

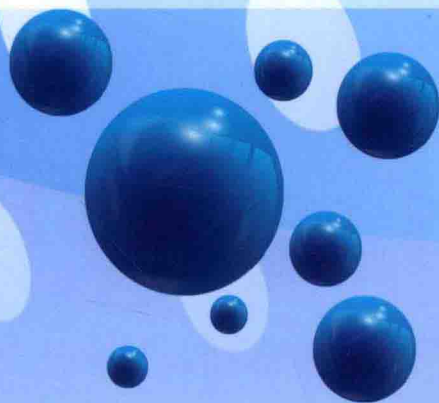


“十三五”普通高等教育规划教材

GONGKE DAXUE WULIXUE

工科大学物理学 (上)

主 编 鲁 刚



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”普通高等教育规划教材

工科大学物理学

(上)

主 编 鲁 刚

北京邮电大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

《工科大学物理学》分上、下两册,共5篇16章。涵盖力学、热学、电磁学、光学、量子论和量子力学简介等内容。每章开头介绍一些背景知识和物理学发展史等内容,便于学生深入理解有关物理概念和物理定律,有助于提高学生对自然科学的兴趣和热情。本书简洁、明晰地介绍了物理学的基本概念和基本规律,融入了一些物理方法和物理思想等内容,以期帮助学生在学物理知识的同时,了解物理学的基本方法和思想,提高学生的逻辑思维能力。书中设置了一些与实际联系密切的例题、思考题和习题,以帮助学生学物理知识的理解,提高他们对物理知识的应用能力。

本书可作为高等学校理工科类有关专业的大学物理教材或参考书,也可供高等职业技术学院工科类相关专业的学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

工科大学物理学.上/鲁刚主编.--北京:北京邮电大学出版社,2017.1(2017.11重印)

ISBN 978-7-5635-4962-7

I. ①工… II. ①鲁… 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(2016)第280664号

-
- | | |
|------|--|
| 书 名 | 工科大学物理学(上) |
| 主 编 | 鲁 刚 |
| 责任编辑 | 付小霞 |
| 出版发行 | 北京邮电大学出版社 |
| 社 址 | 北京市海淀区西土城路10号(100876) |
| 电话传真 | 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真) |
| 网 址 | www3.buptpress.com |
| 电子信箱 | ctrd@buptpress.com |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 印 刷 | 北京泽宇印刷有限公司 |
| 开 本 | 787 mm×960 mm 1/16 |
| 印 张 | 11.5 |
| 字 数 | 248千字 |
| 版 次 | 2017年1月第1版 2017年11月第2次印刷 |
-

ISBN 978-7-5635-4962-7

定价:30.00元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

前 言

物理学是一门基础自然科学,在实验与理论所及的范围内,研究物质的基本结构和基本组分之间的相互作用。其目标是以最一般的方式概括物理现象,并用最简洁而又准确的数学语言表达物理规律。它涉及的运动有机械运动和物理运动,其中,物理运动包括分子热运动、电磁运动和微观粒子运动等。

《工科大学物理学》分上、下两册,上册 2 篇 8 章,下册 3 篇 8 章。第一篇为力学,包括质点运动学、质点动力学、刚体定轴转动、振动、波动和狭义相对论简介,共 6 章。第二篇为热学,有气体动理论和热力学基础,共 2 章。第三篇为电磁学,由静电场、稳恒磁场和电磁感应 3 章组成。第四篇为光学,涵盖光的干涉、光的衍射和光的偏振 3 章。第五篇共 2 章,分别为量子论和量子力学简介。

本书简洁、明晰地介绍了物理学的基本概念和基本规律,融入了一些物理方法和物理思想等内容,以期帮助学生在 学习物理知识的同时,了解物理学的基本方法和思想,受到物理思想和方法的积极影响,提高学生的逻辑思维能力。每章开头介绍一些背景知识和物理学发展史等内容,便于学生深入理解有关物理概念和物理定律,提高学生对自然科学的兴趣和热情。

本书例题、思考题和习题的选取,注重基本概念与实际的联系,强调基本训练,贴近应用实际,有助于学生对物理知识的理解,提高他们对物理知识的应用能力。

本书总结了编者多年教学的经验与教研成果,并借鉴了其他物理教材和相关参考书,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

编 者
2016 年 10 月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	4
1.1 质点运动的描述	4
1.2 常见运动的描述	9
1.3 相对运动	16
思考题 1	18
习题 1	19
第 2 章 质点动力学	21
2.1 牛顿运动定律	21
2.2 自然界中的基本力	23
2.3 物理量的单位与量纲	27
2.4 牛顿定律的应用	27
2.5 非惯性系与惯性力	30
2.6 伽利略相对性原理及其坐标变换	32
2.7 动量与动量守恒定律	33
2.8 动能定理	38
2.9 保守力与势能	41
2.10 功能原理与机械能守恒定律	44
思考题 2	47
习题 2	48
第 3 章 刚体定轴转动	51
3.1 刚体定轴转动的描述	51
3.2 刚体定轴转动定律	53
3.3 转动惯量	58

3.4 刚体角动量守恒定律	61
3.5 转动中的功和能	63
思考题 3	67
习题 3	68
第 4 章 振 动	71
4.1 简谐振动	71
4.2 相与相差	75
4.3 谐振动的旋转矢量表示法	77
4.4 阻尼振动与受迫振动	80
4.5 同频率谐振动的合成	83
思考题 4	87
习题 4	87
第 5 章 波 动	90
5.1 波的产生与传播	90
5.2 波的能量	97
5.3 波的叠加	99
5.4 声波	106
5.5 多普勒效应	107
思考题 5	108
习题 5	109
第 6 章 狭义相对论简介	112
6.1 狭义相对论建立的历史背景	112
6.2 狭义相对论基本原理	117
6.3 洛伦兹变换与速度变换	117
6.4 狭义相对论时空观	120
6.5 狭义相对论动力学简介	124
6.6 质能公式的应用	126
思考题 6	127
习题 6	128

第二篇 热 学

第 7 章 气体动理论	131
7.1 物质的微观结构	131
7.2 平衡态 状态方程	132

7.3 理想气体压强公式	135
7.4 温度的统计解释	138
7.5 能量均分定理	139
7.6 麦克斯韦气体分子速率分布律	141
思考题 7	145
习题 7	146
第 8 章 热力学基础	148
8.1 热力学第一定律	149
8.2 热容	152
8.3 典型热力学过程	154
8.4 循环过程	158
8.5 热力学第二定律	164
8.6 热力学第二定律与熵	167
8.7 热力学第二定律的统计意义	170
思考题 8	172
习题 8	174
参考文献	176

绪 论

物理学是一门基础自然科学,在实验与理论所及的范围内,研究物质的基本结构和基本组分之间的相互作用。其目标是以最一般的方式概括物理现象,并用最简洁而又准确的数学语言表达物理规律。它所涉及的运动有机械运动和物理运动,其中,物理运动包括分子热运动、电磁运动和微观粒子运动等。

到 19 世纪末已基本完善的经典物理学,能够表述尺度大于原子、速度远低于光速的物体的宏观现象;创立于 20 世纪初的相对论和量子力学构成了现代物理学的基础,它们为阐明原子、原子核与高能物理学中的微观、高速现象提供了依据。

所有物理学的探索最终都归结为对与时空中的物质相关联的各种事件的研究,所有可度量的物理量都可以用时间、长度和质量等基本单位来表示。将实验结果总结成为数学公式表述时,若该公式表述的可靠性足以反映某种普遍的性质,就称之为物理学定律。不过这种定律并不是恒久有效的,一旦它的预测不能被实验所证实,就必须对它或修正,或予以放弃,或明确地定出一个适用范围。

按照所研究的物质运动形态和具体对象,物理学分为力学、声学、热学、电磁学、光学、原子物理学与化学物理学、核物理学、凝聚态物理学、粒子物理学、相对论力学与量子力学、引力理论等分支学科。

物理学的基础理论和方法已经成为其它自然科学和工程技术的基础。

无线电电子学、电工学、热工学等工程学科是将物理规律应用于生产过程中形成的。物理学在各方面的应用而形成的边缘学科有化学物理、天体物理、生物物理等。物理学在各方面的应用还发展了许多最重要的尖端技术,如原子能、半导体、激光、纳米等。

物理学与我们的生活密切相关,其思维方式是指导人们正确认识自然界的最基本方法,其思想方法已经渗透到人们生活的方方面面。我们每天都会接触到物理学的不同现象——力、热、声、电磁、光,等等。

不过,依然有一些人不重视以物理学为基础的自然科学修养。例如,在某电视剧里为了批评当前教育领域的不良倾向,引用了物理学中有关光的现象,其中有这样的台词:“用考试的滤光片把生活滤得只剩下白色——学习”。

上述引号中的台词正确吗?

太阳光中的可见光——白色光,即复合光,是包含多种频率的光。换一种说法,白色光

即可见光,能分解为赤、橙、黄、绿、蓝、靛、紫等颜色的光。对这种现象的认识与解释,最初是由牛顿完成的。

滤光片只允许一种或两种颜色(频率)的光通过。例如,红色滤光片只能通过红色光,蓝色滤光片只允许蓝色光通过。

学习大学物理,不仅应学会定性描述物理现象,还应学会定量描述物理概念和物理规律。在学习过程中,要用到矢量、微分与积分等数学知识。例如,在质点运动学中,用运动方程描述质点的运动规律;在电学中,由高斯定理和环路定理分别描述静电场的有源性和无旋性,等等。

那么,如何学习物理学呢?

首先,应了解物理学的研究方法,如实验、抽象、类比、分析与综合、假说等。其次,培养自己良好的学习习惯:为了提高课堂学习效率,应该有选择地记录笔记;及时预习和复习,养成良好的自学习惯;针对难懂内容或难题,阅读相关参考书。再次,经常解释生活中遇到的物理现象和问题。

总之,应该记住:学好物理学是学好自然科学的第一步。

第一篇

力

学

人类对运动的认识经历了漫长的岁月,从空中飞的、陆上跑的、水里游的……,从宇宙天体的演化,到分子、原子以及微观粒子的运动,逐渐形成了运动的概念。

运动是物质的存在形式及其固有属性,包括宇宙中的一切变化和过程,从简单的位置变化到人类的思维过程,各种现象都是物质运动的表现形式。

根据人类目前达到的认识,物质运动的基本形式有5种:机械的、物理的、化学的、生物的和社会的运动形式。

力学是一门古老的学科。从古希腊的阿基米德、亚里士多德,到文艺复兴时期的达·芬奇,力学初具端倪。到了17世纪中叶,经过许多科学家,特别是伽利略、笛卡儿、惠更斯等人的努力,力学的实验基础和思想方法已经建立起来,运动学定律已经基本确立,部分动力学规律已经发现,这就为牛顿定律的建立奠定了坚实的基础。

伊萨克·牛顿继承了前人的研究成果,如笛卡儿的惯性定律、运动量守恒和圆周运动的解析三大成果,以及伽利略的落体定律和运动合成的方法。牛顿在《自然哲学之数学原理》中提出了牛顿运动三定律和万有引力定律,对宏观物体的运动给出了精确的描述。他将地面上物体的运动和太阳系内行星的运动统一在相同的物理定律之中,从而完成了人类文明史上第一次自然科学的大综合。

牛顿总结和发展了他以前的物理学的全部重要成果,将孤立的、逻辑上各自独立的物理概念和物理定律,发展成为一个能够表述因果关系的完整体系。《自然哲学之数学原理》第一次显示了科学理论所具有的能动作用,为后来物理学研究开拓了一条传统思路,奠定了经典力学的基础,促进了物理学的发展。

力学是一门研究物体机械运动规律的学科。**机械运动**指的是物体的位置随时间的变化过程,它包括平动、转动和振动等。力学通常分为运动学、动力学和静力学。运动学只研究物体在运动过程中的位置与时间的关系,而不涉及引起和改变运动的原因;动力学则研究物体的运动与物体之间的相互作用的内在联系;静力学研究物体在相互作用下的平衡问题,也可将其视为动力学的一部分。本章只介绍运动学的内容。

1.1 质点运动的描述

物理学研究自然现象的方法,是将其简化,对现象的主要特征加以研究,得出结论,再用结论去解释相应的现象。如果所得结论能够比较好地解释现象,则将其推广到更大范围,完善结论,最终提升出理论上的结果。最常用的方法之一就是理想化方法。在后续的课程中会经常介绍与内容相关的方法。

1. 质点、参考系与坐标系

任何物体都有一定的形状和大小。当形状和大小对研究运动影响很小时,便可将其简化处理,视为质点——具有质量而形状为几何点的物体。例如,在研究地球绕太阳公转时,由于地球的平均半径(约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$) 比地球与太阳之间的距离(约为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$) 小得多,地球上各点相对于太阳的运动可视为相同,即可以忽略地球的形状和大小,将其视为质点。又如,一辆汽车在公路上的运动,其上各点情况完全相同,整个车厢的运动完全可用车厢上任一点的情况来说明。类似这样运动的物体,无论其形状、大小如何,在研究它的整体运动时,都可以用一个质点来代表它。

质点是实际物体在一定条件下的抽象,是一种理想化模型。一个物体能否被视为质点,要依据所研究的问题而定。例如,同样是地球,当研究它的自转问题时,就不能当作质点处理。

为了描述物体的运动而选择的标准物称为**参考系**。在不同参考系中观察同一物体的运

动,其效果是不相同的。这反映运动描述的相对性。例如,在匀速直线运动的车厢内有一个自由下落的物体,以车厢为参考系,该物体做直线运动;以地面为参考系,物体做抛物线运动。

为了定量描述质点的位置和位置随时间的变化,需要在参考系上建立一个坐标系。在参考系上按一定规则确定的有序数组称为坐标系。最常用的坐标系有直角坐标系,它的3个坐标轴 x 、 y 、 z 相互垂直, i 、 j 、 k 分别表示沿 x 、 y 、 z 坐标轴正方向的单位矢量,它们的特点是 $|i|=|j|=|k|=1$, $di=dj=dk=0$ 。质点 P 某时刻的位置可由其所在处的3个坐标 x 、 y 、 z 来确定,如图 1.1 所示。

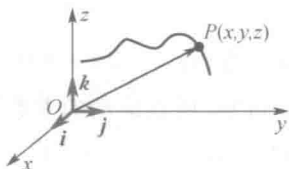


图 1.1 直角坐标系中质点的坐标

坐标系的选择是根据所描述运动的具体情况确定的,有时用平面极坐标系描述运动可能更方便,有时可能用自然坐标系描述曲线运动,等等。不过参考系一经确定,所描述的质点运动的快慢、轨道形状等就随之确定。

2. 位置与运动方程、位移

描述物体位置与方向的物理量称作位置矢量,简称位置或矢径,用从坐标系原点指向物体所在处的矢量 r 表示。在直角坐标系中,位置 r 可表示为

$$r = xi + yj + zk \quad (1.1)$$

式中, x 、 y 、 z 分别为 r 沿 3 个直角坐标轴的分量,如图 1.2 所示。 r 的大小为

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

r 的方向用方向余弦来表示,即

$$\cos \alpha = x/r, \quad \cos \beta = y/r, \quad \cos \gamma = z/r \quad (1.3)$$

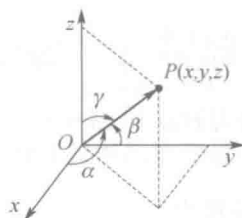


图 1.2 质点在直角坐标系中的位置

实际上,位置是随时间变化的,因此 r 应表示为 $r(t)$,相应地, x 、 y 、 z 应分别表示为 $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $z(t)$,因此式(1.1)应表示为

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

式(1.4)是位置与时间的函数关系式,称为运动方程或运动函数。通常将方程

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.5)$$

称为运动方程的分量式或参数方程。

例 1.1 质点的运动方程分别为:(1) $x = 3t^2 - 9t + 5$; (2) $x = t^2, y = (t-1)^2$; (3) $\mathbf{r}(t) = 2t\mathbf{i} + (2-t^2)\mathbf{j} + (4t^2+9)\mathbf{k}$ 。试指出每个运动方程所反映的物理意义。

解 (1)表示质点在一条直线上运动;(2)是用参数方程表示质点在一个平面上运动;(3)表示质点在空间运动。

例 1.2 一个质点的运动方程为 $\mathbf{r}(t) = 2t\mathbf{i} + (3t^2 + 16)\mathbf{j}$ 。求质点运动的参数方程。

解 比较式(1.4)和式(1.5)可知,质点运动的参数方程为

$$x(t) = 2t, \quad y(t) = 3t^2 + 16$$

例 1.3 质点运动的参数方程为 $x(t) = t^2, y(t) = (t-1)^2$ 。求质点的位置矢量。

解 由式(1.4)和式(1.5)可知,质点的位置矢量为

$$\mathbf{r}(t) = t^2\mathbf{i} + (t-1)^2\mathbf{j}$$

位移是描述物体位置变化的物理量。用两个不同时刻的位置之差表示,即

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

式中 $\Delta\mathbf{r}(t)$ 是质点从 t 到 $t + \Delta t$ 时段内的位移。位移也是矢量,其大小为

$$|\Delta\mathbf{r}(t)| = |\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)| \quad (1.7)$$

$|\Delta\mathbf{r}(t)|$ 不能简写为 $\Delta r(t)$, 因为 $\Delta\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$, $\Delta r(t)$ 是位置大小从 t 到 $t + \Delta t$ 这一时段内的增量。一般地, $|\Delta\mathbf{r}(t)| \neq \Delta r(t)$ 。在直角坐标系中,位移表示为

$$\Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \quad (1.8)$$

位移的大小为

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (1.9)$$

位移的方向为

$$\cos \alpha = \Delta x / |\Delta\mathbf{r}|, \quad \cos \beta = \Delta y / |\Delta\mathbf{r}|, \quad \cos \gamma = \Delta z / |\Delta\mathbf{r}| \quad (1.10)$$

例 1.4 一个质点的运动方程为 $\mathbf{r}(t) = 2t\mathbf{i} + (2-t^2)\mathbf{j}$ (m)。求从 $t_1 = 1$ s 到 $t_2 = 2$ s 时段内质点位移的大小。

解 由式(1.8)可知,质点的位移为

$$\Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} = 2\mathbf{i} - 3\mathbf{j} \text{ (m)}$$

由式(1.9)可知,质点的位移大小为

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{2^2 + 3^2} = \sqrt{13} \text{ m}$$

3. 轨迹方程与路程

由运动方程消去时间得到的函数关系式称作**轨迹方程**,即

$$f(x, y, z) = 0$$

例 1.5 质点的运动方程为 $\mathbf{r}(t) = 2t\mathbf{i} + (2 - t^2)\mathbf{j}$. 求轨迹方程。

解 其参数方程为

$$x = 2t, \quad y = (2 - t^2)$$

将上两式消去时间 t , 得

$$y = \frac{x^2}{4} - 2x + 4$$

质点运动轨迹的长度称为**路程**, 通常用 Δs 表示。一般地说, 路程不等于位移大小, 即 $\Delta s \neq |\Delta \mathbf{r}|$ 。只有当 Δt 趋近于零时, Δs 与 $|\Delta \mathbf{r}|$ 才可视为相等, 即无限小路程等于无限小位移大小

$$ds = |d\mathbf{r}| \quad (1.11)$$

例如, 一个质点从原点沿直线运动到某处又折回到原点, 其路程不为零, 但其位移为零。

4. 平均速度与平均速率

描述物体位置变化快慢的物理量称为**速度**。

质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与其所经历的时间 Δt 的比值, 称为质点在这一时段内的**平均速度**, 即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.12)$$

平均速度是矢量, 其方向与质点位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向一致。

在描述质点运动时, 也常用**速率**这个物理量。将 Δs 与对应时段 Δt 的比值 $\Delta s / \Delta t$ 称作质点在这一时段内的**平均速率**。平均速率是标量, 等于质点在单位时间内所经历的路程, 而不考虑运动的方向。因此, 不能将平均速率与平均速度混为一谈。例如, 质点在某时段内沿一个闭合路径运行一周, 其位移为零, 所以平均速度也为零, 而平均速率却不为零。

5. 速度与速率

为了确定质点瞬时的速度, 应使 Δt 无限减小而趋近于零, 以平均速度的极限来表示, 即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.13)$$

式(1.13)表明, 速度是量度质点位置变化快慢的物理量, 等于位置对时间的一阶导数, 方向沿物体位移的极限方向。

速度的大小称为**速率**, 用 v 表示, 即

$$v = |\mathbf{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \frac{|d\mathbf{r}|}{dt} \quad (1.14)$$

由式(1.11)有

$$v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1.15)$$

速率为质点所经历的路程对时间的变化率。

在直角坐标系中,将式(1.1)代入式(1.13),有

$$\mathbf{v} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \quad (1.16)$$

式中 $v_x\mathbf{i}$, $v_y\mathbf{j}$, $v_z\mathbf{k}$ 分别表示沿三个坐标轴的分速度, v_x , v_y , v_z 分别为速度沿三个坐标轴的分量。这些分量为代数量,可正可负。式(1.16)表明,质点速度 $\mathbf{v}$ 是各分速度 $v_x\mathbf{i}$, $v_y\mathbf{j}$, $v_z\mathbf{k}$ 的矢量和。速度的单位为 m/s。速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.17)$$

速度的方向沿物体位移的极限方向。

例 1.6 一个质点的运动方程为 $\mathbf{r}(t) = 2t\mathbf{i} + (16 + 3t^2)\mathbf{j}$ (m)。求 $t = 5$ s 时的速度。

解 将运动方程对时间求一阶导数,得

$$\mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = 2\mathbf{i} + 6t\mathbf{j} \quad (\text{m/s})$$

$$\mathbf{v}(5) = 2\mathbf{i} + 30\mathbf{j} \quad (\text{m/s})$$

6. 加速度

与速度是描述物体位置变化快慢的物理量类似,描述物体速度变化快慢的物理量称为**加速度**,等于速度对时间的一阶导数或位置对时间的二阶导数,即

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \quad (1.18)$$

加速度也是矢量。式(1.18)表明,加速度等于速度对时间的变化率,不论是速度的大小发生变化,还是速度的方向发生变化,都引起加速度。在直角坐标系中,将式(1.16)代入式(1.18),有

$$\mathbf{a} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k} \quad (1.19)$$

加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1.20)$$

加速度的方向为速度变化的极限方向。加速度的单位是 m/s^2 。

例 1.7 一个质点的运动方程为 $x = 2t$ (m), $y = 5t^2 - 8$ (m)。

求:(1)质点运动的轨迹方程并画出曲线图;(2) $t = 1$ s 时质点的位置、速度和加速度。

解 (1)由运动方程消去 t ,得轨迹方程

$$y = \frac{5}{4}x^2 - 8$$

质点作抛物线运动,见图 1.3。

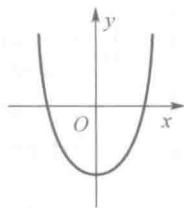


图 1.3 例 1.7 用图

(2) 质点的位置、速度和加速度分别为

$$\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (5t^2 - 8)\mathbf{j} \text{ (m)}, \quad \mathbf{v} = 2\mathbf{i} + 10t\mathbf{j} \text{ (m/s)}, \quad \mathbf{a} = 10\mathbf{j} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

当 $t = 1 \text{ s}$ 时,

$$\mathbf{r} = 2\mathbf{i} - 3\mathbf{j} \text{ (m)}, \quad \mathbf{v} = 2\mathbf{i} + 10\mathbf{j} \text{ (m/s)}, \quad \mathbf{a} = 10\mathbf{j} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

1.2 常见运动的描述

1. 匀加速直线运动

质点沿直线做加速度恒定的运动称为匀加速直线运动。若将质点运动的轨道取作 x 轴, 见图 1.4, 由式(1.19) $a_x = dv_x/dt$, 有

$$dv = a dt \quad (1.21)$$

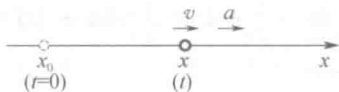


图 1.4 匀加速直线运动

设 $t = 0$ 时, 速度 $v = v_0$, 则任意时刻 t 的速度 v , 可对式(1.21) 积分求得, 即

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t a dt$$

由于 a 为常量, 所以积分得

$$v = v_0 + at \quad (1.22)$$

上式即为匀加速直线运动的速度公式。

由 $v = dx/dt$ 有

$$dx = v dt$$

将式(1.22) 代入上式, 得

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

设 $t = 0$ 时, $x = x_0$, 任意时刻 t 的位置为 x , 对上式两边积分, 有

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

于是,从 $t = 0$ 到 t 时刻质点的位移为

$$\Delta x = x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1.23)$$

由此得任一时刻 t 质点的位置为

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1.24)$$

若设 $t = 0$ 时, $x_0 = 0$, 则有

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1.25)$$

从式(1.22)和式(1.25)中消去 t , 可得速度 v 随位置 x 变化的关系式

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (1.26)$$

例 1.8 一个质点的加速度 $\mathbf{a} = 6\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$ (m/s^2), $t = 0$, $\mathbf{v} = 0$, $\mathbf{r}_0 = 10\mathbf{i}$ (m)。求质点任意时刻的速度和位置。

解 由式(1.18)有 $d\mathbf{v} = \mathbf{a}dt$, 两边积分

$$\int_0^{\mathbf{v}} d\mathbf{v} = \int_0^t \mathbf{a}dt = \int_0^t (6\mathbf{i} + 4\mathbf{j})dt$$

得

$$\mathbf{v} = 6t\mathbf{i} + 4t\mathbf{j} \quad (\text{m/s})$$

由 $d\mathbf{r} = \mathbf{v}dt$, 将上式代入并积分

$$\int_{\mathbf{r}_0}^{\mathbf{r}} d\mathbf{r} = \int_0^t \mathbf{v}dt = \int_0^t (6t\mathbf{i} + 4t\mathbf{j})dt$$

得

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_0 = 3t^2\mathbf{i} + 2t^2\mathbf{j} \quad (\text{m})$$

于是有

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + 3t^2\mathbf{i} + 2t^2\mathbf{j} = (3t^2 + 10)\mathbf{i} + 2t^2\mathbf{j} \quad (\text{m})$$

2. 抛体运动

从地上某点向空中抛出一个物体,它在空中的运动就称为**抛体运动**。物体被抛出后,若忽略空气阻力和风的影响,其运动轨迹将被限制在以初速度 $\mathbf{v}_0$ 和重力加速度 $\mathbf{g}$ 所确定的平面内,所以抛体运动是一个二维匀加速运动。描述抛体运动选择平面直角坐标系最为方便,可将抛体运动视为水平方向的匀速运动和竖直方向的匀加速运动的合成。

选抛出点为坐标原点,沿水平向右和竖直向上方向分别引 x 轴和 y 轴,如图 1.5 所示。以抛出时刻为计时零点, $t = 0$ 时,初始位置在原点 $x_0 = 0$ 。以 θ 表示初速度 $\mathbf{v}_0$ 与 x 轴的夹角,则 $\mathbf{v}_0$ 沿 x 轴和 y 轴的分量分别为

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta, \quad v_{0y} = v_0 \sin \theta$$