



普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理

上册

主编 柳辉 张素花



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理

(上册)

主 编 柳 辉 张素花

副主编 房正纪 韩英荣 袁常青

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书依照教育部大学物理课程教学指导委员会颁布的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》编写,其中融入了作者多年的教学经验,特别关注了知识学习的网络化和信息化新特点,引入了二维码链接微课视频,帮助读者理解重点和难点.全书另有配套的习题可供选择使用.本书是上册,内容包括力学、热学、振动与波动和波动光学.

本书适合普通高等学校理工科各专业学生学习使用,也可作为教师和相关工作人员的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理:全2册/柳辉,张素花主编. —北京:科学出版社,2019.1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-03-060372-2

I. ①大… II. ①柳… ②张… 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(2019)第005221号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:杨聪敏
责任印制:师艳茹 / 封面设计:华路天然工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019年1月第一次印刷 印张:28

字数:564 000

定价:79.00元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

物理学是研究物质基本结构、基本运动形式、相互作用的自然科学。物理学对物质世界的描述分为微观层次、宏观层次和宇观层次,其时间从 10^{-25}s 到 10^{18}s 跨越了 43 个数量级,线度从 10^{-15}m 到 10^{26}m ,跨越了 41 个数量级。物理学研究内容包括从微观粒子到浩瀚宇宙,从大爆炸宇宙的极早期到延绵不尽的未来。物理学是最基础、最古老、发展最快的一门科学,同时也是提供基本科学研究手段最多的一门学科。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,是其他自然科学和工程技术的基础。在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学还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具有重要的地位。

物理学的研究历史可以追溯到人类文明的早期,近四百年的发展更是取得了辉煌的成就,它是自然科学发展的重要基础,是人类文化中最丰富和活跃的组成部分。在物理学发展的初期,它与数学和哲学紧密关联,成为人类文明进步的重要推动力。经典力学和热力学的研究,为第一次工业革命奠定了理论基础。19 世纪末,电磁学理论体系的建立,为第二次工业革命拉开了序幕。1900 年后,以相对论和量子物理为标志的近代物理的研究,参与了第三次工业革命的全过程。放眼未来,物理学有着极大的发展潜力,仍然是一门充满生机和活力的科学,它的理论和实验研究仍然是生产力发展的巨大推动力。在新的发展时期,物理学和其他学科有机结合,形成了生物物理学、材料物理学、量子信息学和金融物理等新型的交叉学科,这些交叉学科是当前高新技术和社会经济发展重要的增长点和推动力。

本书的内容涵盖了物质最基本的运动形式,包括宏观物体的机械运动、大量分子的热运动、电磁场的运动和微观粒子的运动,涵盖了物理学的核心基本理论,即研究物体的机械运动的经典力学、热现象的热力学、电磁现象的电磁学、高速运动和时空关系的狭义相对论、微观粒子运动的量子力学等。本书利用二维码链接了课程内容对应的微课视频,内容包括重点、难点及部分典型例题,利用好这些微课视频将有助于知识的学习和理解。

参加本书编写的有柳辉(电磁学)、张素花(量子物理基础)、房正纪(力学)、韩英荣(波动光学、热力学基础)、袁常青(振动与波动、狭义相对论、气体动理论),

柳辉、张素花负责全书的统稿和核定,大学物理教研室全体教师分工录制了本书二维码链接的微课视频。本书编写过程中得到了河北工业大学理学院和本科生院的指导和项目的支持,得到了河北工业大学国家级物理教学团队的指导,在此一并表示感谢。

由于编者的学识和教学经验的限制,书中难免有疏漏之处,恳请各位读者不吝赐教,提出宝贵的意见和建议。

编 者

2018年9月

目 录

前言

第1篇 力 学

第1章 质点运动学	3
1-1 质点运动的描述	3
1-2 几种典型的运动	8
1-3 相对运动	14
思考题	15
习题	15
第2章 质点动力学	17
2-1 牛顿运动定律	17
2-2 惯性系 力学相对性原理	22
2-3 动量 动量守恒定律	25
2-4 功和能	32
思考题	41
习题	41
第3章 刚体力学基础	44
3-1 刚体的平动和定轴转动	44
3-2 力矩 转动定律 转动惯量	46
3-3 刚体定轴转动的功和能	51
3-4 角动量和角动量守恒定律	55
思考题	61
习题	62

第2篇 热 学

第4章 气体动理论	67
4-1 热力学系统的基本概念与性质	67
4-2 物质的微观模型	71
4-3 理想气体的压强公式	73
4-4 气体分子的平均平动动能与温度的关系	76

4-5 能量均分定理和理想气体的内能	77
4-6 麦克斯韦气体分子速率分布律	81
4-7 气体分子平均碰撞频率及平均自由程	87
思考题	89
习题	90
第5章 热力学基础	92
5-1 热力学过程 功 热量 内能	92
5-2 热力学第一定律及其应用	96
5-3 理想气体的绝热过程和多方过程	101
5-4 循环过程 卡诺循环 卡诺定理	105
5-5 热力学第二定律	111
思考题	117
习题	118

第3篇 振动与波动

第6章 机械振动	123
6-1 简谐振动的描述	123
6-2 简谐振动的能量	132
6-3 简谐振动的合成	135
6-4 阻尼振动 受迫振动 共振	142
思考题	145
习题	146
第7章 机械波	149
7-1 机械波的产生及其特征量	149
7-2 平面简谐波的波动表达式	153
7-3 波的能量	158
7-4 惠更斯原理 波的叠加和干涉	163
7-5 驻波	168
7-6 多普勒效应	171
思考题	175
习题	176

第4篇 波动光学

第8章 光的干涉	181
8-1 光的干涉基础	181

8-2 杨氏双缝干涉 半波损失	186
8-3 薄膜干涉	191
8-4 迈克耳孙干涉仪	198
思考题	201
习题	202
第 9 章 光的衍射	204
9-1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	204
9-2 单缝夫琅禾费衍射	206
9-3 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨率	211
9-4 光栅衍射	215
9-5 晶体对 X 射线的衍射	221
思考题	224
习题	224
第 10 章 光的偏振	226
10-1 自然光和偏振光	226
10-2 起偏和检偏 马吕斯定律	229
10-3 由光的反射和散射引起的光的偏振	231
10-4 由双折射引起的光的偏振	235
10-5 人为双折射和旋光现象简介	236
思考题	238
习题	238
习题参考答案	240

第1篇 力 学

小到原子的内部世界、大到宇宙世界，自然界中的万物都在永不停息地运动着，物质有着各种各样的运动形式，比如机械运动、热运动、波动等，其中最简单、最普遍的一种运动形式是物体位置的变动——机械运动，确切地是指物体相对于其他物体的位置(距离和方向)的变化以及物体各部分之间的相对运动(如形变)。力学是研究物体机械运动规律的学科，是物理学和许多工程技术学科的基础。

力学的历史悠久，但其成为一门科学理论则始于 17 世纪伽利略论述惯性运动，经牛顿等人逐步完善，到 1687 年牛顿发表的《自然哲学的数学原理》一书，是力学发展史上一个重要的里程碑，奠定了力学的基础。以牛顿运动定律为基础的力学理论称为牛顿力学或经典力学，经典力学研究在弱引力场中宏观物体的低速运动。经典力学包含运动学、动力学和静力学。运动学研究的是物体在运动过程中位置和时间关系，不追究运动发生的原因；动力学研究的是物体的运动与物体间相互作用的内在联系和规律；静力学则研究物体在相互作用下的平衡问题。

经典力学能在相当广阔的尺度和速率范围内使用，是最普遍的理论。然而随着科技的发展，人们发现了经典力学的局限性，在高速运动领域创立了相对论力学，在微观领域创立了量子力学，然而包括狭义相对论、广义相对论和量子力学的现代物理学的出现并没有使经典力学失去存在的价值。例如，当质点速度远低于光速时，狭义相对论又回到牛顿的经典力学；当引力较弱时，广义相对论的引力理论又回到牛顿的万有引力定律。现代物理学使经典力学得以进一步扩展和修正，却丝毫没有减弱经典力学的重要性，在自然科学和工程技术领域，甚至在一些高新技术领域(如航空航天)，经典力学仍能解决许多理论和实际问题。

质点和刚体是经典力学在研究物体机械运动过程中根据物体的特点及运动规律提炼出的两个理想模型。经典力学就质点和刚体的运动学、动力学和静力学方面开展研究，从而形成了质点力学和刚体力学两部分研究内容。本篇三章内容分别对质点运动学、质点动力学和刚体转动等相关内容展开讲述。通过本章的学习，掌握力学的研究内容和研究方法，可以为学好物理学的其他部分奠定基础。

第1章 质点运动学

质点运动学主要是研究和描述机械运动的物体位置随时间变化的关系。本章首先在引入质点、参考系和坐标系等概念的基础上，定义位置矢量、位移、速度和加速度等描述质点运动的物理量，讨论这些量随时间的变化以及相互关系，并进而讨论曲线运动中的切向加速度和法向加速度，最后介绍质点的相对运动。

1-1 质点运动的描述

一、质点 参考系与坐标系

1. 质点

物体的大小和形状各有不同，运动形式也各不相同。如果在所研究的问题中，物体的大小和形状无关紧要，就可以把物体当作一个只有质量的点，称之为**质点**。质点是一个理想化的力学模型。能否把物体当作质点是有条件的，必须根据具体情况进行具体分析。例如，研究地球绕太阳公转时，由于地球到太阳的平均距离约为地球半径的 10^4 倍，故可以将地球视为质点，而研究地球自转时，则不能将地球视为质点。

2. 参考系与坐标系

要描述一个物体的运动必须有其他物体作为参照，这个作为参照的物体就叫做**参考系**。确定了参考系之后，为了定量描述物体相对参考系的位置，需要在参考系上建立一个与之关联的**坐标系**。最常见的坐标系有直角坐标系、极坐标系、球坐标系、柱坐标系和自然坐标系。物体的运动与选择的参考系密切相关，通常按惯例约定：若不明确指出选用什么物体为参考系，一般选择地面为参考系。

质点位置的空间坐标值通常用长度来量度。在国际单位制中，长度的基本单位是米(符号是m)。1m是光在真空中 $1/299792458$ s内所经路径的长度。

表示质点到达空间某一位置的时刻在国际单位制中是以秒(符号是s)为基本单位计量的。秒是铯-133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射周期 9192631770 倍的时间。

二、位置矢量 位移

1. 位置矢量

选定参考系和坐标系之后, 就可以描述质点在空间的位置了. 如图 1-1-1 所示, 在直角坐标系中, 设质点在时刻 t 运动到 P 点. 质点的位置可以用 P 点的坐标表示, 即

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

这样一组函数称为质点的**运动方程**. 将质点的运动方程消去参数 t , 得到坐标相关的方程称为质点的**轨道方程**, 坐标系中可以画出相应的轨道曲线.

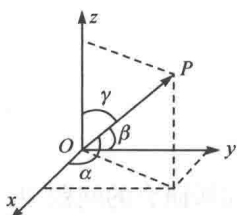


图 1-1-1 位置矢量

质点的位置用矢量表示更简洁清楚. 把从坐标原点指向 P 点的有向线段 OP 记作矢量 $\mathbf{r}$. $\mathbf{r}$ 的方向说明了 P 点相对于坐标原点的方位, $\mathbf{r}$ 的大小表明 P 点到原点的距离. 矢量 $\mathbf{r}$ 就叫做质点的**位置矢量**, 简称**位矢**. 质点运动时, 位矢随时间变化, 即

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

上式称为**运动方程的矢量式**.

注意: 本书中矢量用加粗的字母表示, 如 $\mathbf{r}$, 手写体为了便于区别, 通常写作 $\vec{r}$.

直角坐标系中, 位矢 $\mathbf{r}$ 可表示为

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

$\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 为 x, y, z 方向的单位矢量. 位矢的大小为

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

方向余弦为

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

α, β, γ 分别是位矢 $\mathbf{r}$ 与 x, y, z 轴正方向的夹角.

2. 位移

质点在某段时间内位置矢量的增量叫做它在该时间内的**位移矢量**, 简称**位移**. 如图 1-1-2 所示, 质点沿曲线运动, t_1 时刻位于 A 点, 位矢为 $\mathbf{r}_A$, t_2 时刻位于 B 点, 位矢为 $\mathbf{r}_B$, $\Delta t = t_2 - t_1$, 则位移为

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

在直角坐标系中

$$\mathbf{r}_A = x_A \mathbf{i} + y_A \mathbf{j} + z_A \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_B = x_B \mathbf{i} + y_B \mathbf{j} + z_B \mathbf{k}$$

则

$$\Delta \mathbf{r} = (x_B - x_A) \mathbf{i} + (y_B - y_A) \mathbf{j} + (z_B - z_A) \mathbf{k} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \quad (1-1-3)$$

位移的大小

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

位移的方向为从 A 点指向 B 点.

注意 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$, Δr 是位矢大小的增量, $|\Delta \mathbf{r}|$ 为位移大小, 如图 1-1-2 所示.

同样应当注意, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和路程 Δs 是两个不同的物理量. 位移是矢量, 它是描述质点位置变化的物理量. 路程是标量, 描述质点实际运动轨迹长度的变化. 在曲线运动中, 位移的大小与路程并不相同, 甚至可以相差很大. 例如, 当质点经过一条闭合路径回到起始位置时, 其位移为零, 但路程不为零. 只有质点做单方向的直线运动时, 才有 $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta s$, 曲线运动中, 在 Δt 取得无穷小的极限情况下有 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$, 位置矢量和位移的单位是米(m).



位矢路程等
概念辨析

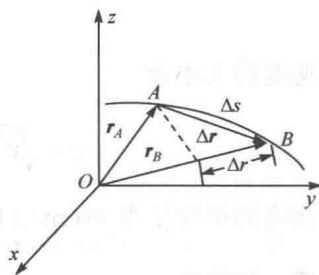


图 1-1-2 位移

三、速度

质点的位置随时间变化, 从而产生位移, 而位移一般也随时间变化. 我们把质点的位移与发生这段位移所用时间之比称为质点在这段时间内的平均速度, 用 $\bar{v}$ 表示. 质点的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A}{\Delta t}$$

平均速度是矢量, 大小为 $\frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$, 方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 方向相同. 平均速度描述质点在一段时间内或一段位移内运动的平均快慢程度和方向的变化. 如果想要描述某一时刻, 即瞬时的运动状态, 就要求 Δt 趋于零, 对平均速度取极限, 也就是质点位置矢量对时间的变化率, 将其定义为质点在 t 时刻的瞬时速度(简称速度), 用 v 表示, 即

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

速度的方向就是 Δt 趋于零时 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向. 如图 1-1-2 所示, 当 Δt 趋于零时, B 点向 A 点趋近, 而 $\Delta \mathbf{r}$ 方向将与质点运动轨道在 A 点的切线方向一致. 因此质点在 t 时刻的速度方向沿运动轨道质点所在位置的切线并指向运动前进的方向.

速度的大小定义为速率, 以 v 表示, 因为 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$, 则

$$v = |\mathbf{v}| = \frac{|\mathrm{d}\mathbf{r}|}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$$

速率等于质点所走过的路程对时间的变化率. 但平均速率并不是平均速度的大小, 平均速率定义为

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

在直角坐标系中

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \quad (1-1-5)$$

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, \quad v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}, \quad v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$$

速度的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \left(\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\right)^2}$$

速度的单位是米/秒(m/s).

四、加速度

质点运动的速度一般也随时间变化, 速度的变化情况可以用加速度来描述. 如图 1-1-3 所示, 在 Δt 时间内, 质点的速度由 $\mathbf{v}_A$ 变化到 $\mathbf{v}_B$, 则速度增量为

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$$

把 $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$ 定义为质点在这段时间内的平均加速度, 用 $\bar{\mathbf{a}}$ 表示, 即

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

当 Δt 趋于零时, 平均加速度的极限, 即速度对时间的变化率, 称为质点在 t 时刻的瞬时加速度(简称加速度)用 $\mathbf{a}$ 表示, 即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 \mathbf{r}}{\mathrm{d}t^2} \quad (1-1-6)$$

在直角坐标系中

$$\mathbf{a} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} \mathbf{i} + \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2} \mathbf{j} + \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2} \mathbf{k} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \quad (1-1-7)$$

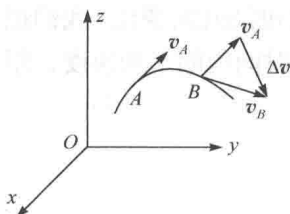


图 1-1-3 加速度

加速度大小为

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

加速度是矢量, 它既能反映速度大小的变化, 又能反映速度方向的变化, 单位是米/秒² (m/s²).

五、运动学中的两类问题

运动学的问题大体上可分为两类.

(1) 如果已知质点的运动学方程, 就可以通过微分方法分别求出质点的速度和加速度.

(2) 如果已知质点的加速度 $\boldsymbol{a}$ 、初始速度 $\boldsymbol{v}_0$ 和初始位矢 $\boldsymbol{r}_0$, 则由 $d\boldsymbol{v} = \boldsymbol{a}dt$, 积分可得质点的速度

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{a}dt$$

由 $\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$ 或 $d\boldsymbol{r} = \boldsymbol{v}dt$ 积分可得质点的位矢

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{v}dt$$

处理具体问题时, 如不做特别说明, 上述物理量均采用国际单位制或用符号 SI 简略表示.

例 1-1-1 一个质点在 x 轴上做直线运动, 运动方程为 $x = 2t^3 + 4t^2 + 8(\text{SI})$, 求:

- (1) 任意时刻的速度和加速度;
- (2) 在 $t = 2\text{s}$ 和 $t = 3\text{s}$ 时刻, 物体的位置、速度和加速度;
- (3) 在 $t = 2\text{s}$ 到 $t = 3\text{s}$ 时间内, 物体的平均速度和平均加速度.

解 (1) 由速度和加速度的定义式, 可求得

$$v = \frac{dx}{dt} = 6t^2 + 8t(\text{SI})$$

$$a = \frac{dv}{dt} = 12t + 8(\text{SI})$$

(2) $t = 2\text{s}$ 时, 得

$$x = 40\text{m}$$

$$v = 40\text{m/s}$$

$$a = 32\text{m/s}^2$$

同理可得, $t = 3\text{s}$ 时

$$x = 98\text{m}$$

$$v = 78\text{m/s}$$

$$a = 44\text{m/s}^2$$

$$(3) \quad \bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{98 - 40}{3 - 2} = 58(\text{m/s})$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{78 - 40}{3 - 2} = 38(\text{m/s}^2)$$

例 1-1-2 一个质点沿 x 轴运动, 其加速度为 $a = 4t(\text{SI})$, 已知 $t = 0$ 时, 质点位于 x_0 处, 初速 $v_0 = 0$, 试求其位置与时间的关系式.

解 $a = 4t = \frac{dv}{dt}$, 分离变量, $4tdt = dv$, 积分得

$$\int_0^t 4tdt = \int_{v_0}^v dv$$

得

$$v = 2t^2(\text{SI})$$

由式(1-1-4)有 $v = 2t^2 = \frac{dx}{dt}$, 积分得 $\int_0^t 2t^2 dt = \int_{x_0}^x dx$, 所以

$$x = \frac{2}{3}t^3 + x_0(\text{SI})$$

1-2 几种典型的运动

一、直线运动

质点做直线运动时, 通常选取坐标轴, 如 x 轴, 与直线运动轨道重合, 如图 1-2-1 所示质点在 x 轴上任意点时, 其位矢、速度、加速度只有 x 分量, 可表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i}, \quad \boldsymbol{v} = v_x\boldsymbol{i} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i}, \quad \boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} = \frac{dv_x}{dt}\boldsymbol{i} = \frac{d^2x}{dt^2}\boldsymbol{i} \quad (1-2-1)$$



图 1-2-1 直线运动

注意到, 上述矢量的方向只能取两个: x 轴正向或 x 轴负向. 例如, $x > 0$ 表示质点位于 x 轴的正半轴上, $x < 0$ 表示质点位于 x

轴的负半轴上; $v = v_x = \frac{dx}{dt} > 0$ 表示 v 与 x 轴正方向一致, $v = v_x = \frac{dx}{dt} < 0$ 表示 v 与 x 轴正方向相反, 即沿着 x 轴负向; 加速度的情形也是如此. 因此, 直线运动的矢量式可以用相应的标量式表示, 即

$$r = x, \quad v = v_x = \frac{dx}{dt}, \quad a = a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1-2-2)$$

如果已知任意时刻的加速度, 则由加速度的定义可得 $dv = a dt$, 积分有 $\int_{v_0}^v dv = \int_{t_0}^t a dt$, 得到任意时刻的速度表达式

$$v = v_0 + \int_{t_0}^t a dt \quad (1-2-3)$$

又由速度的定义式可得 $dx = v dt$, 积分有 $\int_{x_0}^x dx = \int_{t_0}^t v dt$, 得到任意时刻的位置坐标表达式

$$x = x_0 + \int_{t_0}^t v dt \quad (1-2-4)$$

对于匀变速直线运动, $a = \text{恒量}$, 容易得到它的速度、位置坐标(即运动学方程)的表达式

$$v = v_0 + at, \quad x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

以及速度、加速度和位置坐标之间的关系

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

以上三式在中学物理中学过, 是用图示图解法得到的, 这里指出了它们不过是式(1-2-3)和式(1-2-4)的特例。

二、抛体运动

物体以某一初速度抛出, 则它在竖直平面内的运动叫做抛体运动。通常把抛出点作为坐标原点, 水平方向和竖直方向分别作为 x 轴和 y 轴, 如图 1-2-2 所示。设抛体的初速度为 v_0 , 与水平方向的夹角为 θ , 则 v_0 沿 x 轴和 y 轴的分量为

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

物体的加速度分别为

$$a_x = 0, \quad a_y = -g$$

由此可得物体在任意时刻的速度

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \theta, \quad v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \theta - gt$$

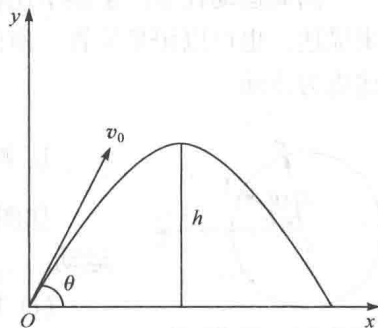


图 1-2-2 抛体运动