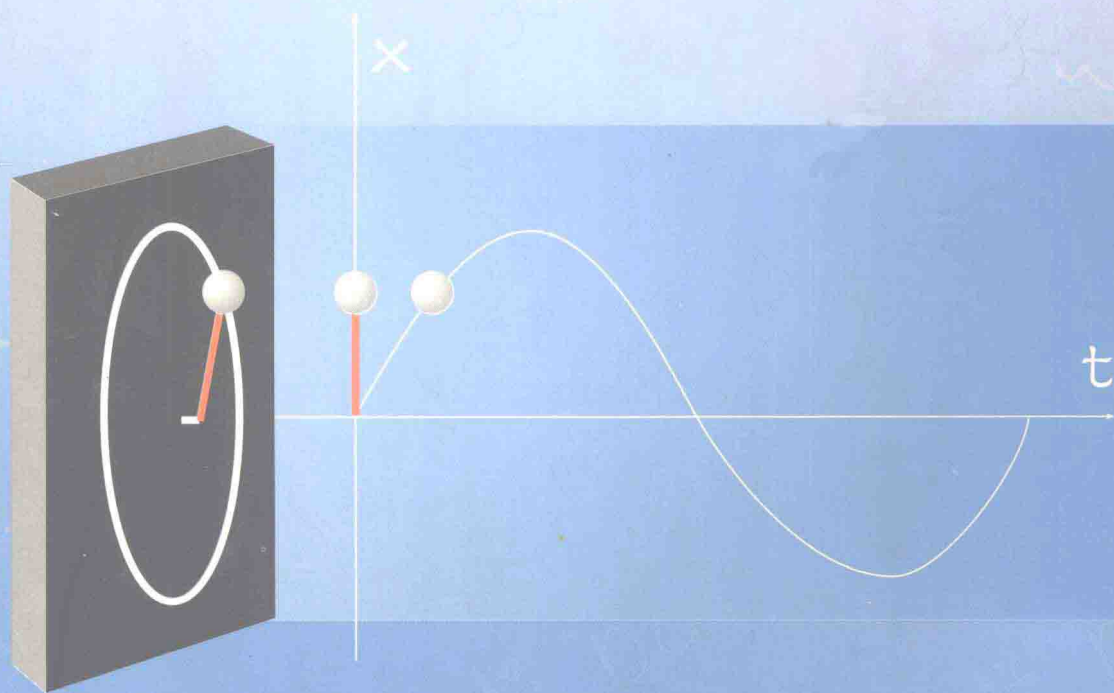


大学物理学

主 编 孟宪显

副主编 蔡永明 王思慧



山西人民出版社

大学物理学

孟宪显 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/孟宪显主编. —太原:山西人民出版社,
2002. 2
ISBN 7-203-04442-4

I. 大... II. 孟... III. 物理学—高等学校—教学
参考资料 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 003981 号

大学物理学

孟宪显 主编

*

山西人民出版社出版发行

太原市建设南路 15 号

新华书店经销 南京化工大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:530 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

*

ISBN 7 - 203 - 04442 - 4

G · 1832 定价:29.60 元

序

现代教学理论强调教学以“发展学生智力,培养学生能力”为中心。它认为教学不仅是一个认识过程,而更重要的是学生个体心理的发展过程;它遵守“刺激—个体—反应”(S—O—R)原则。而不再遵从传统教学所认为强刺激产生强反应的观点,并提出反应的程度还取决于学生的个体因素,才确立以“教学为主导,学生为主体”的模式。

高等职业技术教育除遵循一般高等教学规律和理论外,还应遵循高等职业教育的特殊规律和理论。

发展高等职业教育的目的是为“生产、管理、服务”一线培养高级实用型技术人才。培养的学生不仅要具备大学层次的专业基本知识,而且还要有很强的实践能力。这就要求高等职业技术教育的基础理论教学要以应用为目的,以“必须”和“够用”为度,加强应用性、适用职业性等实际能力的培养。

编者担任大学教学管理工作与大学物理教学工作多年,高职发展以来,他又担任高职大学物理教学工作多年对高职教育与教学较熟悉。

他编写的这本《大学物理学》,贯彻了大纲规定的教学内容和他本人多年的教学方法和教学改革。他编写的这本《大学物理学》能比较确切地注意到学生学习时存在的问题,能指出学生问题,能诱导学生的思路,培养学生的思维能力。全书贯彻“帮助学生分析问题、解决问题的能力”的思想,作者重视现代教学手段,除部分选用东南大学出版的软件以外,根据高职实际需要还新编了一些高职用的录像及软件,增加了教材的实践性。

该教材编写时注意到应有广泛的实用性,所以这本教材除适用高职本科、专科及继续教育、函授教学、自学考试用外,教师也能从这本书的教学思想、教学理论、教学方法、教学手段等各方面得到一定的启发,特别对新教师可能有帮助,本书也适合大学本科(工科)作教学参考书。

这是一本有特色的有用的教学用书。

中国物理学会国际物理教育信息交流中心主任
欧洲GIPEP,美国AAPT会员,东南大学教授

恽 瑛

二〇〇一年十二月

编者言

在教学过程中,是以培养学生能力为主,还是以传授知识为主,抑或是两者相提并论?对于这个问题,一直是众说纷纭。

编者认为,教学的目的不应该是单纯地传授知识,教学过程中,在传授知识的同时,还应帮助学生获得最佳的智能发展,这决不是教学过程中的一种“副产品”。今天,人们的观点和实践虽然已经不再仅仅是“授业、传道、解惑”。但是,在教学理论和教学实践中,人们仍未能完全摆脱传统教育思想的影响,主要表现在忽视、放松了对学生智能的培养。

大学物理教学有很多需要改进之处,例如内容多课时少,旧的多新的少,讲得多培养能力少,低起点重复多,指导自学少等等。

大学物理教学需要加强智能的培养。教学应强调在教师指导下培养学生的自学能力,力求做到“教为主导、学为主体”和“在传授知识的同时培养学生的能力”。

本书编写时为贯彻“必须”和“够用”的要求,注意突出重点和难点,避免低起点的重复,力图使读者对基本概念有深刻的理解。为加强基本技能的训练,本书用较大篇幅强调解题方法,指导学生解题,并在解题中巩固基本概念,培养分析问题和解决问题的能力。

编者注意到中学生进入高校有一适应过程,本书按循序渐进原则有意识地使教材前面浅一些,后面逐渐深一些,用本书的老师可根据需要选用。

本书封面据我校参加编写的“大学物理音像文字结合教材”中编者制和的“简谐振动的旋转矢量法”录像带制成,设计者孟洁,全书绘图傅晴。本书出版得到解学驰与宁强的协助,表示感谢,请使用本书的教师与学生对本书提出宝贵意见,以便改进。

感谢恽瑛老师为本书作的序言。

编者

2001年12月

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动

§ 1-1 标量和矢量	1
§ 1-2 运动的相对性与绝对性	2
§ 1-3 速度	3
§ 1-4 加速度	5
§ 1-5 直线运动	7
§ 1-6 运动的叠加原理	10
§ 1-7 圆周运动	11
§ 1-8 角量与线量	13

第二章 力

§ 2-1 力	18
§ 2-2 物体受力分析	21
§ 2-3 惯性 牛顿第一定律	23
§ 2-4 牛顿第三运动定律	24
§ 2-5 牛顿第二运动定律	25
§ 2-6 惯性系 惯性力	26
§ 2-7 牛顿第二定律解题法	28
§ 2-8 牛顿第二定律解题实例	31

第三章 功与能

§ 3-1 功	41
§ 3-2 力的空间积累 动能定理	44
§ 3-3 保守力 势能 环流	46
§ 3-4 功能原理	49
§ 3-5 功率 效率	51
§ 3-6 机械能守恒 能量守恒定律	52

第四章 冲量与动量

§ 4-1 冲量与动量 动量定理	56
§ 4-2 动量守恒定律	59
§ 4-3 碰撞	62
§ 4-4 力的积累综合题	66
§ 4-5 经典力学的应用范围	67

第五章 刚体的定轴转动

§ 5-1 刚体 刚体的运动	71
§ 5-2 定轴转动刚体的动能 转动惯量	72
§ 5-3 刚体的转动定律	76
§ 5-4 转动定律解题法	77
§ 5-5 力矩的空间积累 刚体的机械能守恒	79
§ 5-6 力矩的时间积累 动量矩 冲量矩	81
§ 5-7 动量矩守恒定律	85
§ 5-8 刚体平面运动的例子	88

第二篇 气体与热力学

第一章 理想气体

§ 1-1 气体状态参量 理想气体状态方程	92
§ 1-2 理想气体的三个等值过程	94
§ 1-3 理想气体压强公式	95
§ 1-4 分子平均动能 压强与温度的统计意义	97
§ 1-5 理想气体的内能	98
§ 1-6 麦克斯韦速率分布律	99
§ 1-7 理想气体分子的特征速率	101
§ 1-8 分子碰撞	102
§ 1-9 气体的内迁移	103

第二章 热力学的物理基础

§ 2-1 基本概念	111
§ 2-2 气体体积变化时的功	112
§ 2-3 理想气体等值准静态过程模型	114

§ 2-4	热力学第一定律	115
§ 2-5	理想气体的热容量 C_p 与 C_v	115
§ 2-6	理想气体的等值过程和绝热过程	117
§ 2-7	循环过程	117
§ 2-8	热力学第二定律	119
§ 2-9	卡诺定理	121
§ 2-10	热力学解题指导	121

第三篇 电磁学

第一章 静电场

§ 1-1	电荷 库仑定律	128
§ 1-2	电场 电场强度	129
§ 1-3	电力线 电通量 高斯定理	130
§ 1-4	静电场中的导体	133
§ 1-5	电场强度的计算方法	135
§ 1-6	电势能	142
§ 1-7	电势	142
§ 1-8	电势的计算方法	144
§ 1-9	电势梯度	147
§ 1-10	静电场环流定理	148
§ 1-11	带电粒子在电场中的运动	150
§ 1-12	电介质对电场的影响 电位移	152
§ 1-13	电容 电容器	155
§ 1-14	静电场的能量	159

第二章 稳恒电流

§ 2-1	电流	162
§ 2-2	电流强度 电流密度	162
§ 2-3	电阻 电导	163
§ 2-4	电源的电动势	164
§ 2-5	欧姆定律	166
§ 2-6	电流的功 电功率	167
§ 2-7	闭合电路欧姆定律	168
§ 2-8	电阻的联接	169
§ 2-9	电阻与电动势的测量	174
§ 2-10	温差电现象 热电偶	176

第三章 电流的磁场

§ 3-1 磁场 磁感应强度	180
§ 3-2 磁感应线 磁通量 高斯定理	181
§ 3-3 毕奥—沙伐尔定律	183
§ 3-4 真空中磁场的环流定理	186
§ 3-5 磁场力	189
§ 3-6 霍尔效应 速度选择器 质谱仪	193
§ 3-7 磁力的功	195
§ 3-8 磁介质	195

第四章 电磁感应

§ 4-1 电磁感应现象	199
§ 4-2 法拉第电磁感应定律 楞次定律	200
§ 4-3 感应电动势与非静电力	202
§ 4-4 自感 互感	205
§ 4-5 磁能	209
§ 4-6 麦克斯韦方程组	211

第四篇 振动与波动

第一章 简谐振动

§ 1-1 弹性力	216
§ 1-2 机械振动	217
§ 1-3 简谐振动(simple harmonic motion)(S. H. M.)	218
§ 1-4 简谐振动的振动曲线	220
§ 1-5 简谐振动的能量	221
§ 1-6 简谐振动的旋转矢量法	222
§ 1-7 简谐振动的合成	225
§ 1-8 自由振动 阻尼振动 共振	227

第二章 平面简谐波

§ 2-1 机械波 简谐波	230
§ 2-2 平面简谐波波动方程	230
§ 2-3 波的能量 能源	234

§ 2-4 波的叠加 波的干涉	235
§ 2-5 驻波	237

第三章 光的干涉

§ 3-1 电磁波 光矢量	243
§ 3-2 光的干涉现象	244
§ 3-3 干涉仪	251

第四章 光的衍射

§ 4-1 光的衍射现象	262
§ 4-2 单缝衍射	262
§ 4-3 夫琅和费小圆孔衍射	264
§ 4-4 光栅	266

第五章 光的偏振

§ 5-1 自然光和偏振光	275
§ 5-2 马吕斯定律	276
§ 5-3 双折射时的偏振现象	277
§ 5-4 椭圆偏振光和圆偏振光	280

第五篇 近代物理学

第一章 狭义相对论

§ 1-1 经典时空观	286
§ 1-2 伽利略变换与伽利略相对性原理	287
§ 1-3 经典时空观和伽利略变换遇到的困难	287
§ 1-4 迈克尔孙—莫雷实验	289
§ 1-5 爱因斯坦假设	290
§ 1-6 相对论时空观	292
§ 1-7 相对论动力学基础	292
§ 1-8 检验相对论的一些实验	293

第二章 量子物理

§ 2-1 热辐射	299
-----------------	-----

§ 2-2 绝对黑体的热辐射 299

§ 2-3 普朗克量子假设 300

§ 2-4 光电效应实验规律 301

§ 2-5 爱因斯坦的光子假设 302

§ 2-6 康普顿效应 303

§ 2-7 原子光谱的实验规律 303

§ 2-8 玻尔氢原子理论 304

§ 2-9 实物粒子的波粒二象性 306

§ 2-10 薛定谔方程 307

§ 2-11 薛定谔方程的应用——一维势阱 308

§ 2-12 薛定谔方程的应用——氢原子 309

§ 2-13 薛定谔方程的应用——隧道效应 310

§ 2-14 激光 312

附 录

[附一] 阅读参考 319

[附二] 基本物理常量 327

[附三] 参考资料 328

[附四] 单数习题答案 329

第一篇 力学

第一章 质点运动学

§ 1-1 标量(Scalar)和矢量(Vectev)

有大小没有方向的量叫做标量。质量、功、能量、热量、体积、温度都是标量,有些标量无正负,如质量、动能、体积等,这类为算术量,还有些标量有正负,如功、热量、温度等,这类为代数量。求和时应区分是算术和,还是代数和。

既有大小,又有方向的量叫做矢量,矢量运算时遵守矢量运算法则,求矢量和时用平行四边形法和正交分解法。矢量用黑体字表示,如力印成 $\mathbf{F}$ 、速度印成 $\mathbf{v}$,书写时可用手写体在字头上加一个箭头,如 $\vec{F}$ 、 $\vec{v}$ 。

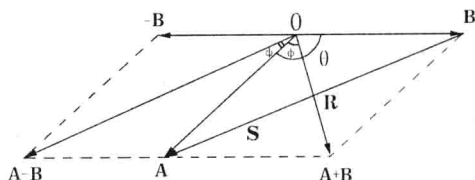


图 1-1 矢量和与矢量差

矢量运算的平行四边形法含矢量加法与矢量减法。图 1-1 中矢量和 $\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$, 矢量差 $\mathbf{S} = \mathbf{A} - \mathbf{B}$, 可见求矢量和与求矢量差实际上是同一种方法的不同表现, 用三角学知识, 可得 $\mathbf{R}$ 的值 R 及 $\mathbf{R}$ 与 $\mathbf{A}$ 的夹角 φ 和 $\mathbf{S}$ 的值 S 及与 $\mathbf{A}$ 的夹角 ψ 分别为

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta} \\ \varphi &= \arccos \frac{R^2 - A^2 - B^2}{2RA} \\ S &= \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta} \\ \psi &= \arccos \frac{S^2 + A^2 - B^2}{2SA} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

这组式子用起来比较烦, 若求二个以上的矢量和就更烦。正交分解法比较实用, 三个共面矢量 $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3$ 求它们的和时, 可先取 XOY 坐标, 求出三个矢量在坐标轴上的投影 $A_{1x}, A_{1y}, A_{2x}, A_{2y}, A_{3x}, A_{3y}$, 见图 1-2, 然后求它们的代数和

$$A_x = A_{1x} + A_{2x} + A_{3x} = \sum A_{ix}$$

$$A_y = A_{1y} + A_{2y} + A_{3y} = \sum A_{iy}$$

三个矢量 $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3$ 的和 $\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2 + \mathbf{A}_3$ 的大小和方向用正三角形解法得

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

$$\theta = \arctg \frac{A_y}{A_x}$$

(1-2)

若在三维坐标 xyz 的三个坐标轴上选取三个单位矢量记作 i, j, k , 它们的大小都是 1 个单位, 它们的方向分别沿 x, y, z 轴, 则任意矢量可写成

$$A = A_x i + A_y j + A_z k$$

(1-3)

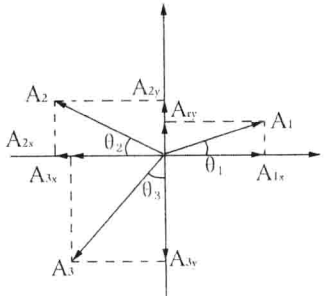


图 1-2 正交分解法

两矢量的和 $A+B$ 为

$$A+B = (A_x+B_x)i + (A_y+B_y)j + (A_z+B_z)k \tag{1-4}$$

两矢量的差为

$$A-B = (A_x-B_x)i + (A_y-B_y)j + (A_z-B_z)k \tag{1-5}$$

§ 1-2 运动的相对性与绝对性

物体位置的变化叫做机械运动。若物体运动的范围比物体本身尺寸大得多, 研究物体的机械运动时, 可以不考虑物体的大小, 把物体当作一个点。这样的理想模型叫做质点。物体作机械运动时, 若其体内任意一条直线在运动中始终保持与自身平行, 此物体的机械运动叫做平动, 平动物体中任意一点的运动状态都是完全相同的, 所以平动物体的运动范围即使不比物体本身尺寸大, 平动物体也可视为质点。

一个物体动不动? 向前动还是向后动? 是向上动还是向下动? 都需要一个参照物才能说清楚, 例如人坐在行驶的列车上, 相对于车厢人是不动的, 相对于地面人是向前方运动的, 相对于超前的另外一辆快车人是向后运动的, 描述质点运动的参考对象叫做参照物或参照系, 就这一点说, 机械运动是相对的。但是所有的物质都是在运动的, 没有物质是不动的, 地球在动, 太阳在动, 银河系也在动, 就这一点说, 机械运动是绝对的。这就是机械运动的相对性与绝对性。

表示质点位置的量为位置矢量, 简称位矢, 位矢是矢量, 记作 r 。

图 1-3 中 r_1 和 r_2 分别为质点在 P_1 点和 P_2 点时的位矢, 在三维直角坐标系中, 位矢为

$$r = xi + yj + zk$$

(1-6)

质点运动时, x, y, z 是 t 的函数, 位矢 r 也是 t 的函数。

$$r = r(t)$$

(1-7)

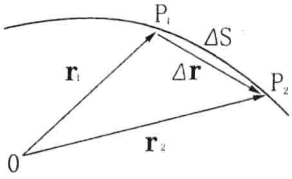


图 1-3 位矢

式(1-7)表示运动质点位置和时间关系的式子为质点的运动方程式, 位矢函数就是质点的运动方程, 请勿将运动方程式与轨迹方程式混淆。

图 1-3 中质点的起点 P_1 到终点 P_2 的有向线段 P_1P_2 叫做质点的位移(displacement), 位

移是矢量,质点从 P_1 到 P_2 的位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1-8)$$

图 1-3 中质点从起点 P_1 到终点 P_2 的弧长 $\widehat{P_1P_2}$ 叫做质点的路程,路程是标量,记作 ΔS ,表示路程。

$$\Delta S = \widehat{P_1P_2} \quad (1-9)$$

位移的大小与路程的大小一般也不相等,由图 1-3 可知,位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 与路程的大小 ΔS 只有在单向直线运动或极限情况下才相等。当 $\Delta t \rightarrow 0$,有 $P_2 \rightarrow P_1$,此时曲线 P_1P_2 上的弧长与弦长相等。

请密切注意式(1-8), $\mathbf{r}_1$ 是一个矢量, $\mathbf{r}_2$ 是一个矢量, $\Delta \mathbf{r}$ 是另外一个矢量, $\Delta \mathbf{r}$ 是两个矢量的差, $\Delta \mathbf{r}$ 的大小并不一定是 Δr ,请看图 1-4,以 O 为圆心, r_1 为半径作圆交 $\mathbf{r}_2$ 于 P_1' 点, OP_1 长为 r_1 , OP_2 长为 r_2 , OP_1' 长也为 r_1 , $P_1'P_2$ 长为 $r_2 - r_1 = \Delta r$,而 $\Delta \mathbf{r}$ 的长是 P_1P_2 ,初学时很容易混淆 $\Delta \mathbf{r}$ 的大小与 Δr 的区别,也容易错误的认为 $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta r$,图 1-4 指出一般情况下,

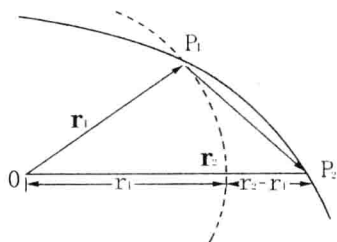


图 1-4 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δr

$$|\Delta \mathbf{r}| = P_1P_2 \neq r_2 - r_1 = \Delta r \quad (1-10)$$

§ 1-3 速 度

速度是描述质点运动快慢和运动方向的物理量,速度是矢量,对一段有限时间和有限空间用平均速度(average velocity),对无限小时间和空间用瞬时速度(instantaneous velocity)。

质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和完成这个位移的时间 Δt 之比叫做质点在这段时间 Δt 中的平均速度,记作 $\mathbf{v}$

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-11)$$

平均速度对质点运动的描述不够细致,因为在这段时间内质点的运动可能有快有慢。也可能改变了方向,用瞬时速度描述质点的运动比较准确细致。质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和时间 Δt 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的比叫做质点的瞬时速度或叫做即时速度,记作 $\mathbf{v}$ 。

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-12)$$

式(1-11)和式(1-12)中 $\mathbf{v}$ 无须加脚标“平均”和“瞬时”的字样,因为从等式的整体来看,显然可以识别式(1-11)中的 $\mathbf{v}$ 是平均速度,式(1-12)中的 $\mathbf{v}$ 是瞬时速度,今后还会有多处遇到这类问题,例如,讲到功的时候,有各种力做功,我们也不在功的符号上加脚标,请注意要学会从整体

知识、从整个公式去认识、理解、掌握物理量和公式的意义。

平均速度与瞬时速度都是矢量,平均速度的方向就是位移的方向(图 1-4 和式 1-11),瞬时速度的方向在质点运动曲线上各点的切线方向,质点在 P_1 点处时的瞬时速度 v_1 和质点在 P_2 处时的瞬时速度 v_2 分别沿着曲线上 P_1 点和 P_2 的切线方向(图 1-4)。

速度有大小和方向,这两方面只要有一个有了变化,速度就发生了变化,例如竖直落下物体的速度的方向是不变的,大小是改变的,它的速度是变的;手表秒针针尖绕着轴运动,在任意相等的时间内,针尖经过的弧长的大小都相同,针尖的速度的大小是不变的,但是针尖的运动方向是不停地变的,所以它的速度是变的;手球抛出后,在空中飞行时,球的速度大小和速度的方向都在变,球的飞行速度也是变的,可见三种运动中速度都是变的,学习矢量时很容易忽视矢量方向的变化,请注意这一点。

描述质点运动也常用速率(speed),质点运动的路程 Δs 与时间 Δt 之比叫做质点的平均速率, $\Delta t \rightarrow 0$ 时,这个比叫做质点的瞬时速率。

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

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

速率是标量,速度的大小也不一定与速率相等,只有单向直线运动和 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下,速度的大小才等于速率,因此笼统地说,速度的大小等于速率,或者说速度的大小就是速率都是错误的。

速度和速率的单位在国际实用单位制中用米/秒(m/s),厘米/秒(cm/s),千米/小时(km/h)等。

速度和速率都是用两个物理量定义的,如式(1-11)、(1-12)、(1-13)、(1-14)。它们在数值上又等于单位时间内经过的路程或位移,不能把它们这个性质作为它们的定义,说单位时间内经过的路程叫速率、单位时间内经过的位移叫速度都是错误的。

速度可以沿坐标分解成分速度,图 1-5 表示分速度的大小和方向

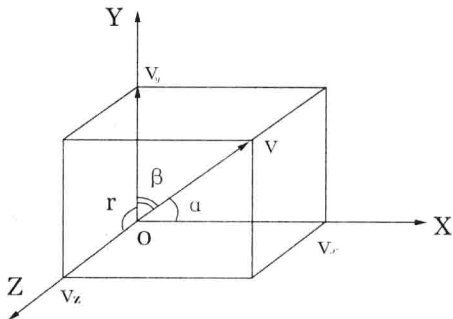


图 1-5 速度的正交分解

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k$$

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}$$

$$|v| = v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

v 的方向由方向余弦决定。

$$\cos \alpha = \frac{v_x}{v}, \cos \beta = \frac{v_y}{v}, \cos \gamma = \frac{v_z}{v}$$

例 1-1 质点运动时,位矢为 $r = i + 2t^2j - tk$ (SI)

求: (1) 质点第 3 秒的平均速度

(2) 质点在 3 秒时的瞬时速度

解: (1) 第 3 秒是从 2 秒到 3 秒的一个时间区间

$$t_1 = 2s \quad t_2 = 3s,$$

$$\mathbf{r}_1 = i + 2j - k$$

$$\mathbf{r}_2 = i + 18j - 3k$$

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{(i + 18j - 3k) - (i + 2j - k)}{3 - 1}$$

$$= 8j - k$$

$$|\mathbf{v}| = v = \sqrt{8^2 + 1^2} = \sqrt{65} = 8.06 \text{ m/s}$$

$$\varphi = \arctg \frac{v_z}{v_y} = \arctg \frac{1}{8} = 7.1^\circ$$

第 3 秒的平均速度的大小为 8.06 m/s, 方向在 yz 平面内与负 z 轴成 82.9° 。

$$(2) \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = i \frac{dx}{dt} + j \frac{dy}{dt} + k \frac{dz}{dt} = 4tj - k$$

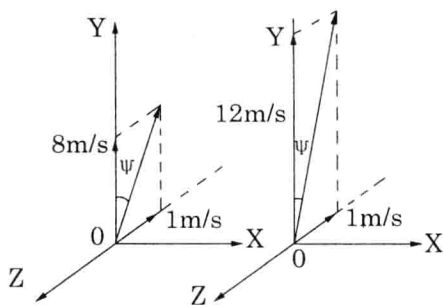
$$\mathbf{v}(3) = 12j - k$$

$$|\mathbf{v}(3)| = \sqrt{12^2 + 1^2} = \sqrt{145} = 12.04 \text{ m/s}$$

$$\psi = \arctg \frac{v_x}{v_y} = \arctg \frac{1}{12} = 4.8^\circ$$

3 秒时的瞬时速度也在 yz 面内与负 z 轴成 85.2° 。

从上例见到求平均速度时要先求出两个时刻的位矢函数值 $\mathbf{r}_2(t_2)$ 和 $\mathbf{r}_1(t_1)$, 再求两个值差 $\Delta \mathbf{r}$, 然后用 $\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$; 求瞬时速度时, 先求出 $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$, 再求 $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 在某时刻的值和方向。



例 1-1 图

§ 1-4 加速度 (Acceleration)

加速度是描述变速运动的重要物理量, 质点在 Δt 时间内速度由 $\mathbf{v}_1$ 变为 $\mathbf{v}_2$, 速度的增量 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$ 与时间之比叫做质点速度在 Δt 时间内的平均变化率, 即平均加速度, 平均加速度是矢量, 记作 $\mathbf{a}$ 。

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-15)$$

在极限情况 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 上式变形为

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1-16)$$

式(1-16)中的 $\mathbf{a}$ 是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时速度增量 $\Delta \mathbf{v}$ 与时间 Δt 比的极限叫做速度的瞬时变化率, 即瞬时加速度或即时加速度, 以上讨论强调加速度是速度对时间的变化率是很重要、很必要的, 它强调了加速度是反映速度变化率(大小变化和方向变化)的物理量, 加速度并不能表示运动的快慢, 一个球静止在地面, 踢它一下, 在一定时间内, 它可能获得很大的速度, 它的速度变化很快, 它的加速度就大; 在此时间内, 它也可能获得较小的速度, 它的速度变化不快, 它的加速

度就小；一个沿直线运行的汽车速度很大，如它的速度不变，它的加速度就是零；手表的时针的针尖走得很慢，每12小时才转一圈，但是它的运动方向沿着圆周的切线不停地改变，它的加速度就不是零。所以应该深刻理解加速度是速度的变化率这层意义。

求平均加速度应先求出两个不同时刻的速度 v_1 与 v_2 ，再用式(1-15)。求瞬时加速度应先求速度对时间的一阶导数，再求其导数值。利用式(1-12)加速度也可写作

$$a = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1-17)$$

加速度的单位是米/秒²，记作 m/s^2 ，这个单位的意义是速度变化时，速度每秒钟改变多少每秒米，例如加速度 $a = 9.8 m/s^2$ ，9.8 这一个值表示质点的速度大小在每秒钟时间内改变 $9.8 m/s$ 。

例1-2 质点运动时，其坐标与时刻的关系为

$$\begin{aligned} x &= 1 + 2t \\ y &= 2 + 4t + t^2 \end{aligned}$$

求1. 第2秒的平均加速度

2. 3秒时的瞬时加速度

解：(1) 质点位矢 $r = (1 + 2t)i + (2 + 4t + t^2)j$

$$\text{质点速度 } v = \frac{dr}{dt} = 2i + (4 + 2t)j$$

$$t_1 = 1s, t_2 = 2s$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(2) - v(1)}{2 - 1} = \frac{(2i + 8j) - (2i + 6j)}{2 - 1} = 2j$$

第2秒中质点的加速度沿 y 方向，其大小为 $2m/s^2$ ，即此质点的速度值在1s 时间内改变 $2m/s$ 。

$$(2) a = \frac{dv}{dt} = 2j$$

第3s 时质点的加速度沿 y 方向，数值为 $2m/s^2$ ，即此质点在任何时刻的即时加速度均为 $2j$ ，这样的运动为匀变速运动，下面我们还要详细讨论此类运动，并要讨论这个“匀”字的广泛意义。

加速度是矢量，平均加速度的方向为速度增量(Δv)的方向(图1-6)，瞬时加速度的方向为速度增量(Δv)的极限方向，这个极限方向将在圆周运动和曲线运动中讨论。

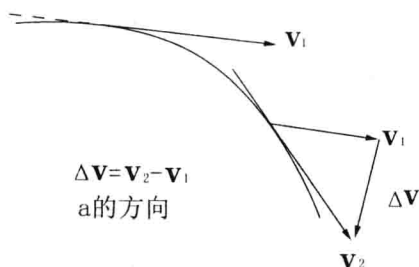
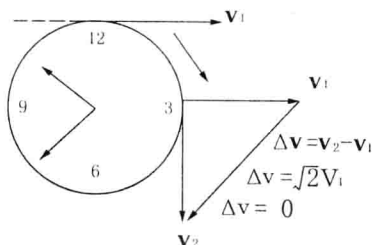


图1-6 速度增量



例1-3图