

大学物理学

第一册

(美) F·W·SEARS 等著
郭泰运 等译

人民教育出版社

PDC

前 言

大学物理学是为正在同时学习初等微积分的理工科学生编写的。全书可集中在二至三学期教完，也适用于各种学时较少的课程。本书的重点放在物理原理和解题方面，历史背景和专门应用列于次要地位。每章有许多例题，并广泛收集了各种习题。大学物理学有整册的，也有分为两册的。第一部分包括力学、热学和声学，第二部分包括电磁学、光学、原子物理学和原子核物理学。

在新版中，编写的指导思想和大纲，论述的深度和内容的广度之间的平衡，与前几版相比并没有改变。我们尽量保持前几版中读者认为合适的特点，同时也作了一些修改，以提高本书的使用价值。主要的修改有以下几点：

1. 米千克秒制和国际单位制是本书的主要单位制。在这种单位制中，包括热量在内的一切形式的能量，都采用焦耳为基本单位。但在本书的前半部分保留了一些使用英制单位的例题和习题。

2. 有关原子物理学和原子核物理学的内容已全部重写，并扩充为第 44 到 46 三章，包括固体物理、高能物理和基本粒子等的初步论述。

3. 增加了相对论力学一章。把这一章放在力学的最后，并无特殊理由。这一章可放在前面讲授，也可放在后面讲授，必要时还可完全删去。

4. 电磁波一章已全部重写，用简洁的文字，更清楚地说明了波传播与电磁学基本原理之间的关系。

5. 增添了几节，以扩大课题范围。其中有：16-7 例题（计算热量），19-25 能量转换（实际应用方面），23-5 音程和音阶，23-7

声学现象的应用, 28-10 电流的生理效应, 38-7 吸收 (光的吸收), 38-8 照明, 41-10 视觉的缺陷, 42-1 相干光源, 42-13 全息术, 45-7 半导体, 45-8 半导体器件, 46-11 辐射与生命科学。

6. 部分内容已重新组织。有关表面张力的内容已压缩, 且并入流体静力学一章。温差电的论述缩减为单独一节。为了更清楚地说明法拉第定律对于在变化磁场中的运动导体和静止导体的各种应用, 电磁感应一章也作了重新安排。关于电感及其有关问题, 由本章分出, 单独立为一章。

7. 为了更加清晰并改进教学效果, 许多章节已全部改写, 其中包括第 7 章的开始部分(功和能), 第 8 章(冲量和动量), 第 11 章(简谐运动), 第 25-4 节(高斯定律), 第 26 章(电势), 第 27-7 节(极化强度和电位移), 第 29-7 节($R-C$ 电路), 第 32-6 节(安培定律), 第 35 章(物质的磁性)。以上列举的仅是少数几例。在少数情况下, 如在第 7、8 两章前面改写的几节, 可能使人误会, 认为不强调用微积分了。其实并非如此, 本书的论述仍然保持和前几版一样的严谨性, 只是遵循由简到繁的教学原则而重新作了编排。

8. 增加了大约 300 个习题, 使习题总数超过 1400 个。与前几版相比, 增加的习题, 提供了更多的类型而且也扩大了范围。作者没有指出解题的线索在书中具体的节, 因为归根结底, 学会对某一具体问题选用合适的原理, 也就是学习解题的一部分。况且, 许多习题所要求的内容并不仅仅限于某一节。

9. 凡是重写的地方, 我们总是以行之有效的教学原则和作者的个人教学经验, 作为修改的指导。在某些情况下, 避免一开始就对原理或概念作普遍性叙述, 而采用由特殊情况开始, 进而引入更普遍的叙述这种顺序。这样, 我们希望帮助学生攀登不太陡峭的斜坡, 最终达到同样的熟练水平。

本书适用于多种课程大纲的教学, 全书可作为一门精深课程

的教本,教程约为二或三学期。对于要求较低的课程,教师可根据各自需要而删去某些章节。新版编排的形式,为这种灵活性提供了方便。例如,关于相对论、流体静力学、流体动力学、声学、物质的磁性、电磁波、光学仪器和其他几章,可以全部或部分删去,而不影响本书的连贯性。

与此相反,几年前认为是次要的而未被列入基础课程的许多课题,现在在生命科学、地球和空间科学及环境问题中又占了重要地位。希望加强这几方面应用的教师,会发现本书对于有关原理的探讨,提供了有用的资料。

总之,应该强调指出,教师无须刻板地按本书顺序进行教学。当然,许多章节本来就存在着连贯性,但是就在这种连贯性的一般限制之内,教师也可以大胆地选择适合自己需要的那些章节,删去与某一特定课程目的无关的那些内容。

F. W. Sears

M. W. Zemansky

H. D. Young

1975. 11.

目 录

第一章 矢量的合成与分解1	3-4 力偶.....65
1-1 力学中无法定义的基本量.....1	习题.....67
1-2 标准与单位.....1	第四章 直线运动75
1-3 物理量的符号.....5	4-1 运动.....75
1-4 力.....6	4-2 平均速度.....75
1-5 力的图示 矢量.....8	4-3 瞬时速度.....77
1-6 矢量加法 一组力的合力.....9	4-4 平均加速度与瞬时加速度.....79
1-7 矢量的分量.....13	4-5 匀加速直线运动.....83
1-8 正交分解法求合力.....15	4-6 用积分法求速度与坐标.....86
1-9 矢量差.....17	4-7 自由落体.....90
1-10 关于习题的几句话.....18	4-8 变加速直线运动.....94
习题.....19	4-9 分速度 相对速度.....95
第二章 质点的平衡23	习题.....100
2-1 引言.....23	第五章 牛顿第二定律 万有引力111
2-2 平衡 牛顿第一定律.....23	5-1 引言.....111
2-3 牛顿第一运动定律的讨论.....26	5-2 牛顿第二定律 质量.....111
2-4 牛顿第三运动定律.....29	5-3 单位制.....115
2-5 质点的平衡.....31	5-4 牛顿万有引力定律.....117
2-6 摩擦.....40	5-5 质量与重量.....119
习题.....47	5-6 牛顿第二定律的应用.....123
第三章 平衡 力矩54	习题.....135
3-1 力矩.....54	第六章 平面运动145
3-2 第二平衡条件.....55	6-1 平面运动.....145
3-3 重心.....61	6-2 平均速度与瞬时速度.....145
	6-3 平均加速度与瞬时加

速度	147	8-8 推广	249
6-4 加速度的分量	149	习题	250
6-5 抛体运动	152	第九章 转动	260
6-6 圆周运动	160	9-1 引言	260
6-7 向心力	164	9-2 角速度	260
6-8 在竖直圆上的运动	168	9-3 角加速度	263
6-9 卫星的运动	172	9-4 匀角加速度转动	263
6-10 地球自转对 g 的 影响	175	9-5 角速度与线速度之间和 角加速度与线加速度之 间的关系	266
习题	178	9-6 转矩与角加速度 转动 惯量	268
第七章 功与能	187	9-7 转动惯量的计算	271
7-1 功	187	9-8 动能、功与功率	277
7-2 变力所做的功	190	9-9 角动量	279
7-3 功与动能	194	9-10 角动量守恒	280
7-4 重力势能	198	9-11 角量的矢量表示	284
7-5 弹性势能	207	9-12 陀螺与回转仪	289
7-6 保守力与耗散力	209	习题	293
7-7 内功	211	第十章 弹性	305
7-8 内势能	212	10-1 应力	305
7-9 功率	215	10-2 应变	309
7-10 功率与速度	216	10-3 弹性与范性	311
7-11 质量与能量	217	10-4 弹性模量	313
习题	220	10-5 力常数	318
第八章 冲量与动量	230	习题	319
8-1 冲量与动量	230	第十一章 谐运动	323
8-2 动量守恒	235	11-1 引言	323
8-3 碰撞	237	11-2 弹性回复力	324
8-4 非弹性碰撞	238	11-3 定义	324
8-5 弹性碰撞	241	11-4 简谐运动方程	325
8-6 反冲	244		
8-7 火箭推进原理	246		

11-5 悬于螺旋弹簧下端物 体的运动	335	13-2 连续性方程	385
11-6 单摆	337	13-3 伯努利方程	386
11-7 角谐运动	339	13-4 伯努利方程的应用	389
11-8 复摆	340	13-5 粘滞性	397
11-9 振动中心	342	13-6 泊肃叶定律	401
习题	344	13-7 斯托克斯定律	404
第十二章 流体静力学	352	13-8 雷诺数	406
12-1 引言	352	习题	408
12-2 流体内的压力	353	第十四章 相对论力学	414
12-3 流体静力学的“佯 谬”	356	14-1 物理定律的不变性	414
12-4 压力计	357	14-2 同时性的相对性质	417
12-5 真空泵	359	14-3 时间的相对性	419
12-6 阿基米德原理	361	14-4 长度的相对性	422
12-7 对水坝的作用力	365	14-5 洛伦兹变换	425
12-8 表面张力	367	14-6 动量	428
12-9 表面膜两侧的压 力差	371	14-7 功与能	429
12-10 接触角与毛细现象	373	14-8 相对论与牛顿力学	433
习题	376	习题	434
第十三章 流体动力学与 粘滞性	383	单数习题答案	438
13-1 引言	383	索引	449
		国际单位制	
		物理恒量	
		单位换算因子	

第一章 矢量的合成与分解

1-1 力学中无法定义的基本量

物理学称为量度的科学。引用开耳芬(Kelvin 1824—1907年)的话：“我常说，假如你能够量度你所谈的东西，并能用数量表示它，你就对它有些了解了；假如你不能用数量表示它，你对它的知识就是贫乏而不能令人满意的。这也许只是知识的入门，但不管怎样，你的知识还没有提高到科学的程度。”

一个物理量的定义，必须提供出根据其他能够量度的量来计算它的一套规则。例如，当动量定义为“质量”和“速度”的乘积时，这定义中就包含动量的计算规则，这样，就只需量度质量和速度。速度的定义由长度和时间给出，但没有任何更简单或更基本的量可以表示时间和长度。所以长度与时间是力学中两个无法定义的量。已经知道只要用三个无法定义的量，就可以表示所有的力学量。按同样的理由，第三个无法定义的量可选用“质量”或者“力”。本书选取质量作为第三个无法定义的力学量。

在几何学上，“点”是无法定义的基本概念。几何学家要求他的学生在思想上建立点的图象，只要求这种图象与他所讲的概念相符。在物理学中，情况并不如此难以捉摸。来自世界各地的物理学家组成各种国际委员会，会议中对无法定义的量选定了量度法则，这种量度法则就代替了定义。这种法则有时称为操作型定义。

1-2 标准与单位

力学中无法定义的量的量度法则，是由称为计量大会的国际

委员会确定的。所有主要国家都派代表参加这个会议。会议主要职责之一，是确定每个无法定义量的标准。某一标准可以是一个实际的物体，其主要特征必须是经久不变的。由于铂-铱合金的化学结构特别稳定，所以1889年选择一根铂-铱合金的米尺作为长度的标准。但是，保存这种材料的米尺作为世界标准，需要定出若干麻烦的措施。例如，要给所有主要国家制作大量复制品，并且每隔一定时间，要把这些复制品与世界标准进行核对。1960年10月14日，计量大会将长度的标准更改为一个原子常数，即在充满氪气的放电管中，由氪-86单原子所发射的橙红光的波长。这样的标准比特定物质为基础的标准容易复制得多。

质量的标准指定为1千克(kg)铂-铱合金圆柱体的质量。它保存在巴黎附近塞弗尔(Sèvres)的国际计量局。

1960年以前，时间的标准定为太阳在头顶连续二次出现的时间间隔，取其一年中的平均值，称为平均太阳日。1960年至1967年，时间的标准改为1900年的回归年，即1900年太阳从天空某一特定位置即所谓春分点出发再回到同一点所经历的时间。到1967年10月，时间的标准又改为铯-133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射周期时间。

这三种标准列于表 1-1 中。

表 1-1 从1969年起的标准和单位

	标 准	测量仪器	单 位
长 度	氪-86发出的橙红色光的波长	光学干涉仪	1米(m) = 1,650,763.73 个波长
质 量	1千克铂-铱圆柱体	等臂天秤	1千克(kg)
时 间	铯-133原子两能级之间跃迁所对应的辐射周期时间	原子钟	1秒 = 9,192,631,770 铯原子周期

标准选定以后，第二步要确定标准与未知量比较的仪器和方法。例如，考虑在一种称为**标准具**的装置中， A 与 B 两个平面镜之间的距离 x ，如图1-1(a)所示。为求得在距离 x 内氦-86橙-红光的波长数，需要使用**光学干涉仪**，其中一种型号的迈克耳孙干涉仪如图1-1(b)所示。我们首先将迈克耳孙干涉仪上可移动的平面

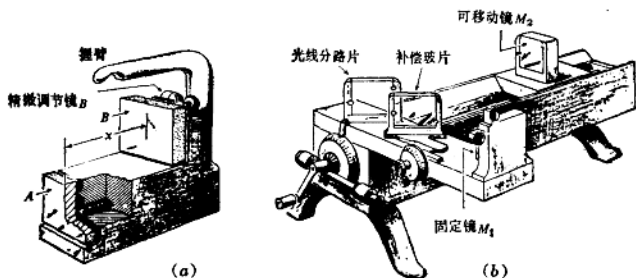


图1-1 (a)标准具(b)根据光的波长来测量距离 x 的迈克耳孙干涉仪。

镜 M_2 与标准具上的 A 点重合。然后缓慢地移动 M_2 ，直到 M_2 与 B 重合为止。在这段时间内，橙色光和暗纹交替出现，即通常称为**干涉条纹**，我们可以从望远镜的目镜里，见到干涉条纹移经叉丝，并进行计数。移动一条完整的干涉条纹，对应于平面镜 M_2 精确地移动了半个波长。用这种方法来定义通常所说的一米(m)长度为：

1 米(m) = 1,650,763.73 个氦-86 橙-红光波长。

定义质量、长度和时间的标准时，全部采用米制。米制的优点之一，是任何一个量的不同单位之间的关系都是十进制。例如，在科学技术中一些常用的长度单位是：

1 埃 = $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ (光谱学家使用)

1 纳诺米 = $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ (光学设计者使用)

1 微米 = $1 \text{ \mu m} = 10^{-6} \text{ m}$ (常用)

1 毫米 = 1 mm = 10^{-3} m (最常用)

1 厘米 = 1 cm = 10^{-2} m (最常用)

1 千米 = 1 km = 10^3 m (常用的距离单位)

所有这些单位都用一组通用的词冠, 这些词冠和它们的缩写代号如表 1-2 中所示.

表 1-2 10 的幂次的词冠

10 的幂次	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
词冠	皮可 pico-	纳诺 nano-	微 micro-	毫 milli-	厘 centi-	千 kilo-	兆 mega-	吉咖 giga-	太拉 tera-
国际代号	p	n	μ	m	c	k	M	G	T

因此

1 千米 = 1 km = 10^3 米 = 10^3 m

1 千克 = 1 kg = 10^3 克 = 10^3 g

1 千瓦 = 1 kW = 10^3 瓦 = 10^3 W

为了便于阅读和使用, 最好将表 1-2 记熟.

英制长度单位定义如下:

1 英寸 = 1 in = 41, 929, 399 个氦光的波长, 或精确地等于 2.54cm

1 英尺 = 1 ft = 12 in

1 码 = 1 yd = 3 ft

1 英里 = 1 mi = 5280 ft

把质量标准(千克)细分为相等的小质量的仪器是等臂天平, 将在第五章里讨论. 经常采用的质量单位是:

1 微克 = 1 μ g = 10^{-9} kg

1 毫克 = 1 mg = 10^{-6} kg

1 克 = 1 g = 10^{-3} kg

$$1 \text{ 磅质量} = 1 \text{ lb} = 0.45359237 \text{ kg}$$

用来定义标准时间间隔的钟是铯钟。它是一个大型的，复杂的、价格昂贵的实验室仪器。它的精确度非常高，能以 10^{11} 分之一以上的准确度维持其频率不变。还可以用它来校验其它高精度的钟，校验时间只需一小时左右，而用旧的天文标准校验则需要几年时间。在这原子钟里，一束铯-133 原子射线，通过一个长的金属圆筒，与一波导管引入的微波相互作用，微波发生器由石英振荡器控制。全世界一致采用的时间单位称为秒，其定义为

$$1 \text{ 秒} = 1 \text{ s} = 9,192,631,770 \text{ 个铯的周期}$$

另外一些常用的时间单位是

$$1 \text{ 纳诺秒} = 1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$$

$$1 \text{ 微秒} = 1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$$

$$1 \text{ 毫秒} = 1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$$

$$1 \text{ 分} = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ 小时} = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ 天} = 1 \text{ day} = 86400 \text{ s}$$

1-3 物理量的符号

我们按惯例采用代数符号表示物理量，诸如 F , p 或 v ，它们代表数量又代表单位。例如， F 可以表示 10 N 的力 (N 代表牛顿)， p 可以表示 $15 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 的压力， v 可以表示 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度。

当我们写出下式，

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

如果 x 以米为单位， $v_0 t$ 和 $\frac{1}{2} a t^2$ 两项也必须用米表示。假定 t 以秒为单位，那么 v_0 的单位一定为米·秒⁻¹， a 的单位必为米·秒⁻²

(系数 $\frac{1}{2}$ 是一纯数, 无单位). v_0 的单位固然也可写成米/秒, 而不写成米·秒⁻¹, 但负指数的形式往往更为方便, 在本书的所有这样的表达式中都采用负指数形式.

作为一个数字例题, 设 $v_0 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $a = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $t = 10 \text{ s}$, 则上式可以写为:

$$x = (10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})(10 \text{ s}) + \frac{1}{2}(4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})(10 \text{ s})^2$$

这些单位可以象代数符号那样来处理, 在第一项中秒⁻¹秒相消, 第二项中秒⁻²秒²相消, 所以

$$x = 100 \text{ m} + 200 \text{ m} = 300 \text{ m}$$

对初学的学生来说, 在他的全部计算中, 除了物理量的大小以外, 还要把所有物理量的单位包括进去, 这样会有好处的. 在本书的数字例题中始终一致地采用这种办法.

1-4 力

力学是物理学的一个分支, 它论述物体运动和引起运动的力. 我们先研究力, 而把物体的运动推迟到第四章再讨论.

我们推或拉物体时, 就说施加一个力在物体上. 但力也可以由无生命的物体来作用. 例如, 伸长的弹簧施力于与它两端相连的物体; 被压缩的空气施力于其容器的壁; 机车施力于它所牵引或推动的列车. 在日常生活中, 我们最熟悉的力是地球吸引每一物体的万有引力, 称为物体的重量. 重力(电力和磁力也同样)可以通过空间不经接触而作用于物体. 由物体彼此直接接触而产生的力, 称为接触力. 从原子的观点来看, 接触力主要是由组成物质的原子中的电子和原子核的引力和斥力引起的.

要描述一个力, 就需要说明作用力的方向及大小. 所谓力的

大小，就是用力的标准单位定量地说明推或拉的力有“多大”。在第五章里，我们将会知道如何用质量、长度和时间单位来规定力的单位。在米·千克·秒(m k s)制中，力的单位是牛顿，国际代号为N。英制常用的单位是磅(lb)，所谓磅，定义为地球对质量为1磅的标准物体的引力(即标准物体的重量)。而1磅的标准物体已在1-2节中规定。但因为地球对给定物体的引力，在不同的地点，有多达0.5%的变化，所以定义磅时，必须指定标准物体在地球表面上所处的特定位置。如果要求不很精确的话，取在海平面纬度45°处的任何一点就足够了。

为了使一个未知力与单位力相比较，从而进行力的量度时，我们必须利用力所引起的某种可观察到的效果。力的一种效果是当物体受到力作用时，其大小或形状发生改变；另一种效果是使物体的运动状态发生改变。这两种效果都可用于力的量度。本章我们只研究前一种效果，而后者将在第四章讨论。

弹簧秤是最常用的测力计，内有一条弹簧线圈，装在金属盒内，以便保护。弹簧的一端固定，另一端带有可在标尺上滑动的指针。当秤受力时，弹簧长度就发生变化，这一变化可在标尺上读出。弹簧秤标尺的刻度可进行如下：将弹簧秤放在海平面纬度45度处，首先把标准磅的物体挂在弹簧秤上，并将指针在标尺上的位置标刻为1磅。然后可以制备任何数量的标准磅的复制品。复制的方法是把物体挂在弹簧秤上，添加或去掉一些物质，最终使指针仍指在1磅标记处。以后，如把两个、三个或更多个标准磅的复制品分别挂在弹簧秤上，秤所受的力就为2磅、3磅等等，而指针在标尺上的相应位置就标刻为2磅、3磅等等。在这种标刻过程中，除了指针指在同一位置上，弹簧所受的力总是相同而外，对于弹簧的弹性并不作任何假定。这样，有了刻度的弹簧秤，就可以用来量度未知力的大小。用类似的方法，也可以用来标刻以牛顿

为单位的弹簧秤。

1-5 力的图示 矢量

假定要使箱子沿着地板滑动，可用绳子来拉它，或用棒来推它，如图 1-2 所示。也就是说，对箱子施加作用力，使它滑动。现在我们的着眼点是，箱子的运动不是由绳或棒引起的，而是由绳或棒所施加的力产生的。具体地讲，假定推力或拉力为“10 N”。在图上写明“10 N”，并不能完全描述这个力，还需要指出力作用的方向才行。我们可以写出“10 N，与水平成 30° 仰角向右”，或“10 N，与水平成 45° 俯角向右”。但如果我们按惯例采用箭形符号来表示力，就简明多了。箭的长度选用适当的比例来表示力的大小，箭头所指的方向表示力的方向。图 1-3 相当于图 1-2 中力的图示（还有其他的力作用在箱子上，图中未示出）。



图 1-2



图 1-3

需要表明大小和方向的物理量，不只是力。例如飞机的速度，只说明每小时 300 英里是不完全的，还需要知道速度的方向。但另一种物理量，例如体积就无方向可言。

诸如体积之类的物理量，只有大小，称为标量；像力和速度这些物理量，它们既有大小又有方向，称为矢量。任何矢量都可以用箭形符号来表示，此箭号称为矢量（若要更详细说明，可称为力矢量或速度矢量）。

但是有些矢量（力就是其中之一），仅用大小和方向还不能完全说明，因为力的效果还与力的作用线和作用点有关。（力的作用线为长度不定的直线，而力矢量只是此直线上的某一线段。）例如，人在水平方向推门时，具有已知大小和方向的力的效果取决于从门轴到力的作用线的垂直距离。如果一物体是可以变形的（所有物体都或多或少可以变形），那么这种形变就取决于力的作用点。但由于许多实际的物体在力作用下形变很小，所以我们可以暂且假定所讨论的物体是完全刚性的。作用在刚体上的已知力的作用点，可沿作用线转移到任一点而不改变力的效果。因此，施加在刚体上的力，可视为作用在沿作用线的任一点。

我们以黑体字母代表矢量，以同一字母的白体表示该矢量的大小。例如 F 就表示力矢量 F 的大小。

1-6 矢量加法 一组力的合力

假如两个矢量具有同样大小和方向，就称这两个矢量相等。在图 1-4 中，代表物理量的矢量 A 、 B 和 C 是完全相等的，我们可用符号写成

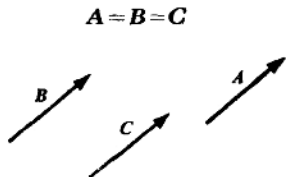


图 1-4 矢量 A 、 B 和 C 在数学上相等。

两个相等的矢量并不一定有相同的物理效果。例如，如上所述，具有同样大小和方向的两个力，可以有不同的作用点。所以要全面地描述一个力，除了大小和方向以外，还必须包含力的作用点。因此矢量等式有其特殊意义，本书中用黑体“等号”表示这种意义。

两个矢量的矢量和可定义如下：设图 1-5(a) 中 A 与 B 为两个已知矢量。任取一点，画出这两个矢量，使 B 的始点与 A 的终点相接，如分图(b)所示，那么，矢量和 C 定义为从矢量 A 的始点到矢量 B 的终点的矢量。这种关系可用符号表示为：

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$$

很明显，矢量加法与一般数字加法的运算不同。本书黑体字之间的“相加”符号表示矢量相加。

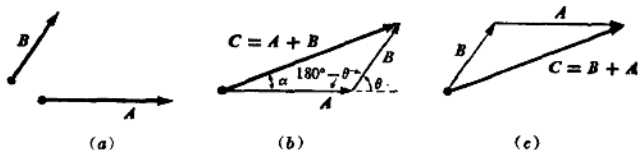


图 1-5 矢量 C 为矢量 A 与 B 的矢量和， $\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$ 。

求矢量和的另一种步骤如图 1-5(c) 所示。画矢量 A 、 B ，使 A 的始点接到 B 的终点，那么矢量 C 即为从 B 的始点到 A 的终点的矢量，它和分图(b)中的矢量 C 具有同样的大小和方向，因此，这两个矢量和在数学上是相等的。所以矢量相加与先后次序无关。矢量加法和代数加法一样服从交换定律。

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$$

从一个精细绘制的图上，可以测得矢量和 C 的大小及方向。也可以用三角方法计算求得。若 θ 表示矢量 A 与 B 的夹角，如图 1-5(b) 所示，则矢量 C 的大小可由余弦定理求得：

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos(180^\circ - \theta)$$