

基础物理学教程

(上册)

主 编：白少民 任新成

副主编：苏芳珍 薛琳娜 李卫东



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

基础物理学教程

(上册)

主 编：白少民 任新成

副主编：苏芳珍 薛琳娜 李卫东

西安交通大学出版社

内容提要

本教材上下册共五篇,分为十三章.上册两篇,包括第一篇力学部分的质点力学、力学中的守恒定律、刚体和流体;第二篇电磁学部分的静电场、稳恒磁场、电磁感应和电磁场.下册三篇,包括第三篇热物理学的热力学基础、气体动理论;第四篇振动与波部分的振动学基础、波动学基础、波动光学;第五篇近代物理学基础部分的相对论基础、量子力学基础.

本教程可作为理、工科非物理专业大学物理学课程的教材,也可供成人教育及其他专业基础物理课程选用.

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学教程.上册/白少民等主编.—西安:西安交通大学出版社, 2010.2

ISBN 978-7-5605-3438-1

I. ①基… II. ①白… 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(2010)第 019606 号

书 名 基础物理学教程(上册)
主 编 白少民 任新成
责任编辑 李慧娜

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西元盛印务有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 16.5 字数 302 千字
版次印次 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3438-1/O·312
定 价 28.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdly@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前言

随着科学技术的飞速发展,对人才的培养也提出了更高、更新的要求.为了满足这一要求,基础物理的教学内容和课程体系就要不断改进.本教材就是为此目的,在教学实践和教改研究的基础上编写的.

本教材在内容上,注意“保证基础,加强近代,联系实际,涉及前沿”的选材原则.具体考虑如下几点:

1. 考虑到教材既要反映物理学的新进展,使教学内容现代化,又能适应课程授课学时不断减少的趋势,教材从形式上减少了力学和电磁学等部分的章节(这两部分各压缩为三章);在内容上尽量避免与中学物理的不必要重复.本书力求以简明、准确的语言阐述物理学中的基本概念、原理、定律、定理和定义等.

2. 教材内容采取以“渗透式”与“透彻式”相结合的方式介绍,不同内容采取不同的形式.除基本内容外,教材中安排了标“*”号的内容,可根据课时和专业及学生对象的情况在教学中进行取舍,不影响后继内容的学习.还有一些关于学科发展的前沿进展、新技术和应用等,教材以阅读材料形式编入供学生阅读,以使学生涉猎前沿、了解学科的发展及新技术的应用等.

3. 《基础物理学教程》与中学物理的不同主要在于数学处理方法的的不同及适用范围的扩展.而数学处理方法是该课程一开始的难点.本教材把数学处理方法的过渡作为突破口(如微积分的应用、矢量运算等),使学生尽快适应该课程的处理方法,为学好该门课程扫除障碍.

4. 教材力求体现对学生高素质和综合能力的培养,注意物理思想及处理物理问题方法的介绍,克服教材就是知识堆砌的现象.在教材中适量加入物理学史的介绍和物理学家简介,以培养学生创造发明意识及对待科学的严谨态度和实事求是的作风.

5. 纵观物理学的内容,它可分为两大部分:一是牛顿力学、麦克斯韦电磁学及热力学为基础构成的经典物理学;另一是以相对论及量子物理为基础而构成的近代物理学.近代物理学是更为普遍的理论,它可以把经典物理作为一种近似包含在其中.但是对宏观领域内的绝大多数研究现象来说,经典物理不仅适用,所得的结论的正确程度与近代物理处理并无差异,而且方法更为简捷方便,并还在不断地取得新的进展和应用.为此考虑,本教材将相对论和量子物理等作为近代物理部分仍

安排在最后介绍.

6. 在习题和思考题的选编上,以“题量不多、难点不大和兼顾应用”为前提,以加强学生基础知识的训练.

7. 全书采用 SI 单位制.

8. 本教材上下册共五篇,分为十三章.上册两篇,包括第一篇力学部分的质点力学、力学中的守恒定律、刚体和流体;第二篇电磁学部分的静电场、稳恒磁场、电磁感应和电磁场.下册三篇,包括第三篇热物理学的热力学基础、气体动理论;第四篇振动与波部分的振动学基础、波动学基础、波动光学;第五篇近代物理学基础部分的相对论基础、量子力学基础.

本教程可作为理、工科非物理专业大学物理学课程的教材,也可供成人教育及其他专业基础物理课程选用.

本教材第 1—3 章由苏芳珍编写,第 4 章、第 9—10 章由任新成编写,第 5—6 章、第 12—13 章由白少民编写,第 7—8 章由李卫东编写,第 11 章由薛琳娜编写,全书由白少民统稿.

在本教材的编写和出版过程中,受到西安交通大学出版社的大力支持和帮助,西北大学董庆彦、胡晓云、贺庆丽教授,陕西师范大学范中和、王较过教授等对教材的编写提出了许多宝贵的建议和意见,在此一并致谢.

由于作者水平所限,本书的不当和错误之处在所难免,恳请专家及读者不吝指正.

作 者

2010 年 1 月

目 录

第一篇 力学

第 1 章 质点力学	(2)
§ 1.1 描述质点运动的物理量	(2)
一、质点 参考系	(2)
二、位置矢量和位移	(3)
三、速度	(4)
四、加速度	(5)
五、圆周运动的角量描述	(5)
§ 1.2 描述质点的坐标系	(7)
一、直角坐标系	(7)
二、平面极坐标系	(8)
三、自然坐标系	(9)
四、角量与线量的关系	(10)
§ 1.3 质点运动学的两类基本问题	(12)
一、直线运动实例	(13)
二、平面曲线运动实例	(14)
§ 1.4 牛顿定律及其应用	(15)
一、牛顿运动定律	(15)
二、常见力与基本力	(18)
三、牛顿定律的应用	(22)
四、力学单位制与量纲	(24)
五、惯性系与非惯性系	(26)
§ 1.5 伽利略变换	(29)
章后结束语	(30)
一、本章内容小结	(30)
二、应用及前沿发展	(32)
习题与思考	(32)

第 2 章 力学中的守恒定律	(37)
§ 2.1 功和能 机械能守恒定律	(37)
一、功及功率	(37)
二、动能和动能定理	(40)
三、保守力 势能	(43)
四、功能原理 机械能守恒定律	(46)
§ 2.2 动量 动量守恒定律	(49)
一、冲量 动量及动量定理	(49)
二、质点系动量定理和质心运动定理	(53)
三、动量守恒定律	(55)
四、碰撞	(57)
§ 2.3 角动量守恒定律	(60)
一、质点的角动量守恒定律	(60)
二、质点系的角动量守恒定律	(62)
章后结束语	(64)
一、本章内容小结	(64)
二、应用及前沿发展	(66)
习题与思考	(66)
阅读材料 A:守恒定律与对称性	(70)
第 3 章 刚体和流体	(74)
§ 3.1 刚体的运动	(74)
一、刚体的平动和转动	(74)
二、刚体的定轴转动	(75)
§ 3.2 刚体动力学	(78)
一、刚体的转动动能	(78)
二、刚体的转动惯量	(78)
三、刚体的重力势能	(80)
四、力矩与转动定律	(80)
五、力矩的功与动能定理	(81)
§ 3.3 定轴转动刚体的角动量守恒	(85)
一、角动量(动量矩)	(85)
二、动量矩定理	(86)
三、动量矩守恒定律	(86)
§ 3.4 刚体的自由度	(89)

* § 3.5 刚体的进动和平面平行运动	(90)
一、刚体的进动	(90)
二、刚体的平面平行运动	(91)
§ 3.6 流体的基本概念	(93)
一、理想流体	(94)
二、实际流体	(95)
§ 3.7 理想流体的流动	(97)
一、连续性方程	(97)
二、伯努利方程	(98)
三、伯努利方程的应用	(100)
* § 3.8 实际流体的流动	(101)
一、泊肃叶公式	(101)
二、斯托克斯定律	(102)
* § 3.9 液体的表面现象	(103)
一、表面张力	(103)
二、弯曲液面下的附加压强	(105)
三、毛细现象	(107)
章后结束语	(109)
一、本章小结	(109)
二、应用及前沿发展	(110)
习题与思考	(111)
阅读材料 B: 混沌简介	(115)

第二篇 电 磁 学

第 4 章 静电场	(123)
§ 4.1 物质的电结构	(123)
§ 4.2 库仑定律	(124)
§ 4.3 电场和电场强度	(125)
一、静电场	(125)
二、电场强度	(126)
三、叠加原理和电场强度的计算	(126)
§ 4.4 高斯定理	(130)
一、电力线(电场线)	(130)
二、电通量	(130)

三、高斯定理	(131)
四、高斯定理应用	(133)
§ 4.5 静电场的功 电势	(136)
一、静电场力的功 静电场的环路定理	(136)
二、电势能和电势	(137)
三、电势的计算	(139)
§ 4.6 静电场中的导体	(141)
一、导体的静电平衡	(141)
二、导体表面的电荷和电场	(142)
三、静电屏蔽	(143)
§ 4.7 电容 电容器	(144)
一、孤立导体的电容	(144)
二、电容器及其电容	(144)
三、几种常见的电容器及其电容	(145)
四、电容器的联接	(146)
§ 4.8 稳恒电流	(147)
一、稳恒电流和稳恒电场	(147)
二、欧姆定律及其微分形式	(149)
三、电动势及其非静电力	(149)
* 四、基尔霍夫定律	(150)
§ 4.9 电介质及其极化	(152)
一、电介质的电结构	(152)
二、电介质的极化	(152)
三、电极化强度矢量	(153)
§ 4.10 电位移矢量 有介质时的高斯定理	(153)
一、极化强度与束缚电荷的关系	(153)
二、电介质中的高斯定理 电位移矢量 D	(154)
§ 4.11 电场的能量	(156)
章后结束语	(159)
一、本章小结	(159)
二、应用及前沿发展	(161)
习题与思考	(161)
阅读材料 C: 电子的发现和电子电荷量的测定	(167)
阅读材料 D: 物理学中的类比法	(169)

阅读材料 E: 铁电体 压电体 永电体	(170)
第 5 章 稳恒磁场	(173)
§ 5.1 磁场 磁感应强度	(173)
一、磁场	(173)
二、磁感应强度	(174)
§ 5.2 毕奥—萨伐尔定律及其应用	(175)
一、毕奥—萨伐尔定律	(175)
二、毕奥—萨伐尔定律的应用举例	(176)
§ 5.3 运动电荷的磁场	(178)
§ 5.4 磁场的高斯定理和安培环路定理	(179)
一、磁场的高斯定理	(179)
二、安培环路定理	(180)
三、安培环路定理的应用	(181)
§ 5.5 磁场对载流导线的作用	(183)
一、安培定律	(183)
二、两平行长直电流之间的相互作用	(184)
三、磁场对载流线圈的作用	(185)
§ 5.6 洛伦兹力	(187)
一、洛伦兹力	(187)
二、带电粒子在磁场中的运动	(188)
三、霍尔效应	(189)
§ 5.7 磁力的功	(192)
一、载流导线在磁场中运动所做的功	(192)
二、载流线圈在磁场内转动时磁力所做的功	(192)
§ 5.8 物质的磁性	(193)
一、磁介质的磁化及其磁化强度	(193)
二、磁场强度 有介质时的安培环路定理	(195)
* 三、抗磁性	(196)
四、铁磁质	(197)
章后结束语	(200)
一、本章小结	(200)
二、应用及前沿发展	(201)
习题与思考	(202)
科学家简介——法拉第	(208)

阅读材料 F:生物磁学	(210)
第 6 章 电磁感应 电磁场	(213)
§ 6.1 电磁感应定律	(213)
一、电磁感应现象	(213)
二、法拉第电磁感应定律	(213)
§ 6.2 动生电动势	(214)
一、动生电动势	(214)
二、动生电动势的电子论解释	(215)
§ 6.3 感生电动势和感生电场	(217)
一、感生电动势及感生电场	(217)
* 二、电子感应加速器	(219)
§ 6.4 自感和互感	(220)
一、自感现象	(220)
二、互感现象	(221)
§ 6.5 磁场的能量	(223)
§ 6.6 电磁场理论的基本概念	(225)
一、位移电流	(225)
二、安培环路定理的推广	(227)
三、麦克斯韦方程组	(227)
* § 6.7 电感和电容电路的一阶暂态过程	(229)
一、RL 电路的暂态过程	(229)
二、RC 电路的暂态过程	(231)
章后结束语	(232)
一、本章小结	(232)
二、应用及前沿发展	(233)
习题与思考	(233)
科学家简介——麦克斯韦	(238)
阅读材料 G:传感器	(240)
习题答案	(244)
附表	(251)
参考文献	(254)

第一篇 力 学

力学是研究物体机械运动规律的科学. 一个物体相对于另一个物体的位置随时间发生变化, 或者一个物体内部各部分之间的相对位置随时间发生变化, 都属于机械运动. 机械运动是物质最简单、最基本的运动形式. 几乎在物质运动的所有形式中都包含机械运动.

本书力学部分包括质点力学、力学中的守恒定律、刚体和流体三章.

第 1 章 质点力学

一个有形状和大小的物体的运动是复杂的,一般可分为平动、转动和振动.本章只研究质点的平动问题.对于质点的平动问题的讨论又分为两个方面:单纯描述质点在空间的运动情况称为质点运动学;而讨论运动产生的原因,如控制运动的方法,即说明运动的因果关系称为质点动力学.

§ 1.1 描述质点运动的物理量

一、质点 参照系

质点 任何物体都是具有大小和形状的.但是在某些情况下,物体的形状大小对于讨论它的运动无关紧要,例如,当研究地球绕太阳转动时,由于地球直径(约为 1.28×10^7 m)比地球与太阳的距离(约为 1.50×10^{11} m)小得多,地球上各点的运动相对于太阳来讲可视为相同,此时可以忽略地球的形状和大小;但当研究地球绕自身轴转动时则不能忽略.所以说,只要物体运动的路径比物体本身尺寸大得多的时候,就可以近似地把此物体看成只有质量而没有大小和形状的几何点,此抽象化的点就叫**质点**.由地球的例子可以看出:把物体当作质点是有条件的(即地球与太阳的平均距离比地球直径大得多)、相对的(地球自转不能当作质点).

参考系 宇宙万物,大至日、月、星、辰,小至原子内部的粒子都在不停地运动着.自然界一切物质没有绝对静止的.这就是运动的绝对性.但是对运动的描述却是相对的.例如:坐在运动着的火车上的乘客看同车厢的乘客是“静止”的,看车外地面上的人却向后运动;反过来,在车外路面上的人看见车内乘客随车前进,而路边一同站着的人却静止不动.这是因为车内乘客是以“车厢”为标准进行观察的,而路面上的人是以地球为标准观察的,即当选取不同的标准物对同一运动进行描述时,所得结论不同.因此,我们就把相对于不同的标准物所描述物体运动情况不同的现象叫运动的相对性.而被选为描述物体运动的标准物(或物体组)叫**参考系**.参考系的选取以分析问题方便为前提.如描述星际火箭的运动,开始发射时,可选地球为参考系;当它进入绕太阳运行的轨道时,则应以太阳为参考系才便于描述.在地球上运动的物体,常以地球或地面上静止的物体为参考系.

在参考系选定后,为了定量地描述物体的位置随时间的变化,还必须在参考系

上选取一个坐标系. 坐标系的选取多种多样, 如直角坐标系、极坐标系、自然坐标系、球坐标系、柱坐标系. 在大学物理学中常用前三种坐标系.

二、位置矢量和位移

位置矢量 位置矢量是定量描述质点某一时刻所在空间位置的物理量. 如图 1.1 所示, 设质点在某一时刻位于 P 点, 从坐标系的原点 O 引向 P 点的有向线段 OP 称为该时刻质点的位置矢量, 简称位矢, 以 \boldsymbol{r} 表示. 它在 X, Y, Z 轴上的投影 (或位置坐标) 分别为 x, y, z . 于是, 位矢 \boldsymbol{r} 的表达式为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.1)$$

式中, $\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ 分别为 X, Y, Z 轴上的单位矢量 (大小为 1, 方向沿各轴正向的矢量). 显然, 位置矢量的大小

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

其方向由它的三个方向余弦 $\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$ 来确定. 位矢的单位为米 (m).

运动学方程 质点在运动过程中, 每一时刻均有一对应的位置矢量 (或一组对应的位置坐标 x, y, z). 换言之, 质点的位矢是时间的函数, 即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \quad (1.2a)$$

其投影式为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.2b)$$

这样, 就有

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \quad (1.2c)$$

按机械运动的定义, 函数式 (1.2a) 描述了这个运动的过程, 故称为质点的 **运动学方程**. 知道了运动学方程, 就能确定任一时刻质点的位置, 进而确定质点的运动. 运动学的主要任务在于, 根据问题的具体条件, 建立并求解质点的运动学方程.

由式 (1.2b) 中消去参变量 t , 则得质点运动的轨迹方程. 如果质点限制在平面内, 则可在该平面上建立 xoy 坐标系, 于是式 (1.2b) 中的 $z(t) = 0$, 从中消去时间 t , 得

$$y = y(x) \quad (1.3)$$

此即质点在 xy 平面内运动的轨迹方程.

位移 位移是表示质点位置变化的物理量. 如图 1.2 所示, 设 t_1 时刻质点经过 P_1 处, 位矢为 \boldsymbol{r}_1 ; t_2 时

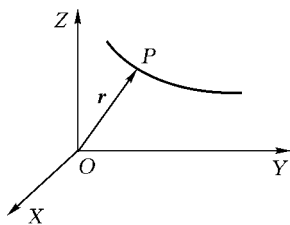


图 1.1 质点的位矢

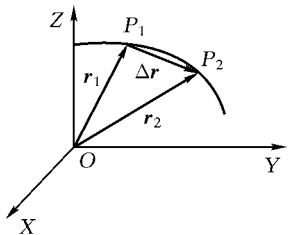


图 1.2 质点的位移

刻质点经过 P_2 处, 位矢为 r_2 . 在时间 $\Delta t = t_2 - t_1$ 内, 质点位置的变化可用它的位移 Δr 表示. 由图 1.2 知

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad (1.4)$$

位移是矢量, 其大小为有向线段 $\overrightarrow{P_1P_2}$ 的长度, 方向由始点 P_1 指向末点 P_2 . 必须指出, 位移和路程不同. 位移是矢量, 是质点在一段时间内的位置变化, 而不是质点所经历的实际路径; 路程为标量, 是指该段时间内质点所经历的实际路径的长度, 以 Δs 表示 (如图 1.2 中的弧长 $\widehat{P_1P_2}$ 所示). 位移 Δr 和路程 Δs 除了矢量、标量不同外, 而且总有 $\Delta s \geq |\Delta r|$. 只有质点在作单向直线运动时才有 $\Delta s = |\Delta r|$. 但是在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, $|\mathrm{d}r| = \mathrm{d}s$. 其次, 还要注意 $|\Delta r|$ 与 Δr 的区别, 一般以 Δr 代表 $|r_2| - |r_1|$, 因此总有 $|\Delta r| \geq \Delta r$, 只有在 r_1 与 r_2 方向相同的情况下 $|\Delta r|$ 与 Δr 才相等.

三、速度

速度是表示质点位置变化快慢的物理量. 将质点的位移 Δr 与完成该位移 Δr 所需的时间 Δt 的比值 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 称为质点在该段时间内的平均速度, 用 \bar{v} 表示, 即

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1.5)$$

平均速度是矢量, 其方向与 Δr 的方向相同, 如图 1.3 所示.

质点所经历的路程 Δs 与完成这段路程所需时间 Δt 之比 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 称为质点在该段时间内的平均速率, 以 \bar{v} 表示

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.6)$$

平均速率为标量. 在一般的情况下, 平均速度的大小并不等于平均速率.

平均速度只能反映一段时间内质点位置的平均变化情况, 而不能反映质点在某一时刻 (或某一位置) 的瞬时变化情况. 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限值才能精确地反映质点在某一时刻 (或某一位置) 的运动快慢及方向. 这一极限值称为质点在该时刻的瞬时速度, 或简称速度, 以 v 表示, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} \quad (1.7)$$

速度是矢量, 其方向与 Δr 的极限方向一致, 即为运动轨迹上该点的切线方

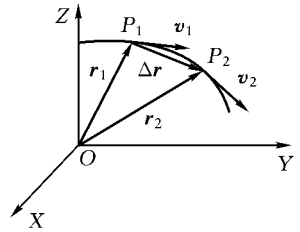


图 1.3 质点的速度

向,并指向运动方向一侧.从式(1.7)可以看出,速度是位置矢量对时间的一阶导数.速度的单位是米·秒⁻¹($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

反映质点运动瞬时快慢的物理量称为**瞬时速**率(简称速率),它是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速率的极限值,即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.8)$$

由于 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $|dr| = ds$,故质点在某一时刻的速度大小与该时刻的瞬时速

四、加速度

加速度是描述质点速度随时间变化快慢的物理量.如图 1.4(a)所示,在 t_1 时刻,质点位于 P_1 处,速度为 v_1 ; t_2 时刻,质点位于 P_2 处,速度为 v_2 ; 在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间内,质点的速度增量为 $\Delta v = v_2 - v_1$ (见图 1.4(b)). 比值 $\Delta v / \Delta t$ 反映了在时间 Δt 内质点速度的平均变化情况,称为**平均加速度**,以 \bar{a} 表示,即

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

这里 \bar{a} 的方向与 Δv 方向一致.平均加速度只能反映速度在某一时间内的平均变化情况.只有当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,比值 $\Delta v / \Delta t$ 的极限值才能精确地反映出在某一时刻(或某一位置)速度的变化情况.这一极限值称为**瞬时加速度**,或简称**加速度**,以 a 表示,即

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1.9)$$

由式(1.9)可以看出,质点的加速度等于速度对时间的一阶导数,或等于位置矢量对时间的二阶导数.换句话说,我们可以通过对速度或位矢求导来计算加速度.加速度的单位是米·秒⁻²($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).

五、圆周运动的角量描述

轨迹为圆周的运动称为圆周运动.由于作圆周运动的质点必在圆周上,因而其运动可用一组角量来描述.

角坐标 角坐标是描述质点在圆周上位置的物理量.如图 1.5 所示,设 t 时刻质点位于 A 处,则半径 OA 与参考轴 OX 的夹角 θ 即为该时刻质点的**角坐标**,它随时间而变化,即

$$\theta = \theta(t) \quad (1.10)$$

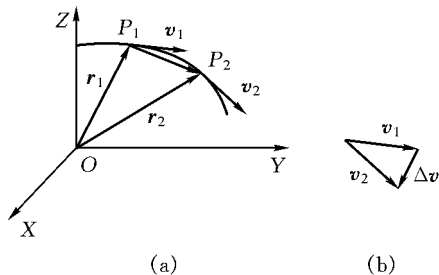


图 1.4 速度的增量

此即质点作圆周运动时的运动学方程. 角坐标的单位为弧度(rad).

角位移 角位移是描述一段时间内角坐标改变的物理量. 如图 1.5 所示, 设 Δt 时间内质点由 A 点到达 B 点, 在此时间内的角位移为 $\Delta\theta$. 理论上可以证明, 当角位移无限小, 即 $\Delta\theta \rightarrow d\theta$ 时, 角位移 $d\theta$ 具有矢量性, 其方向由右手螺旋法则确定: 弯曲的右手, 四指表示质点运动的方向, 则与四指垂直的大拇指所指的方向即为角位移的方向.

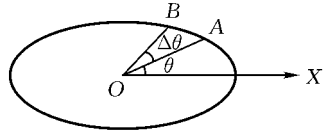


图 1.5 圆周运动

角速度 角速度是表示角坐标移动快慢的物理量, 质点的角位移 $\Delta\theta$ 与完成此角位移所用时间 Δt 的比值 $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 称为质点在 Δt 时间内的平均角速度. 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 比值 $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 的极限 $\frac{d\theta}{dt}$ 称为质点的瞬时角速度. 角速度用 ω 表示, 即

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1.11)$$

其方向与角位移的方向一致.

角加速度 角加速度是表示角速度变化快慢的物理量. 若 Δt 时间内质点的角速度增量为 $\Delta\omega$, 则比值 $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ 称为质点的平均角加速度. 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 比值 $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ 的极限 $\frac{d\omega}{dt}$ 称为瞬时角加速度, 简称角加速度. 角加速度用 β 表示, 即

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.12)$$

其方向与角速度增量的方向相同.

角位移、角速度与角加速度(统称为角量)的单位分别为弧度(rad)、弧度/秒($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)及弧度/秒²($\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$).

例 1.1 已知质点的位矢分量式为

$$x = 2t, \quad y = 6 - 2t^2$$

- (1) 求轨迹方程;
- (2) 求 $t=1$ 到 $t=2$ 之间的位移和平均速度;
- (3) 求 $t=1$ 和 $t=2$ 两时刻的瞬时速度和瞬时加速度.

本题中 x, y 单位是 m, t 的单位是 s, v 的单位为 m/s.

解 (1) 从位矢分量式 $x = 2t$ 和 $y = 6 - 2t^2$ 消去 t , 得轨道方程

$$y = 6 - \frac{x^2}{2}$$

轨迹为抛物线.