

物理学

(适用少学时专业)

主编 刘永胜
编者 徐力 吕江
康志泰 钟鼎



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

04
257

物 理 学

(适用少学时专业)

主编 刘永胜
编者 徐 力 吕 江
康志泰 钟 鼎

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书内容包括质点运动学、质点动力学、刚体定轴转动、气体动理论、热力学基础、静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒电流的磁场、磁场中的磁介质、电磁感应、机械振动、机械波、光的干涉、光的衍射、光的偏振、狭义相对论基础、近代物理初步。为了便于读者学习和掌握书中的内容,每一章前都提出了基本要求和学习重点,每一章后给出了本章提要。同时大部分章节还配有阅读资料,其中包括物理学史、名人传记和物理学在实际中的一些简单应用,以便读者在学习过程中进一步了解物理学的一些基本知识。每章最后给出了在基本要求范围内的同步练习,同步练习分为问答题、选择题、填空题和计算题四种题型,并在书后给出了答案。

本书可作高等院校非理工类和少学时理工类本科学生的大学物理教材,也可作成人教育、高职院校的教材。

图书在版编目(CIP)数据

物理学/刘永胜主编;徐力等编. —天津:天津大学出版社,2006.2
适用少学时专业
ISBN 7-5618-2255-3

I. 物... II. ①刘...②徐... III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004252 号

出版发行 天津大学出版社
出版人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 170mm × 240mm
印 张 25.5
字 数 556 千
版 次 2006 年 2 月第 1 版
印 次 2006 年 2 月第 1 次
印 数 1 - 4 000
定 价 35.00 元

前 言

物理学不仅是一门基础课,同时也是一门素质培养和训练课。高等院校学生开设物理课,就是要在物理学习基本知识的同时,掌握物理学研究方法,了解物理学在各个领域的应用。通过物理学学习和训练,能够客观地认识物质世界,培养学生科学的思维方法,树立科学发展观,提高解决问题的能力。本书是基于以上的考虑而编写的。

在编写本书的过程中,作者根据多年对非理工类学生的教学过程和体会,并根据对部分大学非理工类学生开设物理学课程的调研结果,确定了本书编写的基本思路和特点。本书适用于大学非理工类和少学时理工类专业,也可作其他专业物理课的参考书。本书具有以下特点:1.有完整的基本内容体系;2.对传统的章节作了部分合并调整;3.简化了一些理论的推导和论证过程;4.每章给出了可供参考的基本要求和学习重点;5.每章给出了本章提要、阅读资料和同步练习。

参加编写的人员及分工为:徐力执笔第1章、第2章、第3章;吕江执笔第13章、第14章、第15章、第16章;康志泰执笔第11章、第12章、第17章;钟鼎执笔第4章、第5章、第9章、第10章;刘永胜执笔第6章、第7章、第8章,并负责全书统稿。

本书聘请了天津大学陈宜生教授作为主审。在本书编写过程中,陈宜生教授给予了大量的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误很难避免,恳请读者给予指正。

编 者

2005年10月

目 录

第 1 章 质点运动学	(1)
1.1 质点运动的描述	(1)
1.2 加速度为恒量时的质点运动	(10)
1.3 圆周运动	(12)
本章摘要	(18)
阅读材料	(19)
同步练习	(21)
第 2 章 质点动力学	(24)
2.1 牛顿运动定律	(24)
2.2 动量和动量守恒定律	(28)
2.3 功和能	(33)
本章摘要	(42)
阅读资料	(43)
同步练习	(45)
第 3 章 刚体定轴转动	(52)
3.1 刚体定轴转动的运动学	(53)
3.2 刚体定轴转动的动力学	(55)
本章摘要	(69)
阅读资料	(71)
同步练习	(74)
第 4 章 气体动理论	(79)
4.1 引言	(79)
4.2 理想气体的压强和温度	(81)
4.3 能量均分定理	(84)
4.4 麦克斯韦速率分布律	(86)
4.5 气体分子的平均自由程	(89)
本章摘要	(91)
同步练习	(92)
第 5 章 热力学基础	(96)
5.1 准静态过程、功	(96)
5.2 热力学第一定律及在等值过程中的应用	(99)
5.3 理想气体的绝热过程	(105)

5.4 循环	(108)
5.5 热力学第二定律	(115)
本章摘要	(116)
阅读资料	(117)
同步练习	(119)
第 6 章 静电场	(124)
6.1 电荷 电荷守恒定律	(124)
6.2 库仑定律与叠加原理	(126)
6.3 静电场和电场强度	(128)
6.4 电场强度的计算	(129)
6.5 电场强度通量与高斯定理	(134)
6.6 静电场力的功 电势	(141)
6.7 等势面 场强与电势的关系	(146)
本章摘要	(149)
阅读资料	(150)
同步练习	(153)
第 7 章 静电场中的导体和电介质	(158)
7.1 静电场中的导体	(158)
7.2 静电场中的电介质	(165)
7.3 电容和电容器	(167)
7.4 静电场的能量	(170)
本章摘要	(171)
阅读材料	(172)
同步练习	(174)
第 8 章 恒定电流的磁场	(179)
8.1 稳恒电流	(179)
8.2 磁场 磁感应强度	(182)
8.3 电流的磁场	(184)
8.4 磁通量 磁场中的高斯定理	(189)
8.5 安培环路定律	(191)
8.6 磁场对运动电荷的作用——洛伦兹力	(192)
8.7 磁场对电流的作用	(193)
本章摘要	(195)
阅读资料	(196)
同步练习	(200)
第 9 章 磁场中的磁介质	(206)
9.1 物质的磁性 磁化强度	(206)

9.2 磁场强度 磁介质中的安培环路定律	(208)
本章摘要	(212)
阅读资料	(212)
同步练习	(214)
第 10 章 电磁感应	(216)
10.1 法拉第电磁感应定律	(216)
10.2 动生电动势	(218)
10.3 感生电动势和感生电场	(221)
10.4 互感	(223)
10.5 自感	(225)
10.6 磁场的能量	(226)
本章摘要	(227)
阅读资料	(228)
同步练习	(230)
第 11 章 机械振动	(236)
11.1 简谐振动	(236)
11.2 简谐振动的合成	(244)
本章摘要	(251)
阅读资料	(251)
同步练习	(254)
第 12 章 机械波	(258)
12.1 机械波的一般概念	(258)
12.2 平面简谐波方程	(261)
12.3 波的能量 能流密度	(264)
12.4 惠更斯原理 波的衍射	(266)
12.5 波的叠加与干涉 驻波	(268)
本章摘要	(273)
阅读材料	(274)
同步练习	(277)
第 13 章 光的干涉	(282)
13.1 相干光的获得	(282)
13.2 光程	(283)
13.3 杨氏双缝干涉	(285)
13.4 薄膜干涉	(287)
13.5 迈克尔孙干涉仪	(293)
本章摘要	(295)
同步练习	(296)

第 14 章 光的衍射	(299)
14.1 惠更斯-菲涅尔原理	(300)
14.2 单缝夫琅禾费衍射	(301)
14.3 圆孔衍射 光学仪器分辨率	(304)
14.4 光栅衍射	(306)
14.5 X 射线的布拉格衍射	(311)
本章摘要	(313)
阅读材料	(315)
同步练习	(316)
第 15 章 光的偏振	(319)
15.1 自然光与偏振光	(319)
15.2 起偏与检偏 马吕斯定律	(321)
15.3 反射光和折射光的偏振	(323)
15.4 晶体双折射	(325)
15.5 旋光现象	(327)
本章摘要	(329)
阅读材料	(331)
同步练习	(335)
第 16 章 狭义相对论基础	(338)
16.1 经典力学时空观 伽利略变换	(339)
16.2 狭义相对论时空观 洛伦兹变换	(341)
16.3 相对论动力学	(350)
本章摘要	(352)
阅读材料	(353)
同步练习	(354)
第 17 章 近代物理初步	(357)
17.1 热辐射普朗克的能量子假设	(357)
17.2 光电效应	(363)
17.3 康普顿效应	(368)
17.4 氢原子光谱实验 玻尔理论	(371)
本章摘要	(380)
阅读材料	(381)
同步练习	(382)
同步练习答案	(387)
参考文献	(398)

第1章 质点运动学

基本要求

1. 熟悉描述质点运动物理量的定义及其矢量性、相对性和瞬时性。
2. 掌握运动方程的物理意义,会用微积分方法求解一维运动学的两类问题。
3. 理解平面抛体运动和圆周运动的规律;掌握圆周运动的角速度、角加速度、切向加速度、法向加速度的计算。
4. 了解经典力学时空观的局限性。

学习重点

1. 描述质点运动及运动变化的4个基本物理量。
2. 描述质点运动及运动的变化。

力学是研究物体机械运动的学科。**机械运动**是指物体之间或物体各部分之间相对位置的变化,它是物质各种运动形式中最普通、最简单又最基本的形式。机械运动存在于一切其他高级运动形式之中,所以力学是整个物理学的基础,也是工程技术的理论基础。

力学以牛顿运动定律为基础,研究宏观物体的低速(远小于光速的)运动的客观规律,亦称**经典力学**,或**牛顿力学**。

牛顿力学一般分为三个部分。

①**运动学**,研究物体位置随时间变化的规律,即从几何学的观点研究物体的运动状态,而不涉及运动状态改变的原因。

②**动力学**,研究物体间相互作用(力)对物体运动的影响和所遵循的规律。

③**静力学**,研究物体的平衡问题。

1.1 质点运动的描述

1.1.1 参照系和坐标系

1.1.1.1 参照系

物体的机械运动是指它的位置随时间的改变。位置总是相对的,这就说明任何一个物体的位置总是相对其他物体和物体系来确定的,这个被选作参照的其他物体或物体系称为**参照系**。如图 1-1 所示,一棵树,人

站在地面看,它是静止的;坐在运动的汽车上看,它在运动。树究竟是静止还是运动呢?运动是绝对的,而运动的描述是相对的。描述物体如何运动以及是否静止,这与相对什么物体而言有关。树对地静止,而对运动着的车作某种运动。因此,当描述某一物体的运动时,必须具体指明运动是相对于哪一个物体而言的。

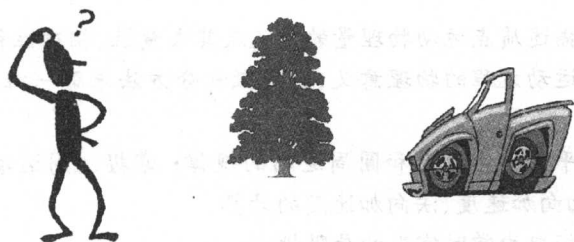


图 1-1 参照系

一般来说,甲相对乙运动,甲就是运动物体,乙就是参照系。例如,研究月亮相对于地球的运动,月亮是运动物体,地球就是参照系;若研究月亮相对于太阳的运动,太阳就可以定为参照系。

通常同一物体的运动相对于不同的参照系可以作出不同的描述。例如:一自由落体的运动,在地面参照系中观察时,它是竖直向下的直线运动;如果在近旁驶过的车厢内观察,即以一行进的车厢为参照系,则物体将作曲线运动。物体的运动形式随参照系的不同而不同,这个事实就是运动描述的相对性。由于运动描述的相对性,当确定一个物体的运动时,就必须指明是相对于哪个参照系来说的。宇宙中的所有物体都处于永不停息的运动中,这就是运动的绝对性。

1.1.1.2 坐标系

为了对物体的位置及运动状态进行定量描述,还必须在参照系上建立合适的坐标系,这样物体在某时刻的位置就可以用坐标来表示,将位置与数学联手起来。因此将一个坐标系与参照系联结起来,坐标系就能代行参照系的作用。

坐标系的选取要看问题的性质和研究的方便,最常见的坐标系有直角坐标系、极坐标系、自然坐标系等。一般情况下,平面运动选用直角坐标 (x, y) 、极坐标 (r, θ) ;三维运动选用直角坐标 (x, y, z) 、球坐标 (r, θ, φ) 及柱坐标 (r, θ, z) 。

1.1.2 质点和刚体模型

1.1.2.1 质点

实际物体都有一定的大小和形状。一般说来,当物体运动时,物体上

各点的运动状态是不相同的。但是,如果物体的大小和形状在所研究的问题中不起作用或作用很小,就可以忽略物体的大小和形状,而把物体抽象为只有质量的几何点,这样的研究对象在力学中称为质点。

应当指出,一个物体能否看成质点,不是依物体的大小而定,而是依问题的性质和具体情况而定。一般来说,在所研究的问题中,若可以不考虑物体的转动和形变,不涉及物体各部分间的相对运动,均可把它当作质点来处理。例如,当研究地球绕太阳公转时,地球的平均半径虽然大到6 370 km,但是它与地球和太阳之间的平均距离(约为 1.5×10^8 km)相比是微不足道的,此时地球上各点的运动状态的差别完全可以忽略不计,因此可以把地球当质点来处理。但是在研究地球的自转时,就必须考虑其大小和形状,而不能将其看成质点了。一颗极大的恒星,在研究其运动的轨道时,可以看做是质点,而一个极小的原子,在研究其内部结构时,就不能把它当作质点来处理。在另一些问题中,例如研究刚体、流体、弹性体的运动时,虽然不能把整个研究对象看做质点,但可以把它当作是由大量质点所组成的,通过研究各质点的运动规律,也就可以了解整个研究对象的运动规律。因此,研究质点的运动规律也是研究一般物体运动规律的基础。

1.1.2.2 刚体

刚体是力学中另一个十分有用的理想模型。实验证明,任何物体在受到力的作用时,都将发生不同程度的形变。例如汽车驶过桥梁时,桥墩将发生压缩和弯曲变形,对固体而言,通常这种变形非常微小。如果在研究的问题中,物体受力而发生的微小形变是次要因素,以致忽略这种形变而不影响问题的研究时,则可把该物体看成在外力的作用下保持大小、形状不变。这种在力的作用下,大小和形状都保持不变的物体称为刚体。

实际上物体总有一定的大小,没有真正的质点;物体受力,总要发生形变,因而也没有真正的刚体。在物理研究中,为了便于抓住本质,解决问题,常在科学分析的基础上,引入像质点、刚体这样的理想模型,以对理想模型的研究来代替对实际物体的研究,这是物理学中常用的研究方法。至于理想模型能否较好地反映客观实际、在什么条件下可以采用这种理想模型,则必须通过实践来检验和确定。

在力学中,质点和刚体是实际物体简化的理想模型,研究物体的运动时究竟把它简化为一个什么样的理想模型取决于所要研究的问题的性质。本章从研究质点运动规律着手,逐步过渡到刚体和实际物体。

1.1.3 位置矢量和运动方程

为了确定质点在坐标系中的位置,需要引入位置矢量的概念。如图1-2所示质点 P 的位置,可以用直角坐标系中的三个坐标 x, y, z 确定。

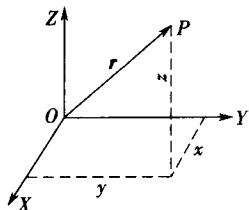


图 1-2 位置矢量

如果从原点 O 向 P 作有向线段 $\mathbf{r}$, 显然, 有向线段 $\mathbf{r}$ 与 P 点的位置 (x, y, z) 有一一对应的关系。因此可以借用从参考点 O 到 P 的有向线段 $\mathbf{r}$ 来表示 P 点的位置, $\mathbf{r}$ 称为 P 点的**位置矢量**。若以 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示沿 x 、 y 、 z 轴的单位矢量, 则在直角坐标系中, P 点的位置矢量

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

质点运动时, 质点的坐标 x 、 y 、 z 及位置矢量 $\mathbf{r}$ 是随时间变化的, 因此它们都是时间 t 的函数, 即

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

上式称为质点的**运动方程**。或用其分量式表示为

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t)$$

某一时刻 $\mathbf{r}$ 的大小和方向也可分别用其模和方向余弦来表示, 即

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

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

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

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

式中, α 、 β 、 γ 分别表示位置矢量 $\mathbf{r}$ 与 X 、 Y 、 Z 轴正方向的夹角, 而且满足

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

故只有两个夹角是独立的。

质点的空间位置一般需要由三个坐标来确定, 缺一不可。如上述中的直角坐标 x 、 y 、 z 或 r 、 α 、 β 。因此, 质点在空间的运动是三维运动。

若质点的运动限于某一个平面内, 质点的位置只需要两个坐标来确定, 故平面运动是二维运动。可以将 X 、 Y 坐标平面建立在质点运动的平面上, 质点位矢的 z 分量恒为 0, 运动方程的分量表达式即被简化为

$$x = x(t), y = y(t)$$

若质点作直线运动, 仅需要用 一个坐标来确定质点的位置, 故称为**一维运动**, 运动方程将简化为

$$x = x(t)$$

在直线运动中, 质点的位移、速度、加速度等物理量的方向可用数值的正、负来表示。在国际单位制(SI)中, 位置矢量的单位为米, 用符号 m 表示。

运动的质点在空间所经过的路径称为**轨道**, 质点的运动轨道为直线时, 称为**直线运动**; 运动轨道为曲线时称为**曲线运动**, 从运动方程中消去

时间参量 t 就可以得到轨道方程。

例题 1.1 已知质点运动方程为 $x = 2t$, $y = 19 - 2t^2$, 式中 x, y 以 m 计, t 以 s 计, 试求: (1) 轨道方程; (2) $t = 1$ s 时的速度和加速度; (3) 何时质点位置矢量与速度矢量垂直?

解: (1) 将运动方程联立, 消去时间 t 得到轨道方程

$$y = 19 - \frac{1}{2}x^2$$

(2) 对运动方程求导, 得到任意时刻的速度

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2 \text{ m/s}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = -4t \text{ m/s}$$

对速度求导, 得到任意时刻的加速度

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = -4 \text{ m/s}^2$$

将 $t = 1$ s 代入速度和加速度分量式, 求出 $t = 1$ s 对应的速度和加速度:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2 \text{ m/s}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = -4 \text{ m/s}$$

速度矢量

$$\boldsymbol{v} = v_x \boldsymbol{i} + v_y \boldsymbol{j} = 2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j}$$

速度大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 4.47 \text{ m/s}$$

与 X 轴夹角

$$\alpha = \arctan\left(\frac{v_y}{v_x}\right) = -63^\circ 26'$$

加速度大小

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 4 \text{ m/s}^2$$

方向与 Y 轴正方向相反。

(3) 质点位矢与速度矢量垂直的条件为 $\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{v} = 0$, 故

$$\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{v} = (x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j}) \cdot (v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j}) = xv_x + yv_y = -72t + 8t^3 = 0$$

解得

$$t = 0, \pm 3 \text{ s}$$

将 $t = -3$ s 舍去, 所以质点位矢与速度矢量在 $t = 0$ 和 $t = 3$ s 时相互垂直。

1.1.4 位移、速度、加速度

1.1.4.1 位移

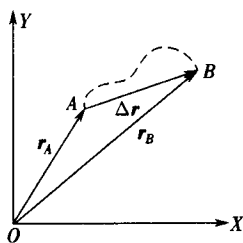


图 1-3 位移矢量

当质点运动时,其位置矢量发生变化,这个变化用位移来描述。位移是描述质点位置改变的物理量。如图 1-3 所示,沿某空间轨道运动的质点在 t 时刻位于 A 点,在 $t + \Delta t$ 时刻位于 B 点。在 Δt 时间内,该质点位置的改变可以用其位置矢量的增量来描述,称为质点在 Δt 时间内的位移,记作 $\Delta \mathbf{r}$,

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

其中

$$\mathbf{r}_A = x_A \mathbf{i} + y_A \mathbf{j}, \mathbf{r}_B = x_B \mathbf{i} + y_B \mathbf{j}$$

故

$$\Delta \mathbf{r} = (x_B - x_A) \mathbf{i} + (y_B - y_A) \mathbf{j}$$

在国际单位制中,位移的单位与长度相同,为米,用符号 m 表示。

这里必须指出的是,位移并非路程。一般讲,质点在 Δt 时间内沿着路径走过的路程 Δs 与其位移矢量的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 之间没有确定的关系,只有当 $|\Delta \mathbf{r}| \rightarrow 0$ 的极限情形下,它们才趋近于相等,即 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta \mathbf{r}|$, 或 $ds = |d\mathbf{r}|$ 。

1.1.4.2 速度和速率

速度是描述质点运动快慢和方向的物理量。位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与时间间隔 Δt 的比值表示 Δt 时间内位置矢量的平均变化率,称为质点在 Δt 时间内的平均速度,写为

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

平均速度矢量的方向与位移矢量的方向一致,其大小为

$$|\bar{\mathbf{v}}| = \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$$

这里特别要提到是与之容易混淆的另一个概念,即平均速率。平均速率表示的路程随时间的变化率,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-4)$$

因此平均速率不等于平均速度的大小。

例如一个质点沿着半径为 R 的圆周运动,当它运动一周后,用了时间间隔 T 秒,则在这段时间间隔中,其平均速度为零,而平均速率却不为零。

通常情况下,在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,上述平均速度的极限表示 t 时刻位矢的瞬时变化率,称为质点在 t 时刻的**瞬时速度**(简称速度),记为

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-5)$$

质点的瞬时速度即为其位矢对时间的一阶导数。显然,速度的方向就是沿着 t 时刻质点所在处轨道曲线的切线方向。在国际制单位中,速度的单位是米/秒,符号为 m/s。

瞬时速度的大小称为**瞬时速率**(简称速率),记为 v ,

$$v = |\boldsymbol{v}| = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| = \frac{|d\boldsymbol{r}|}{dt} = \frac{ds}{dt} \quad (1-6)$$

在直角坐标系中,速度可表达为

$$\boldsymbol{v} = \frac{d}{dt}(x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}) \quad (1-7a)$$

$$\boldsymbol{v} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} \quad (1-7b)$$

$$\boldsymbol{v} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} \quad (1-7c)$$

其分量式为

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

$$v_y = \frac{dy}{dt}$$

$$v_z = \frac{dz}{dt}$$

说明:由前面的定义可以看出,位置矢量可以确定质点当前位置,与坐标系选取的原点有关;而位移是位置矢量的变化量,它与坐标系选取的原点无关。

例题 1.2 一人自原点出发,在 25 s 内向东走 30 m,而后又在 10 s 内向南走 10 m,再于 15 s 内向正西北走 18 m。求在这 50 s 内,

(1) 平均速度的大小和方向;

(2) 平均速率。

解:(1) 如图 1-4 所示

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OC} &= \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} \\ &= 30\boldsymbol{i} + (-10\boldsymbol{j}) + 18(-\cos 45^\circ\boldsymbol{i} + \sin 45^\circ\boldsymbol{j}) \\ &= 17.27\boldsymbol{i} + 2.73\boldsymbol{j} \\ |\overrightarrow{OC}| &= 17.48 \text{ m} \end{aligned}$$

方向 $\phi = 8.98^\circ$ (东偏北)。

$$|\boldsymbol{v}| = |\Delta \boldsymbol{r} / \Delta t| = |\overrightarrow{OC} / \Delta t| = 0.35 \text{ m/s}$$

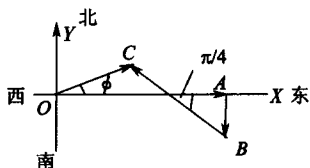


图 1-4 例题 1.2 图

方向东偏北 8.98° 。

$$(2) \Delta s = (30 + 10 + 18) \text{ m} = 58 \text{ m}, \quad \bar{v} = \Delta s / \Delta t = 1.16 \text{ m/s}$$

1.1.4.3 加速度

有了速度的概念,就可以用它来比较两物体运动的快慢和方向了。但速度一般也在变化,并且质点在轨道不同的位置时,它的速度大小和方向通常也是不相同的。因此为了比较物体运动速度变化的快慢和方向,需要引入加速度的概念。

若以 $\boldsymbol{v}(t)$ 和 $\boldsymbol{v}(t + \Delta t)$ 分别表示质点在 t 时刻和 $t + \Delta t$ 的速度(图 1-5),

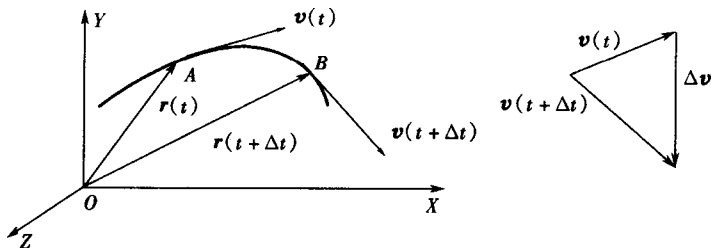


图 1-5 平均加速度

则在 Δt 时间内的平均加速度 $\bar{\boldsymbol{a}}$ 由下式来定义:

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{v}(t + \Delta t) - \boldsymbol{v}(t)}{\Delta t} \quad (1-8)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,此平均加速度的极限,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),以 $\boldsymbol{a}$ 表示,即

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2 \boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1-9)$$

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。加速度是矢量,其方向是在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,速度增量的极限方向。一般情况下,质点的加速度与速度在方向上并不一致,只有在直线运动中,它们的方向才在同一直线上,同向或反向。在 SI 制中,加速度的单位是米/秒²,符号为 m/s^2 。将式(1-7)代入式(1-9),可得其直角坐标系的分量式:

$$\boldsymbol{a} = \frac{dv_x}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dv_y}{dt} \boldsymbol{j} + \frac{dv_z}{dt} \boldsymbol{k} = a_x \boldsymbol{i} + a_y \boldsymbol{j} + a_z \boldsymbol{k} \quad (1-10)$$

加速度也是矢量,由于它是速度对时间的变化率,所以不管是速度的大小发生变化,还是速度的方向发生变化,都有不为零的加速度存在。

在定义速度和加速度时,都用到了求极限的方法,这种做法在物理学各部分经常出现。求极限是人类对物体运动作定量描述时在准确程度上的一次重大飞跃。实际上极限概念是牛顿在 17 世纪对物体的运动作定量研究时提出的,可见微积分学的创立与物体运动的定量研究是分不开

的。微积分学是数学的一个重要分支,也是研究物理学不可缺少的重要工具。

说明:速度的方向是位移的方向,不是位置矢量的方向;加速度的方向是速度增量的方向,不一定是速度的方向,圆周运动就是例子。

已知 r 可先求出 $v = \frac{dr}{dt}$, 再求得 $a = \frac{dv}{dt}$, 从而运用 $F = ma$ 求得 F ; 另外还可已知 a , 通过积分, 求得 $v(t)$ 、 $r(t)$, 这正是质点运动学的两大类问题, 即微分类和积分类。关于积分类问题将在下一节讨论。

例题 1.3 如图 1-6 所示, 设绳的原长为 l_0 , 人以匀速 v_0 拉绳子, 试写出小船的运动学方程。

解: 建立如图所示的 OX 坐标轴, t 时刻, 绳长为 $l_0 - v_0 t$, 此时船的坐标是:

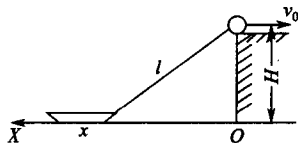


图 1-6 例题 1.3 图

$$x = \sqrt{(l_0 - v_0 t)^2 - H^2}$$

上式即为小船的运动学方程, 它指出小船的位置 x 随时间 t 的变化规律。利用式(1-7)可得

$$v = \frac{dx}{dt} = -\frac{(l_0 - v_0 t)}{\sqrt{(l_0 - v_0 t)^2 - H^2}}$$

负号表示速度方向, 与 X 轴正向相反。

问题:在中学也处理过此问题, 当时是怎样解决此问题的, 为什么要那样处理, 与现在的办法比较, 哪种简单一些?

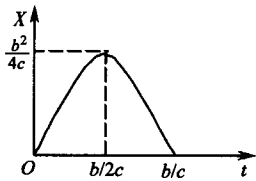


图 1-7 例题 1.4 图

例题 1.4 一质点的运动方程为 $x(t) = bt - ct^2$, 其中 $b > 0, c > 0$, $X-t$ 曲线如图 1-7 所示。试求任一时刻的 v 和 a , 并作图。

解: 由速度的定义有

$$v = \frac{dx}{dt} = b - 2ct \quad (v-t \text{ 曲线如图 1-8 所示})$$

同理有

$$a = \frac{dv}{dt} = -2c \quad (a-t \text{ 曲线如图 1-9 所示})$$

讨论: 由作出的如图 1-8 所示的 $v-t$ 曲线, 可求得该质点 $t=0 \rightarrow t = \frac{b}{2c}$ 时间内的位移为上边三角形面积, 即 $\frac{1}{2} \cdot b \cdot \frac{b}{2c} = \frac{b^2}{4c}$; 同理 $\frac{b}{2c} \rightarrow \frac{b}{c}$ 的位移为 $-\frac{b^2}{4c}$; 而 $0 \rightarrow \frac{b}{c}$ 的位移为 0, 即质点又回到原点。