高等学校交流讲义

普通物理学

PUTONG WULIXUE

力学部分

北京大学物理系普通物理教研室編

人民教育出版社

本书是北京大学物理系普通物理教研室在他們原有讲义的基础上編成的，内容包括：质点运动学、质点动力学、动量和动量守恒定律、功和能、万有引力、刚体力学、流体力学、振动、波和声学等十章。

本书可作为綜合大学及高等师范学校物理各专业"普通物理学"課程力学部分的教材，也可供高等工业学校的相近专业选用。

普通物理学

力学部分

北京大学物理系普通物理教研室編

人民教育出版社出版 高等学校教学用书編輯部 北京宣武門内承恩寺7号

北京市书刊出版业营业許可証出字第2号

新华印刷厂印装

新华书店科技发行所发行

各地新华书店經售

統一书号 13010·973 开本 850×1168 1/32 印张 7 11/16

字数 193,000 印数 1501—25,000 定价（6）¥0.75

1961年7月第1版 1961年7月北京第2次印刷

目　录

第一章 質点运动学

§1. 参照系和坐标系

一切物质都处在永恒的运动中。以物体的机械运动为例，地面上的物体相对于地球有位置的变动，而地球又繞着太阳运动，太阳与各恒星間的位置也在变动。这里特别要指出的是，任何物体的运动都是构成客观世界无限的、永恒的物质运动的一个組成部分，而不能抽象地当作一个孤立的事件来理解。随着学习的深入，我們将看到，在力学的范圍內，正确地理解运动的描述、运动的变化規律、力的作用以及时間和空間的概念等等，都不能离开上述的前提。关于这一点，在本章里首先需要认識的是，当我們研究某一物体的运动时，必須具体指明，运动是相对于那一个物体或那一个物体群的。这种选用为具体研究物体运动的依据的物体或物体群，称为参照系。例如，研究月球相对于地球的运动，則地球就是参照系。若研究月球相对于太阳的运动，則太阳为参照系。又如研究河水的流速，若相对于地面，則地面为参照系，但若相对于行駛于河中的輪船，則輪船为参照系。研究某一物体的运动，究竟选那一个物体或那个物体群为参照系，要看問題的性质和計算的方便。

选定了参照系之后，要把物体在各个时刻相对于参照系的位置定量地表示出来，还需要在参照系上选擇适当的坐标系。平时多用直角坐标系(x, y, z)，有时（如研究行星相对于太阳的运动）也选用极坐标(r, θ)或其他的坐标系。

参照系选定之后，物体的运动情况就确定了。至于在参照系

上选什么坐标系（用 x, y, z 还是 r, θ），則只是描述运动所用的变量不同而已。

§2. 质点

如果我們仔細地考察物体的机械运动，則运动情况总是比較复杂的。就以比較簡单的落体运动来說，一方面物体受到重力，但另一方面它还受到空气的阻力，而空气的阻力又与落体的几何形状和大小有关。但是，在某些問題中，阻力起的作用很小，运动的情况主要决定于重力，因而可以忽略空气的阻力，这样一来，物体的运动就可看做与几何形状和大小无关。我們平常說地球繞太阳做椭圓軌道运动，如果仔細考察起来，由于地球还有自轉，所以地球上各点相对于太阳的运动就不完全是椭圓軌道。但是由于地球到太阳的距离約为地球直徑的一万多倍，所以，在我們研究地球的公轉时，地球上各点的运动情况基本上可看做是一样的，也就是說，可以不考虑地球的形状和大小。类似的例子是很多的。概括这样一些事实，我們可以看到，在某些問題中，物体的形状和大小与研究的問題无关或者是起的作用很小，是次要的因素，为了首先抓住主要的因素和掌握它的基本运动情况，我們有必要忽略物体的形状和大小。这样一来就使得在研究的問題中，物体的形状和大小与問題完全无关，这样的对象称为质点。所以称它为质点，是由于这样的对象可抽象地看做为只有质量而无形状和大小的点。

质点的运动是机械运动中一种簡单的运动形式，在相当多的实际問題中，我們可以把物体的运动近似地看作质点的运动，例如在研究一般的天体运动，带电质点在电磁場中的运动、单摆的运动等等。另一方面，当我們进一步研究更复杂的运动（如刚体、流体、彈性体的运动）时，虽然不能再把整个物体看作质点，但在处理方法上，有时也把物体看成是由許多质点組成的质点組，由质点的运

动規律着手，来研究整个物体的运动規律。

质点是理想的“模型”，絕对的质点在实际中是不存在的。但是这种基于对实际問題进行全面、科学地分析之后，从而在一定条件下引入抽象化、理想化的模型，做为研究的对象，这种研究方法在物理学中是經常用到的。因为自然現象总是相互联系相互制約的，內部包含各种矛盾，但是有主要和次要之分，如果想把所有的因素完全无遺漏的一起考虑在內，这在人們一定的认識阶段上是不可能的，也沒有必要。因此，我們往往是在比較全面分析的基础上，抓住其中主要的因素，将实际情况进行簡化，以便于从理論上去研究它。因此在物理学中引入科学的“理想模型”，不仅是允許的，而且是很有意义的。以后我們讲的刚体、理想流体等等都是理想模型。

当然，理想模型的建立絕不允許主观臆造，而必須是基于对客观实际进行科学的分析。对已經引入的理想模型也不允許不分析其适用条件而到处搬用。尤其重要的是，“模型”是否眞正反映了客观实际，最后还必須在实踐中經过檢驗。

理想模型絕不是一成不变的。随着人們对客观实际认識的深化，必須針对問題的需要，不断修正和发展它，以便更加接近于客观实际。

§3. 直綫运动

关于质点运动学，我們将着重于介紹描述质点运动的一些基本概念和物理量，而不着重于各种具体运动的詳細討論。

质点相对于选定的参照系的运动，可以按其軌迹分为直綫运动和曲綫运动。本节首先討論直綫运动。

(一)勻速直綫运动·速度·勻速直綫运动中的路程 如果质点始終在一直綫上运动，而且在任意相等的时間內，通过相等的路

程，这种运动叫做匀速直綫运动。

这种运动的基本特点，就在于任意相等的时間內通过相等的路程，即通过的路程和所用的时間成正比，而其比値是不随时間改变的。一切匀速直綫运动都具有这样的共同特征，这正反映了它們运动时快慢均匀的特点。

当我們比較两个以上不同的匀速直綫运动时，就会发現，或者是在同样的时間內两者通过的路程不同，或者是通过相同的路程而所用的时間不同。总之，对于不同的匀速直綫运动，前面所讲的比値的量値不同，这正是反映了它們彼此間运动快慢的不同。

因此，前面所談的路程与时間的比値反映了匀速直綫运动快慢的特点。我們称它为速度，所以匀速直綫运动中速度的定义是：任意一段时間內质点所通过的路程与这段时間的比値。

設质点沿图 1-1 中 MN 綫段向右运动，任取 0 为原点，設在 t_0 与 t 时刻质点分别处于 A 点与 B 点，它們与原点的距离分别为 s_0 与 s，則匀速直綫运动的速度 v 由下式决定：

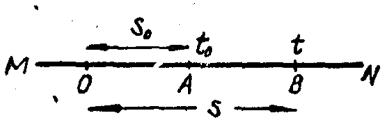

图 1-1

$$v=\frac{s-s_0}{t-t_0}. \tag{1.1}$$

不难看出，速度的数値等于单位时間內所通过的路程。速度的单位可由上式确定。在 CGS 单位制中，速度的单位是厘米/秒。在实用单位制中，則常用米/秒或千米/小时。

上式是速度的定义的数学表达式，同时也反映了匀速直綫运动中路程与时間的关系。为了簡便起見，若选开始时 $t_0=0$，选此时质点所处的位置为原点，即 $s_0=0$，則上式可写为

$$s=vt. \tag{1.2}$$

当速度已知时,利用此式可求得任意时間內所走的路程。

(二)变速直綫运动·瞬时速度·变速直綫运动中的路程。

(1) 变速直綫运动·瞬时速度 当质点做直綫运动时，在任意相等的时間內，通过不相等的路程,这种运动,叫做变速直綫运动。

对于变速直綫运动，不能簡单的用建立在匀速直綫运动特点的基础上所引入的速度的概念去描述它，而必須将速度的概念做进一步的发展。

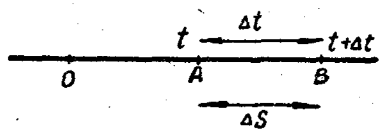

图 1-2

在变速直綫运动中，质点在各时刻运动的快慢情况不同，做为粗略地描述其运动的快慢，我們引入平均速度的概念。如图 1-2 所示,設质点在时間間隔 Δt 內,通过的路程为 Δs,则平均速度 $\bar{v}$ 的定义是

$$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}. \tag{1.3}$$

应当注意，平均速度是与所考虑的时間間隔的大小有关的，Δt 取的大小不同，就得到不同的平均速度。所以平均速度总是指某一段时間內(或某一段路程上)的平均速度。

平均速度的意义还可以这样来理解：它等于某一个匀速直綫运动的速度,这个匀速直綫运动,在 Δt 时間內，也正好通过 Δs 的路程。所以,用平均速度来描述做变速直綫运动的质点在某段时間內的运动情况，相当于用某一匀速直綫运动“代替”了真实的变速直綫运动。这种“代替”只是反映了最后效果的一致(即用同样时間通过同样的路程)，但在 Δt 时間內各个时刻的运动情况则是不相同的，一个是匀速运动，一个可能是先快后慢或先慢后快,也可能是时快时慢很复杂的运动。

用平均速度来描述变速直綫运动是粗略的。但是，如果我們

取的时間間隔 Δt 充分短，以至于在这样短的时間內，运动情况尙沒有发生显著的变化，这时用平均速度来描述质点的运动，就比較接近于眞实情况了。Δt 取的愈短，則愈能精确的反映实际运动情况。从理論上考虑，我們可以取 Δt 无限小，即令 $\Delta t\to 0$，这时，Δt 內的平均速度就趋于一个确定的极限值，这就是瞬时速度的概念。所以，质点做变速直綫运动时，某时刻 t（或相对应的某点 A）的瞬时速度 v，就是在时刻 t 附近无限短的时間間隔 Δt 內平均速度的极限值。数学表达式如下：

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{ds}{dt}.$$

式中最后的表达式是运用数学分析的符号。因为每一时刻 t 对应一位置 s，所以 s 是 t 的函数，而式中符号表示瞬时速度是函数 s 对时間 t 的一級微商。

用瞬时速度来描述变速运动，就可精确的反映出它在各个时刻的快慢情况。质点做变速直綫运动时，每时每刻都具有一定的瞬时速度，而一般讲来，各时刻的瞬时速度又相互不同，結合前面对平均速度的分析，可以看到，用瞬时速度来精确的反映各时刻运动的快慢，也可以理解为是用无限多个、无限暫短的，前后相继而其速度又相差无限小的匀速直綫运动来代替整个的变速直綫运动。类似于这种处理問題的方法，我們以后还要經常用到。

瞬时速度这一概念是匀速直綫运动中速度概念的发展。显然，匀速直綫运动不过是各个时刻的瞬时速度都相等的运动而已。以后我們所讲的速度，都是指瞬时速度。

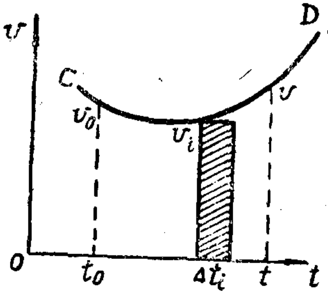

图　1-3

（2）变速直綫运动中的路程　质点做变速直綫运动时，每一时刻 t 都具有一定的速度

v，因此速度 v 是时間 t 的函数。若以 v 为纵坐标，t 为横坐标，則一变速直綫运动，在图中对应一条曲綫（图 1-3）。不同的变速直綫运动，曲綫的形状不同。現在我們就借助于 v-t 图来求变速直綫运动中的路程。

图 1-3 中 CD 代表任一变速直綫运动。現在求由 t_0 到 t 时間內质点所通过的路程。为此，我們将 t_0 到 t 整个时間分为許多小間隔，如 n 个小間隔，考慮其中任一小間隔 Δt_i，假設在 Δt_i 內，质点是以 Δt_i 开始时的速度 v_i 做匀速直綫运动，則根据匀速直綫运动中路程的公式，在此間隔內所通过的路程 Δs_i 为

$$\Delta s_i = v_i \Delta t_i.$$

由图中看来，它在数值上正好等于画斜綫的小矩形面积。若对于每一小間隔，都做这样的假設，則从 t_0 到 t 时間內所通过的路程 s' 就等于 n 个匀速直綫运动所通过的路程的总和，由图 1-4 上看，則相当于 n 个小矩形面积的总和，即

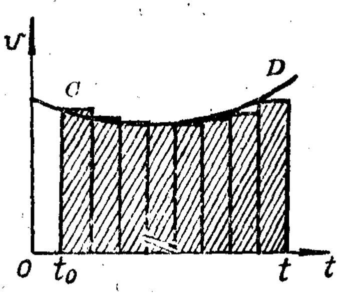

图 1-4

$$s' = \sum_{i=1}^{n} \Delta s_i = \sum_{i=1}^{n} v_i \Delta t_i = n \text{ 个小矩形面积的总和。}$$

以上的考慮是以一个基本假設为前提的，即假設每一小間隔內，都可看做是匀速直綫运动，也就是說，用一系列的匀速直綫运动代替变速直綫运动。根据前面对瞬时速度的討論可知，只要所分的間隔数 n 无限多，而每一間隔 Δt 又无限小，則上面的假設就可以成立。因此，变速直綫运动在 t_0 到 t 时間內所通过的路程 s 就是在 $\Delta t \to 0, n \to \infty$ 时 s' 的极限值，即

$$s = \lim_{\substack{\Delta t \to 0 \\ n \to \infty}} \sum_{i=1}^{n} \Delta s_i = \lim_{\substack{\Delta t \to 0 \\ n \to \infty}} \sum_{i=1}^{n} v_i \Delta t_i = \int_{t_0}^{t} v\, dt. \qquad (1.4)$$

式中的表达式是运用数学分析的符号，它表示路程是速度函数对时間的积分。

由图上看来，当 $\Delta t\to 0$, $n\to\infty$ 时，則小长方形面积的总和就趋于 t_0 与 t 之間曲綫下的面积。因此，路程 s 在数值上也等于 t_0 与 t 之間曲綫下的面积。

(三)匀变速直綫运动·加速度·匀变速直綫运动中的路程　质点做直綫运动时，其速度一般讲来是經常改变的。下面我們将进一步討論如何反映其速度变化的情况。

首先討論一种最簡单的变速直綫运动，即在任意相等的时間內，其速度的改变相等，这种运动叫做匀变速直綫运动。这种运动的特点是速度的改变与所經过的时間成正比，因而其比值是一个不随时間而改变的确定的值，而且对于不同的匀加速运动，这个比值的量值不同。

类似于在匀速直綫运动中引入速度概念的方法，我們这里引入加速度的概念，即任意一段时間內速度的改变量与这段时間的比值，叫做匀变速直綫运动的加速度。設开始时 $t_0=0$，此时速度为 v_0，在时刻 t 其速度为 v，則加速度 a 为

$$a=\frac{v-v_0}{t}. \tag{1.5}$$

不难看出，加速度在数值上等于单位时間內速度的改变量。

要注意的是，加速度可正、可負，这要看速度是随时間增加还是減小。如果增加，即 $v>v_0$ 則 $a>0$，即质点做匀加速直綫运动，如忽略空气阻力的落体运动。反之，若速度減小，即 $v<v_0$，則 $a<0$，即质点作匀減速直綫运动，如忽略空气阻力的上抛运动。

加速度的单位可由上式确定，在 CGS 单位制中，其单位为厘米/秒^2。

上式是加速度的定义的数学表达式，同时也反映了速度与时間的关系，上式可改写为

$$v=v_0+at. \qquad (1.6)$$

当知道了初速 v_0 和加速度 a 后,就可利用此式求得任意时刻 t 时的速度 v。

下面我們来求匀变速直綫运动中的距离。由上式不难看出，匀变速直綫运动在 v-t 图上为一斜的直綫，其斜率等于加速度,即 $a=\tan\alpha$(图 1-5)。根据前面所讲，在 t 时間內所通过的路程 s 应等于图中 Ot 間斜綫下的梯形面积,即

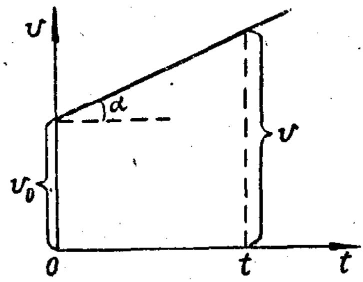

图 1-5

$$s=\frac{1}{2}(v_0+v)t.$$

将(1.6)式中的 v 代入此式,可得

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2. \qquad (1.7)$$

这就是匀变速直綫运动中路程和时間的关系式。

如果要直接写出路程和速度的关系,則可由(1.6)、(1.7)两式中消去时間 t,得

$$v^2=v_0^2+2as. \qquad (1.8)$$

忽略空气阻力的落体运动，就是最常見的一种匀变速直綫运动,可以运用上面这些公式来具体的处理各种有关的問題。

(四)任意直綫运动中的瞬时加速度 上面讲的匀加速直綫运动是变速运动中一种最簡单的。一般的直綫运动，速度变化并不均匀,即在任意相等的时間內,速度的改变不相等。为了反映其速度变化的情况，須要将匀加速直綫运动中加速度的概念做进一步的发展。

类似于前面引入平均速度的方法，这里我們引入平均加速度

做为对速度变化情况粗略的反映。

設质点在时刻 t 的速度为 v，經过 Δt 时間后，其速度变为 $v+\Delta v$，即在 Δt 时間内速度的改变为 Δv，則平均加速度 $\bar{a}$ 为

$$\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}. \tag{1.9}$$

类似于前面引入瞬时速度时所做的分析，这里我們可看到，Δt 取的愈短，則愈能眞实地反映其速度变化的情况。若取的时間間隔无限短，即令 $\Delta t\to 0$，則平均加速度就趋于一个确定的极限，这就是瞬时加速度的概念。所以，质点在时刻 t 的瞬时加速度就是在时刻 t 附近平均加速度的极限値，其数学表达式为

$$a=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{dv}{dt}=\frac{d^2s}{d^2t}. \tag{1.10}$$

瞬时加速度精确地反映了在各个时刻质点速度的变化率。

〔式中引入了数学分析的符号，式中最后的符号表示瞬时加速度是函数 s 对时間 t 的二級微商。〕

§4. 速度和加速度矢量・矢量的合成和分解

(一)速度和加速度矢量 当进一步考察速度这个物理量时，我們就会发現，只用数値还不足以充分地反映它。例如，如果只提到某质点在某时刻运动的速度是 3 米/秒，則这种描述是不完全的，因为质点此时究竟是向什么方向运动，仍不了解。所以，速度这个物理量，不仅具有数値(如 3 米/秒)，而且具有方向(如指向南方)。要充分地反映速度这个物理量的全部含义，就必須同时指明它的数値和方向。为了标明速度这个物理量是个有方向的量，一般用黑体字母 $\boldsymbol{v}$ 表示，而以 $|\boldsymbol{v}|$ 或 v 表示速度的数値(也有的用 $\vec{v}$ 表示前者，而以 $|\vec{v}|$ 或 v 表示后者)。速度也可以用几何法表示。划一箭头，令其长度以一定的比例代表速度的数値，而箭头的指向代表速度的方向(图 1-6)。

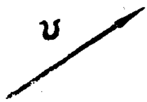

图 1-6

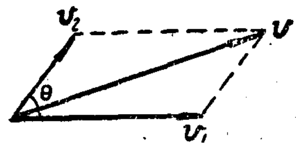

图 1-7

速度不仅具有数值和方向，更值得注意的是它遵从一定的运算法則。为此，我們来分析一个具体的例子。設有一只船在靜水中划行，如图 1-7 所示，船以速度 $\boldsymbol{v}_1$ 做匀速直綫运动，設其速度的方向由西向东；設当其不划行而任風吹动时，則以速度 $\boldsymbol{v}_2$ 做匀速直綫运动，其方向是向东偏北 θ 角。如果同时参予上述两种运动，則实踐証明，船是以速度 $\boldsymbol{v}$ 做匀速直綫运动，$\boldsymbol{v}$ 和 $\boldsymbol{v}_1, \boldsymbol{v}_2$ 之間滿足图 1-7 所示的平行四边形关系。这就是說，船是沿平行四边形对角綫的方向运动，而且其合速度的数值 $|\boldsymbol{v}|$ 不等于两个分速度数值的直接相加，即不等于 $|\boldsymbol{v}_1|+|\boldsymbol{v}_2|$。上面只是就速度所遵从的运算法則之一，即速度的加法通过一例予以闡明，以后我們还会遇到其他的运算法則，这种运算法則和另外一些物理量如时間、溫度等不同。

不仅速度具有以上的特性，加速度也具有这种特性，以后我們要研究的力、动量等也都具有这种特性。人們总結、归納了大量实踐的結果，引入**矢量**的概念。矢量就是同时**有数值有方向而且遵从一定的运算法則的量**。矢量的运算法則，我們以后将逐步地做一定的介紹。系統的研究将在高等数学中进行。

矢量的书写法和前面讲的速度矢量的书写法类同，上面所介紹的速度的几何表示法对一般矢量也同样适用。另外，如果一矢量，它和矢量 $\boldsymbol{A}$ 仅仅方向相反，其他皆相同，則就以 $-\boldsymbol{A}$ 表示（图 1-8）。

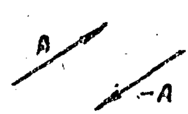

图 1-8

只用数值就可完全决定的量叫做标量，如时間、溫度、质量、密度等等。

在前面讲直綫运动时，因为质点已經限定在一直綫上运动，其运动方向用正負就可表示，故不必提出其矢量性。

(二)矢量的加法和减法 矢量的加法遵从平行四边形法則。設 $\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}$ 代表两个矢量，将它們相加时，可自同一点画 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 两个矢量，(图 1-9)以 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 为两邻边，完成平行四边形，自两矢量的交点划出对角綫，即代表 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 两矢量的和，以下式表示：

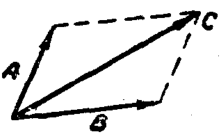

图 1-9

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B},$$

$\boldsymbol{C}$ 叫做合矢量，而 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 叫做 $\boldsymbol{C}$ 的分矢量，因为平行四边形的对边平行且相等，所以矢量的加法也可以这样进行：即以矢量 $\boldsymbol{A}$ 的末端为始点，画矢量 $\boldsymbol{B}$，則不难看出，由 $\boldsymbol{A}$ 的始点画到 $\boldsymbol{B}$ 的末端的矢量即为矢量 $\boldsymbol{C}$，这称为三角形法則。

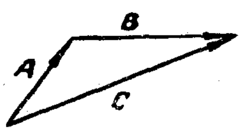

图 1-10

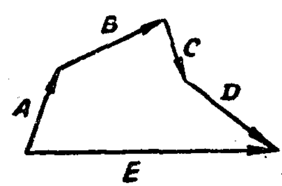

图 1-11

如果将两个以上的矢量相加，例如求矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$ 的合矢量，則可按平行四边形法則，先求 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 的合矢量，然后再求此合矢量与 $\boldsymbol{C}$ 的合矢量，依此类推。也可用三角形法則，在 $\boldsymbol{A}$ 的末端划 $\boldsymbol{B}$，再在 $\boldsymbol{B}$ 的末端划 $\boldsymbol{C}$，等等(图 1-11)，最后由 $\boldsymbol{A}$ 的始点划到 $\boldsymbol{D}$ 的末端的矢量 $\boldsymbol{E}$，即为 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$ 的合矢量，以下式表示：

$$\boldsymbol{E}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C}+\boldsymbol{D},$$

运用这种方法，我們可以将任意多个矢量相加。

［例題］ 設河水由西向东流，相对于地面的流速为 v_1，船在河中运行，相对于河水的速度为 v_2，試画出船相对于地面的速度 v_3。

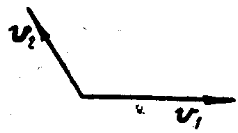

图 1-12

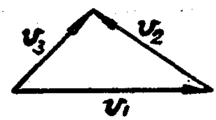

图 1-13

船相对于河水的速度 v_2 就是以河水为参照系所观察到的船的速度，而这个参照系相对于地面又在运动，速度为 v_1。因此，以地面为参照系，則船是参与了上述两个运动。所以船相对于地面的速度，应为上述两个速度的合速度。即

$$v_3=v_1+v_2,$$

亦即用三角形法則由 v_1 的始点画到 v_2 的末端的矢量。

下面我們来介紹矢量的减法。設 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 为两个矢量，矢量 $\boldsymbol{A}$ 减矢量 $\boldsymbol{B}$ 就是矢量 $\boldsymbol{A}$ 加矢量 $-\boldsymbol{B}$，即

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B}).$$

所以，求 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$ 就是求 $\boldsymbol{A}$ 与 $-\boldsymbol{B}$ 的合矢量。

如图 1-14 中左图所示，$\boldsymbol{A}$ 与 $-\boldsymbol{B}$ 的合矢量为 $\boldsymbol{R}$，因为平行四边形对边平行且相等，所以也等于由 $\boldsymbol{B}$ 的末端画到 $\boldsymbol{A}$ 的末端的矢量。

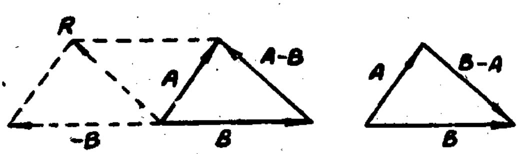

图 1-14

如果求 $\boldsymbol{B}-\boldsymbol{A}$，用同样的方法可知，就是由 $\boldsymbol{A}$ 的末端画到 $\boldsymbol{B}$ 的末端的矢量（見图 1-14 中右图）。

［例題］ 設河水由西向东流，相对于地面的速度为 v_1，船相对于地面以速度 v_2 横渡河流，其方向向东偏北 θ 角，試用几何法画出船相对于河水的速度。

設船相对于河水的速度为 v，因为河水相对于地面的速度为 v_1，因此根据速度的合成，船相对于地面的速度应为船相对于河水的速度 v 与河水相对于地面的速度 v_1