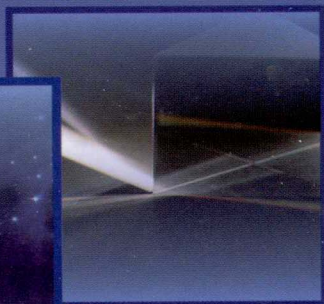


大学物理教程 上册

(第二版)

主编 宋青 俄燕



科学出版社

内 容 简 介

本书依据物理学与天文学教学指导委员会颁发的“非物理类工科大学物理课程教学基本要求”,结合编者多年的教学实践和教改经验编写而成。在编写上没有沿袭传统的思路,而是采用一种新的知识体系(以物质世界的层次和存在形式为主线,按照由经典到近代、由少体问题到多体问题、由线性系统到复杂系统的思路)来介绍大学物理的教学内容。

全书分为上、下两册。上册内容包括宏观低速物质的运动规律、宏观高速物质的运动规律以及振动和经典波等。下册内容包括电磁场和相互作用、多粒子体系的热物理及量子物理学基础等。

本书可用作普通高等院校各专业学生的教材,也可作为教师或相关人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程.上册/宋青,俄燕主编. —2版. —北京:科学出版社,2012
ISBN 978-7-03-033762-7

I. ①大… II. ①宋… ②俄… 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(2012)第 038696 号

责任编辑:郝泽满 / 责任校对:包志虹
责任印制:张克忠 / 封面设计:迷底书装

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>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 3 月第 二 版 印张:18 1/2

2012 年 3 月第四次印刷 字数:400 000

定价:31.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

物理学是研究物质结构、物质基本运动形式和物质之间相互作用的自然科学。大学物理学以物理学基础为内容,是高等理工院校各专业学生必修的一门重要的通识性课程。该课程所传授的描述物质世界的基本概念、基本理论、基本方法和基本思维能力是构成学生科学素养的重要组成部分,是一个科学工作者和工程技术人员所必备的基础知识。

我国现有的大学物理课程内容是按照物质的运动形式,即力、热、电磁、光、近代物理来组织内容的,这样的框架构建于 20 世纪五六十年代。虽然在当时的背景下它无疑是成功的、先进的,能适应当时的情况,但当今社会对工程技术人员提出了科学素质要求,为适应形势变化,很多学校尝试重新构建大学物理教材的内容体系。近几年,编者在大学物理内容体系构建方面做了有益的探索,在此基础上形成了本书的内容体系。我们强调以知识体系为载体,强化物理模型、物理思想、物理方法和科学精神的养成教育。例如引导学生从实际问题中建立合理的物理模型及物理模型近似估算能力的培养;引导学生不仅关注所学知识点,更要了解知识点的结构体系;培养学生由点到面建立相应内容的框架体系的能力,构建工科学生知识结构的扎实根基及科学方法论的基础。

目前高等教育已由精英教育向大众化教育转化,学生的知识结构和能力呈现出多层次分布特征。本书是为了满足兰州交通大学本科生公共课分层次教学改革的需求,实施因材施教,搭建分层次教学平台而编写的。为满足分层次需求,并解决学时少、内容多的矛盾,在结合实际教学计划安排的可操作性,搭建了本书的内容体系,总体思想是体现大学物理课程的基础性、前沿性和时代性。其特点如下:

1. 以物质世界的层次和存在形式为主线,按照由经典物理到近代物理、由少体问题到多体问题、由线性系统到复杂系统的思路,搭建了不同于传统大学物理的内容框架体系,帮助学生获得较完整、统一的物质世界的图像。

2. 以知识为载体,物理史为引导,注重传授物理学中蕴含的物理精神、物理思想和物理方法。帮助学生对知识的理解形成有个性特征的体系,以利于创新精神和创造能力的培养,搭建工科学生创新知识体系的重要基础。

3. 以近代物理的思想重新整合了经典物理部分的内容,体现了先进的教学理念。例如,在宏观低速实物的运动规律部分,强化了三大守恒定律描述实物的平动和转动内容。还将当今科技发展的一些成果以内容叙述、例题和作业形式渗透到教材中,以激发学生学习物理的兴趣。

4. 以分栏形式将书的页面分为正文栏和思考拓展栏,对正文中的一些重点、难点或易混淆点,思考拓展栏会有相应的思考题,引导学生思考一些问题,同时空白处也便于学生及时记录学习中遇到的问题及一些拓展补充内容,使学习手段更为灵活多样。

本书中加 * 号的章节属于选修内容,不选修这些内容并不影响全书的系统性。

参与本书上册编写的老师有宋青(第 1 章、第 5 章、第 6 章及附录)、叶丽娜(第 2 章、第 3 章、第 4 章)、俄燕(第 7 章、第 8 章)、张磊(习题答案);参与本书下册编写的老师有宋青(第

9 章)、常文利(第 10 章、第 11 章)、万桂新(第 12 章、第 13 章)、张磊(第 14 章及习题答案). 全书由宋青、俄燕、常文利老师负责统稿.

本书在改编过程中得到了兰州交通大学数理与软件工程学院的大力支持,在此表示感谢. 感谢物理系权伟龙、田苗老师的协助及物理系全体教师的支持.

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正.

编 者

2012 年 2 月

目 录

前言

第一篇 宏观低速物质的运动规律

第 1 章 质点运动学	3
1.1 质点及其运动的描述	3
1.1.1 质点	3
1.1.2 参考系与坐标系	3
1.1.3 空间与时间	4
1.1.4 质点的位置矢量和运动方程	4
1.1.5 质点的位移和路程	5
1.1.6 质点的速度和速率	6
1.1.7 质点的加速度	9
1.1.8 直角坐标系中运动学的三类问题	10
1.2 质点平面曲线运动的描述	14
1.2.1 自然坐标系中的速度和加速度	14
1.2.2 圆周运动	17
1.3 相对运动	22
本章提要	25
习题	27
第 2 章 动量与角动量	31
2.1 牛顿运动定律	31
2.1.1 牛顿运动定律	31
2.1.2 常见力	33
* 2.1.3 惯性参考系 惯性力	39
2.2 动量定理 动量守恒定律	41
2.2.1 质点的动量定理	41
2.2.2 质点系的动量定理	45
2.2.3 动量守恒定律	47
2.2.4 碰撞	50
2.3 质心 质心运动定律	52
2.3.1 质心	52
2.3.2 质心运动定律	54
2.4 角动量定理 角动量守恒定律	56
2.4.1 质点的角动量	56

2.4.2 力矩	57
2.4.3 质点的角动量定理	58
2.4.4 质点的角动量守恒定律	59
本章提要	61
习题	65
第3章 功和能	68
3.1 功和功率	68
3.1.1 功	68
3.1.2 一对相互作用力的功	70
3.1.3 功率	71
3.2 动能 动能定理	72
3.2.1 质点的动能定理	72
3.2.2 质点系的动能定理	74
3.3 保守力的功 势能	75
3.3.1 保守力的功	75
3.3.2 势能	77
3.4 功能原理 机械能守恒定律	79
3.4.1 功能原理	79
3.4.2 机械能守恒定律	83
本章提要	86
习题	87
第4章 刚体力学基础	89
4.1 刚体运动的描述	89
4.1.1 刚体的平动和转动	89
4.1.2 刚体的定轴转动	90
4.1.3 描述刚体定轴转动的物理量	91
4.2 刚体的定轴转动定律	91
4.2.1 力对转轴的力矩	91
4.2.2 刚体的定轴转动定律	92
4.2.3 转动惯量	94
4.2.4 转动定律的应用举例	98
4.3 刚体定轴转动的角动量守恒定律	101
4.3.1 刚体对定轴的角动量	101
4.3.2 刚体对定轴的角动量定理	102
4.3.3 刚体定轴转动的角动量守恒定律	103
4.4 刚体定轴转动的动能定理	107
4.4.1 刚体的转动动能	107
4.4.2 刚体的重力势能	107
4.4.3 力矩做的功	108

4.4.4 刚体定轴转动的动能定理	109
4.4.5 刚体定轴转动的机械能守恒定律	109
本章提要	113
习题	115

第二篇 宏观高速物质的运动规律

第5章 狭义相对论基础	121
5.1 伽利略相对性原理 经典力学时空观	121
5.1.1 伽利略变换	121
5.1.2 经典力学时空观	122
5.2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换	123
5.2.1 狭义相对论的理论与实验基础	123
5.2.2 狭义相对论基本原理	126
5.2.3 洛伦兹变换	127
5.3 狭义相对论的时空观	130
5.3.1 同时性的相对性	130
5.3.2 时间的延缓	132
5.3.3 动杆的收缩(洛伦兹收缩)	134
5.4 狭义相对论动力学基础	135
5.4.1 动量守恒定律的洛伦兹变换 质量-速度关系	136
5.4.2 相对论中的质量-能量关系	139
本章提要	143
习题	145

第三篇 振动和经典波

第6章 振动学基础	151
6.1 简谐振动的运动学描述	151
6.1.1 弹簧振子 简谐振动的运动方程	151
6.1.2 简谐振动的特征量	152
6.2 简谐振动的动力学特征	154
6.2.1 简谐振动的动力学方程	154
6.2.2 简谐振动的能量质点	157
6.3 旋转矢量表示法	158
6.4 简谐振动的合成	162
6.4.1 两个同方向同频率的简谐振动的合成	162
6.4.2 两个同方向不同频率的简谐振动的合成	165
6.4.3 两个相互垂直的同频率的简谐振动的合成	166
6.4.4 两个相互垂直的不同频率的简谐振动的合成	168
6.5 阻尼振动	169

6.6 受迫振动	171
本章提要	173
习题	175
第7章 波动学基础	179
7.1 机械波的产生和传播	179
7.1.1 机械波产生的条件	179
7.1.2 横波与纵波	180
7.1.3 波线和波面	181
7.1.4 简谐波	181
7.1.5 描述波动的物理量	181
* 7.1.6 物体的弹性形变与弹性模量	183
7.2 平面简谐波的波函数	184
7.2.1 波函数的建立	184
7.2.2 波函数的物理意义	186
* 7.2.3 平面简谐波的微分方程	188
7.3 波的能量	191
7.3.1 平面简谐纵波传播时介质元的能量	191
7.3.2 波的能量密度和能流密度	192
7.3.3 球面波的表达式	193
7.3.4 波的吸收	193
* 7.3.5 声波简介	194
7.4 波的叠加原理 波的干涉	196
7.4.1 波的叠加原理	196
7.4.2 波的干涉	196
7.5 驻波	199
7.5.1 驻波的产生	200
7.5.2 驻波方程 驻波的特点	201
7.5.3 半波损失	202
7.5.4 弦线上的驻波	202
7.6 波的衍射	206
7.6.1 惠更斯原理	206
7.6.2 惠更斯原理的应用	207
7.7 多普勒效应	208
本章提要	212
习题	214
第8章 波动光学	217
8.1 光的相干性	217
8.1.1 光源及原子的发光机理	217
8.1.2 光的颜色和光谱	218

8.1.3 光的强度	219
8.1.4 光的干涉现象	220
8.1.5 光程与光程差	222
8.1.6 透镜的等光程性	223
8.2 分波面法产生的干涉	223
8.2.1 杨氏双缝干涉	223
8.2.2 其他分波阵面干涉装置	225
8.3 分振幅法产生的干涉	227
8.3.1 薄膜的等倾干涉	228
8.3.2 增透膜和增反膜	230
8.3.3 薄膜的等厚干涉	232
8.3.4 迈克耳孙干涉仪	239
8.4 单缝衍射	241
8.4.1 光的衍射现象及分类	241
8.4.2 惠更斯-菲涅耳原理	242
8.4.3 单缝的夫琅禾费衍射	242
8.5 光栅衍射	246
8.5.1 衍射光栅	247
8.5.2 光栅衍射条纹的形成	247
8.5.3 光栅衍射光谱	249
8.6 光学仪器的分辨本领	253
8.6.1 圆孔衍射	253
8.6.2 光学仪器的分辨率	254
8.7 X 射线衍射	256
8.8 偏振光的产生和检验	258
8.8.1 横波的偏振性	258
8.8.2 自然光 偏振光	259
8.8.3 偏振片 起偏与检偏	260
8.8.4 马吕斯定律	262
8.8.5 反射和折射时光的偏振	264
* 8.8.6 双折射现象	266
本章提要	270
习题	273
习题答案	276
附录 1 常用基本物理常量表	283
附录 2 国际单位制(SI)	284
附录 3 希腊字母表	285

第一篇 宏观低速物质的 运动规律

第1章 质点运动学

质点运动学是经典力学中的一部分,它的任务是描述质点的运动以及各运动量之间的关系.本章首先讨论描述质点运动的物理量,如位矢、位移、速度和加速度等,进而讨论这些量的相互关系.然后讨论平面曲线运动中的切向加速度和法向加速度以及圆周运动的角量描述,并给出角量和线量描述的关系.最后介绍相对运动,即不同的参考系描述质点运动时的相互关系.

1.1 质点及其运动的描述

力学是研究物体机械运动规律的学科.所谓机械运动指物体的空间位置随时间的变化.为了研究物体的机械运动,不仅需要确定描述物体运动的方法,还需要对复杂的物体运动进行科学合理的抽象,提出物理模型,以便解决问题.

1.1.1 质点

在研究力学问题时,我们常常需要对研究对象进行模型化,最基本的力学模型是质点.所谓质点指忽略对象的大小和形状,并将全部的质量集中在一个几何点上的模型.当研究对象满足下列两个条件之一时,可看作质点:

(1) 研究对象的尺度在所研究问题中相对很小,可忽略其大小和形状.如研究地球围绕太阳公转运动时,由于地球的尺度与公转轨道尺度相比很小,可忽略其大小和形状,此时地球可看作质点.而在研究地球的自转运动中,不能将地球看作质点.

(2) 研究对象发生平动时,即对象上各点的运动状态完全相同,可看作质点.

1.1.2 参考系与坐标系

物体的运动是绝对的,但是对物体运动的描述却是相对的,即在具有不同运动状态的参考对象看来,同一个物体运动状态是不同的.从站在路边的人的角度去看和从骑自行车的人的角度去看,一辆在公路上行驶的汽车的运动状态是不同的.但我们认为,在具有相同运动状态(相对静止)的参考对象看来,一个物体的运动状态是相同的.为了描述物体的运动,我们选择与一个确定的参考对象相对静止的所有物体作

思考

体积很大的物体是否能看作质点?

为一个系统,称为参考系. 在一个确定的参考系中,物体的运动状态是可以确定的.

在选定参考系后,为定量的描述物体的运动,我们取参考系中的任意一点作为坐标原点建立坐标系. 常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系、极坐标系、柱坐标系、球坐标系等.

1.1.3 空间与时间

在经典力学的范围内,空间和时间是不依赖于物质的存在和运动的时空背景,称为绝对的时空观,但空间和时间需要借助物质的存在和运动去度量.

空间可以通过物质的存在反映出它所具有的广延性,它是沿四面八方无限均匀延伸的范围,并认为空间中的直线永远是直的,称为欧几里得空间. 空间范围的度量中最基本的是长度的计量,其国际单位为米(m);1983年10月召开的第17届国际计量大会上米的定义为“米是 $1/299792458$ 秒的时间间隔内光在真空中行程的长度”.

时间可以通过物质的运动反映出它所具有的持续性和顺序性,它是从古到今,从先到后单方向的均匀连续变化,从不逆向. 时间间隔的度量需要借助于周期性运动来计量,其国际单位为秒(s);1967年召开的第13届国际度量衡大会对秒的定义是:铯-133原子基态的两个超精细能级间跃迁对应辐射的 9192631770 个周期的持续时间.

经典力学的绝对时空观与人们的感觉经验相协调,容易使人接受. 但是它毕竟只是时空性质的一种假设. 近代物理学表明空间和时间与物质的存在和运动是紧密联系的,绝对时空观只是实际时空性质的一种近似.

1.1.4 质点的位置矢量和运动方程

为定量地描述质点的运动,我们在选定的参考系上建立坐标系,则

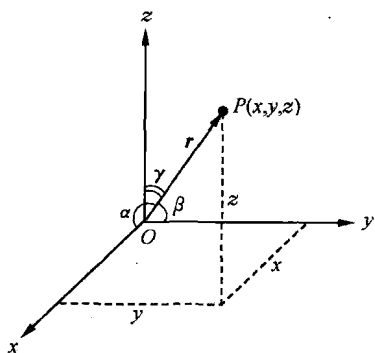


图 1-1 直角坐标系中的位矢

质点的位置就可以用从坐标原点 O 到质点所在位置 P 的矢量 r 来描述,称为位置矢量,简称位矢. 当质点运动时,位置随时间不断变化,位矢可表示成时间的函数

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

该函数描述了质点位置随时间变化的过程,称为运动方程. 在不同的坐标系中,运动方程有不同的形式. 如图 1-1 所示,在直角坐标系中运动方程可表示为

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \quad (1-2)$$

其分量形式为

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

将运动方程分量形式中的 t 消去, 可得到质点运动的轨道方程.

位矢的大小为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-4)$$

方向为

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-5)$$

例 1-1 求解下列运动方程对应的轨道方程:

(1) $\mathbf{r}(t) = at\mathbf{i} + (c - bt)\mathbf{j}$;

(2) $\mathbf{r}(t) = R\cos(\omega t)\mathbf{i} + R\sin(\omega t)\mathbf{j}$;

(3) $\mathbf{r}(t) = vt\mathbf{i} + \left(h - \frac{1}{2}gt^2\right)\mathbf{j}$.

解 (1) 运动方程的分量形式为 $\begin{cases} x = at \\ y = c - bt \end{cases}$, 将 $t = \frac{x}{a}$ 代入消去 t 可

得轨道方程 $y = c - \frac{b}{a}x$, 该质点做直线运动.

(2) 运动方程的分量形式为 $\begin{cases} x = R\cos(\omega t) \\ y = R\sin(\omega t) \end{cases}$, 两式平方相加可得轨道方程 $x^2 + y^2 = R^2$, 该质点做圆周运动.

(3) 运动方程的分量形式为 $\begin{cases} x = vt \\ y = h - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$, 将 $t = \frac{x}{v}$ 代入消去 t 可

得轨道方程 $y = h - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v}\right)^2$, 该质点的运动轨迹为抛物线.

1.1.5 质点的位移和路程

如图 1-2 所示, 在质点的运动过程中, 某一时刻 t 质点位于 A 点, 经过 Δt 时间间隔后位于 B 点, 相应的位置矢量由 $\mathbf{r}_A$ 变为 $\mathbf{r}_B$. 定义位移矢量 (简称位移)

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

它表示在 Δt 时间内质点位矢的变化. 在直角坐标系中写为

$$\begin{aligned} \Delta\mathbf{r} &= (x_B\mathbf{i} + y_B\mathbf{j} + z_B\mathbf{k}) - (x_A\mathbf{i} + y_A\mathbf{j} + z_A\mathbf{k}) \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-7)$$

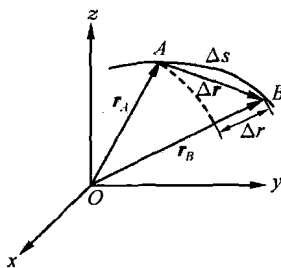


图 1-2 位移与路程

则位移大小为

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

方向由 A 指向 B.

需要注意 $\Delta \mathbf{r}$ 与位移大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 的区别: $\Delta \mathbf{r}$ 表示初末时刻位矢大小的变化量

$$\Delta \mathbf{r} = |\mathbf{r}_B| - |\mathbf{r}_A| = \sqrt{x_B^2 + y_B^2 + z_B^2} - \sqrt{x_A^2 + y_A^2 + z_A^2}$$

思考

位移和路程有何区别? 在什么情况下两者的量值相等? 在什么情况下并不相等?

所以一般情况下 $\Delta \mathbf{r} \neq |\Delta \mathbf{r}|$.

在质点的运动过程中, 运动轨迹的长度称为质点在这一运动过程所通过的 **路程**, 记作 Δs , 路程是标量.

位移与路程是两个不同的物理量. 位移为矢量, 而路程为标量, 并且位移的大小一般不等于路程 ($|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s$), 只有当质点做单向直线运动时两者相等; 或者在运动时间间隔 $\Delta t \rightarrow 0$ 时位移大小和路程相等, 即 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta \mathbf{r}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s$, 或者 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$.

1.1.6 质点的速度和速率

为定量描述质点运动的快慢, 我们引入物理量 **速度** 和 **速率**.

1. 平均速度和瞬时速度

若质点在时间间隔 Δt 内发生的位移为 $\Delta \mathbf{r}$, 则定义 Δt 时间内的 **平均速度**

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-8)$$

容易看出平均速度是矢量, 其大小为位移的大小除以时间 (即 $|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$), 其方向为位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向. 平均速度只是某一个时间段内的平均效果, 不能更加细致地描述质点每一时刻的运动快慢. 为此我们引入 **瞬时速度**.

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限称为质点在 t 时刻的 **瞬时速度** (简称 **速度**)

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

可见速度是位矢对时间的一阶导数. 上式在任意坐标系中均成立, 以下我们考虑直角坐标系情况. 由于直角坐标系中的单位矢量 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 不随时间变化, 因此速度可表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}) \\ &= \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\mathbf{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathbf{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-10)$$

其分量形式为

$$\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} \\ v_z = \frac{dz}{dt} \end{cases} \quad (1-11)$$

速度为矢量,其大小为

$$\begin{aligned} v &= \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2} \\ &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \end{aligned} \quad (1-12)$$

其方向为运动轨迹的切线方向. 在国际单位制中,速度的单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. 平均速率和瞬时速率

若质点在时间间隔 Δt 内发生的路程为 Δs ,则定义 Δt 时间内的平均速率

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-13)$$

平均速率是标量.

注意:由于一般情况下 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s$,因此平均速度的大小一般不等于平均速率,即 $|\bar{\mathbf{v}}| \neq \bar{v}$.

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速率的极限称为质点在 t 时刻的瞬时速率(简称速率)

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-14)$$

由于 $|d\mathbf{r}| = ds$,可以看出瞬时速度的大小即为瞬时速率

$$|\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} = v$$

例 1-2 如图 1-3 所示,一质点做半径为 R 的匀速圆周运动,周期为 T ,求下列过程中质点的平均速度和平均速率:

(1) 四分之一周期从 A 到 B ;

(2) 半个周期从 A 到 C .

解 (1) 质点从 A 到 B 的位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = R\mathbf{j} - R\mathbf{i}$$

所经历的时间为

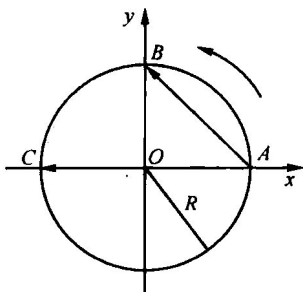


图 1-3 例 1-2 图

思考

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt}, \frac{dr}{dt}, \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|$$

这三个物理是否相同? 分别表示什么?

思考

平均速度和平均速率有何区别? 在什么情况下两者的量值相等? 瞬时速度和平均速度的关系和区别是怎样的? 瞬时速率和平均速率的关系和区别又是怎样的?

$$\Delta t = \frac{T}{4}$$

由平均速度的定义

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

可得平均速度为

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{4R}{T}\mathbf{j} - \frac{4R}{T}\mathbf{i}$$

其大小: $|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{4\sqrt{2}R}{T}$, 方向由 A 指向 B.

平均速率

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\pi R/2}{T/4} = \frac{2\pi R}{T}$$

(2) 质点从 A 到 C 的位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_C - \mathbf{r}_A = -R\mathbf{i} - R\mathbf{i} = -2R\mathbf{i}$$

所经历的时间为

$$\Delta t = \frac{T}{2}$$

则平均速度为

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = -\frac{4R}{T}\mathbf{i}$$

其大小: $|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{4R}{T}$, 方向由 A 指向 C.

平均速率

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\pi R}{T/2} = \frac{2\pi R}{T}$$

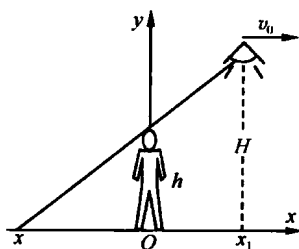


图 1-4 例 1-3 图

例 1-3 如图 1-4 所示, 人高 h 站在离地高 H 的塔吊吊灯下, 塔吊带着灯以速度 v_0 走开, 灯光从人头顶掠过, 求人头顶在地上的影子的运动速度.

解 以人在地面的位置为坐标原点建立直角坐标系, 设某时刻 t 吊灯的水平坐标为 x_1 , 人头顶影子的坐标为 x (注意 $x < 0$), 则利用相似三角形的关系得

$$\frac{H}{h} = \frac{x_1 - x}{-x}$$

由此得 $x = -\frac{hx_1}{H-h}$, 由于 $v_0 = \frac{dx_1}{dt}$, 则