

经典物理学基础

第一卷 第一分册

[美] R. T. Weidner R. L. Sells 著
卢民强 顾梅玲 周永平 译

高等教育出版社

本文根据美国 Allyn and Bacon Inc. 出版的 R. T. Weidner 和 R. L. Sells 合著《经典物理学基础》第一卷(Elementary Classic Physics Vol. I) 1973 年第二版译出。中译本分一、二两册出版。第一分册包括一至十三章, 主要内容为经典力学; 第二分册包括十四至二十一章, 主要内容为机械波、分子运动论和热力学。

这部书第二卷的内容为电磁学与光学。本书作者所著的《近代物理学基础》(中译本已由我社出版)可作为这部书的第一、二卷配合使用。

本书叙述严谨, 强调基本概念, 并特别注重守恒定律, 数学水平适合初学大学物理者。本书各章具有一定的独立性, 便于教师、学生根据不同情况加以选择和调整。书中提供了大量经过较详细分析的例题, 在例题与习题中注意指出经典物理学对于近代物理学的应用。

本书可作理工科院校、电大、职大的教学参考书。

译稿经天津大学刘爱晖副教授校订。

经典物理学基础

第一卷 第一分册

(美) R. T. Weidner R. L. Sells 著
卢凤强 顾梅玲 周永平 译

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海申光印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 11.5 字数 276,000

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数 0,001—2,575

ISBN7-04-001115-8/O·692

定价 3.90 元

前 言

经典物理学基础是为理工科学生编写的大学物理入门教程。第一卷论述经典力学、机械波、分子运动论和热力学；第二卷论述电磁学、电磁波现象与光学。本书的姐妹作，即《近代物理学基础》，实际上是这套书的第三卷，论述现代物理学诸课题。

本书第二版的宗旨仍然是提供一部严谨的物理学入门教程，但考虑到学生初学大学物理，因而在概念和数学的复杂程度上要适合他们的实际水平。初等微积分仅在需要的地方（第一卷的四分之一以后）用到。本书特别注意守恒定律。因此，动量守恒定律在牛顿定律之前引入，而角动量守恒放在转动动力学其它内容之前讨论。本书虽未涉及量子论与相对论，但我们在例题与习题中指出了经典物理学对于原子物理与核物理的应用。在有关热力学的几章中，我们强调了原子的观点以及统计力学的观点，但不着重于统计力学的教学工具。

我们有意将每一个重要课题的基本内容叙述得完整些，并有独立性，使得各章次序可由教师随意变动。除了排小号字的内容以外，下列各章也可全部略去而不至于造成严重脱节：第十五章（固体和流体的力学性质）；第二十章（固体和液体的热学性质）；第二十一章（热力学第二定律和热机）；第三十三章（电场矢量和磁场矢量）；第三十四章（电磁荡与交流电路）；第三十七章（透镜）；以及第四十章（偏振）。

本书提供了大量做好的例题，而且每章以简明的摘要作为结尾。本书后面给出了单数编号习题的答案。

第二版与第一版所不同的主要是，第二版的整个篇幅与章数

实际上都压缩了，但其深广度仍与前版相等。我们做到这一点是因为采用了较简单的、更为直接的论证，适当地删节并砍掉了某些次要的课题。功与动能的内容(第九章)和能量守恒定律(第十章)已完全改写。角动量及其守恒的内容(第十一章)也如此，现已将它放在较为特殊的转动动力学内容之前来讲。简谐运动的内容已全部集中在一起(第十四章)。机械波(第十六、十七两章)已从第二卷移至第一卷；这些内容当然也可以推后而与第二卷中的电磁波现象一起论述。每章末的大部分习题已经更换或修订过，而且几乎只采用国际单位制。在附录 II 中，给出了常用单位制与国际单位制之间的换算因子。

我们感谢采用过本书第一版本的许多人，他们曾提请我们注意到所提出的修改及修正之处。对修订原稿的评论，特别是科罗拉多大学的 F. 莫林教授的评论最有益。我们衷心地感谢 A. E. 瓦尔特博士所作的重大贡献，他在第二版的准备过程中参与了所有阶段的工作。

R. T. Weidner

R. L. Sells

物理常数

取三位有效数字(并见附录 I)

重力加速度	g	$9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
电子质量		$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
地球质量		$5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
引力常数	G	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$
地球平均半径		$6.37 \times 10^6 \text{ m}$
地球-月球间平均距离		$3.84 \times 10^8 \text{ m}$
地球-太阳间平均距离	AU	$1.50 \times 10^{11} \text{ m}$
水的密度(20°C)		$1.00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
标准大气压		$1.01 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2} = 76 \text{ cmHg}$
气体常数	R	$8.31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
在标准温度与标准大气压下 1		
摩尔理想气体的体积		22.4 liter(公升)
温度的绝对零度		$-273.15^\circ\text{C} = 0\text{K}$
阿伏伽德罗数	N_A	$6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
玻耳兹曼常数	R	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

目 录

前言

第一章 引言 (1)

1-1 事件(2) 1-2 长度(2) 1-3 时间(3) 1-4 单位制(4)

第二章 矢量 (6)

2-1 矢量和标量(6) 2-2 位移矢量(6) 2-3 矢量的分量表示(10)

2-4 矢量相加的分量方法(12) 2-5 在三维空间中的矢量(14)

2-6 标积和矢积(15) 2-7 单位矢量 习题(18)

第三章 直线运动 (21)

3-1 质点的函义(21) 3-2 平均速度(21) 3-3 瞬时速度(24)

3-4 加速度(27) 3-5 匀加速直线运动(29) 3-6 自由落体(35)

摘要(37) 习题(38)

第四章 二维运动 (44)

4-1 速度矢量和加速度矢量(44) 4-2 匀加速运动(48) 4-3 抛体

运动(50) 4-4 匀速圆周运动(54) 4-5 角速率(57) 4-6 加速度的

径向分量和切向分量(59) 摘要(61) 习题(62)

第五章 惯性定律 质量守恒和动量守恒定律 (67)

5-1 惯性定律(68) 5-2 惯性质量(70) 5-3 质量的标准(72)

5-4 质量守恒定律(73) 5-5 对心碰撞时的动量守恒(73) 5-6 二

维和三维空间中的动量守恒(79) 5-7 原子碰撞的动量守恒(83)

5-8 火箭与动量守恒(87) 摘要(90) 习题(90)

第六章 质心和参照系 (94)

6-1 质心的速度(94) 6-2 质心的位置(96) 6-3 参照系和相对速

度(99) 6-4 加速运动物体和参照系(103) 6-5 在质心参照系中的

动量守恒(106) 摘要(108) 习题(108)

第七章 力 (114)

7-1 力的各种本源(114)	7-2 力的定义(115)	7-3 力的叠加原理(117)	7-4 冲量和动量(119)	7-5 作用力与反作用力(122)	7-6 重量(125)	摘要(128)	习题(128)
第八章 牛顿力学及其应用	(132)						
8-1 牛顿运动定律(132)	8-2 牛顿定律的应用(134)	8-3 摩擦(141)	8-4 相互作用质点系统(143)	8-5 匀速圆周运动(146)	8-6 非惯性参照系和惯性力(150)	8-7 变质量系统(155)	摘要(158) 习题(159)
第九章 功和动能	(164)						
9-1 动能的定义(164)	9-2 功的定义(165)	9-3 一般的动能定理(166)	9-4 功和动能的另外一些特征(173)	9-5 弹簧所作的功(175)	9-6 功率(180)	摘要(181)	习题(182)
第十章 势能和能量守恒	(186)						
10-1 弹簧的弹性势能(186)	10-2 引力势能(190)	10-3 势能的一般定义(197)	10-4 势能的性质(200)	10-5 能量守恒定律(204)	10-6 碰撞(207)	摘要(216)	习题(216)
第十一章 角动量	(222)						
11-1 角速度矢量(222)	11-2 角动量的一些定性特征(225)	11-3 力矩是角动量随时间的变化率(227)	11-4 具有恒定角动量的质点(232)	11-5 刚体的角动量(237)	11-6 旋转刚体的动能(239)	11-7 角动量守恒定律(242)	11-8 陀螺的运动(246) 摘要(249) 习题(250)
第十二章 转动动力学	(256)						
12-1 转动运动学(256)	12-2 转动惯量(258)	12-3 牛顿定律应用于转动(263)	12-4 转动时的功和动能(269)	12-5 重心(273)	12-6 刚体的平衡(276)	12-7 转动动力学中两个关系式的证明(280)	摘要(283) 习题(284)
第十三章 引力	(289)						
13-1 万有引力定律(289)	13-2 开文迪士实验(295)	13-3 重力场	13-4 行星运动的开普勒定律(299)	13-5 引力势能(305)			

13-6 从能量观点分析行星运动(311)	13-7 等效原理(316)
13-8 空心球壳的引力势能(319)	摘要(322) 习题(323)
附录	(328)
I 基本常数	(328)
II 单位换算因子	(329)
III 数学公式	(332)
IV 三角函数的数值	(333)
V 希腊字母表	(336)
单数编号习题的答案	(337)
索引	(344)

第一章 引言

物理学是最基本的实验科学。物理学的目的在于理解物理世界的现象。物理学是从可以控制的观察即实验开始的，在实验中，通过测量来定量地研究某一现象。在实验中观察到的诸物理量之间的关系用数学语言精确而精炼地表示出来。当一个关系式总结了很多实验，而其可靠性可以说是反映了自然界的普遍现象时，则此关系式就可说是物理“定律”。可喜的是物理定律很少，而极少数的基本定律综合了所有不同的物理现象。

在物理学的发展中，理论与实验两者都起了极重要的作用。实验揭示了自然界的事实；而理论则从这些事实中找出了规律。而且，理论还提出了进一步的实验，以便检验物理定律，而实验则揭示出理论在哪些地方有缺点。

物理学并非是完备的，而且也许永远不会完备。现代物理学家在探索原子核及其组成粒子时，发现了目前物理学定律无法说明的现象。也许，如果人们完全知道物理学的“基本”粒子及其相互作用的方式，则所有其它的物理现象——原子与原子核结构，普通物质的行为与性质，甚至于银河系的碰撞——就应当是可以理解的了。但这一天还没有到来。

虽然我们 must 把所有的物理定律看作是不完备的，而且多少看作是尝试性的，但在物理学中有一部分知识实质上可以看作是完备而正确的，这就是经典物理学。所谓经典物理学论及的是一般大小（比原子的大小 10^{-10} m 大得多）的，以远小于光速（ 3×10^8 m·s⁻¹）的速率运动的物体的行为。经典物理学起源于伽利略与牛顿的力学著作：十九世纪末，当热力学与电磁学的理论

得到充分发展时，经典物理学写下了它的最后几章。

经典力学与电磁学可以说是“正确的”，因为它们的理论适于描述所有一般大小的物体的现象。但当经典物理学应用于原子或原子核大小的物体的运动，或高速粒子的运动时却失效了，前一种情况必须求助于量子论，后一种情况必须采用相对论。我们学习经典物理学不仅因为它在广阔的领域中是正确的，而且因为经典物理学的概念与语言同样也出现在高速微观粒子的近代物理学之中。

1-1 事件

伽利略诞生于公元1564年，在北纬 43.7° 、东经 10.4° （以格林威治为起点）、海拔1500英尺的地方。在说明这个历史事件时，用到了四个数——其中三个数用来说明该事件在空间中的位置，一个数用来说明该事件在时间中的位置。经典物理学也论及空间和时间中的事件；在物理学中一个事件也许只是出现一个粒子，但它与历史事件不同，物理事件表示普遍的现象，该现象具体说明了简单而普遍的物理定律。

物理学中的一个事件也完全需用三个指定位置的量和一个指定时间的量来描述，位置相对于某一任意选定的原点（不必是地球中心或格林威治市）而定，时间相对于某一任意选定的时间零点而定。这就是说，物理事件与通常的事件一样，是用位置和时间来描述的。

1-2 长度

要测定位置就需要测量长度，而测量长度则需要选择大家一致同意的长度标准，所有距离的测量最终都同这个标准有关。在国际单位制（缩写为SI）中，长度标准是米（以m表示），“米”最

初是这样选取的：沿着通过巴黎的子午线，从地球北极到赤道的距离应当是 10,000,000 m。后来，“米”又定义为在一根精心保存的铂铱合金棒上两根精细刻线之间的距离。现在，“米”则是用真空中相当于氪-86 原子的能级 $2p_{10}$ 与 $5d_5$ 之间未受微扰跃迁的橙红色辐射的波长来定义：

$$1\text{m}=1,650,763.73 \text{ 个氪-86 光的波长}$$

长度标准必须满足下列要求：容易得到而又高度精确，且不受诸如温度或压力变化之类干扰的影响。在 1960 年之前所用的长度标准是铂铱合金棒，但它会随温度的上升而膨胀，或者随气压的上升而收缩。这一事实会引起由刻痕宽度带来的不确定性。更糟的是这根合金棒可能会丢失或毁坏！

氪-86 的光谱线在很大程度上克服了这些缺点。这种电磁辐射的波长几乎与外界变化无关，只依赖于氪-86 的原子结构，当然，所有的原子都是这样的。

在美国(或英国)的常用单位制中，长度的标准是英尺。根据定义，这正好是一码的三分之一，法定规则 1 码 = 0.9144 米。其它长度单位的换算因子见附录 II。

测量一个物体的长度，最简单的方式就是数出被测物体的长度是标准长度——例如普通米尺——的几倍。物理学中所有的测量都有以下相同的步骤：选取标准并计算出所测量中包含该标准的倍数(或约数)。

1-3 时间

正如我们可以用米尺把一个物体的长度测量出来一样，我们可以把时间恰当地规定为从时钟上读出的物理量。但时钟是什么呢？尤其，一架可靠的时钟是什么呢？任何呈现出有规律的重复运动的物体或物体组都可以用作时钟。心脏的跳动、脉搏可以算

作非常粗糙的时钟。摆动着的摆或振动着的弹簧是较好的时钟。地球绕自身轴线的转动为测量时间间隔提供了更好的基础。但是，最精确的时钟是原子钟。确实，秒这个时间的标准单位（以 s 表示），现在是用铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁中产生的一次振荡时间来定义的：

$1s = 9,192,631,770$ 个铯-133 辐射的周期

原子钟的优点是高度精确 (10^{-11} 或更高)，而且对任何一个能够制造这种时钟的人都可得到这样高精确度的标准时计。

按照上述的定义，秒可以这样来理解：一天即地球作一次自转的时间，为 $86400(60 \times 60 \times 24)$ 秒。

在人类观察中所遇到的长度与时间的测量范围是：长度：从 10^{-15} m (即原子核的大小) 到 10^{25} m (即宇宙的大小)。时间：从 10^{-23} s (即核时间) 到 10^{17} s (即宇宙的年龄)。人类在空间与时间中似乎介于微观与宏观范围之间。

1-4 单位制

在科学工作中，几乎普遍采用国际单位制(或米制)，因为这种单位制简单。与美国常用单位制不一样，美国常用单位制中有几个长度单位彼此以复杂的倍数相联系 (1 英里 = 5.280 英尺，1 英尺 = 12 英寸)，米制单位则总是以 10 的倍数相联系，例如 1 公里 = 1,000 米。

列在表 1-1 中的是常用的一些词头，用来依 10 的倍数改变单位的大小。

因此，1 公里为一千米，1 沙秒为一秒的十亿分之一。

用米和秒表示的长度和时间，是三个基本测量量纲中的两个。第三个基本量纲是质量，在米制单位制中，质量的标准是千克。质量的标准将在第 5-3 节中讨论；在这里，我们只要注意，力学中

表 1-1

词 头	缩写符号	意 义
沙(微微)	p	10^{-12}
纤(毫微)	n	10^{-9}
微	μ	10^{-6}
毫	m	10^{-3}
厘	c	10^{-2}
分	d	10^{-1}
千	k	10^3
兆	M	10^6
京(千兆)	G	10^9
垓	T	10^{12}

的所有物理量都可以用这些基本的、独立的量表示出来：长度 L 、时间 T 与质量 M 。这就是说，一个给定的物理量可以由其量纲来描述，即只需用 M 、 L 与 T 的一定组合来描述。显然，距离的量纲是长度 L ，速度的量纲是长度除以时间，即 LT^{-1} 。我们将看到，力的量纲是 MLT^{-2} ，而能量的量纲是 ML^2T^{-2} 。

第二章 矢 量

本章论述矢量代数。在物理学中表达诸物理量间的关系时，矢量代数是极其有用的数学语言。除了定义矢量的合成以及将矢量分解为与其等价的分量的基本关系式之外，我们还给出了两个矢量的标积(或点积)以及矢积(或叉积)的定义*。

2-1 矢量与标量

在基础物理学中，我们遇到两种物理量：矢量与标量。标量只有大小并服从通常的代数法则。算术的纯数以及诸如时间、体积与质量等物理量都是标量的例子。一个标量物理量完全是由一个数附带一个适当的单位来表明，例如 10.4s 、 10^4m^3 或 $9.11 \times 10^{-31}\text{kg}$ 。

一个矢量则有(1)方向，(2)大小，以及(3)服从矢量代数的法则，我们知道，这个法则对于位移矢量是成立的。在本章中，我们将只关心位移的矢量性质，因为位移矢量是其它矢量的一个范例。

2-2 位移矢量

。图 2-1 表示一个小物体在三个不同的时刻相继在一个平面上的

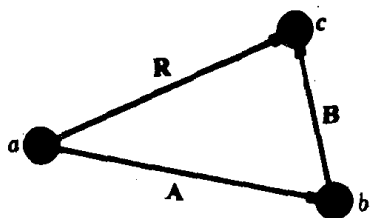


图 2-1 一个物体相继处于位置 a 、 b 和 c 。

的位置。最初这个物体位于点 a ，然后位于点 b ，最后位于点 c 。我们把位移定义为该物体位置的变化。我们可以用 a 与 b 之间的一根有向线段来表示从 a 到 b 的位移，有向线段的箭头画在终点 b ，因而标明该

* 点积与叉积将分别将在第 9-2 节与第 11-3 节中首次用到，因此有关它们的讨论可以推迟到论述这些内容的时候。

位移是从 a 到 b 。在任意选定一个恰当的标度的情况下，该线段的长度表示从 a 到 b 的直线距离。要特别注意，我们不说（或不知道）这个物体是否沿一条直线从 a 移动至 b ，事实上，在这两点之间该物体运动的路径可能是十分曲折的；而我们所知道的仅是： b 是终了位置，而 a 是初始位置。

我们用粗体符号 A 表示 a 至 b 的位移矢量。由于在纸上或黑板上书写粗体符号有困难，所以对于象 A 那样的矢量，通常在符号上面加一箭头 \vec{A} ，或在文字下面划波纹线 \underline{A} （粗体型字的印刷符号）来与标量相区分。矢量 A 的大小是一个标量，并用细体符号表示，如 A 或 $|A|$ 。因此，若 b 离 a 10 m，则 $A = 10\text{ m}$ 。

图 2-1 中由点 b 至点 c 的位移写成 B ，而 R 表示由 a 至 c 的位移矢量。由此图的几何性质，可以明显看出，如果一个物体首先从 a 移动至 b ，然后从 b 移至 c ，则它的总位移，或合位移相当于直接从 a 至 c 的单一位移。利用矢量代数的符号，我们写出矢量方程

$$A + B = R \quad (2-1)$$

这意味着单一的位移 R 给出的位置变化与两次相继的位移 A 与 B 给出的位置变化是一样的（图 2-2）。

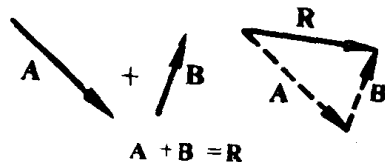


图 2-2 矢量和 $A+B=R$ 的图示。

方程 (2-1) 表示的是一种非常特殊的代数，即矢量代数，加号具

有特殊的涵义。合矢量 R 是 A 与 B 的矢量和。除非 A 与 B 指同一方向，标量方程 $A+B=R$ 是不成立的。当然，如果 A 的大小与方向固定，而 B 仅仅大小固定，则 R 的大小可以取从 $A+B$ （当 A 与 B 方向相同时）到 $A-B$ （当 A 与 B 方向相反时）范围内的任意值。

我们重述矢量的定义。矢量是如位移那样的一个量，它有大小与方向，而且遵循如图 2-2 所说明的矢量相加法则，并用符号

表示为方程(2-1)。反之，具有大小与方向的量，不是一个矢量，除非它服从矢量相加法则。

现在，我们规定矢量代数的某些基本运算：两个矢量的相等，负矢量的，矢量加法的交换律与结合律，两个矢量的减法以及一个矢量与一个标量的乘法。在这些运算中，有一些在普通代数中有其对应的运算，我们先来回忆这些看起来明显但却很基本的适用于普通数的运算，这是很有益的。3的负数是(-3)，使得 $(3)+(-3)=0$ 。交换律成立是因为 $3+2=2+3$ 。结合律成立是因为 $(2+3)+4=2+(3+4)$ 。乘法就是重复相加，例如 $3\times 2=2+2+2$ 。从5中减去2就是将(-2)加在5上，即 $5-2=5+(-2)$ 。

两个矢量的相等 当两个矢量的大小相同且指向同一方向时，即使它们处于空间中不同的点，这两个矢量是相等的。我们记得位移是位置的变化，由此可得出任意两个位移，例如都是10米而且向北，虽然它们可以有不同的出发点，但两者是等同的。因此，图2-3所示的三个矢量，实际上是同一个矢量。这个性质很重要，因为这个性质允许我们在一个图上将一个矢量从一个位置移至另一位置而并不改变该矢量，只要它的大小与方向不变。



图2-3 三个矢量都是矢量A。

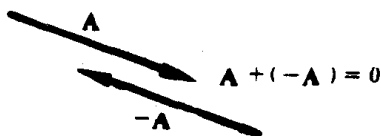


图2-4 为了求一个矢量的负矢量，只要将箭头方向倒过来就行了。

负矢量 如果A表示从a至b的位移，则-A表示从b至a的位移。显然，正如图2-4所示， $A+(-A)=0$ 。矢量A与-A有同样的大小，但方向相反。为了求一个矢量A的负矢量，只要将箭头方向倒过来就行了。

向量加法的交换律 合矢量 R 可以写成 $A+B$ 或 $B+A$ * (图 2-5)。因为次序无关紧要，我们可以将 B 加在 A 上，或将 A 加在 B 上，都可以得到 R ：

$$R = A + B = B + A$$

向量加法的结合律 三个或多个相继的位移的矢量和不依赖于我们将这些位移相加时的次序。所以， $(A+B)+C=A+(B+C)$ ，如图 2-6 所示。

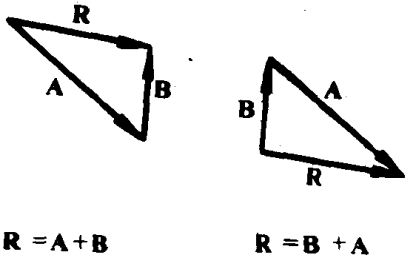


图 2-5 向量加法交换律的图解说明： $A+B=B+A$ 。

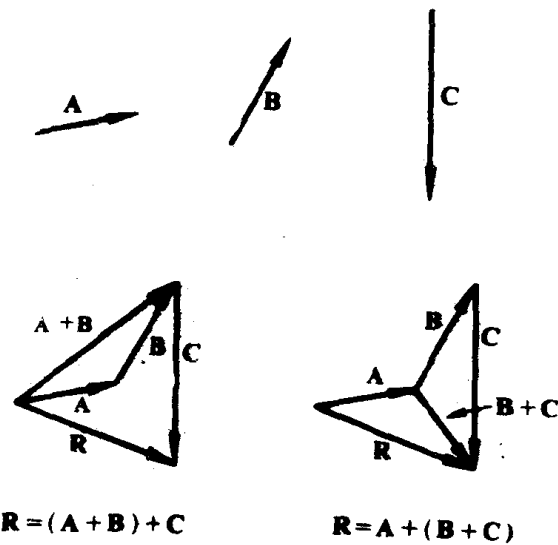


图 2-6 向量加法结合律的图解说明： $(A+B)+C=A+(B+C)$ 。

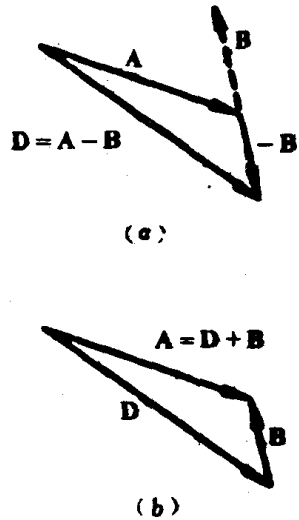


图 2-7 向量差 $D=A-B$ ；(a) 将 $-B$ 加在 A 上，(b) 将 D 加在 B 上得到 A 。

矢量的减法 为了从 A 中减去 B ，我们将 A 与 $-B$ 相加。向量差 D 是 $D=A-B=A+(-B)$ (图 2-7)。

我们可以从不同角度来看矢量的减法。当我们将 B 加到

* 有限角位移，我们可以赋予它大小与方向，但它并不是矢量，因为它们不服从矢量加法的交换律。另一方面，无限小角位移却是矢量。见第 11-1 节。