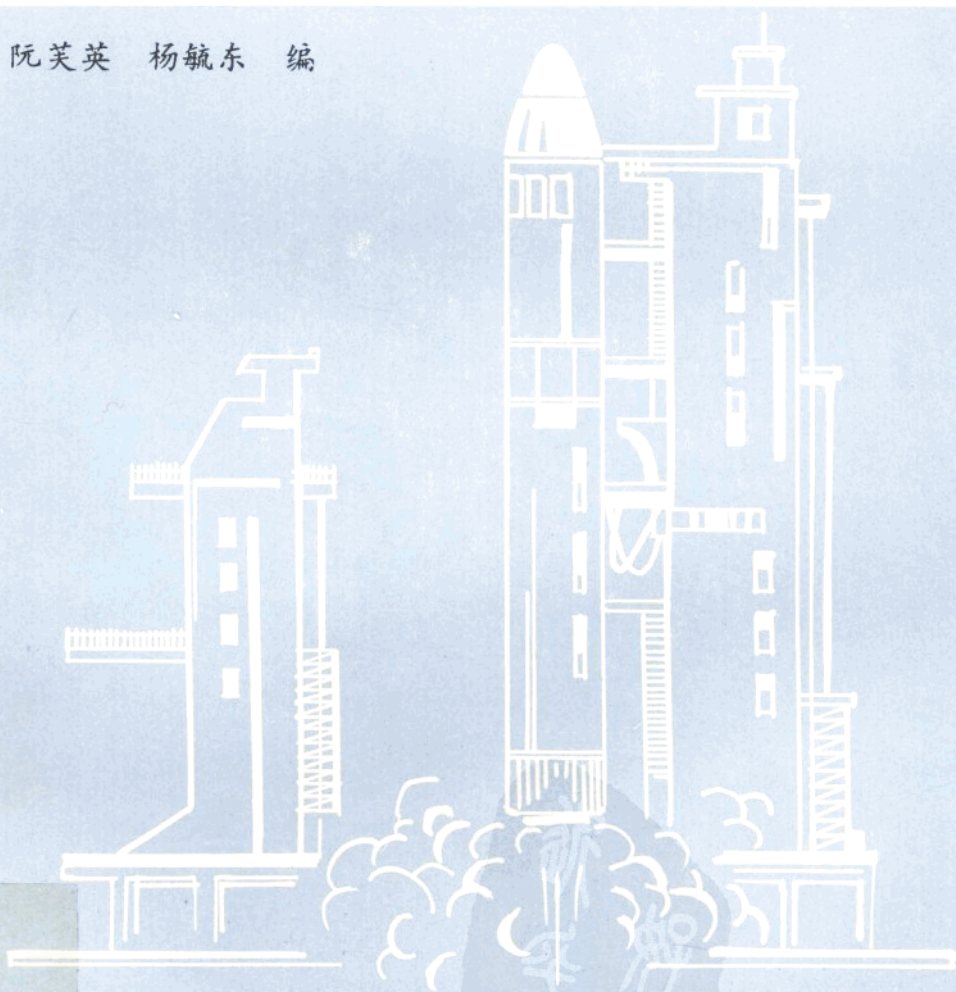


高等学校专科教材
(兼作成人教育自学用书)

物理学

(上)

阮芙英 杨毓东 编



西北工业大学出版社

PDG

物 理 学

(上 册)

阮芙英 杨毓东 编

西北工业大学出版社

1993年1月 西安

序

夏秋之交,溽暑难祛。应本书编者之囑,濡笔为序。我既非大雅,又非当行,只能随想所及,稍抒一己的鄙见,以酬编者之盛意。

本书是编者集多年物理教学之经验,并在广泛征求和听取各校师生对编写物理专科教材意见的基础上,不遗余力编写而成。现教材内容更切合当前高等专科教育之需要,并由西北工业大学出版社付梓行世。

本书是高等工程专科各专业适用的一本函授(包括全日制专科和各类在职教育)自学教材。全书内容复盖了《大学物理课程函授教学基本要求(1989年送审稿)》,并针对我国高等专科教育的培养规格和当前高等函授教学的实况,力求贯彻少而精和理论联系实际的原则,取材精当,论述简明,主次分明,文字通晓,有一定可读性,便于自学。

本书溶教学内容与自学指导于一体。每章开始列有“教学基本要求”,以期读者明确本章重点所在;每章正文之后,编入“小结”,“解题指导与示例”和“思考题与习题”等自学指导材料,使读者学完一章内容后,既可提纲挈领地统揽全章内容,又能获得正确的解题思路,相得益彰,有助于巩固所学内容和提高分析和解决问题的能力。对有关篇章之后按阶段所列入的“自我检查题”,采用标准化试题组卷,旨求读者熟悉标准化考试方法和增强应考能力,这是符合当前教学需要的。总之,本书在反映自学特色上,颇具匠心。

当然,本书和其他任何一本教材一样,不可能完美无缺;并且随着时代的需求和教学实践的日益深化,都有一个锲而不舍地不断出新和精益求精的过程,以期益臻完善,流传弥远。不然的话,如有些同类教材,只领风骚二三年,以至归于销声匿迹,这似不足取,也是令人惋惜的。

最后在祝贺本书出版的同时,对编者筚路蓝缕,艰辛开拓,为我国成人高等教育这块园地勤于耕耘的精神,聊表我的敬意和激赏之情。

严导淦

1992年8月1日孟秋

于沪滨同济学会

前 言

本书是编者根据《职工高等专科学校普通物理教学大纲》(草案)和《大学物理课程函授教学基本要求》(送审稿),并结合编者多年在高等专科教育(包括成人教育)中从事物理教学的经验的基础上编写而成,其基本意图在于对有志于学习物理知识的读者,特别是在职的读者通过自学能较顺利地掌握物理知识及其基本规律。

本书具有科学性、系统性、适用性,内容由浅入深,重点突出,理论阐述清楚,概念交待确切,内容取舍适当,符合高等专科教育层次的教学基本要求;另外本书文字叙述流畅、论证严谨,具有一定的特色和新意,便于成人教育的教与学。

本书在内容的安排与处理上有以下的具体特点:(1)把教学基本要求、教学内容与辅导性资料有机地融为一体,有利于读者自学;(2)在各章或相关内容后有纵向或横向小结,便于读者掌握内容的整体结构;(3)在各章后特辟有“解题指导与示例”一栏,对各章题目进行了分类,指明了解题步骤与注意事项,有利于解决读者在解题方面的困难;(4)各章后除配有适量的习题(附答案)外,还有阶段性自我检查题(附答案),有利于读者检查掌握知识与运用知识的情况。

为方便起见,在例题运算过程中,没有带入计量单位符号,运算结果的计量单位均省略了括号。

在本书的编写过程中得到了同济大学严导淦教授,刘云龙副教授,东南大学马文蔚教授,兰州铁道学院陈佩兰副教授,中国电子科技大学甘承泰副教授,福州大学甘景慧副教授,西安地质学院林润生副教授,哈尔滨建筑工程学院唐光裕教授,陕西机械学院邵益勤同志,肖灿章教授以及物理教研室同志们的关心与帮助,在此向他们表示谢意。

本书除动力学的基本定律、分子物理学与热力学由杨毓东编写外,其余部分由阮芙英编写。杨毓东对部分习题作了审核。

由于我们水平有限,在教材内容的组织安排上也是初步尝试,不足之处在所难免,请读者多提宝贵意见。

编 者

1992年9月

目 录

绪论

第一篇 力学

第一章 运动学

§ 1-1 描述质点运动的四个物理量	3
§ 1-2 直线运动	8
§ 1-3 质点的平面曲线运动	10
小结	13
解题指导与示例	13
思考题与习题	18
自我检查题	19

第二章 动力学的基本定律

§ 2-1 牛顿运动定律	21
§ 2-2 力的种类及性质	23
§ 2-3 牛顿运动定律的应用	25
§ 2-4 国际单位制和量纲	32
小结	33
思考题与习题	34

第三章 动力学的普遍定理

§ 3-1 功和功率	37
§ 3-2 动能 动能定理	40
§ 3-3 势能 保守力	42
§ 3-4 功能原理 机械能守恒定律	45
§ 3-5 动量和冲量	48
§ 3-6 质点系动量定理 动量守恒定律	50
§ 3-7 碰撞	52
小结	54
解题指导与示例	56
思考题与习题	62
自我检查题(第二章~第三章)	65

第四章 刚体的转动

§ 4-1 刚体定轴转动的描述	68
§ 4-2 转动动能 转动惯量	72
§ 4-3 刚体定轴转动的动能定理	74
§ 4-4 转动定律	77
§ 4-5 角动量定理 角动量守恒定律	78
§ 4-6 经典力学的适用范围	80
小结	81
解题指导与示例	83
思考题与习题	88
自我检查题	90

第二篇 振动与波动

第五章 机械振动

§ 5-1 简谐振动	94
§ 5-2 描述谐振动的物理量	96
§ 5-3 谐振动的几何表示	100
§ 5-4 谐振动的能量	102
§ 5-5 阻尼振动 受迫振动 共振	103
§ 5-6 同方向谐振动的合成	105
小结	107
解题指导与示例	109
思考与习题	115

第六章 机械波

§ 6-1 机械波的形成	117
§ 6-2 描述简谐波的几个物理量	120
§ 6-3 波程差和相位差	121
§ 6-4 平面简谐波	122
§ 6-5 波的能量 能流密度	126
§ 6-6 惠更斯原理	128
§ 6-7 波的干涉	130
§ 6-8 驻波	133
小结	135
解题指导与示例	138
思考题与习题	143

自我检查题(第五~第六章).....	144
--------------------	-----

第三篇 分子物理学与热力学

第七章 分子物理学

§ 7-1 气体动力论的基本观点.....	147
§ 7-2 气体的状态参量 平衡状态.....	149
§ 7-3 理想气体的状态方程.....	152
§ 7-4 理想气体的压强公式.....	154
§ 7-5 气体分子平均平动动能与温度的关系.....	157
§ 7-6 理想气体的内能 能量按自由度均分原理.....	158
§ 7-7 麦克斯韦速率分布定律.....	161
小结.....	165
解题指导与示例.....	167
思考题与习题.....	170

第八章 热力学基础

§ 8-1 热量和功.....	172
§ 8-2 热力学第一定律.....	174
§ 8-3 热力学第一定律的应用.....	177
§ 8-4 热机和循环.....	183
§ 8-5 卡诺循环.....	185
§ 8-6 热力学温标.....	187
§ 8-7 热力学第二定律.....	188
小结.....	
解题指导与示例.....	191
思考题与习题.....	193
自我检查题(第七~第八章).....	198

附录

附录 I 思考题与习题答案.....	200
附录 II 自我检查题答案.....	205

第四篇 电磁学

第九章 真空中的静电场

第十章 电场中的导体和电介质

第十一章 磁场

- 第十二章 磁场对运动电荷和电流的作用
- 第十三章 电磁感应
- 第十四章 磁介质
- 第十五章 电磁场与电磁波

第五篇 波动光学

- 第十六章 光的干涉
- 第十七章 光的衍射
- 第十八章 光的偏振

第六篇 量子物理基础

- 第十九章 光的量子性
- 第二十章 原子的量子理论基础

附录

附录Ⅲ:思考题与习题答案

附录Ⅳ:自我检查题答案

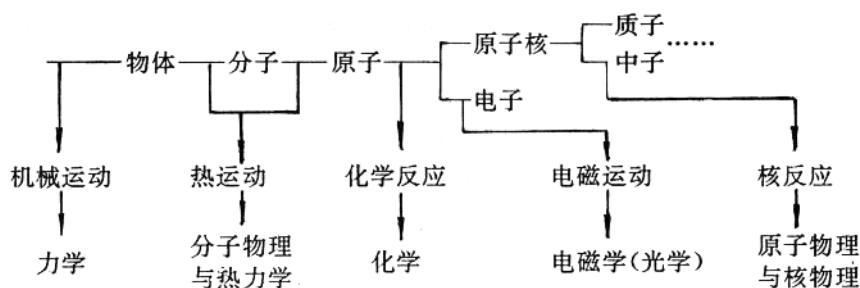
绪 论

物理学是自然科学的一个分支,它是研究物质及其运动的最普遍、最基本规律的科学。

物质是存在人们意识之外的客观实在,包括有形的和无形的存在。有形物质,从天体到尘埃;从岩石到人;其性质千差万别,硬、软、弹性、导电性、透明性……。另一种物质形式——场,如引力场、电场、磁场等。它们不但客观存在,且已广泛应用于生产、生活和科学实践中。

自然界的有形物质——实物,不论其形态如何都是由分子、原子、质子、中子……构成。

自然界中一切物质都处于永恒的运动之中,风、水流、天体和机器的运转,……,即运动是物质存在的方式,运动是永恒的、绝对的,不能创造、只能转移。因物质结构有不同的层次,所以物质的运动形式也是多种多样的。从而自然科学也由此分成了不同的分支和门类,情况如下:



物质的运动形式与相应的能量形式对应。则运动和物质一样不能创造,只能转化。这概括为能量守恒与转化定律,它是从行星到人的一切物体的普遍规律。它指导人们更深入的认识物质及运动的基本规律,并为科学进步,生产的发展提供了有利的科学依据。

探索物质世界的过程和人们认识事物的过程一样都必须经历由浅入深、由现象到本质、由感性到理论的过程,随着认识水平的提高,逐步总结出一套科学的研究方法——观察、实验、假说和理论。物理原理和定律是在观察、概括实验事实的基础上建立起来的反映物理现象之间内在联系的基本规律。因任何定律都是在一定条件下建立起来的,其适用性受到一定的限制。

各门自然科学虽然研究的方面不同,但都是研究物质的不同侧面。因世界的统一性在于物质性,所以物理学和其他科学有着广泛联系,现已发展出许多相关学科,如化学物理学等。

古往今来,科学理论的发展大多是在社会生产的需求下发展起来的。工业自动化,能源合理利用,提高测量技术水平等发展了电学,光学及核物理等。即社会生产是物理学发展的动力。由于物理理论的普遍性,它又推动生产水平和科学技术的发展,电磁理论的完善使人类进入电气化的时代,能源、半导体、电子计算机、激光技术的开发……又使社会生产和科学技术更上一层楼。所以说物理学与生产技术的关系是理论与实践的关系,实践是理论的基础,理论是实践的指南。可见物理学理论渗透于自然科学的一切领域,应用于生产技术的各部门。大学物理课是工科院校培养人才的一门重要的必修基础理论课。显然,大学物理课一方面是其他技术理论课的重要基础,又是系统培养学生科学思维方法、解决实际问题能力、激发开创精神、增强适应能力的前提。所以大学物理课在培养高素质人才方面起到不可估量的作用。

第一篇 力学

在绪论中已指出物质的运动是永恒的、绝对的,其运动形式是多种多样的。当物体作为一个整体或物体间发生位置随时间变化时的运动称为机械运动。它是最简单、最基本、最普遍的一种运动形式,如车辆的行驶,星球的运动等。力学是研究机械运动规律及其应用的学科,它是物理学后续篇章和其他自然学科的基础。

时间和空间

我们知道一切物质的运动都是在时间和空间内进行的。时间是表示物质运动过程的连贯性与持续性,如机车的运行,蜡烛的燃烧,生物的生长等。时间本身的特点是单向性,即时间是一去不复返。物质的运动总是在时间上按先后秩序进行的。空间是表示物体彼此间排列的次序以及物体体积的广延性,其特点是其体积性。

由于现代科学技术的进步,时间的测量范围至少已达 10^{-23} 秒到 10^{10} 年,用铯-133 原子钟计时其频率可准确到 $1/10^{10}\text{s}^{-1}$,即 300 年内仅有 1s 之差。其基本原理是利用磁场对铯-133 原子所施加的力以控制原子的振动。时间标准是:1s 等于铯-133 原子振动 9192631770 次所需时间。空间的测量已达 10^{-13}m 到 10^{26}m 的范围。1960 年 10 月国际计量大会决定改用氮-86 单原子所发射的橙红色光谱线的波长作为长度标准。 $1\text{m}=165076\ 3.73\lambda_{\text{氮-86}}$ 。1983 年 10 月,在巴黎召开的第 17 届度量衡大会上,科学家们认为长度单位应该用物理学中一个基本常数来标定,最后确定用光速 $c(c=2.99792458\text{m/s})$,“1m 的长度等于光在空间于 299792458 分之一秒所前进的距离”。这样,长度的标准终于找到一个精确的依据。

质点和刚体

自然界的物体都有一定的大小和形状,但在某些情况下,物体的大小和形状对研究它的运动规律不起作用或起作用不大从而可以忽略时,这种物体称为质点,即质点是仅具有质量而忽略大小和形状的物体。显然这是为研究问题方便而引入的一种理想化的模型。在另外一些情况下,物体的大小和形状不能忽略,则物体的运动规律就较为复杂。但当物体在外界的作用下其形状不发生变化,即物体受外界作用时不发生形变,或形变很小可以忽略时,这种物体称为刚体。可见刚体是组成它的各质点间的相对位置保持不变的物体。

质点和刚体都是物体在一定条件下的抽象,是理想化的模型。用模型代替实际物体进而研究物体的客观规律是物理学和其它自然科学常采用的一种普遍的科学方法,这种方法为研究复杂问题提供了方便。同时也只有用这种方法才能更准确、更本质、更深刻、更完全的反映自然。什么情况下选用什么模型不仅由被研究的对象决定,还由周围环境及研究问题的方便而定。例如地球绕太阳公转时可视为质点,而在研究它的自转规律时则不能视它为质点。又如飞机在空中飞行时可视为质点,然而在观看它作飞行表演时则不能视它为质点。

平动和转动

刚体作一般运动时,形式可多种多样,但其基本形式只有平动和转动两种,刚体的复杂运动是平动和转动和合成。刚体作平动时,其上任意两点的连线始终平行,即两点连线的方位在运动中保持不变,除各质点的运动轨迹完全相同外(但不一定是直线,如图 0-1(a)所示)。各质点的其他运动情况也都相同,因而刚体的平动完全可由其上的任一点的运动代替,因而我们常用质点来代替作平动的刚体。刚体作转动时,其上各点都作圆周运动,各圆周的圆心所连的直线称为转轴。若转轴保持不变称刚体作定轴转动,此时刚体上各质点在相同的时间内所转过的角度相同,即各质点的角速度相同。

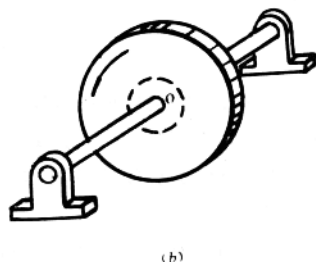
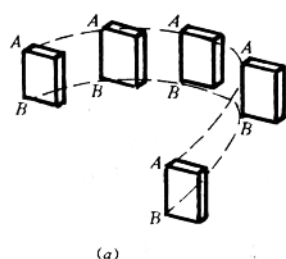


图 0-1

第一章 运动学

在力学中仅研究物体位置随时间变化的规律,而不涉及形成不同运动形式的原因的这部分内容叫运动学。在本章中首先阐明描述运动的几个基本物理量,然后分别描述直线运动、平面曲线运动的规律。

基本要求

1. 深刻理解描述质点运动及其变化的四个物理量(位置矢量、位移、速度、加速度)的定义及主要性质(矢量性、瞬时性和相对性);
2. 理解运动方程的意义与作用,掌握由运动方程求四个物理量的方法;
3. 掌握研究曲线运动的方法,理解法向加速度和切向加速度。

§ 1-1 描述质点运动的四个物理量

参照系

自然界的物质都在作永恒的运动,对同一个运动物体的描述相对不同的物体所得结果是不同的。例如处于地球上的物体相对地球是静止的,然而相对太阳它是在作以太阳为中心的圆周运动。可见物体的运动是绝对的,而描述物体的运动是相对的,要准确的描述物体的运动就必然选择一个物体作为标准,这个被选作标准的物体叫参照系。例如描述地面上运动的物体选地球为参照系,描述行星的运动选太阳为参照系。从参照系看来,物体的运动就是物体相对于参照系位置的变化。可见物体相对于参照系的运动只能起到定性地描述运动的作用。为了定量地描述运动,即用数值来确定不同时刻的位置就必须在参照系上选择坐标系。直角坐标系是原点固定在参照系上的一个相互垂直的有长度标定的三维数轴($oxyz$),物体作平面运动和直线运动时选用二维和一维坐标系即可。此外为描述运动方便还可选用极坐标,球坐标或自然坐标系等。

一、位置矢量 r

一质点 A 在三维直角坐标系中的位置可用由坐标原点 O 引向 A 点的有向线段 r 表示,如图 1-1 所示。有向线段 $r=OA$ 称为位置矢量,简称位矢。矢量表示为

$$r = xi + yj + zk \quad (1-1)$$

其中 x, y, z 分别是 A 点在三个坐标轴上的投影, i, j, k 分别表示 x, y, z 坐标轴正方向的单位矢量。位置矢量 r 的大小和方向(由方向余弦表示)分别为

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

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

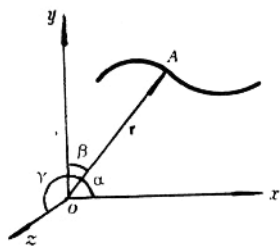


图 1-1

式中 α, β, γ 分别是 r 与 x, y, z 轴的夹角, 它们的关系为 $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ 。当质点作平面运动和直线运动时其位置矢量分别表示为

$$r = xi + yj \quad r = xi$$

由图 1-1 知质点 A 从一点运动到另一点过程中, 位矢 r 是随时间变化的, 即

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

运动方程

式(1-2)称为质点的运动方程, 其分量式为

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t) \quad (1-2b)$$

下面是两质点的具体的运动方程, 分别为

$$r = 4ti + 10tj \quad (1)$$

$$r = R\cos\omega t i + R\sin\omega t j \quad (2)$$

它们的分量式分别为

$$\begin{cases} x = 4t \\ y = 10t \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x = R\cos\omega t \\ y = R\sin\omega t \end{cases} \quad (4)$$

二者的运动方程不同, 其运动轨迹也不同。从运动方程中消 t 可得轨迹方程, 一般表达式为

轨迹方程

$$x = f(y, z) \quad (1-3)$$

从③、④式中分别消 t , 得两质点的轨道方程分别为

$$y = \frac{5}{2}x \quad x^2 + y^2 = R^2$$

前者表明质点作直线运动, 后者表明质点作圆周运动。

应当明确:

(1) 位置矢量 r 与参照系的选择有关, 如图 1-2 所示。 A 点的位置在 oxy 系和 $o'x'y'$ 系中分别是 r 和 r' , 说明 r 具有相对性;

(2) r 是矢量, 既有大小又有方向, 服从矢量运算法则;

(3) 运动质点在不同时刻位置矢量 r 有不同的大小和方向, 即 r 具有瞬时性。

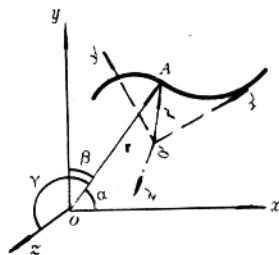


图 1-2

位置矢量的单位是长度单位, 在国际单位(SI)中用米,

记为 m 。

二、位移 Δr

在通常情况下质点的位矢 r 随时间变化, 为此引入描述质点位矢随时间变化的物理量——位移。

质点 A 在空间运动, t_1 时刻位于 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 点, 位矢为 r_1 , $t_2 = t_1 + \Delta t$ 时刻位于 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 点, 位矢为 r_2 , 如图 1-3 所示。在 Δt 时间内位矢的增量, 即从 P_1 点到 P_2 点的有向线段 $\Delta r = P_1P_2$ 称为质点在 Δt 时间内的位移, 由矢量运算知 $r_2 = r_1 + \Delta r$, 则位移为

位移的定义

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

(1-4a)

因为 $\mathbf{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}$, $\mathbf{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} +$

$z_2\mathbf{k}$, 于是

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-4b)$$

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的大小和方向分别为

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (1-5a)$$

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

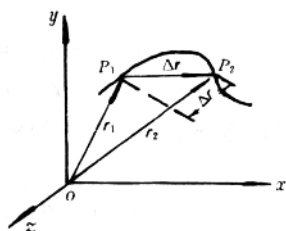


图 1-3

应当明确:

(1) 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是质点初始时刻的位矢 $\mathbf{r}_1$ 的端点到终了时刻位矢 $\mathbf{r}_2$ 端点的有向线段, 它描述质点位置随时间的变化情况(大小和方向);

(2) $\Delta \mathbf{r}$ 的大小是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的模 $|\Delta \mathbf{r}|$, 一般不等于 Δr , 即 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$ 。从图 1-3 中可以看到这是两个完全不同的量, $|\Delta \mathbf{r}|$ 是位矢增量的大小, Δr 是位矢大小的增量;

(3) 因位矢 $\mathbf{r}$ 与参照系的选择有关, 所以位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与参照系的选择也有关, 即位移也具有相对性。同一运动质点在相同的时间间隔内, 对不同的参照系其位移的大小和方向是不同的;

(4) 对运动质点而言, 显然 $\Delta \mathbf{r}$ 是时间的函数, 因而在谈及位移时应指明是哪个时间间隔内的位移;

(5) 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和路程 Δs 是两个不同的物理量, $\Delta \mathbf{r}$ 反映质点位置的改变, 只与质点运动的始末状态有关, 与中间过程无关, 是矢量; 路程 Δs 是质点运动轨迹的长度, 与中间过程有关, 是标量。图 1-3 中 P_1P_2 和 $\widehat{P_1P_2}$ 分别表示位移和路程。通常情况下 Δs 和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 不相等, 只有在直线运动且方向不变的情况下, 位移的大小才等于路程。

三、速度 $\mathbf{v}$

一般情况下在相同的时间 Δt 内两质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 不相同, 即质点位置矢量随时间变化的快慢不同, 为此引入描述质点位移随时间变化的物理量——速度。

如图 1-3 所示, 质点在 Δt 时间内位移为 $\Delta \mathbf{r}$, 则定义 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 的比值称为平均速度, 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示。则

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\mathbf{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\mathbf{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t}\mathbf{k} = \bar{v}_x\mathbf{i} + \bar{v}_y\mathbf{j} + \bar{v}_z\mathbf{k} \quad (1-6)$$

平均速度

平均速度的方向是 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向, 其大小为

$$|\bar{\mathbf{v}}| = \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right| = \sqrt{\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2} \quad (1-7)$$

平均速率是质点的路程与经历该路程所需时间的比值, 一般情况下与平均速度的大小是不相等的。例如质点沿直线由 A 点运动到 B 点又沿直线返回到 C 点, 如图 1-4 所示, 则平均速率和平均速度的大小分别为

$$\text{平均速率} = \frac{\overline{AB} + \overline{BC}}{\Delta t}$$

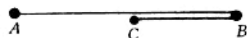


图 1-4

$$|\bar{v}| = \frac{\overline{AC}}{\Delta t}$$

虽然平均速度反映了 Δr 与 Δt 间的关系,但在不同的 Δt 内,其 $\bar{v}$ 的大小和方向都可不相同,即它不能反映位移 Δr 的变化相对于时间的不均匀性,所以在谈及 $\bar{v}$ 时应指明是哪段 Δt 内的平均速度。因而平均速度只能粗略地反映质点位移随时间变化的情况。不能确定质点在某一给定点,或某一时刻的运动情况,由图 1-5 可见,如果位移不同,平均速度的大小和方向也不同。

在生产实践和科学研究中,如锻打,火箭的发射,加速器中粒子的出射等都需要精确地知道某时刻或通过某点的速度,为此我们引入瞬时速度的概念。

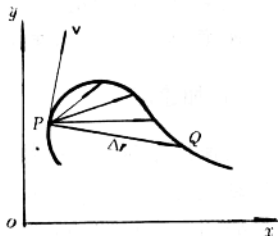


图 1-5

图 1-5 中的曲线表示质点 A 在 Δt 内的运动轨迹,为了描述质点 A 过 P 点的速度可把 Q 点取得离 P 点近些,则 $\Delta t = t_Q - t_P$ 相应地也小些。当 Δt 取得足够小时,位移 Δr 也足够小,但其比值 $\Delta r / \Delta t$ (在一维情况下是 $\Delta x / \Delta t$) 趋于一个确定的极限值,即在这短暂的过程中质点的运动可视为匀速直线运动。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,即接近 t_P 时刻或在一极小段位移内的平均速度就可视为通过 P 点的速度,于是 $\Delta r / \Delta t$ 的极限值叫 t 时刻质点的瞬时速度,简称速度,用 v 表示,则

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-8a)$$

瞬时速度

可见某时刻或通过某位置的瞬时速度是包括这时刻在内的极短时间内的平均速度。速度等于位矢对时间的一阶导数,是位移变化快慢的量度。在直角坐标系中可表示为

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k = v_x i + v_y j + v_z k \quad (1-8b)$$

其中 v_x, v_y, v_z 是速度 v 在 x, y, z 方向的分量,即

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

速度 v 的方向是 Δr 的极限方向,即 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 Δr 的方向。 P 点速度的方向在图 1-5 中为质点运动轨迹上 P 点的切线方向。速度 v 的大小 v 表示为

$$v = |v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-9)$$

应当明确:

(1) 由 $|\Delta r|$ 与 Δr 的区别可知, $|v| = \left| \frac{dr}{dt} \right| \neq \frac{dr}{dt}$, 即速度的大小不等于 dr/dt , 前者是速度矢量的模, 后者是矢径 r 的大小随时间的变化率;

(2) 一般情况下速度是时间的函数, 即速度具有瞬时性。($v = \text{常量}$, 表明质点作匀速直线运动), 不同时刻速度的大小和方向可不同, 所以速度是描述质点运动状态的物理量;

(3) 对不同的参照系, v 不同, 即速度具有相对性;

(4) 速度是矢量, 服从矢量运算法则;

(5) 速率是标量, 它是路程对时间的一阶导数, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-10)$$

因为在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时极限情况下, $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta s$, 所以速度的大小等于速率, 即

$$|\mathbf{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = v$$

(6) 平均速度说明在运动过程中一段时间的物理量; 瞬时速度说明质点在运动过程中某时刻或某点的物理量。

速度、平均速度和速率的单位在 SI 中是米/秒, 记为 m/s。

四、加速度 $\mathbf{a}$

因速度是时间的函数, 为了描述速度随时间变化的情况引入加速度概念, 加速度是描述质点运动状态变化的物理量。

如图 1-6 所示, t_1 时刻质点的速度为 $\mathbf{v}_1$, $t_2 = t_1 + \Delta t$ 时刻, 速度为 $\mathbf{v}_2$ 。在 Δt 时间内速度的增量为 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$ 。与定义平均速度相似, 平均加速度为

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

平均加速度

平均加速度只反映在一段时间间隔 Δt 内速度的平均变化, 只是对质点速度变化的粗略描述, 其大小和方向与 Δt 的取值有关, 所以在谈平均加速度时, 应指明是哪段时间内的平均加速度。

应注意平均加速度的大小 $|\bar{\mathbf{a}}| = \left| \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \right| \neq \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。为了精确的描述质点在某位置或某瞬时速度的变化情况, 引入瞬时加速度概念。

与引入瞬时速度的思维方法相同, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均加速度的极限定义为质点在某时刻 t 的瞬时加速度, 简称加速度, 用 $\mathbf{a}$ 表示, 有

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-11a)$$

瞬时加速度

可见某时刻的加速度是包括这时刻在内的极短时间间隔内的平均加速度

度, 加速度等于速度对时间的一阶导数, 对位移的二阶导数。是速度变化快慢的量度。在直角坐标系中, 加速度可表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} = \frac{d^2 x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2 y}{dt^2} \mathbf{j} + \frac{d^2 z}{dt^2} \mathbf{k} \\ &= a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-11b)$$

加速度的分量式为

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (1-11c)$$

加速度的方向是 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向, 即 $\Delta t \rightarrow 0$ 时速度增量 $d\mathbf{v}$ 的方向。加速度的大小用 a 表示, 为

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-12)$$

应当明确:

(1) 因为 $|\Delta \mathbf{v}| \neq \Delta v$, 加速度的大小 a 不等于 dv/dt , 即 $a = \left| \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right| \neq \frac{dv}{dt}$;

(2) 加速度是矢量, 加速度的方向是速度增量的极限方向, 与速度的方向没有确定的关

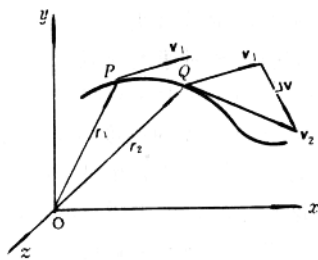


图 1-6

系,例如质点作抛体运动时,加速度 g 的方向垂直向下,总指向曲线凹侧,而速度 v 在不同时刻其方向不同,如图 1-7 所示;

(3) 一般情况下,加速度是时间的函数。 a = 恒量时,质点作匀加速运动,指各时刻加速度的大小和方向都不改变,但匀加速运动并非一定是直线运动(如抛体运动),只有在 a = 恒量,且初速为零时,质点才作直线运动。 $a=0$ 时,且初速度不为零时,质点作匀速直线运动;

(4) 加速度 a 具有相对性,即 a 与参照系的选择有关。例如放在车中的物体当车起动时,以地为参照系和以车为参照系,物体的加速度是不相同的。

加速度的单位在 SI 中是米/秒²,记为 m/s^2 。

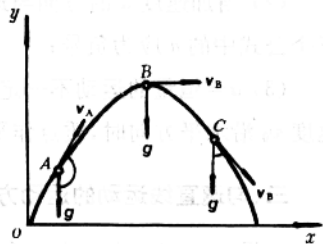


图 1-7

§ 1-2 直线运动

一、直线运动的特征

直线运动中 $x, \Delta x, v, a$ 的方向可用正负表示

直线运动是一切运动中最简单也是最重要的一种运动形式。它是研究曲线运动的基础。直线运动的特点是位矢、位移、速度和加速度各矢量都沿同一直线,其方向在选定的一维坐标系 ox 中可用正负表示。当上述各量大于零时,表示它们沿 x 轴的正方向;小于零时表示沿 x 轴的负方向。

二、匀变速直线运动的基本方程

质点作加速度为恒量(a = 恒量)的运动时,其运动方程可根据加速度、速度的定义及初始条件得到。

设 $t=0$ 时, $x=x_0, v=v_0$; $t=t$ 时, $x=x, v=v$, 由式(1-11)知, $dv=adt$, 作定积分得

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

$$\therefore v = v_0 + at \quad (1-13)$$

由式(1-8)知, $dx=vdt$, 再作定积分得

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

$$\therefore x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (1-14)$$

匀变速直线运动的运动方程

由式(1-13)和式(1-14)消 t , 得

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (1-15)$$

式(1-13)、(1-14)分别称为匀变速直线运动的速度公式和运动方程,式(1-15)反映质点作匀加速直线运动时加速度、速度和位移间的关系,它们是在中学时已很熟悉的几个基本公式。