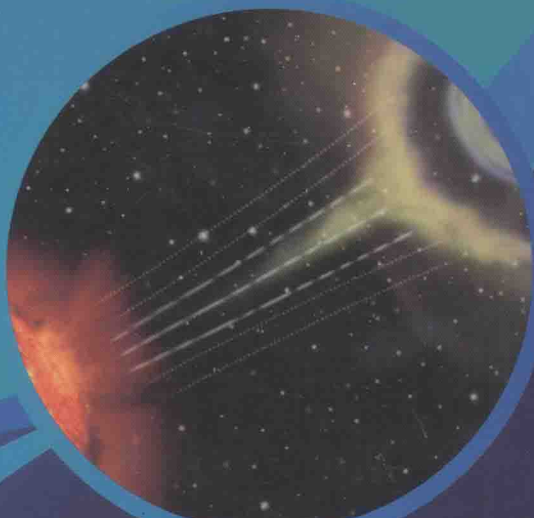
大学物理

University Physics

主 编 向 鹏
副主编 韦 韧 孙正昊



科 学 出 版 社

大学物理

主　编　向　鹏
副主编　韦　韧　孙正昊

科学出版社
北　京

内 容 简 介

本书是根据国家教育部《高等学校非物理专业物理课程教学基本要求》，为了适应科学技术的发展，在结合笔者多年的教学实践的基础上编写的本科物理教材. 内容叙述简明，注重系统性和现代性. 全书共一册，包括力学、热学、电磁学、波动光学、近代物理的内容. 本书可作为非物理类理工科专业的大学物理教材和教学参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/向鹏主编. —北京：科学出版社，2014. 1

ISBN 978-7-03-039584-9

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①向… 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(2014)第 011752 号

责任编辑：王胡权 / 责任校对：朱光兰

责任印制：阎 磊 / 封面设计：迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

http://www.sciencep.com

北京华正印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张：18 1/2

字数：486 000

定价：41.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前　　言

本教材是依据国家教育部《高等学校非物理专业物理课程教学基本要求》，为了适应科学技术的发展，并结合编者在长春工业大学多年教学实践的基础上编写的本科物理教材.

本教材注重大学物理和高中物理的衔接，对高中出现的知识作了更深层次的探讨.教材安排的知识结构遵循了物理规律自身的相互联系所确定的顺序，从最基本的规律逐渐展开，以适应目前物理学时较少的需求.

本教材着重介绍了近代物理的观点，涉及许多现代物理学知识，包括物理学前沿的理论和实验，引入了物理学在实际工程技术中的应用实例.可以开阔学生的视野，对激发学生的学习兴趣，启迪学生的创新能力有一定的作用.

本教材在编写上力求使读者掌握物理学的基本概念、基本规律，建立完整的物理思想，本教材共 14 章，涉及力学、热学、电磁学、波动光学、近代物理的内容.内容深度和广度适中，适合教师讲授和学生自学使用.

本教材采用国际单位制.教材中物理量采用国际上通用标准.

本教材由向鹏主编.韦韧、孙正昊副主编，参加编写工作的有：冷静（第 1 章），任广剑（第 2 章），孙源（第 3 章），向鹏（第 4、5、9 章），叶森（第 6 章），王丽丽（第 7 章），黄宇欣（第 8 章），韦韧（第 13 章），刘玮洁（第 10 章），兰民（第 11 章），孙丽晶（12.1～12.9），程道文（12.10），孙正昊（第 14 章）.韦韧编写了各章的习题.

由于编者水平有限，书中难免有错误和不恰当之处，敬请各位同行和同学提出宝贵意见.

编　者

2013 年 8 月

目　　录

第 1 章　质点运动学

运动是绝对的，描述运动是相对的. 要想描述一个物体的运动，必须选择另外的物体或物体组作参照. 这种被选作参照的物体或物体组称为参考系. 参考系的选择是任意的，但通常应根据问题的性质和需要，以方便实用为原则. 物体的运动是在时间的流逝中在空间发生的. 为了定量地描述物体的运动，必须选择与参考系相固连的坐标系，以确定物体在空间的确切位置. 坐标系的选择也是任意的，也以方便实用为原则.

任何物体都有质量、形状和体积，当物体运动时，物体上各点或部位运动的情况是可以不同的. 但是，当物体的形状和体积在所研究的问题中不起作用或虽起作用但可忽略不计时，这个物体就可以看成是具有质量的几何点，简称质点. 这是对客观物体的科学抽象，理想化了的模型. 大的物体不一定不是质点，例如，地球是人类接触到的最大物体，当我们研究地球绕太阳公转时，就把地球看成质点；小的物体不一定是质点，例如，子弹是比较小的物体，当我们研究空气对飞行子弹的阻力时，就不能把子弹视为质点. 可见，质点是一个有条件的相对的概念.

1.1　质点运动的一般描述

1.1.1　描述质点运动的几个基本物理量

1. 位置矢量

描述质点在空间位置的有方向线段称质点的位置矢量，也称矢径，常用 $\boldsymbol{r}$ 表示，在直角坐标系中它是由坐标原点 O 引向质点所在位置 $P(x,y,z)$ 的矢量，如图 1-1 所示，它一般可写成

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

式中，$\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 分别是 x、y、z 轴的单位矢量. x、y、z 即是质点的空间坐标，也是位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 沿坐标轴的三个分量. $\boldsymbol{r}$ 的量值为

$$r=\sqrt{x^2+y^2+z^2} \tag{1-2}$$

其方向由方向余弦表示

$$\left.\begin{aligned}\cos\alpha&=\frac{x}{r}\\ \cos\beta&=\frac{y}{r}\\ \cos\gamma&=\frac{z}{r}\end{aligned}\right\} \tag{1-3}$$

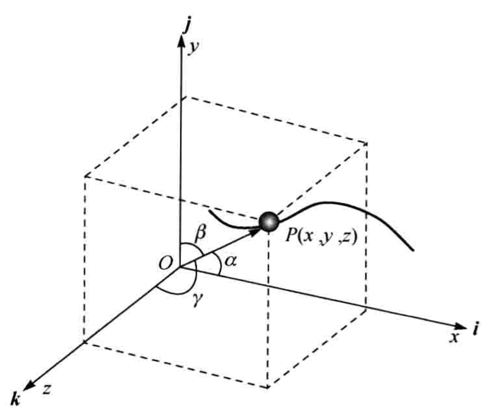


图 1-1　质点的位置矢量

式中，α、β、γ 是 $\boldsymbol{r}$ 分别与 x、y、z 轴的夹角.

若质点做平面曲线运动，则有

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j} \tag{1-4}$$

$\boldsymbol{r}$ 的量值为

$$r=\sqrt{x^2+y^2} \tag{1-5}$$

其方向表示为

$$\theta=\tan^{-1}\frac{y}{x} \tag{1-6}$$

质点做直线运动时，则有

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i} \tag{1-7}$$

2. 位移、路程

(1) 位移

设 t 时刻质点在轨道上的 A 点，位置矢量为 $\boldsymbol{r}_A$；$t+\Delta t$ 时刻质点在轨道上的 B 点，位置矢量为 $\boldsymbol{r}_B$. 则由 A 到 B 的有方向线段 $\boldsymbol{AB}$ 称为质点在 Δt 时间间隔内的位移，如图 1-2 所示. 若位移 $\boldsymbol{AB}$ 用 $\Delta\boldsymbol{r}$ 表示，则有

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k} \tag{1-8}$$

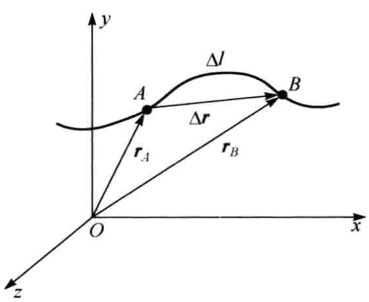


图 1-2　位移

式中，Δx、Δy、Δz 是 $\Delta\boldsymbol{r}$ 沿直角坐标轴的三个分量.

(2) 路程

位移表示质点位置的改变，路程则是质点经过空间的几何路径. 图 1-2 中的 Δl 就是质点在 Δt 时间内的路程. 位移是矢量，路程是标量，它们是两个完全不同物理概念. 当质点做直线运动且在运动方向不变的时间内，位移的大小和路程的量值相等. 容易看出，当 Δt 趋近零时，有 $\mathrm{d}l=|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$.

在国际单位制中，位置矢量，位移矢量和路程的单位均为米(m)，量纲是 L.

3. 速度、速率

(1) 平均速度

设质点在 Δt 时间内的位移为 $\Delta\boldsymbol{r}$，则质点在 Δt 时间内的平均速度定义为

$$\bar{\boldsymbol{V}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\Delta x}{\Delta t}\boldsymbol{i}+\frac{\Delta y}{\Delta t}\boldsymbol{j}+\frac{\Delta z}{\Delta t}\boldsymbol{k}=\bar{v}_x\boldsymbol{i}+\bar{v}_y\boldsymbol{j}+\bar{v}_z\boldsymbol{k} \tag{1-9}$$

式中，$\bar{v}_x$、$\bar{v}_y$、$\bar{v}_z$ 是平均 $\bar{\boldsymbol{V}}$ 速度沿直角坐标轴的三个分量.

从平均速度的定义看出，平均速度矢量的方向就是与其对应的位移方向.

(2) 瞬时速度

如图 1-3 所示，是时间 Δt 不断变小而导致 $\Delta\boldsymbol{r}$ 变化的情形. 当 Δt 趋近零时，平均速度 $\bar{\boldsymbol{V}}$ 的极限定义为 t 时刻的瞬时速度，即

$$\boldsymbol{V}=\lim_{\Delta t\to 0}\bar{\boldsymbol{V}}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} \tag{1-10}$$

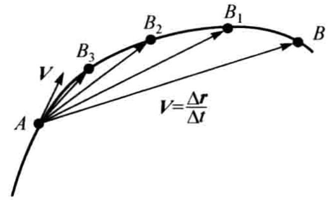


图 1-3　瞬时速度

这表明速度矢量 $\boldsymbol{V}$ 等于位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 对时间的一阶导数，是反映质点运动状态变化快慢的物理量，其在直角坐标中可表示为

$$\boldsymbol{V}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k} \tag{1-11}$$

式中，$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$，$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$，$v_z=\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$分别代表三个坐标轴的速度分量；速度 $\boldsymbol{V}$ 的方向就是该时刻质点所在处轨道的切线方向.

（3）速率

设 Δt 时间内质点的路程为 Δl，则 Δt 时间内质点的平均速率定义为

$$\bar{v}=\frac{\Delta l}{\Delta t} \tag{1-12}$$

由于一般情况下 $\Delta l\neq|\Delta \boldsymbol{r}|$，所以平均速率与平均速度的大小并不相等.

当时间 Δt 趋近零时，平均速率的极限就是瞬时速率即

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\bar{v}=\lim_{\Delta t\to 0}=\frac{\Delta l}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}t} \tag{1-13}$$

由于 $\mathrm{d}l=|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$，瞬时速度的大小与瞬时速率的量值相等，不言而喻，瞬时速度与瞬时速率是两个不同的物理量. 前者是矢量，后者是标量.

在国际单位制中，速度和速率的单位均为 m/s，量纲是 LT^{-1}.

4. 加速度

（1）平均加速度

设 t 时刻质点在轨道的 A 点，速度为 $\boldsymbol{V}_{\mathrm{A}}$，$t+\Delta t$ 时刻质点轨道的 B 点，速度为 $\boldsymbol{V}_{\mathrm{B}}$，在 Δt 时间内速度增量为 $\Delta\boldsymbol{V}$，如图 1-4 所示，则 Δt 时间内平均加速度定义为

$$\bar{\boldsymbol{a}}=\frac{\Delta\boldsymbol{V}}{\Delta t} \tag{1-14}$$

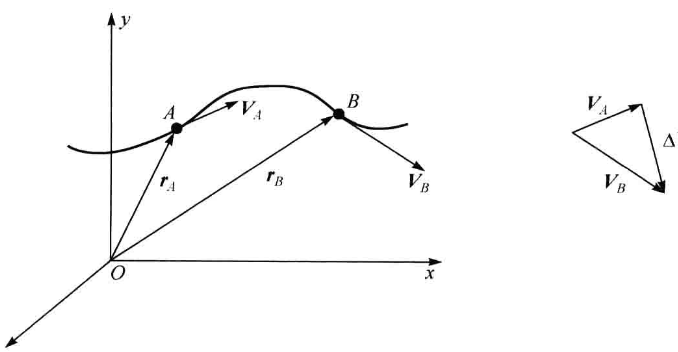


图 1-4 平均加速度

平均加速度 $\bar{\boldsymbol{a}}$ 只反映在 Δt 时间内速度的平均变化率. 平均加速度的方向就是 Δt 时间内速度增量 $\Delta\boldsymbol{V}$ 的方向. 在直角坐标系可表示为

$$\bar{\boldsymbol{a}}=\frac{\Delta\boldsymbol{V}}{\Delta t}=\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\boldsymbol{i}+\frac{\Delta v_y}{\Delta t}\boldsymbol{j}+\frac{\Delta v_z}{\Delta t}\boldsymbol{k}$$

$$\bar{\boldsymbol{a}}=\bar{a}_x\boldsymbol{i}+\bar{a}_y\boldsymbol{j}+\bar{a}_z\boldsymbol{k} \tag{1-15}$$

（2）瞬时加速度

当时间 Δt 变化时，$\Delta\boldsymbol{V}$ 的量值和方向都发生变化. 当时间 Δt 趋近零时，平均加速度的极限就定义为 t 时刻的瞬时加速度，即

$$\boldsymbol{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\bar{\boldsymbol{a}}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{V}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{V}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}\tag{1-16}$$

这表明，质点的瞬时加速度等于速度矢量对时间的一阶导数或位置矢量对时间的二阶导数. 其在直角坐标系可表示为

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}+a_z\boldsymbol{k}\tag{1-17}$$

式中，$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$，$a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}$，$a_z=\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}$是加速度沿坐标轴的三个分量.

5. 运动方程、轨道方程

(1) 运动方程

当质点运动时，质点的位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 的量值和方向都随时间改变，即位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 是时间的函数. 这个函数 $\boldsymbol{r}(t)$ 可以提供质点运动的全部信息，或能反映质点运动的规律. 这种反映质点运动规律的函数称运动方程. 在直角坐标系中可表示为

$$\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k}\tag{1-18}$$

其分量为

$$\left.\begin{aligned}x&=x(t)\\y&=y(t)\\z&=z(t)\end{aligned}\right\}\tag{1-19}$$

(2) 轨道方程

质点走过的运动轨道可用一个函数式表达，或从运动方程(1-19)中消去变量得到的方程称为轨道方程. 一般可表示为

$$\left.\begin{aligned}x&=f_1(z)\\y&=f_2(z)\end{aligned}\right\}\tag{1-20}$$

例如：质点做螺旋线运动时，其运动方程为

$$\begin{aligned}x&=R\cos\omega t\\y&=R\sin\omega t\\z&=ht\end{aligned}$$

消去参变量 t 后得到的方程

$$x=R\cos\omega\frac{z}{h}$$

$$y=R\sin\omega\frac{z}{h}$$

就是轨道方程.

例 1.1　已知质点的运动方程为 $\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}$[SI]，求(1)质点在 2s 时的位置矢量、速度和加速度；(2)质点在 2s 内的位移.

解　(1) 根据质点的运动方程

$$\boldsymbol{r}\big|_{t=2}=2\cdot 2\boldsymbol{i}+(2-2^2)\boldsymbol{j}=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$$

由速度的定义

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=2\boldsymbol{i}-2t\boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{v}|_{t=2}=2\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j}$$

根据加速度的定义

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=2\boldsymbol{j}$$

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_0$$

(2) 将 $t=0$ 代入质点的运动方程,可得到质点在初始时刻的位置矢量,即 $\boldsymbol{r}_0=4\boldsymbol{j}$,同理得 $\boldsymbol{r}_2=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$,则有

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_0=4\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j}$$

例 1.2 某物体运动规律为$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-kv^2t$,$k$ 为正常数,$t=0$ 时初速度为 v_0,求质点速度的表达式.

解 根据已知

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-kv^2t$$

分离变量后得

$$\frac{\mathrm{d}v}{v^2}=-kt\mathrm{d}t$$

两边积分

$$\int_{v_0}^{v}\frac{\mathrm{d}v}{v^2}=\int_0^t-kt\,\mathrm{d}t$$

得

$$\frac{1}{v_0}-\frac{1}{v}=-\frac{1}{2}kt^2\Rightarrow\frac{1}{v}=\frac{1}{v_0}+\frac{1}{2}kt^2$$

1.1.2 质点运动的相对性

描述一个质点的运动,选择不同的参考系,所得结论是不同的. 例如,描述船的运动,既可以选择河床(地球)为参照系,也可以选择相对河床运动的河水为参考系.

为一般性地讨论,设 S 系是静止的参考系,如河床,S' 系是相对于 S 系运动的参考系,如河水,且 S'系相对 S 系运动过程中对应的坐标轴始终保持平行. 质点 P 相对于 S 系的运动称为绝对运动,质点 P 相对于 S'系的运动称相对运动,S'系相对于 S 系的运动称牵连运动,如图 1-5所示,在任何时刻 t 都有

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}'+\boldsymbol{r}_0 \tag{1-21}$$

即绝对位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 是相对位置矢量 $\boldsymbol{r}'$和牵连位置矢量 $\boldsymbol{r}_0$的矢量和. 若式(1-21)两端取增量、对时间一阶和二阶导数得

$$\Delta\boldsymbol{r}=\Delta\boldsymbol{r}'+\Delta\boldsymbol{r}_0 \tag{1-22}$$

$$\boldsymbol{V}=\boldsymbol{V}'+\boldsymbol{V}_0 \tag{1-23}$$

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}'+\boldsymbol{a}_0 \tag{1-24}$$

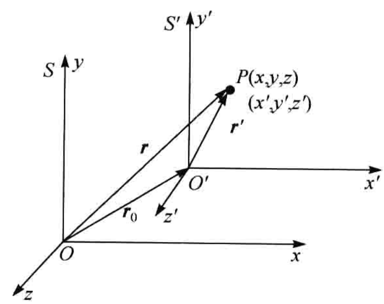


图 1-5 相对运动

它们依次称为位移、速度、加速度合成定理或变换法则. 前述船在河水中的运动，可写成更形象更好记的形式，即

$$\Delta \boldsymbol{r}_{\text{船对地}} = \Delta \boldsymbol{r}_{\text{船对水}} + \Delta \boldsymbol{r}_{\text{水对地}}$$

$$\boldsymbol{V}_{\text{船对地}} = \boldsymbol{V}_{\text{船对水}} + \boldsymbol{V}_{\text{水对地}}$$

$$\boldsymbol{a}_{\text{船对地}} = \boldsymbol{a}_{\text{船对水}} + \boldsymbol{a}_{\text{水对地}}$$

必须指出，当 S' 与 S 之间没有加速度时，式(1-24)为

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}'$$

即绝对加速度等于相对加速度. 说明这两个参考系 S 和 S' 具有相同的物理属性.

例 1.3　一带蓬卡车，蓬高 2m，当它停在路上时，倾斜雨滴落入车内，离车厢后沿 $d=1\text{m}$ 处都淋着雨，若卡车以 $v=15\text{km/h}$ 的速率沿平直路面行驶时，雨滴恰好不能落入车内，求雨滴下落速度及雨滴相对于车的速度

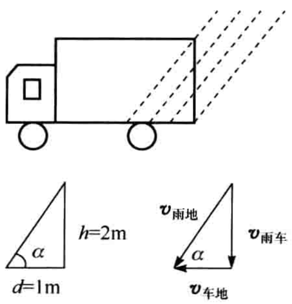


图 1-6　雨滴相对运动的矢量关系

解　根据已知蓬高 $h=2\text{m}$，$d=1\text{m}$，设雨滴相对于地面的速度为 $\boldsymbol{v}_{\text{雨地}}$，车相对于地面的速度为 $\boldsymbol{v}_{\text{车地}}$，雨滴相对于车厢的速度为 $\boldsymbol{v}_{\text{雨车}}$ 依据式(1-23)，可得图 1-6 所示的几何关系，由此可得

$$v_{\text{雨地}} = \frac{v_{\text{车地}}}{\cos\alpha} = \frac{15}{1/\sqrt{1+2^2}} = 33.5(\text{km/h})$$

$$\boldsymbol{v}_{\text{雨地}} = \boldsymbol{v}_{\text{雨车}} + \boldsymbol{v}_{\text{车地}}$$

$$\boldsymbol{v}_{\text{雨车}} = \boldsymbol{v}_{\text{雨地}} - \boldsymbol{v}_{\text{车地}} = 33.5 - 15 = 18.5(\text{km/h})$$

例 1.4　某人在河水中游泳，假设他在静水中游泳的速度大小为 4.5km/h，如果河水的流速为 3km/h. 求(1) 此人向什么方向游时，才会沿着与河岸垂直的方向到达对岸？(2)若他想以最短的时间到达对岸，则应向何方向游？

解　以河岸为参考系，则人相对河水的速度大小为 $v_{\text{相对}} = v_{\text{人}} = 4.5\text{km/h}$，其方向待求. 水相对于河岸的速度为牵连速度大小为 $v_{\text{牵连}} = v_{\text{水}} = 3\text{km/h}$，方向沿河岸向东.

(1) 由图 1-7 给出的几何关系可得

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_{\text{人}} + \boldsymbol{v}_{\text{水}},\quad \sin\theta = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{人}}} = \frac{2}{3}$$

(2) 河宽 $H = v_{\text{人}} \cos\theta \cdot t$

$$t = \frac{H}{v_{\text{人}} \cos\theta}$$

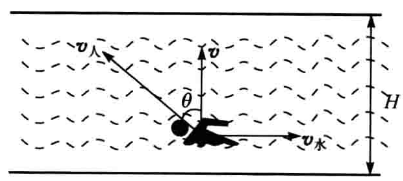


图 1-7　游泳者相对运动的矢量关系

由上式可知，当 $\theta=0$ 时到达河对岸历时最短.

1.2　几种特殊运动的描述

1.2.1　匀变速直线运动

1. 速度公式

质点做直线运动，且加速度是常量，这样的运动称为匀变速直线运动. 例如，自由落体运动就是典型的匀速直线运动(图 1-8). 这种运动的运动学特征是

$$\boldsymbol{a} = \text{恒矢量}$$

为方便讨论，设质点沿 x 轴运动，其初始条件是 $t=0$，$v=v_0$ 时，则有

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

$$\mathrm{d}v=a\mathrm{d}t$$

两端分别积分$\int_{v_0}^{v}\mathrm{d}v=\int_0^t a\mathrm{d}t$

于是得

$$v=v_0+at \tag{1-25}$$

这就是匀变速直线运动的速度公式.

图 1-8　苹果自由下落

2. 位移公式和运动方程

根据速度的定义且已知初始位置 $\boldsymbol{x}_0$，则

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

$$\mathrm{d}x=v\mathrm{d}t$$

两端分别积分

$$\int_{x_0}^{x}\mathrm{d}x=\int v\mathrm{d}t=\int_0^t(v_0+at)\mathrm{d}t$$

这是在这段时间内的位移公式. 移项后得

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2 \tag{1-26}$$

这是运动方程，它表示质点从 x_0 处开始以初速度 v_0 做加速度为 a 的匀加速直线运动. 若 $x_0=0$，表示质点从坐标原点开始运动，这时可表示为

$$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

3. 速度与位移关系式

根据加速度的定义

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

并改写成

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\cdot\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

则有

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}\cdot v$$

两端分别积分

$$\int_{x_0}^{x}a\mathrm{d}x=\int_{v_0}^{v}v\mathrm{d}v$$

得

$$2a(x-x_0)=v^2-v_0^2 \tag{1-27}$$

若位移用 s 表示，则

$$2as=v^2-v_0^2 \tag{1-28}$$

1.2.2　抛体运动

1. 运动的叠加性

叠加性是质点运动的一个特征，它基于运动的独立性，没有运动的独立性也就没有运动的叠加性，在读者熟知的一般抛体运动中(图 1-9)，质点参与水平方向匀速度直线运动的同时，又参与竖直方向的匀加速直线运动，这两个正交方向独立运动叠加起来，构成质点的一般抛体运动. 因此，我们可以得出结论：一个运动可以看成几个各自独立运动的叠加，这一结论称为运动叠加原理. 它的直接意义在于可以将一个复杂的运动分解成几个简单的运动，以利于分析和计算.

抛体运动是水平方向的匀速度直线运动与竖直方向匀变速直线运动的叠加. 若质点以速度 V_0 且与水平方向成 α 角抛出，如图 1-10 所示，则可分别得到抛体的运动规律.

图 1-9　摩托车飞行轨迹近似为抛物线

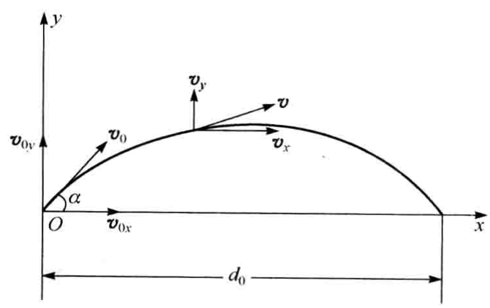


图 1-10　抛体运动

2. 速度公式

$$v_x=v_{0x}$$

$$v_y=v_{0y}-gt$$

其中，$v_{0x}=v_0\cos\alpha$，$v_{0y}=v_0\sin\alpha$.

3. 运动方程

$$x=v_0t\cos\alpha$$

$$y=v_0t\sin\alpha-\frac{1}{2}gt^2$$

4. 轨道方程

$$y=x\tan\alpha-\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2$$

5. 飞行时间与半飞行时间

$$t=\frac{2v_0\sin\alpha}{g}$$