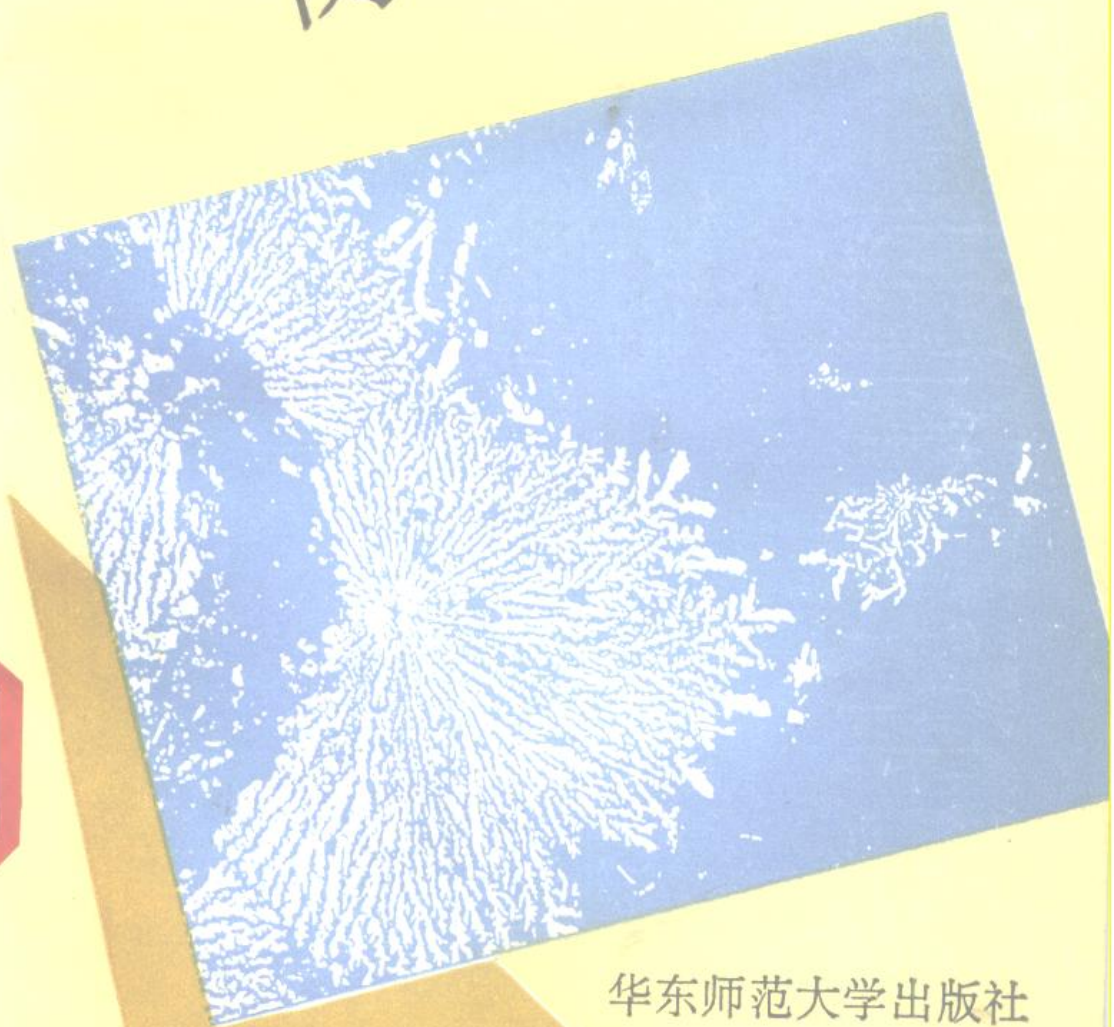


物理学概论



华东师范大学出版社

04

2330

379919

物理学概论

赵玲玲 万东辉 编

华东师范大学出版社

(沪)新登字第 201 号

物理学概论
赵玲玲 万东辉 编

华东师范大学出版社出版发行
(上海中山北路 3663 号)
邮政编码: 200062

新华书店上海发行所经销 江苏句容排印厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 16 字数: 420 千字

1994 年 8 月第一版 1994 年 8 月第一次印刷

印数: 001—2,000 本

ISBN 7-5617-1206-5/O·040

定 价: 16.50 元

前 言

物理学是研究物质的基本结构、相互作用以及物质运动的一门学科。运动是物质的固有属性。在自然界里，没有不运动的物质，也没有脱离物质的运动。运动的形式也是多种多样的。物理学研究的物质运动形式是最基本和最普遍的，因此，它在自然科学中占有独特的地位，随着近代科学的发展，它与其它学科的关系也愈来愈紧密。物理学帮助人们对周围世界有合乎科学规律的理解，它是现代文化与现代文明的一个主要部分。

本书是为大学非物理专业学生编写的基础物理教材，可供本科或专科各专业 120 到 140 学时的物理课程使用，选学部分用小号字排版。

根据我们多年的教学实践，深切感到需要一本内容现代化、篇幅适当而物理思想清晰的教材。我们面临着 20 世纪和 21 世纪交替的年代，本世纪初的物理成就有了近 100 年的历史，而且由于它的广泛应用，已深深扎根于自然科学的各个领域。不容置疑，为了培养跨世纪人才，近代物理内容应作为最基本的物理原理加以突出，并贯串到整个教材和教学中去。本着这一愿望，我们较早地引入了相对论和量子论，并尽可能用近代物理的思想和观点来组织教材，使读者形成物理学的统一的框架。

物理学是整个自然科学的基础，物理学的基本原理、基础知识、基本技能和思维方法对训练科学素质具有十分重要的意义。物理现象和物理定律不是彼此毫无联系的“大杂烩”，而是有着内在逻辑结构的完整统一体。因此，本教材在保证科学性、系统性和完整性的基础上，大刀阔斧地压缩了篇幅，减少了不必要的重复，以简明的叙述，适当的数学形式，阐述了物理学的主要内容，用最基

本的物理原理说明广泛的物理现象。一些物理定律也尽可能以更为基础的物理理论，如能量守恒、相对论等进行论述，从而揭示出物理学的内在联系。

整体上，本教材兼顾了传统教材的编排方法，但又不囿于传统的划分，而是尽可能给出一幅简明、统一、自洽的物理学图像。例如，波的内容集中到一起加以论述，相对论作为力学的基本内容并反复加以应用，突出守恒定律的讨论，热学中加强统计的思想，等等。

为了反映物理学是不断前进并有广泛实际应用的特点，我们在例题的选取和讨论中，尽可能作为理论讨论的深入和实际应用的基础来处理。同时，选取了一些内容新颖、叙述生动的短文，附于各章之后，我们期望学生阅读这些材料后，有助于发展他们的丰富想象，激发他们努力获取知识的欲望。

全书共分 15 章，其中力学、振动与波、光的电磁性、量子物理等 9 章由赵玲玲编写，热学和电磁学等 6 章由万东辉编写。在编写过程中，尽管我们的工作是很慎重的，但由于我们水平不高、经验不足，错误和不安之处在所难免，欢迎读者批评、指正。

编者

目 录

第一章 机械运动的运动学量	1
§ 1.1 空间和时间	1
§ 1.2 位矢 速度和加速度	3
§ 1.3 位置函数与速度函数 运动的叠加原理	11
§ 1.4 自然坐标系中的切向和法向加速度 圆周运动	14
§ 1.5 圆运动中的角速度和角加速度	17
§ 1.6 刚体定轴转动的运动学量	20
§ 1.7 简谐振动的运动学量	22
§ 1.8 相对运动 伽利略变换	27
选读材料 宇宙学简介	30
习题一	32
第二章 质点的运动规律	35
§ 2.1 牛顿第一定律 惯性系	35
§ 2.2 惯性质量 动量	36
§ 2.3 牛顿第二和第三运动定律	41
§ 2.4 力的分析 基本力	43
§ 2.5 惯性力 表观重量	51
§ 2.6 相对性原理 洛伦兹变换	54
§ 2.7 质点的角动量及其守恒	59
选读材料 引力坍缩与黑洞	64
习题二	66
第三章 机械能	70
§ 3.1 引论	70
§ 3.2 功 动能定理	71
§ 3.3 保守力的功 势能	78
§ 3.4 能量守恒	83
§ 3.5 流体运动	87
§ 3.6 碰撞	89
§ 3.7 相对论中的能量	94

选读材料 引力红移	97
习题三	99
第四章 刚体动力学	103
§ 4.1 质心运动定理	103
§ 4.2 刚体对转轴的角动量	107
§ 4.3 刚体绕定轴的转动定理	110
§ 4.4 转动动能	114
§ 4.5 刚体的角动量守恒定律	118
§ 4.6 进动	121
选读材料 地轴的进动 岁差	123
习题四	125
第五章 气体动理论	129
§ 5.1 统计初步	129
§ 5.2 平衡态 物态方程	134
§ 5.3 温度的微观解释	141
§ 5.4 能均分原理 理想气体的内能	145
§ 5.5 气体分子速率分布	148
§ 5.6 重力场中微粒按高度的分布	156
§ 5.7 气体内的输运过程	158
习题五	166
第六章 热力学	169
§ 6.1 热力学第一定律	169
§ 6.2 气体的摩尔热容	172
§ 6.3 热力学第一定律对理想气体的应用	176
§ 6.4 卡诺热机	180
§ 6.5 热力学第二定律	184
§ 6.6 熵	186
选读材料 能源和环境	188
习题六	191
第七章 静电学	194
§ 7.1 电荷	194
§ 7.2 库仑定律	196
§ 7.3 电场 电场线	199

§ 7.4	高斯定律	203
§ 7.5	电势	207
§ 7.6	导体上的电荷分布	214
§ 7.7	电容器	218
§ 7.8	电介质	221
§ 7.9	电场能量	223
	选读材料 静电学与静电印刷术	225
	习题七	229
第八章	电流和磁场	232
§ 8.1	电流	232
§ 8.2	欧姆定律的微分形式	234
§ 8.3	电动势 直流电路	238
§ 8.4	磁力及磁力的推导	245
§ 8.5	电流的磁场	249
§ 8.6	安培环路定律和磁场的高斯定律	252
§ 8.7	B 和 E 的相对论性关系	255
§ 8.8	毕奥-萨伐尔定律	258
	选读材料 物质的磁性	262
	习题八	264
第九章	磁场对电流的作用	267
§ 9.1	磁场对载流导线的作用力	267
§ 9.2	电流回路在磁场中所受的转矩	270
§ 9.3	电流间的相互作用力	273
§ 9.4	带电粒子在磁场中的运动	275
§ 9.5	霍耳效应	283
	选读材料 传感器	285
	习题九	287
第十章	电磁感应和电磁场	291
§ 10.1	动生电动势	291
§ 10.2	楞次定律	293
§ 10.3	法拉第电磁感应定律的应用	294
§ 10.4	电子感应加速器	297
§ 10.5	电感	299

§ 10.6	磁场能量	302
§ 10.7	位移电流	304
§ 10.8	麦克斯韦方程组	307
	选读材料 系留卫星	308
	习题十	309
第十一章 振动		313
§ 11.1	简谐振动的动力学方程和能量	313
§ 11.2	摆	317
§ 11.3	微振动	320
§ 11.4	简谐振动的叠加	322
*§ 11.5	振动的频谱	328
§ 11.6	阻尼振动 品质因素	329
§ 11.7	位移共振 能量共振	333
	选读材料 电子自旋共振和核磁共振	337
	习题十一	339
第十二章 波动		343
§ 12.1	脉冲波 简谐波	343
§ 12.2	空间波 惠更斯原理	345
§ 12.3	平面简谐波函数和波方程	347
§ 12.4	平均能量密度 波强度	353
§ 12.5	波的叠加	357
§ 12.6	电磁波	362
§ 12.7	多普勒效应	367
	选读材料 引力波及其检测	363
	习题十二	370
第十三章 光的电磁性质		373
§ 13.1	光的辐射机制	373
§ 13.2	玻印廷矢量与光强	374
§ 13.3	应用电磁波理论推导光的反射和折射定律	376
§ 13.4	反射光和折射光的振幅和相位	381
§ 13.5	光的偏振态	385
§ 13.6	偏振器件	388
§ 13.7	电光效应	394

§ 13.8 旋光 生物物质的旋光性	395
选读材料 液晶的选择反射	398
习题十三	400
第十四章 光的干涉和衍射	403
§ 14.1 相干叠加的条件 杨氏实验	403
§ 14.2 薄膜干涉	413
§ 14.3 等厚干涉及其应用	419
§ 14.4 迈克耳逊干涉仪	425
§ 14.5 偏振光的干涉	427
§ 14.6 夫琅和费单缝衍射和圆孔衍射	429
§ 14.7 衍射光栅	435
选读材料 全息术中的干涉和衍射	440
习题十四	443
第十五章 量子物理	446
§ 15.1 振子能量量子化	446
§ 15.2 辐射场的量子化 光子	452
§ 15.3 原子的量子态	459
§ 15.4 粒子的波动性	470
§ 15.5 不确定关系	475
§ 15.6 氢原子问题的量子力学处理	479
§ 15.7 原子的壳层结构	485
§ 15.8 激光	488
§ 15.9 原子核的能级	492
§ 15.10 基本粒子概述	497
选读材料 扫描隧道显微镜	498
习题十五	500

第一章 机械运动的运动学量

机械运动包括平动、转动和振动三种运动形式。任何物体运动都是在空间和时间中进行的。本章将研究物体空间位置随时间的变化关系。

§ 1.1 空间和时间

在地球上人们可以通过望远镜看到辽阔的太空，还可以通过显微镜洞察细胞和分子的极微小世界。这些所能观察和研究的事物的尺度的确令人惊奇。粗略估计，宇宙的大小与地球之比相当于地球的大小与原子之比。因此，人类正好处在这样一种中间地位：既能看到包含有无数星球和星系的广漠宇宙，又能洞察极微小的原子和分子领域。

人们已经超出所处环境的局限，而深入到了宇宙的极为广大和非常微小的部分。并且，至少已经揭示了一些支配原子的微观世界(或者小尺度)以及包括常见客体、地球、行星和恒星的宏观领域(或大尺度)的自然法则。然而，人们在认识周围环境方面的进步都是通过观察测量与逻辑推理的结合而取得的。为了描述所观察的情况和记录测量的结果，必须统一所使用的测量单位。力学单位是以长度、时间和质量三个物理量为基本量。在国际单位制(简称SI)中，长度的单位是米(m)，质量的单位是千克(kg)，时间的单位是秒(s)。

长度的原始标准是把法国塞夫亥(Sevres)的国际度量衡局中的一根铂-铱合金棒上的两道刻线之间的距离规定为米，这根棒的复制品遍布世界各国的标准实验室。但这种标准在使用上有一定

的困难。因此,1960年第11届国际计量大会规定氪的一种同位素 ^{86}Kr 原子的 $2P_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁所辐射的橙色光在真空中的波长的1650763.73倍为1米。因为 ^{86}Kr 原子都完全相同,所以必要时可在任何一个实验室里制定长度标准。而且这些“氪标准”是完全相同的。在长度测量上采用原子标准,不仅能避免依赖米原器(金属棒)的麻烦,而且现在可使长度测量精确到亿分之一,几乎比以前的方法好上百倍。

1983年10月20日,在法国巴黎举行的第17届国际计量会议上正式通过了米的新定义:“米是光在真空中,在 $1/299,792,458$ 秒内所经过的距离”,这是第三次更改米的定义。

我们在宇宙中遇到的长度和距离大小的范围是非常悬殊的。值得注意的是宇宙的尺度大约是原子核的 10^{40} 倍。

时间的标准原采用1960年回归年(地球连续两次通过春分点所需要的时间)的 $1/3,556,925.9747$ 为1秒。1967年国际计量会议确定以 ^{133}Cs 原子振动为国际时间标准,从而以“铯原子秒”代替“天文秒”。现在秒的定义是 ^{133}Cs 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 $9,129,631,770$ 个周期的持续时间。

质量的标准是把巴黎国际度量衡局保存的“千克原器”(铂铱合金圆柱)称为1千克。

在原子尺度上的测量,要用到原子质量标准,这就是统一的原子质量单位(简称原子质量单位)。它是用蕴藏量最丰富的碳元素的原子质量的 $\frac{1}{12}$ 来精确定义的。在讨论原子核现象时,我们将要用到这种单位。

在宇宙中,我们已发现的客体的质量大小的范围,甚至比长度和时间的尺度范围还要大得多。最轻的客体是电子(指有静止质量的客体),它的质量是 9.1×10^{-31} 千克,而估计出来的整个宇宙的质量大约是 10^{50} 千克——两者相差80个量级。

力学中其它量诸如速度和动量等的单位,都是由长度、时间和

质量三个基本单位导出的。它们的单位称为导出单位。

导出单位对基本单位的依赖关系式称为该导出量的量纲式。如以 L 、 M 、 T 分别表示长度、质量、和时间三个基本量，则导出量可以用 L 、 M 、 T 幕次的组合表示出来，即任一物理量 A 的量纲式为

$$[A] = L^\alpha M^\beta T^\gamma,$$

其中 α 、 β 、 γ 称为量纲指数。

只有量纲相同的量，才能彼此相等、相加或相减。因此，通常可以运用量纲来检验公式的正确与否。量纲概念在物理学中是很重要的。

在实际工作中，根据物理量的大小，常用基本单位或导出单位的倍数或分数作为单位。表 1.1 列出了 SI 单位制中的字冠，这些字冠可以适用于任意的 SI 单位。例如 10^{-3} 秒就是一毫秒(ms)，而 10^6 瓦就是 1 兆瓦(MW)

表 1.1

费(f) 10^{-15}	分(d) 10^{-1}
皮(p) 10^{-12}	百(h) 10^2
纳(n) 10^{-9}	千(k) 10^3
微(μ) 10^{-6}	兆(M) 10^6
毫(m) 10^{-3}	吉(G) 10^9
厘(c) 10^{-2}	太(T) 10^{12}

§ 1.2 位矢 速度和加速度

描述质点作机械运动的运动状态参量，在平动中有位置矢量和速度；在转动中，有角位移和角速度；在振动中，有相位等。本节先讨论物体的平动。

研究平动，可将物体抽象为质点模型。任何物体都有一定的大小和形状。物体的运动情况一般来说也是比较复杂的，其内部

各点的运动状况各不相同。但是，如果所研究的问题不涉及物体转动或物体各部分的相对运动，就可以把物体视为质点。例如，我们在研究地球绕太阳公转时，因为地球到太阳的距离约为地球直径的一万多倍，可以忽略它的大小和自转，而把地球看作为一个质点。在某些天文学问题中，常把太阳系或甚至整个星系都看作质点。要注意，质点仅仅是从实际中抽象出来的力学研究对象，它是具有质量而无形状和大小的一个点。质点是一个理想模型。

在讨论物体的内部运动或内部结构时，就不能再把它当作质点来处理了。然而，在这种情况下，研究质点运动的规律仍然是有用的。因为任何复杂的物体都可以看成是一个质点系。甚至如原子核，其直径只有 10^{-16} 米左右，在研究它的内部结构时，就可以知道它也是一个相当复杂的质点系。

物体的运动是绝对的，描述运动的情况却是相对的。一个质点在空间的位置及位置的变化，总是相对于其它物体而言的。这个其它物体(或物体系)常称为参照系。对于同一物体的运动，选择不同的参照系，描述运动的结论是不同的。在具体问题中，应该选择怎样的参照系，要由分析和解决问题的方便而定。

为了定量地确定物体相对于一定参照系的空间位置，还需要在参照系上固定一种坐标系，一般采用的是直角坐标系。有时，根据需要也可选用自然坐标系、球坐标系等。

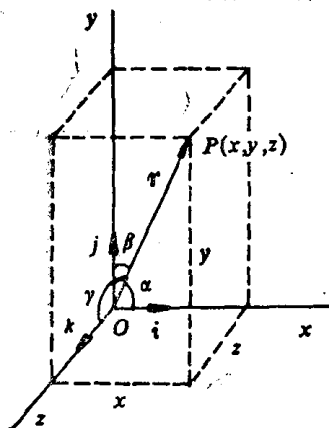


图 1.2.1

位置矢量

在直角坐标系中，质点的位置可用坐标 x, y, z 来描述，也可以用从坐标系的原点 O 到 P 点的有向线段 r 来确定，如图 1.2.1 所示。这个矢量 r 称为质点在某一时刻 t , P 点的位置矢量，简称位矢。在 SI 中，位矢的

大小的单位为米(m)。位矢 r 与坐标 x, y, z 的关系为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}, \quad (1.2.1)$$

式中 \mathbf{i} 、 \mathbf{j} 、 \mathbf{k} 分别为沿 x 、 y 、 z 轴的单位矢量。

位矢的大小(即 \mathbf{r} 的模)为

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

位矢的方向可由方向余弦确定:

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

式中 α 、 β 、 γ 分别表示 \mathbf{r} 与 x 、 y 、 z 轴正向之间的夹角, 它们满足

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

故三个方向余弦中只有两个是独立的。

运动方程

质点相对于参照系的运动, 可用位矢随时间的变化来描述。位矢 \mathbf{r} 随时间 t 变化的函数关系

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.2.2)$$

称为质点的运动方程。而位置坐标 x 、 y 、 z 随时间变化的函数关系:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.2.3)$$

为质点运动方程的分量形式。

质点相对选定的参照系运动时, 在空间所经过的路径称为轨迹(或轨道)。质点运动的轨迹方程, 只要消去 (1.2.3) 式中的时间 t 就可得到。例如, 若质点的运动方程为

$$x = R \cos \omega t, \quad y = R \sin \omega t, \quad z = 0,$$

式中 R 、 ω 为两个常数, t 以秒计, x 、 y 、 z 以米计, 从 x 、 y 两式中消去 t 得

$$x^2 + y^2 = R^2,$$

这说明质点在 xy 平面内, 作以原点为中心、 R 为半径的圆周运动。

位移矢量

设质点沿图 1.2.2 所示的曲线 O 运动。在时刻 t_1 到 $t_2 (= t_1 + \Delta t)$ 内, 质点的位置由 P_1 点移到 P_2 点, 其位矢由 \mathbf{r}_1 变为 \mathbf{r}_2 , 则

矢量 $P_1P_2 = \Delta r$ 就表示在时间间隔 Δt 内质点位矢的改变量,称为质点的位移矢量,简称位移。由矢量加法得

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad (1.2.4)$$

在直角坐标系中,位移可表示为

$$\Delta r = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \quad (1.2.5)$$

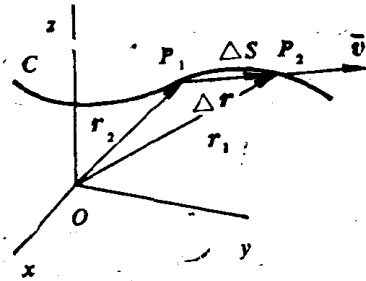


图 1.2.2

要注意的是,质点所经过的路程(弧线) Δs 与它的位移 Δr 并不相同。路程 Δs 是一个正的标量,而位移 Δr 是矢量。一般情况下,位移的大小也并不等于路程 Δs ,只有质点作单方向直线运动,或 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,它们才相等,即

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta r| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s \quad \text{或} \quad d\mathbf{r} = ds \quad (1.2.6)$$

在 SI 中,位移的大小和路程的单位为米(m)。

速度矢量

速度矢量是描述质点位置矢量改变的快慢程度的物理量。

质点的位移 Δr 与时间间隔 Δt 的比值,

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.2.7)$$

称为质点在 Δt 内的平均速度。平均速度是矢量,其大小等于 $|\Delta r|$ 与 Δt 的比值,方向与位移矢量 Δr 相同(图 1.2.2)。

如图 1.2.3 所示,平均速度与所取 Δt 的大小有关。但当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度趋近于一个确定的数值和方向。该极限值定义为质点在

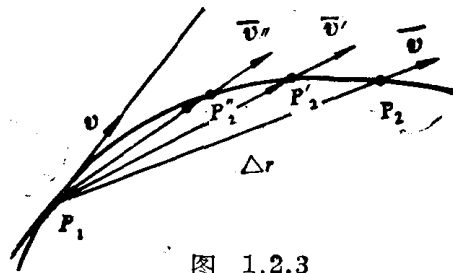


图 1.2.3

t 时刻的瞬时速度矢量,简称速度

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.2.8)$$

因此，瞬时速度矢量就是位矢对时间的一阶导数。它的方向就是沿着运动轨迹上质点所在处的切线方向。在直角坐标系中，可分解为 v_x, v_y, v_z ，即

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k}, \quad (1.2.9)$$

式中

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}, \quad (1.2.10)$$

速度的大小

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

方向也可以用方向余弦确定。

一种特殊情况是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $\Delta \mathbf{r} \rightarrow \Delta s \boldsymbol{\tau}$ ，其中 $\boldsymbol{\tau}$ 是切线方向的单位矢量，因此

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \boldsymbol{\tau} = \frac{ds}{dt} \boldsymbol{\tau} = v \boldsymbol{\tau}. \quad (1.2.11)$$

式中

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (1.2.12)$$

是瞬时速度的大小，称它为速率。速率是质点所经过的路程随时间的变化率。在 SI 中，速度的大小和速率的单位是米/秒 (m/s)。

加速度

一般的曲线运动中，速度的大小和方向都会改变。如图 1.2.4 所示，在时刻 t 和 $t + \Delta t$ 质点在 P_1 和 P_2 处的速度为 \mathbf{v}_1 和 \mathbf{v}_2 。则 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$ 是 Δt 时间内质点的速度增量。速度增量 $\Delta \mathbf{v}$ 与时间间隔 Δt 之比值，称为质点在 $t \rightarrow t + \Delta t$ 时间间隔

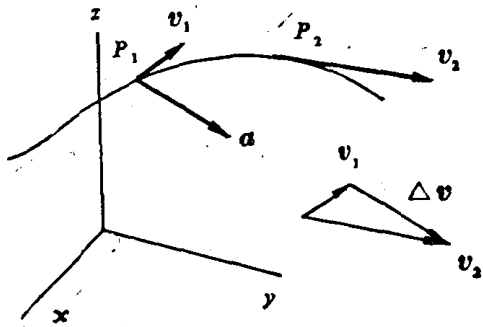


图 1.2.4