



全国高职高专教育“十一五”规划教材

物理学

(第三版)

Physics

李迺伯 主编

李寿松 张世良 郭呈祥 改编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

物 理 学

Wulixue

(第三版)

李通伯 主编

李寿松 张世良 郭呈祥 改编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是在普通高等教育“十五”国家级规划教材《物理学》(第二版)的基础上修改而成的。本书在编写中不追求缜密的理论推导和论证,着重阐明物理学的基本概念和基本规律;重视物理学理论在生产技术中的应用,既有联系工程实际的接口性内容,又有适当渗透近代物理思想观点的窗口性内容;在有关内容中采用了模型法、对比法、综合分析法和近似计算法等,有利于培养学生的科学思维能力;在每章后面都附有专题选读材料和相关科学家的简介,以拓宽学生的视野。全书内容包括运动和力、动量守恒 能量守恒、刚体的定轴转动、热力学基础、静电场、恒定磁场、电磁感应、机械振动、机械波、波动光学和近代物理简介等11章,书末备有附录和习题答案。

本书可作为高职高专院校、成人高校及本科院校开办的独立学院、继续教育学院和民办高校各有关专业的大学物理课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

物理学/李迺伯主编. —3版. —北京:高等教育出版社, 2011.5(2012.2重印)

ISBN 978-7-04-031408-3

I. ①物… II. ①李… 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(2011)第056921号

策划编辑 周先海
版式设计 范晓红

责任编辑 张海雁
责任校对 俞声佳

封面设计 李卫青
责任印制 张福涛

责任绘图 尹 莉

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京市白帆印务有限公司
开 本 787×1092 1/16
印 张 17
字 数 380 000
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 1993年5月第1版
2011年5月第3版
印 次 2012年2月第3次印刷
定 价 29.80元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物 料 号 31408-00

第三版前言

《物理学》一书,自1993年5月出版以来,已过了17个春秋。承蒙广大师生的厚爱,编者深受鼓舞。为适应当前高职高专教育发展的需要,本书对《物理学》(第二版)进行了改编。教材内容的主要变动如下:

1. 删去第二版中“光度学”、“耗散结构”、“波函数及其统计解释”、“薛定谔方程”和“固体的能带”等内容,增加“几何光学简介”、“超导”和“生物与磁”等内容。

2. 第三版在每一章后面都附有专题选读材料,如“混沌”、“守恒定律与对称性”、“全息照相”和“暗物质”等,并附有科学家简介,如牛顿、麦克斯韦、钱学森和杨振宁等。

3. 将第二版中的“狭义相对论”和“量子物理”两章合并为“近代物理简介”一章,其内容有了较大的缩减。

4. 为降低例题和习题的数学计算难度,对部分例题和习题进行了调整。

本书改编工作由李寿松主持,参加改编的有郭呈祥、张世良、李寿松,并由李寿松修改、定稿。

由于编者水平有限,书中一定存在不少错误和不妥之处,敬请使用本书的教师和读者批评指正。

编者

2011年1月

第二版前言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,也是教育部高职高专规划教材。本书在李迺伯主编的《物理学》(简称第一版)的基础上,依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育物理课程教学基本要求》进行了全面的修改。教材的内容的主要变动如下:

1. 根据1999年制定的基本要求,《物理学》(第二版)增加了“相对论”和“量子物理”两章。

2. 删去第一版中“流体的运动”、“气体动理论”、“热量的传递”、“等离子体”和“传感器”等内容。

本书改编工作由李寿松主持。各改编作者分工如下:张世良(第一章、第二章、第五章、第六章、第七章)、郭呈祥(第三章、第四章、第十二章和§10-12)、李寿松(第八章、第九章、第十章、第十一章、附录),并由李寿松修改、定稿,由扬州大学邵耀椿教授主审。

由于编者水平有限,书中一定存在不少错误和不妥之处,敬请使用本书的教师和读者批评指正。

编者

2003年10月

第一版前言

1990年7月,国家教委高等学校工程专科物理课程教材编审组在长春制订了《高等学校工程专科物理学课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)。本书按此《基本要求》编写。它有如下特点:

1. 按《基本要求》精选和组织内容。在“以必须、够用为度”的原则指导下,着重阐述物理学的基本规律,并注意到一定的知识覆盖面。

2. 对重点和难点内容的阐述力求清晰、透彻。编写中不追求缜密的推导和论证,着重讲清物理概念,交代清楚物理结论,帮助学生建立形象的物理图像。

3. 加强理论联系实际,强化应用,是高等工程专科培养目标对教学的要求。本书重视物理学理论在生产技术中的应用。

4. 本书适当地介绍了近代物理学的结论。注意把辩证唯物主义的观点渗透于全书之中。

5. 本书在有关内容中采用了模型法、对比法、综合分析法和近似计算法等。此类方法,有利于学生对物理规律的理解,节省授课学时和提高教学效果,也有利于训练学生的科学思维能力,便于学生自学。

本书用大体字排印者是《基本要求》规定的知识。此外,还用小体字排印了少量《基本要求》以外内容,供学生阅读。

本书采用以国际单位制(SI)为基础的我国法定计量单位;物理学名词使用全国自然科学名词审定委员会公布的《物理学名词(基础物理学部分)》(1988)的表述;按国家标准(GB)的规定表示物理量的符号和单位符号。

本书习题分三种形式:选择题、填空题和计算题。一个选择题中放入若干选项,学生根据它们思考、计算和比较,从中找出正确的结果。一方面,通过比较各选项细枝末节的差异,以增强学生的鉴别能力;另一方面,各选项给学生提供了思考的线索和途径。对初学者,也许这种做法比较好。

本书在编写和审稿过程中,得到国家教委的关心和高等教育出版社的支持;参加审稿工作的王殖东、郑伯坚、崔砚生、林铁生等四位教授和国家教委高等学校工程专科物理课程教材编审组的全体同志提出了许多宝贵意见;各编者所在学校亦给予了大力支持。此外,本书成稿后,吴永盛同志受高等教育出版社和国家教委高等学校工程专科物理课程教材编审组的委托,又认真仔细审阅了全稿,提出了许多具体修改意见。编者在此对给编写本书以各种帮助的领导和同志,谨致衷心感谢。

II ■ 第一版前言

本书编者为李迺伯(中国计量学院,编写绪论、第一章至第七章、附录)、张世良(北京联合大学自动化工程学院,编写第八章至第十章)、李寿松(扬州工学院,编写第十一章至第十四章)、郭呈祥(蚌埠高等专科学校,编写第十五章至第十八章)。由李迺伯主编,国家教委高等学校工程专科物理课程教材编审组组长佟恒智主审。

编者水平有限,疏漏错误之处,恳请指出。

编者

1992年4月

目录

第一章 运动和力 1

§ 1-1 位置矢量 运动
方程 1

§ 1-2 速度 5

§ 1-3 加速度 8

§ 1-4 牛顿运动定律 10

选读材料:混沌 15

科学家简介:牛顿 17

习题 18

第二章 动量守恒 能量守恒 21

§ 2-1 动量定理 21

§ 2-2 动量守恒定律 23

§ 2-3 变力的功 动能
定理 25

§ 2-4 势能 28

§ 2-5 功能原理 能量守恒
定律 31

选读材料:空间技术 33

科学家简介:钱学森 34

习题 35

第三章 刚体的定轴转动 39

§ 3-1 角速度和角加速度 39

§ 3-2 刚体转动的动能
定理 41

§ 3-3 转动定律 46

§ 3-4 角动量守恒定律 48

选读材料:守恒定律与

对称性 50

科学家简介:杨振宁 51

习题 52

第四章 热力学基础 56

§ 4-1 理想气体的物态方程
准静态过程 56

§ 4-2 热力学第一定律 58

§ 4-3 热力学第一定律对于理想
气体几个过程的应用 60

§ 4-4 循环过程 热机 63

§ 4-5 热力学第二定律 卡诺
定理 67

§ 4-6 熵 熵增加原理 69

选读材料:新能源 72

科学家简介:克劳修斯 74

习题 74

第五章 静电场 78

§ 5-1 库仑定律 78

§ 5-2 电场强度 80

§ 5-3 电势 86

§ 5-4 电容 静电场的
能量 92

§ 5-5 电介质 96

选读材料:静电的防止与
应用 98

科学家简介:库仑 99

习题	100	§ 9-5 驻波	168
第六章 恒定磁场	104	§ 9-6 声波	170
§ 6-1 磁感强度	104	§ 9-7 多普勒效应	173
§ 6-2 磁场对运动电荷的 作用	109	选读材料:超声波和次声波	175
§ 6-3 磁介质	113	科学家简介:惠更斯	176
选读材料:等离子体	117	习题	177
科学家简介:安培	119	第十章 波动光学	180
习题	119	§ 10-1 电磁波 光的电磁 特性	180
第七章 电磁感应	123	§ 10-2 相干光	184
§ 7-1 电源的电动势	123	§ 10-3 杨氏双缝实验	185
§ 7-2 法拉第电磁感应定律	124	§ 10-4 光程	187
§ 7-3 动生电动势和感生 电动势	126	§ 10-5 薄膜干涉	189
§ 7-4 自感 互感 磁场的 能量	130	§ 10-6 惠更斯-菲涅耳原理	194
选读材料:微波技术	133	§ 10-7 单缝衍射	196
科学家简介:麦克斯韦	134	§ 10-8 圆孔衍射 光学仪器 的分辨率	199
习题	135	§ 10-9 衍射光栅	201
第八章 机械振动	138	§ 10-10 光的偏振性 马吕斯 定律	203
§ 8-1 简谐振动	138	§ 10-11 反射光和折射光的 偏振	206
§ 8-2 简谐振动的特征量	140	§ 10-12 几何光学简介	207
§ 8-3 旋转矢量法	145	选读材料:全息照相	218
§ 8-4 简谐振动的能量	147	科学家简介:菲涅耳	220
§ 8-5 振动的合成	148	习题	220
§ 8-6 阻尼振动 受迫振动 共振	149	第十一章 近代物理简介	224
选读材料:频谱分析	152	§ 11-1 狭义相对论的基本 原理 洛伦兹变换	224
科学家简介:胡克	153	§ 11-2 狭义相对论的时空观 狭义相对论力学	228
习题	154	§ 11-3 普朗克量子假设 光的粒子性	234
第九章 机械波	158	§ 11-4 德布罗意波 不确定 关系	238
§ 9-1 机械波的产生和传播	158	§ 11-5 激光	242
§ 9-2 平面简谐波波动方程	160	§ 11-6 超导	244
§ 9-3 波的能量 能流密度	164		
§ 9-4 惠更斯原理 波的 干涉	165		

§ 11-7 纳米科技	246	附录二 一些基本物理常量	255
选读材料:暗物质	249	习题(计算题)答案	256
科学家简介:爱因斯坦	250		
习题	251		
附录一 我国法定计量单位和 国际单位制(SI)	253		

第一章

运动和力

在物质的多种多样的运动形式中,最简单而又最基本的运动是物体位置的变化,称为**机械运动**.这种变化是一个物体相对于另一个物体的位置变化,或者是一个物体的某些部分相对于其他部分的位置变化.机械运动又简称为运动.例如,宇宙中各种星体的运动,地面上的车行马走,工厂中的机器运转,人体中的心脏跳动和血液在血管中的流动等.力学就是研究物体机械运动的规律及其应用的学科.

力学通常分为运动学、动力学和静力学.研究物体位置随时间变化的规律,但不涉及引起变化的原因,称为**运动学**.研究物体间的相互作用,以及这种相互作用所引起物体运动状态变化的规律,称为**动力学**.研究物体相互作用时的平衡问题,称为**静力学**.本章前三节讲述物体的运动学,第四节讨论动力学的最基本的规律——牛顿运动定律及其对质点运动的初步应用.

本章的学习要求是掌握位置矢量、运动方程、位移、速度和加速度的概念;能根据运动方程,计算质点在平面内运动时的速度和加速度;能计算质点作圆周运动的切向加速度和法向加速度;掌握牛顿运动定律及其适用条件;能用隔离体法分析物体的受力情况和建立动力学方程.

§ 1-1 位置矢量 运动方程

一、时间和空间

任何物体运动都是在时间和空间中进行的,物体的运动不能脱离时间和空间.人类的“时空观念”,即人类对时间和空间的认识,是科学技术发展阶段的产物,人类的时空观念的发展是一个无限的认识过程.从牛顿的绝对时空观,到爱因斯坦的相对论时空观(参见第十一章),再到正在发展的新宇宙学的宇宙时空观,大体经历了三个不同的历史发展阶段.

时间本身具有单方向性,是一维的.描述运动需建立时间坐标轴,坐标原点即计时起点.“时刻”是时间轴上的一点.时刻为正或负表明在计时起点以后或以前.在一定的参考系中研究物体的运动时,与某一时刻对应的是物体所在的某一位置.时间间隔是指某一初始时刻至终止时刻所经历的时间,它与时间轴上的某一区间相对应,与运动物体位置的变动相对应.

1960年第11届国际计量大会通过了国际单位制(SI),时间为七个基本量之一.时

间的单位是秒,符号为 s.

下面列出某些时间间隔的数量级:

Z^0 粒子的寿命	10^{-22} s
Σ^0 超子的寿命	10^{-19} s
π^0 介子的寿命	10^{-16} s
μ 子寿命	10^{-6} s
钟摆的周期	10^0 s
自由中子的寿命	10^3 s
地球自转的周期	10^5 s
地球公转的周期	10^7 s
人类的寿命	10^9 s
人类文明史	10^{11} s
古人类出现至今	10^{14} s
地球的年龄	10^{17} s
宇宙的年龄	10^{18} s

空间反映物质运动的广延性. 物体在三维空间里的位置可由三个相互独立的坐标来确定. 空间中两点之间的距离称为长度.

在 SI 中, 长度为七个基本量之一. 长度的单位是米, 符号为 m.

下面列出某些物体长度的数量级:

质子的半径	10^{-15} m
原子的半径	10^{-10} m
病毒的线度	10^{-7} m
阿米巴变形虫的线度	10^{-4} m
人的身長	10^0 m
珠穆朗玛峰的高度	10^4 m
地球半径	10^7 m
太阳半径	10^9 m
地球与最近恒星的距离	10^{16} m
银河系的尺度	10^{21} m
星系团	10^{23} m
超星系团	10^{24} m
可探测类星体的最远距离	10^{26} m

数量级在物理学中很重要. 研究对象在空间尺度上属于不同的数量级, 便可能属于不同的研究领域. 数量级的估计在对未知现象的探索和工程实践中都很有意义. 意大利物理学家费米根据纸片漂浮过的距离估计原子弹爆炸威力的数量级, 其估计的结果和经仪器测量计算出的数据相符, 这是数量级估计应用的实例之一.

二、参考系 质点

宇宙中所有的物体都在不停地运动着, 绝对静止的物体是不存在的. 这就是通常所

说的运动的绝对性. 为了研究某物体的运动, 就必须选取其他物体作为标准, 选取的标准物不同, 对物体运动情况的描述也不同, 这就是**运动描述的相对性**.

为描述物体的运动而选取的标准物体, 称为**参考系**, 参考系的选取是任意的. 在研究地面上物体运动时, 通常选取地球作为参考系. 为了定量地描述物体的位置及其变化, 还要在参考系上建立一个坐标系, 最常用的是直角坐标系.

物体的运动是复杂的, 根据研究的需要, 抽出其中最本质的内容, 建立一个与实际情况差距不大的“理想模型”, 用来进行研究是非常重要的. 力学中一个极其重要的理想模型是质点. 当研究物体的运动时, 如果物体的大小和形状可以忽略时, 就可把物体当作一个有一定质量的点, 这样的点称为**质点**. 质点保留了实际物体的两个主要特征: 物体的质量和物体的空间位置. 在下列情况下可以把物体当作质点对待.

(1) 物体作平动. 这时物体内各点具有相似的轨道、相同的速度和加速度. 因而只要研究其中一点的轨道、速度和加速度, 就足以认识平动物体的全貌. 据此, 可以把平动物体简化为质点.

(2) 物体的几何尺寸比观察它运动的范围小许多, 其形状和大小可以忽略. 这时也可把此物体当作质点.

同一物体在一个力学问题中可以当作质点, 而在另一个力学问题中却不能. 例如地球, 在研究它绕太阳的运动时, 由于地球半径比它和太阳之间的距离小得多, 可以把它看成质点. 但是在研究地球的自转时, 就不能再把它看成质点.

如果所研究的物体不能当作一个质点处理, 那么可以把它看成是由许多质点(或质元^①)组成. 这些质点或质元的组合, 称为**质点系**.

在 SI 中, 质量为七个基本量之一. 质量的单位是千克, 符号为 kg.

下面列出某些物体质量的数量级:

电子质量	10^{-30} kg
质子质量	10^{-27} kg
血红蛋白质量	10^{-22} kg
流感病毒质量	10^{-19} kg
阿米巴变形虫质量	10^{-8} kg
蚂蚁质量	10^{-5} kg
人体质量	10^2 kg
金字塔质量	10^{10} kg
地球质量	10^{24} kg
太阳质量	10^{30} kg
银河系质量	10^{41} kg
宇宙(现在知道的)	10^{53} kg

三、位置矢量

为了描述质点的运动, 首先要有确定质点位置的方法. 如图 1-1 所示, 从坐标原点

^① 元, 小而基本的意义.

O 画一个指向质点 P 的有向线段 $\overrightarrow{OP}$. 此有向线段的长度指出质点 P 到原点的距离, 其箭头指出质点 P 所在的方向. 这种可以用来确定质点所在位置的矢量, 称为位置矢量, 简称位矢.

如果质点在空间运动, 确定它的坐标可用空间直角坐标系. 图1-1画出空间直角坐标系, 它有三个互相垂直的坐标轴 Ox 、 Oy 和 Oz . 质点 P 在三个坐标轴上的投影点的坐标分别为 x 、 y 和 z . 于是, 位置矢量 $\mathbf{r}$ 就可表示成直角坐标形式:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1a)$$

在上式中, $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 是坐标轴 Ox 、 Oy 和 Oz 的正方向的单位矢量. 如果质点在平面上运动, 那么在该平面上取平面直角坐标系 Oxy , 就可以确定质点的位置:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} \quad (1-1b)$$

如果质点沿一直线运动, 那么在该直线上规定坐标的原点、正方向和坐标的单位长度, 就可确定此质点的位置:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} \quad (1-1c)$$

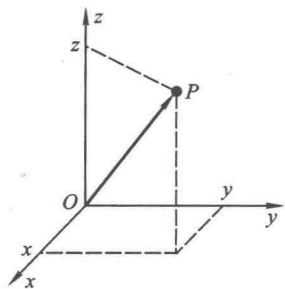


图 1-1 位置矢量

四、运动学方程

如果图 1-1 的质点 P 在运动, 那么它的位置矢量 $\mathbf{r}$ 将随时间变化. 也就是说, 位置矢量 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-2a)$$

位置矢量 $\mathbf{r}$ 随时间 t 变化的函数式称为质点的运动学方程. 显然, 这时质点的坐标 x 、 y 和 z 也是时间 t 的函数:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-2b)$$

上式称为质点运动学方程的直角坐标分量形式. 它表示, 质点在空间的运动 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ 可以看成是质点在 x 、 y 和 z 轴上同时参与三个直线运动 $x = x(t)$ 、 $y = y(t)$ 和 $z = z(t)$. 式(1-2b)中的三个直线运动称为式(1-2a)所表示的质点运动在三个坐标轴上的分运动. 中学物理曾讨论过质点作匀加速直线运动, 它的运动学方程为

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

在上式中, a 是质点的加速度, v_0 是质点初始时刻 ($t=0$) 的速度, 称为初速度, x_0 是初始时刻质点位置的坐标. 中学物理还讨论过质点作平抛运动, 它的运动学方程为

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 t \\ y &= h - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned} \right\}$$

在上式中, v_0 是质点水平抛出的初速度, h 是初始时刻质点距原点的高度, g 是重力加速

度,负号表示加速度 g 的方向与 Oy 轴的正方向相反.

上述讨论表明,质点的曲线运动可以用直角坐标系分解为两个(平面上质点的运动)或三个(空间中质点的运动)直线运动.由此可见,直线运动是分析曲线运动的基础.

例 1-1 湖中有一小船,岸边有人用绳子跨过离水面高 h 的滑轮拉船靠岸,如图 1-2 所示.设绳的原长为 l_0 ,人以匀速 v_0 拉绳.试写出小船的运动学方程.

解 建立如图所示的坐标轴 Ox ,按题意,初始时刻($t=0$),滑轮至小船的绳长是 l_0 .此后某时刻 t ,绳长减少到 $l_0 - v_0 t$,此刻船的位置坐标是

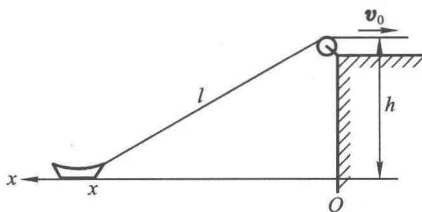


图 1-2 例 1-1 图

$$x = \sqrt{(l_0 - v_0 t)^2 - h^2}$$

上式是小船的运动学方程.它指出小船位置 x 随时间 t 变化的规律.

§ 1-2 速度

一、位移

质点在平面上作曲线运动,从 t_1 时刻的位置 A 沿一曲线运动到 t_2 时刻的位置 B ,如图 1-3 所示.用从 A 指向 B 的矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 表示质点位置的移动. $\Delta \mathbf{r}$ 称为在时间间隔 $\Delta t = (t_2 - t_1)$ 内的位移.位移是描述一段时间内质点位置变化的物理量,它同时指出质点位置变化的大小和方向.它只和始末位置有关,与轨道曲线无关.

从 A 到 B 的位移等于质点在 B (末位置) 的位置矢量 $\mathbf{r}_B$ 和质点在 A (初位置) 的位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 之差:

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-3a)$$

在平面坐标系中,位移

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} \quad (1-3b)$$

在上式中

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_B - x_A \\ \Delta y &= y_B - y_A \end{aligned} \right\} \quad (1-3c)$$

是同一段时间内质点坐标的增量.

二、路程

如图 1-3 所示,质点从 A 到 B 走过的路程是质点沿轨道曲线从 A 到 B 移动的长度.路程是恒为正值的标量.随着时间增加,路程也增加,即路程是正的增函数.通常,用符号 Δs 或 s 表示路程.

图 1-4(a) 画出某质点所经历的一段轨道的曲线. t 、 t_1 、 t_2 、 t_3 各时刻质点分别位于

A、C、D、B 各点. $t-t_1$ 、 t_1-t_2 、 t_2-t_3 三段时间内质点的位移分别是 Δr_1 、 Δr_2 和 Δr_3 . 由图可知, $t-t_3$ 时间内的位移:

$$\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_2 + \Delta r_3 \quad (1-4)$$

上式表明, 总位移等于各分段位移的矢量和.

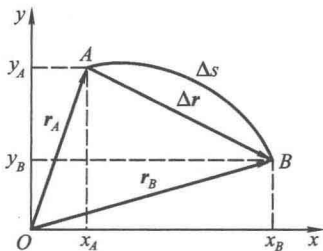


图 1-3 质点的位移 Δr 和路程 Δs

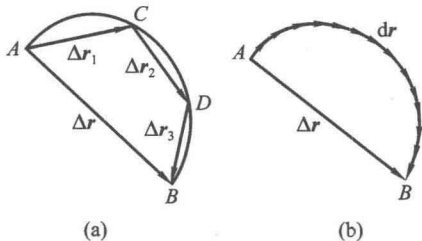


图 1-4 总位移等于各分段位移的矢量和

如果把 $t-t_3$ 这一段时间细分为无穷多段时间间隔, 就得到无穷多个无穷小位移. 符号 $d\mathbf{r}$ 表示无穷小位移. 它的大小是无穷小量, 它的方向是沿轨道的切线指向质点前进的方向, 如图 1-4(b) 所示. 从图中还可以看出, 这些无穷小位移的矢量和仍然是 Δr .

在 dt 时间内的位移 $d\mathbf{r}$ 是无穷小矢量, 对应的路程是无穷小标量. 符号 ds 表示无穷小路程, 图 1-4(b) 表明

$$|d\mathbf{r}| = ds \quad (1-5)$$

上式表明, 在无穷小时间内, 位移的大小 $|d\mathbf{r}|$ 等于对应的路程 ds .

三、平均速度和平均速率

如图 1-5 所示, 设 t 时刻, 质点在 A 处, $t+\Delta t$ 时刻运动到 B 点. Δt 时间内, 从 A 到 B 质点的位移是 Δr , 经历的路程是 Δs .

当 Δr 一定时, 如果 Δt 越小, 质点从 A 到 B 的变化越快; 如果 Δt 较大, 则从 A 到 B 的变化较慢. 为了描述 Δt 时间内单位时间位置的变化, 引入平均速度的概念. 把 Δr 与 Δt 之比称为 Δt 时间内质点的平均速度, 用符号 $\bar{v}$ 表示:

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1-6)$$

平均速度是矢量, 它的方向与位移 Δr 的方向相同.

与此相似, 为了描述 Δt 时间内单位时间质点走过的路程, 引入平均速率的概念. 把路程 Δs 与对应时间 Δt 之比称为 Δt 时间内质点的平均速率, 用符号 $\bar{v}$ 表示:

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-7)$$

平均速率是标量, 恒为正值.

平均速度和平均速率不仅与所讨论的起始时刻 t 有关, 还与此后所取时间 Δt 的长短有关. 显然, 用它们描述质点的运动是粗糙的.

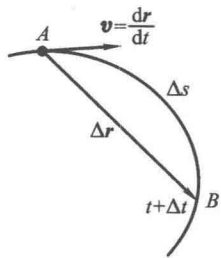


图 1-5 平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$

$$\text{速度 } v = \frac{dr}{dt}$$

四、瞬时速度和瞬时速率

当时间 Δt 取得越小, 平均速度和平均速率对质点运动的描述越精确. 如果 $\Delta t \rightarrow 0$, 得到平均速度的极限 $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 和平均速率的极限 $\frac{ds}{dt}$.

把 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限 $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 称为质点在 t 时刻的**瞬时速度**, 简称**速度**, 用符号 $\mathbf{v}$ 表示:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-8)$$

速度是描述运动质点在某一瞬时位置变化率的物理量. 式(1-8)表明, 速度 $\mathbf{v}$ 与 $d\mathbf{r}$ 同方向, 是沿轨道的切线指向质点前进的方向.

把 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速率的极限 $\frac{ds}{dt}$ 称为质点在 t 时刻的**瞬时速率**, 简称**速率**, 用符号 v 表示:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (1-9)$$

速率是描述质点在某一瞬时运动快慢的物理量, 它恒为正值.

由式(1-5), $|d\mathbf{r}| = ds$, 可得 $\left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt}$, 即

$$|\mathbf{v}| = v \quad (1-10)$$

上式表明, 在任一时刻, 质点速度的大小与速率相等.

综上所述, 质点运动时, 其速度的方向是沿轨道切线指向质点前进的方向, 而速度的大小与速率相等.

在平面直角坐标系中质点的运动学方程是

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j}$$

利用速度定义式(1-8), 得

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} \quad (1-11a)$$

用符号 v_x 和 v_y 分别表示 $\frac{dx}{dt}$ 和 $\frac{dy}{dt}$, 得速度在直角坐标系中的分量式:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} \\ v_y &= \frac{dy}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-11b)$$

如果已知 v_x 和 v_y , 可求得速度的大小(速率)

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1-12a)$$

和方向(用速度 $\mathbf{v}$ 与 Ox 轴正方向的夹角 α 表示)

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} \quad (1-12b)$$

在 SI 中, 速度的单位是米每秒, 符号为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.