高职高专“十一五”规划教材

大学物理

College Physics

范兴凯　陆志强　主编

中国石油大学出版社

高职高专"十一五"规划教材

大学物理

主　编　范兴凯　陆志强

副主编　张进明　陈公凯

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/范兴凯,陆志强主编. —东营：中国石油大学出版社,2009.7

ISBN 978-7-5636-2882-7

Ⅰ.大… Ⅱ.①范…②陆… Ⅲ.物理学－高等学校－教材 Ⅳ.O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 126890 号

书　　名：大学物理

作　　者：范兴凯　陆志强

策划编辑：宋秀勇(0546－8392139)

责任编辑：宋秀勇　满云凤

封面设计：赵志勇

出 版 者：中国石油大学出版社(山东 东营　邮编 257061)

网　　址：http://www.uppbook.com.cn

电子信箱：yibian8392139@163.com

印 刷 者：青岛锦华信包装有限公司

发 行 者：中国石油大学出版社（电话 0546－8392139）

开　　本：180×235　**印张**：14.625　**字数**：293 千字

版　　次：2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定　　价：24.60 元

前　言
PREFACE

目前，我国经济全面发展，要求学生拓宽专业口径，扩大就业范围，因而对学生的适应性特别是创造性提出了更高的要求。教育实践和人才培养规律都已证明，物理课程的教学在培养21世纪所需的各类人才中有着非常重要的作用。因此在构建高等教育理工类专业的课程体系中，物理学所具有的基础课程地位，只能加强，不可动摇，不可替代。

作为高职院校工科教育基础的大学物理课程的教学，不仅使受教育者获得必要的物理系统知识，而且还能从学习物理的过程中养成唯物辩证的思维方式，科学严谨的行为方法和勇于创新的探索精神。这些正是21世纪的专业人才应该具有的基本素质。

以就业为导向，以能力为本位，以市场需求和区域经济发展为依据，根据职业岗位群的相关基础知识与职业技能要求，重新审视物理课程在职业教育中的功能和作用，科学合理地对课程目标进行定位，开展物理课程建设和教学改革工作，建立一个符合职业教育特征、满足职业教育人才培养需求的物理课程体系，是一个迫在眉睫的重要课题，具有深远的现实意义。

该教材就是山东化工职业学院和张家口职业技术学院对大学物理课程共同研究的一项研究成果，该书不仅渗透了编写教师多年的教学经验，而且还在一定程度上反映出各位老师在物理教学改革方面的一些很好的创新思路。整套教材体现一定的应用性、普适性和时代性等特点。

根据现在高职院校实际的教学课时和专业教学计划，在教材内容的选定和教学内容的安排上力求切合实际，不搞面面俱到，因此将与高职教学计划和专业技能相关的教学内容设为必学内容（前9章），而将与高职

专业技能联系不十分密切的现代物理部分(如第10章——狭义相对论;第11章——量子物理)设为选修内容,教师可根据教学时数或学生的实际情况来自行安排,这样就突出了高职的特点。

本书的编者为范兴凯(前言、第3章)、陆志强(第1章)、张进明(第2、10章)、陈公凯(第4、5章)、王莉芬(第6章)、宋学礼(第7章)、韩明玉(第8章)、李增兰(第9章)、宋占锋(第11章)。范兴凯、陆志强任主编,张进明、陈公凯任副主编,王莉芬、宋学礼、韩明玉、李增兰、宋占锋任编委,全书由范兴凯统稿。

由于编者水平有限,书中难免会出现疏漏错误之处,敬请原谅,并恳请指正。

编 者

2009年5月

目 录

CONTENTS

预备知识　矢量代数简介

一、标量和矢量

物理学中用物理量定量地描述客观事物。质量、时间、路程、功、能量、温度……这些物理量只有大小的区别(其中有的量还用正、负符号帮助区分大小)，没有方向的概念。这类只用数量的大小就足以描述事物物理特性的量称为**标量**。标量的代数运算有：加、减、乘、除、乘方、开方等；标量的分析运算有：微分和积分等。

位移、速度、加速度、力、动量……是不同于标量的另一类物理量。只用它们的大小不足以描述事物物理特性的全貌。以速度为例，大小相同但方向不同的速度所描述的运动特性显然不同。把**要同时用大小和方向描述其特征，并且遵从平行四边形加法法则的量称为矢量**。

为了与标量区别，矢量符号通常表示如下：

(1) 在字母的上方画一个箭头，如 $\vec{a},\vec{A},\cdots$，在手写文件和习题作业中习惯用这种表示方法。

(2) 用粗黑体字母，如 $\boldsymbol{a},\boldsymbol{A},\cdots$，印刷书刊中多用此种表示方法。

在作图时，常用有向线段表示矢量。有向线段的长度(用单位长度量度的数值，恒为正值)表示矢量的大小；有向线段的箭头指出矢量的方向，如图 1 所示。

有两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，如果它们的大小相等、方向相同，则称这两个矢量相等，写作

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{B}$$

如图 2 所示，把矢量 $\boldsymbol{A}$ 在空间平移，则矢量 $\boldsymbol{A}$ 的大小和方向不变，仍然等于原来的矢量，称此为**矢量的平移**。据此在运算中，可将矢量从一个位置平移到另一个位置。

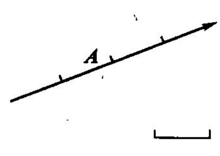


图 1　矢量的图示

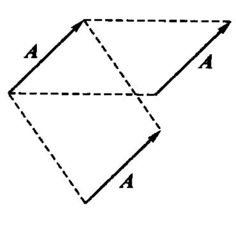


图 2　矢量平移

有两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，$\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 的大小相等、方向相反，称 $\boldsymbol{B}$ 是 $\boldsymbol{A}$ 的负矢量(或 $\boldsymbol{A}$ 是 $\boldsymbol{B}$ 的负矢量)，表示为

$$\boldsymbol{B}=-\boldsymbol{A} \tag{1}$$

所谓负矢量，是指与另一个矢量相比较而言。如果只单独讨论一个矢量，就没有必要使用负矢量这个概念了。

矢量有大小和方向的双重特征。把矢量的大小称为**矢量的模**，用$|\boldsymbol{A}|$，$|\boldsymbol{a}|$或A，a表示。

沿着矢量$\boldsymbol{A}$的方向，取长度等于1（单位长度）的有向线段，把它称为矢量$\boldsymbol{A}$的单位矢量，用$\boldsymbol{e}_A$或其他指定的符号表示。

借助模和单位矢量，矢量$\boldsymbol{A}$可表示为

$$\boldsymbol{A}=|\boldsymbol{A}|\boldsymbol{e}_A \tag{2a}$$

或

$$\boldsymbol{A}=A\boldsymbol{e}_A \tag{2b}$$

矢量的代数运算有矢量加法、矢量减法、标积、矢积等；矢量的分析运算有矢量的微分和矢量的积分。

二、矢量的加法和减法

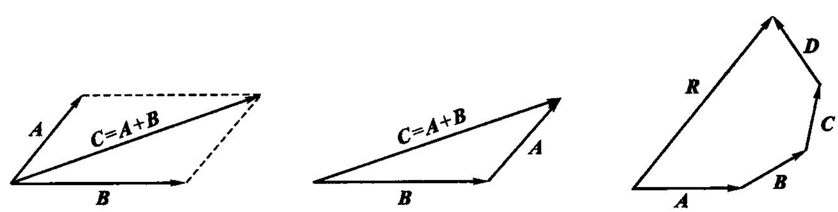
两矢量$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$之和，等于以$\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{B}$为邻边的平行四边形的对角线所表示的矢量，如图3(a)所示，写成

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B} \tag{3a}$$

把它称为矢量的**平行四边形求和法则**。在图3(b)中把$\boldsymbol{A}$平移到$\boldsymbol{B}$的矢端，使$\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{B}$和$\boldsymbol{C}$构成三角形。称这为**矢量求和的三角形法则**。它是从平行四边形法则派生出来的。

若有多于两个的矢量相加，例如求$\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{B}$，$\boldsymbol{C}$，$\boldsymbol{D}$之和，根据上面的求和法则可以推论出图3(c)所示的**多边形求和法则**。这时，合矢量为

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C}+\boldsymbol{D} \tag{3b}$$



(a) 平行四边形法则　　(b) 三角形法则　　(c) 多边形法则

图3　矢量的加法法则

因为$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B})$，所以欲求两矢量之差$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$，可先找出$\boldsymbol{B}$的负矢量$(-\boldsymbol{B})$，然后将$\boldsymbol{A}$与$(-\boldsymbol{B})$相加即可。

三、矢量合成的解析法

如图4所示，在直角坐标系$Oxyz$上，矢量$\boldsymbol{A}$的矢尾与坐标原点O重合，自$\boldsymbol{A}$的

矢端向 Oxy 坐标平面作垂线，自垂足再向 Ox 轴和 Oy 轴作垂线，将这两个垂足的 x 坐标和 y 坐标分别表示为 A_x 和 A_y。再自 $\boldsymbol{A}$ 的矢端向 Oz 轴作垂线，该垂足的 z 坐标表示为 A_z。A_x，A_y 和 A_z 称为矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 Ox，Oy 和 Oz 轴的**分量**或**投影**。若沿 Ox 轴的正向取单位矢量 $\boldsymbol{i}$，沿 Oy 轴的正向取单位矢量 $\boldsymbol{j}$，沿 Oz 轴的正向取单位矢量 $\boldsymbol{k}$，则矢量 $\boldsymbol{A}$ 可表示为

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k} \tag{4}$$

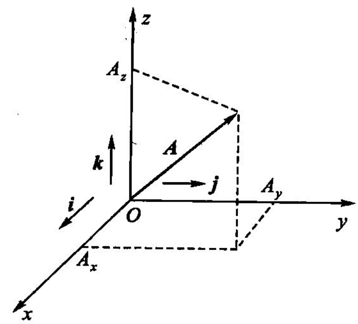


图 4　直角坐标系中的矢量 $\boldsymbol{A}$

我们可以用矢量的分量来表示矢量的模和矢量的方向。显然，矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模：

$$A=\sqrt{A_x^2+A_y^2+A_z^2} \tag{5}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 的方向由该矢量与 Ox，Oy 和 Oz 轴的夹角 α,β,γ 来确定，有

$$\cos\alpha=\frac{A_x}{A},\quad \cos\beta=\frac{A_y}{A},\quad \cos\gamma=\frac{A_z}{A} \tag{6}$$

运用矢量在直角坐标轴上的分量表示法，可以使矢量加减运算简化。设直角坐标系中有矢量

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$$

与矢量

$$\boldsymbol{B}=B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 和矢量 $\boldsymbol{B}$ 的和是矢量 $\boldsymbol{C}$，有

$$\begin{aligned}\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}&=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})+(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k})\\&=(A_x+B_x)\boldsymbol{i}+(A_y+B_y)\boldsymbol{j}+(A_z+B_z)\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

而

$$\boldsymbol{C}=C_x\boldsymbol{i}+C_y\boldsymbol{j}+C_z\boldsymbol{k}$$

所以有

$$\begin{cases}C_x=A_x+B_x\\C_y=A_y+B_y\\C_z=A_z+B_z\end{cases} \tag{7}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 和矢量 $\boldsymbol{B}$ 的差是矢量 $\boldsymbol{D}$，同理有

$$\begin{cases}D_x=A_x-B_x\\D_y=A_y-B_y\\D_z=A_z-B_z\end{cases} \tag{8}$$

在上式中，D_x，D_y 和 D_z 是矢量 $\boldsymbol{D}$ 在 Ox，Oy 和 Oz 轴上的分量。

式(7)和式(8)表明，**两矢量的和(或差)在坐标轴上的分量等于两矢量在同一坐标轴上分量的和(或差)**。根据这一规律，我们可以把求矢量和(或差)的矢量运算方便地转变为求矢量在坐标轴上分量的和(或差)的代数运算。

四、矢量的标积

恒力对沿直线运动的物体所做的功是

$$A=|\boldsymbol{F}||\Delta\boldsymbol{r}|\cos\alpha \tag{9}$$

在上式中,参与运算的力($\boldsymbol{F}$)和位移($\Delta\boldsymbol{r}$)是两个矢量,α 是这两个矢量的夹角,运算后的结果功(A)却是标量。在物理学和工程科学中,不止一次地遇到这类运算。为此引入矢量的标积这一概念。

定义 两矢量 $\boldsymbol{A}$,$\boldsymbol{B}$,它们的夹角为 α。将此两矢量的大小与它们夹角余弦的乘积称为矢量的标积,又称点积,用符号 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}$ 表示,即

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB\cos\alpha \tag{10}$$

按上述定义,矢量的标积有如下性质:$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A}$,即标积运算服从交换律;$\boldsymbol{A}\cdot(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{C}$,即标积运算也服从分配律。

式(10)给出了计算两矢量标积的基本方法。

设两矢量为

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$$
$$\boldsymbol{B}=B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k}$$

因而

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})\cdot(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k})$$

按分配律有

$$\begin{aligned}\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=&A_xB_x\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}+A_yB_y\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}+A_zB_z\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}\\&+A_xB_y\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}+A_xB_z\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{k}+A_yB_x\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{i}\\&+A_yB_z\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}+A_zB_x\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{i}+A_zB_y\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{j}\end{aligned}$$

单位矢量 $\boldsymbol{i}$,$\boldsymbol{j}$,$\boldsymbol{k}$ 彼此互相垂直,因而按标积定义,有

$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}=1 \tag{11}$$
$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{i}=0 \tag{12}$$

所以

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z \tag{13}$$

上式表明,**两矢量的标积等于直角坐标系中它们对应分量乘积之和。**

五、矢量的矢积

定义 两矢量 $\boldsymbol{A}$,$\boldsymbol{B}$ 的矢积 $\boldsymbol{C}$ 仍为矢量。表示为

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B} \tag{14a}$$

矢积 $\boldsymbol{C}$ 的大小为

$$C=AB\sin\alpha \tag{14b}$$

在上式中,α 是矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之间的夹角。矢积 $\boldsymbol{C}$ 的方向垂直于矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 所决定的

平面，其指向由右手螺旋定则判断，即右手四指从前一矢量 $\boldsymbol{A}$ 经小于 π 的夹角转向后一个矢量 $\boldsymbol{B}$ 时大拇指伸直所指的方向，如图 5 所示。矢量的矢积又称**叉积**。

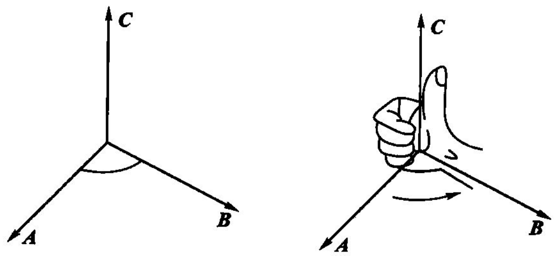


图 5　矢量的矢积

按上述矢积的定义，有

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=-\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A} \tag{15}$$

上式表明，矢量的矢积不服从交换律。若交换 $\boldsymbol{A}$,$\boldsymbol{B}$ 两矢量的运算顺序，矢积则改变方向。此外，由定义可证明矢积运算服从分配律，即

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{C}$$

在直角坐标系中有两个矢量：

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$$

和

$$\boldsymbol{B}=B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k}$$

可以证明，这两个矢量的矢积为

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=\begin{vmatrix}\boldsymbol{i} & \boldsymbol{j} & \boldsymbol{k}\\ A_x & A_y & A_z\\ B_x & B_y & B_z\end{vmatrix}=\boldsymbol{i}(A_yB_z-A_zB_y)+\boldsymbol{j}(A_zB_x-A_xB_z)+\boldsymbol{k}(A_xB_y-A_yB_x) \tag{16}$$

第1章　质点力学

质点力学是研究质点的运动规律，其主要内容有四部分：(1) 质点运动学，研究物体位置随时间的变化规律，主要学习描述质点运动的基本物理量——位矢、位移、速度、加速度等；(2) 质点动力学，研究物体间的相互作用以及这种相互作用所引起的物体运动状态的变化规律，概括阐述牛顿运动定律及对质点运动的应用；(3) 动量与冲量，研究力对时间的积累效应，讨论动量、冲量等概念，得出动量定理和动量守恒定律；(4) 功和能，研究力对时间的积累效应，学习变力的功、动能和动能定理、保守力和非保守力及势能、功能原理、机械能守恒定律和能量守恒定律等知识。

1-1　参考系、运动学方程

一、参考系

物理运动是宇宙中最普遍、最基本的运动形式。从宇宙天体到微观粒子，从无生命的物体到有生命的世界，自然界一切的物体总是处于永恒的运动中。运动有机械的、电磁的、化学的、生命和思维的、从低级到高级的多种形式。在各种形态的物质运动中，最简单的一种是物体位置随时间的变动，我们把物体之间或物体各部分之间位置的变动称为**机械运动**。

为了描述物体的运动，必须选择另一个物体或几个虽在运动而相互间保持静止的物体群作为参考。被选作参考的物体或物体系，称为**参照物**或**参照系**。为了定量地描述物体位置及其变化，还要在选择的参照物上规定一个坐标系。一般最常用的是直角坐标系。有时还要用法向和切向坐标系等。

二、质点

任何实际物体都具有一定的大小和形状。由于物体运动时，内部各点的位置变化一般是各不相同的，因此要精确地描述实际物体的一般运动是一件很复杂的事。但是我们发现在不少情况下，由于物体的大小和形状与所研究的问题无关或者关系很小，因而在研究这类问题时对物体的形状和大小可以不考虑，即把它当作**具有一定质量而没有大小和形状的几何点，称为质点**。一个物体是否当作质点来处理，应根据物体运动的性质来确定。

(1) 平动的物体可简化为质点。一般来说,若物体上各点的运动情况都相同,即物体做平动时,这时物体中的各点具有相同的轨道、相同的速度和加速度,只要研究其中一点的运动情况,就足以代表物体的全貌。因此可把平动的物体简化为质点。

(2) 研究物体运动的观察范围比物体的几何尺寸大很多时,其形状和大小可忽略,这时可把物体当作质点。

质点是一个理想模型。在物理学中经常用理想模型来代替实际研究的对象,以突出对现象有根本性影响的主要性质,简化所讨论问题的复杂性。理想模型的选择不是任意的,它必须如实反映所研究现象中起主要作用的那些性质。物理学中的理想模型除质点外,还有刚体、理想气体、点电荷、弹簧振子等。

三、位矢和运动学方程

1. 位矢

要想描述质点的运动,首先得确定质点的位置。如图 1-1 所示,从坐标原点 O 作一条指向质点 P 所在位置的有向线段。此有向线段的长度是原点 O 到质点 P 的距离,其箭头指出质点 P 所在的方向。这种用来确定质点 P 所在位置的矢量,称为**位置矢量**,简称**位矢**,符号用 $\boldsymbol{r}$ 表示。

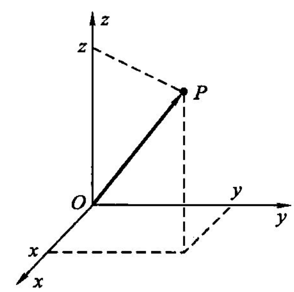


图 1-1 位矢

如果质点在空间运动,确定其坐标用空间坐标系。其空间坐标的位置可由位矢在三个坐标轴上的投影来确定,若 $\boldsymbol{i},\boldsymbol{j},\boldsymbol{k}$ 分别表示沿 x,y,z 轴正方向的单位矢量(见图 1-1),则

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \tag{1-1a}$$

如果质点在平面上运动,确定其位置可由两个坐标值来确定

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} \tag{1-1b}$$

如果质点做直线运动,确定其位置先规定坐标原点、正方向和单位长度,则质点的位置为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} \tag{1-1c}$$

2. 运动学方程

当质点运动时,位矢和其坐标分量 x,y,z 都是时间 t 的函数,即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \tag{1-2a}$$

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

式(1-2a)表示质点的位矢随时间变化的规律,被称为质点的**运动学方程**。式(1-2b)称为质点运动学方程的直角坐标分量形式。

例 1-1 水中有一小船，岸边的人用绳子通过离水面高 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，求小船的运动学方程。

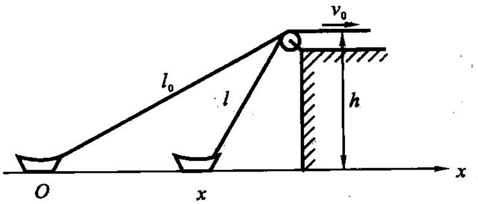


图 1-2 例 1-1 图

解 建立如图所示的坐标轴 Ox。根据题意，$t=0$ 时，滑轮到小船的绳长为 l_0，经过时间 t 后绳长减少到 l_0-v_0t，则此时小船的位置坐标是

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

此式就是小船的运动学方程，指出了小船的位置 x 随时间 t 变化的规律。

1-2 位移、速度

一、位移和路程

1. 位移

为了描述质点的位置变化，引入了位移。如图 1-3 所示，若质点在平面上沿曲线运动，t 时刻在 A 点，经过 Δt 时间后到达 B 点，在时间 Δt 内质点通过的路程 Δs 为 AB 曲线的长度，而位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 是由 A 指向 B 的有向线段。若用 $\boldsymbol{r}_A$，$\boldsymbol{r}_B$ 表示质点在初、末位置的位矢，则 Δt 时间内质点的位移

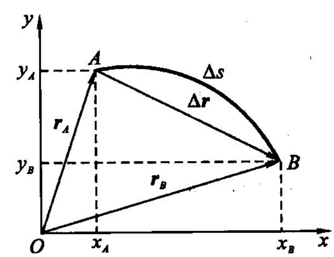


图 1-3 质点的位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 和路程 Δs

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A \tag{1-3a}$$

位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 是矢量，其大小由初、末位置间的位矢确定，方向由初位置 A 指向末位置 B。在平面直角坐标系中，位移为

$$\Delta \boldsymbol{r} = \Delta x \boldsymbol{i} + \Delta y \boldsymbol{j} \tag{1-3b}$$

其中

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

若质点沿直线运动，取这一直线为 x 轴，则质点的位移为

$$\Delta \boldsymbol{r} = \Delta x \boldsymbol{i} \tag{1-3d}$$

2. 路程

路程是质点运动实际经过的路线的长度，路程是恒为正值的标量，随时间的增加

而增加，通常用 Δs 或 s 表示。

如图 1-4 是质点 A 点经过一曲线轨道运动到 B 点，在各时刻 t,t_1,t_2,t_3 质点分别位于 A,C,D,B。在 $t\sim t_1,t_1\sim t_2,t_2\sim t_3$ 三段时间内质点的位移分别为 $\Delta\boldsymbol{r}_1,\Delta\boldsymbol{r}_2,\Delta\boldsymbol{r}_3$，由图 1-4 可知，$t\sim t_3$ 时间内的位移为

$$\Delta\boldsymbol{r}=\Delta\boldsymbol{r}_1+\Delta\boldsymbol{r}_2+\Delta\boldsymbol{r}_3 \tag{1-4}$$

上式表明，总位移等于各段时间内分位移的矢量和。

如果把 $t\sim t_3$ 时间细分为无穷多个时间间隔，就对应地得到无穷多个小位移，用符号 $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ 表示，简称**位移元**，如图 1-5 所示，其大小是无穷小量，用 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$ 表示，方向沿轨道切线指向质点前进的方向；对应的无限短时间内的无限小路程 $\mathrm{d}s$，简称**路程元**；显然有

$$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s \tag{1-5}$$

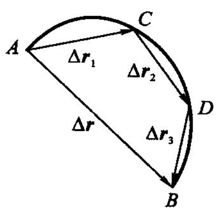


图 1-4　总位移等于各分位移的矢量和

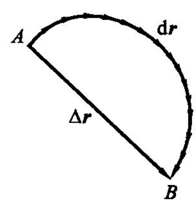


图 1-5　位移元

二、速度和速率

速度是描述质点运动位置变化快慢程度和运动方向的物理量。如图 1-6 所示，在 Δt 时间内，质点从 A 运动到 B，运动了位移 $\Delta\boldsymbol{r}$，经历了路程 Δs。

1. 平均速度和平均速率

当 $\Delta\boldsymbol{r}$ 一定时，时间 Δt 越短，质点从 A 到 B 的位置变化得越快；为了描述 Δt 时间内单位时间的位置变化快慢，引入了平均速度的概念。把 $\Delta\boldsymbol{r}$ 与 Δt 之比称为 Δt 时间内质点的**平均速度**，用符号 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 表示，即

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t} \tag{1-6}$$

平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}}$ 是矢量，它的方向与位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 的方向相同。

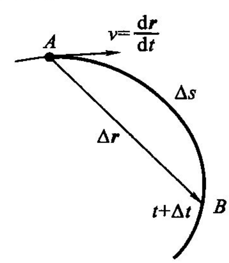


图 1-6　平均速度和速度

对实际物体运动的快慢，常常用 Δt 时间内的路程 Δs 与 Δt 的比值来反映，这个比值称为**平均速率**，用符号 $\bar{v}$ 表示，即

$$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1-7}$$

平均速率是标量，恒为正值。