况。因此,可以令 Δt 趋于零,取平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限值作为质点在某一时刻或某一位置运动情况的精确描述,这就是质点的瞬时速度,即

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

式(1-8)表明,速度的方向就是 Δt 趋于零时, $\Delta \mathbf{r}$ 的方向,也就是质点运动轨道在 A 点的切线方向,并指向质点运动的一方。

速度的大小称为速率,用 v 表示。即

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right| \quad (1-9)$$

若用 Δs 表示 Δt 时间内质点沿轨道所经历的路程, Δs 与 Δt 的比值称为平均速率,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-10)$$

平均速率和速度的值一般不相等,只有当 Δt 趋于零时, Δs 趋于 Δr ,平均速率与速度的大小才相等。

如果质点在 xoy 笛卡儿坐标系内运动,速度可表示为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \quad (1-11)$$

式中: $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, 分别表示速度在 X、Y 轴上的分量。速度的大小和方向分别为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1-12a)$$

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} \quad (1-12b)$$

式中: α 为 $\mathbf{v}$ 与 x 轴正方向的夹角。

在国际单位制(SI)中,速度的单位是米/秒(m/s)。

4. 加速度

加速度是描述质点速度变化快慢程度的物理量。

如图 1-3 所示,质点作曲线运动。 t 时刻,质点位于 A 点,速度为 v_1 ; $t + \Delta t$ 时刻,质点位于 B 点,速度为 v_2 ,则在 Δt 时间内,质点的速度增量为 $\Delta v = v_2 - v_1$ 。

质点的速度增量 Δv 与其所经历的时间 Δt 的比,称为这段时间内质点的平均加速度,用 a 来表示

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad (1-13)$$

平均加速度是一个矢量,其方向与速度增量

Δv 的方向相同,其大小为 $|a| = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right|$,但它只

是表示在时间 Δt 内速度的平均变化率,为了精确地描述质点速度的变化,需要引入瞬时加速度的概念。

当 Δt 趋近于零时,质点在这时间内的平均加速度的极限值,称为质点在某一时刻或某一位置的瞬时加速度,简称加速度。其数学形式为

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

可见,加速度等于速度对时间的一阶导数,或位置矢量对时间的二阶导数。

在笛卡儿坐标系 xOy 中,质点加速度的分量为

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \end{cases} \quad (1-15)$$

写成矢量式为

$$a = a_x i + a_y j \quad (1-16)$$

加速度大小为

$$a = |a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (1-17)$$

加速度的方向为

$$\tan \theta = \frac{a_y}{a_x} \quad (1-18)$$

式中: θ 为 a 与 x 轴正方向的夹角。

在国际单位制(SI)中,加速度的单位是米/秒²(m/s²)。

加速度 a 既反映了速度方向的变化,又反映了速度数值的变化。质点作曲线运动时,任一时刻质点的加速度方向与该时刻的速度方向不在同一直线上,即加速度方向不沿曲线的切线方向,而是指向曲线的凹侧。

例 1-1 求已知某质点的运动方程为 $r = 5ti + 15t^2j - 10k$ 。

(1) 确定 $t = 1s$ 和 $t = 2s$ 时质点的位置;

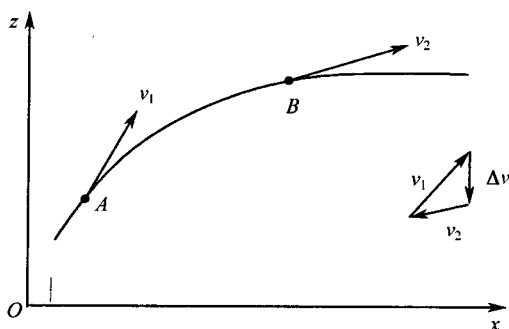


图 1-3 曲线运动的加速度

(2) 求出质点的轨迹方程。

解 (1) 质点的运动方程表示的是质点位置矢量与时间的函数关系。因此分别将 $t = 1\text{s}$ 和 $t = 2\text{s}$ 代入运动方程,便可求出相应时刻质点的位置矢量。即

$$\mathbf{r}|_{t=1} = 5\mathbf{i} + 15\mathbf{j} - 10\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}|_{t=2} = 10\mathbf{i} + 60\mathbf{j} - 10\mathbf{k}$$

质点的位置还可表示为坐标形式,即

$$x_1 = 5, y_1 = 15, z_1 = -10$$

$$x_2 = 10, y_2 = 60, z_2 = -10$$

(2) 质点运动方程的标量形式为

$$x = 5t, y = 15t^2, z = -10$$

$z = -10$ 表明质点在垂直于 z 轴的一个平面上运动。因此由前两项消去时间参数 t 得

$$y = \frac{3}{5}x^2$$

结果表明:质点的轨迹为 $z = -10$ 平面上的一条抛物线。

例 1-2 求例 1-1 中质点在 $t = 1\text{s}$ 时的瞬时速度和加速度。

解 已知质点的运动方程 $\mathbf{r} = 5t\mathbf{i} + 15t^2\mathbf{j} - 10\mathbf{k}$, 根据速度的定义可以求出任意 t 时刻质点的速度矢量和加速度矢量。

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 5\mathbf{i} + 30t\mathbf{j}$$

$$\mathbf{a} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = 30\mathbf{j}$$

将 $t = 1\text{s}$ 代入,即可求得该时刻质点的速度

$$\mathbf{v} = 5\mathbf{i} + (30 \times 1)\mathbf{j} = 5\mathbf{i} + 30\mathbf{j} (\text{m/s})$$

速度矢量的大小,即速率为

$$v = \sqrt{5^2 + 30^2} (\text{m/s}) = 40.31 (\text{m/s})$$

速度矢量的方向正切为

$$\tan\alpha = \frac{30}{5} = 6$$

所以

$$\alpha = 80^\circ 33'$$

由加速度的定义可以求出任意 t 时刻质点的加速度矢量。

$$\mathbf{a} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = 30\mathbf{j} (\text{m/s}^2)$$

加速度矢量的大小为

$$a = 30 (\text{m/s}^2)$$

加速度矢量的方向沿 y 轴正方向。

1.2 几种典型的质点运动

1. 直线运动

对于一定的参考系,当质点运动的轨迹是一条直线时,称为直线运动。例如汽车在笔直公路上的行驶,物体的自由下落等。直线运动又称为一维运动,它是最常见最简单运动类型。

在直线运动中,质点的位移、速度和加速度都在同一直线上,可以选取仅含 Ox 轴的一维坐标系,且使 Ox 轴与质点的运动轨道重合,仍用 i 表示沿 x 轴正方向的单位矢量,则质点的位置矢量为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i}$$

因为 i 为恒矢量,当质点运动时,其位置矢量总是与位置坐标 x 一一对应,所以质点作直线运动的运动方程为

$$x = x(t)$$

其瞬时速度和瞬时加速度分别为

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

1) 匀速直线运动

质点作匀速直线运动时,它的速度不变,加速度为零,由 $v = \frac{dx}{dt}$ 得

$$dx = v dt$$

两边求积分得

$$\int_{x_0}^x dx = \int_{t_0}^t v dt$$

$$x - x_0 = v(t - t_0)$$

式中: x_0 和 v_0 一般由初始条件决定,如果起始时刻 $t_0 = 0$,同时质点的位置在坐标原点,即 $x_0 = 0$,则上式可写成

$$x = vt \quad (1-19)$$

式(1-19)就是匀速直线运动的运动方程。

2) 匀变速直线运动

质点作匀变速直线运动时,它的加速度为一恒量,由 $a = \frac{dv}{dt}$ 得

$$dv = a dt$$

对上式两边积分得

$$\int_{v_0}^v dv = \int_{t_0}^t a dt$$

$$v = v_0 + a(t - t_0)$$

式中: v_0 为质点在 $t = t_0$ 时刻对应的速度,当 $t_0 = 0$ 时,质点的初速度为 v_0 。于是上式可表示成

$$v = v_0 + at \quad (1-20)$$

式(1-20)就是质点作匀变速直线运动时速度随时间变化的规律。

根据 $v = \frac{dx}{dt}$,由式(1-20)得

$$dx = (v_0 + at)dt$$

对上式两边求积分,如果 $t_0 = 0$ 时, $x = x_0$,则得

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t (v_0 + at)dt$$