

全國高等院校教材

物理

第一分冊 力学

主编 程守青
副主编 程守青 程稼青
主审 李椿年 李德仁



中央民族大学出版社

全国民族院校统编教材

物 理

(上)

主 编 樊怀德

副主编 徐光蔚 李俊儒
宋文轩 刘宛东

中央民族大学出版社

前 言

本书根据全国民族院校大学预科部学生进入大学理工科专业学习时应该掌握的物理基础知识要求编写而成。

编写时希望做到便于学生阅读和复习，因而很多地方写得比较详细，所以篇幅显得多一些。各民族院校预科部在教学过程中，可根据自己的实际情况，对内容进行删减。此书也可作为中等理工科专业学校的教材或参考用书。

该书分第一册、第二册。其中第一册由西南民族学院大学预科部蔡书老师编写第一章；韩光德老师编写第二章；樊怀德老师编写第三章；由西南民族学院、中南民族学院樊怀德、刘宛生合编第四章；西南民族学院、中南民族学院蔡书、刘宛生合编第五章；西南民族学院、中南民族学院王礼祥、刘宛生合编第六章；西南民族学院徐光蔚老师编写第七、八、九三章。中央民族大学、西南民族学院王礼祥、李律屏合编第十章；中央民族大学李俊儒老师编写第十一章；西北第二民族学院匡瑜老师编写第十二、十三章；西北第二民族学院张尔晶老师编写第十四、十五章；青海民族学院宋文轩老师编写第十六、十七章；青海民族学院朱登浩老师编写第十八章；

第一册实验由西南民族学院徐光蔚老师编写；第二册电学实验由西北第二民族学院匡瑜老师编写；利用双缝干涉测定光波的波长的实验由青海民族学院张生秀老师编写。

由于我们水平低，错误和不妥之处肯定不少，对教材内容的处理也不一定恰当。望各兄弟民族院校预科部老师和读者给予指正。

编 者

目 录

第一章 质点运动学	(1)
§ 1-1 力学单位制	(1)
§ 1-2 量纲	(3)
§ 1-3 矢量	(6)
§ 1-4 参照系和坐标系 质点	(14)
§ 1-5 位置、位移、路程	(16)
§ 1-6 速度、速率、加速度	(20)
§ 1-7 直线运动	(24)
§ 1-8 匀变速直线运动规律的应用	(28)
§ 1-9 曲线运动	(36)
§ 1-10 相对位移与相对速度	(43)
思考题与练习题	(46)
练习题参考答案	(50)
第二章 力、物体的平衡	(51)
§ 2-1 力	(51)
§ 2-2 物体受力情况分析	(59)
§ 2-3 力的合成和分解	(62)
§ 2-4 在共点力作用下物体的平衡	(63)
§ 2-5 有固定转轴物体的平衡	(65)
§ 2-6 一般物体的平衡	(67)
思考题与练习题	(75)
练习题参考答案	(79)
第三章 质点动力学	(80)
§ 3-1 牛顿第一定律	(80)
§ 3-2 牛顿第二定律	(81)

§ 3-3 牛顿第三定律	(84)
§ 3-4 惯性参照系	(84)
§ 3-5 牛顿定律应用举例	(85)
§ 3-6 非惯性系	(93)
§ 3-7 牛顿定律的适用范围	(96)
思考题与练习题	(100)
练习题参考答案	(104)
第四章 功和能	(106)
§ 4-1 功 变力的功 保守力的功	(106)
§ 4-2 动能 动能定理	(110)
§ 4-3 势能	(113)
§ 4-4 功能原理	(114)
§ 4-5 机械能守恒定律	(115)
思考题与练习题	(122)
练习题参考答案	(125)
第五章 动量和动量守恒定律	(126)
§ 5-1 动量和动量定理	(126)
§ 5-2 动量守恒定律	(134)
§ 5-3 碰撞	(140)
思考题与练习题	(146)
第六章 机械振动和机械波	(149)
§ 6-1 机械振动	(149)
§ 6-2 简谐振动	(152)
§ 6-3 简谐振动方程和周期	(156)
§ 6-4 单摆	(161)
§ 6-5 简谐振动的图象 相和相差	(163)
§ 6-6 同一直线上的简谐振动的合成	(166)
§ 6-7 受迫振动 共振	(169)

§ 6-8	机械振动在媒质中的传播—机械波	(171)
§ 6-9	波的图象	(173)
§ 6-10	波的干涉	(176)
§ 6-11	波的衍射	(178)
思考题与练习题		(178)
练习题参考答案		(182)
第七章 分子运动论		(183)
§ 7-1	分子论的基本内容	(183)
§ 7-2	物质状态的微观解释	(185)
§ 7-3	物体的内能	(194)
思考题与练习题		(196)
练习题参考答案		(197)
第八章 气体的性质		(198)
§ 8-1	气体的状态参量 平衡态	(198)
§ 8-2	理想气体的状态方程	(201)
§ 8-3	理想气体的压强方程	(209)
§ 8-4	理想气体的能量方程	(212)
思考题与练习题		(214)
练习题参考答案		(217)
第九章 热力学定律		(219)
§ 9-1	内能改变的途径和量度	(219)
§ 9-2	热力学第一定律	(221)
§ 9-3	理想气体的特殊过程	(222)
* § 9-4	热力学第二定律	(227)
思考题与练习题		(233)
练习题参考考答案		(235)
学生实验		(236)
实验误差和有效数字		(236)

实验一	长度测量·····	(238)
实验二	测量速度和加速度·····	(243)
实验三	验证牛顿第二定律·····	(248)
实验四	验证机械能守恒定律·····	(250)
实验五	验证动量守恒定律·····	(252)
实验六	验证气态方程·····	(254)

第一章 质点运动学

在物质各式各样的运动形式中，最简单而又最基本的运动是物体位置的变化，称为机械运动。行星绕太阳的转动，宇宙飞船的航行，机器的运转、水、空气等流体的流动等等都是机械运动，它们都遵从一定的客观规律。力学的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。

描述机械运动，常用位移、速度、加速度等物理量。研究物体在位置变动时的轨道以及研究位移、速度、加速度等物理量随时间而变化的关系，但不涉及引起变化的原因，称为运动学。关于物体间的相互作用对于物体运动的影响，则属于动力学的研究范围。至于物体在相互作用下的平衡问题，则属于静力学的研究范围，也可以看作是动力学的一部分。

在运动学中为了描述物体的运动，引出了很多重要的概念如位移、速度、加速度、相对速度等，这也是今后学习其它部分的基本概念和出发点，一定要有较深入的理解。

本章主要研究质点运动的规律，质点运动又概括为直线运动和曲线运动。我们只研究其中比较简单的运动规律，这是研究复杂运动的基础，一定要很好地掌握。

§ 1-1 力学单位制

基本单位 导出单位 单位制

在物理学中量度物质的属性和描述其运动状态时所用的各种量都称为物理量，凡是物理量都可以测量。如长度、体积、质量、力、时间、速度、功等都是物理量。为了表示物理量，单用数值表示是不行的，如我们用 a 这个数表示长度，到底表示的是 a 厘米或 a 米，还是 a 千米呢？这就必须规定一定大小的量作为衡量标准，这个被作为标准的量就叫单位。物理学中的物理量很多，如

果每个物理量都独立地选用一个单位，这样不仅麻烦，而且也无法进行实际应用。物理公式反映了物理量间的相互关系，同时也确定了物理量的单位关系。如果我们选定不多几个物理量的单位，就能够利用它们推导出其他物理量的单位，这些被选定的物理量叫基本物理量。基本物理量的单位叫基本单位。由基本量根据有关的定义或公式推导出的其他物理量，叫导出量，导出量的单位叫导出单位。由基本单位和导出单位组成的一个单位系统，就叫做单位制。

基本物理量是由人们根据需要选定的，在不同学科中和不同时期，选定的基本物理量有所不同，例如在电学领域中，选定的基本物理量是长度，质量，时间和电流；在热学领域内，则采用长度、质量、时间和温度为基本物理量。1971年前国际单位制中采用的基本物理量是六个，即长度、质量、时间、电流、热力学温度和发光强度。1971年后又增加了物质的量摩尔，使基本物理量增加到七个。

国际单位制

由于所采取的基本量和基本单位不同，用来推导导出单位的定义式也不同，存在着多种单位制。如物理学中以前通常采用的绝对单位制。这种单位制是以长度、质量，时间为基本量，若它们的基本单位分别是米、千克、秒，则称为绝对米、千克、秒制即MKS制，若它们的基本单位分别是厘米、克、秒，则称为厘米·克·秒制即CGS制。在MKS制中，力的单位是 $\text{千克} \cdot \text{米}/\text{秒}^2 = \text{牛顿}$ ，在CGS制中力的单位是 $\text{克} \cdot \text{厘米}/\text{秒}^2 = \text{达因}$ ，它们都是导出单位，且 $1 \text{ 牛顿} = 1 \times 10^5 \text{ 达因}$ 。因此鉴于国际上使用的单位制繁多，换算十分复杂，给科学技术的交流带来很多不便。为避免多种单位制并存，国际上制订了一种通用的适合一切计量领域的单位制，叫国际单位制。简称国际制，代号为SI。是1960年第十一届国际计量大会通过。并由国际度量衡会议决定，自1978年1月1日起实行。这是目前国际上正在普遍采用的一种新单位制。

我国国务院于1977年5月颁发了《中华人民共和国计量管理条例（试行）》，其中第三条规定：“我国的基本计量制度是米制，逐步采用国际单位制。”在我国国际单位制推行委员会的推行下，从1986年6月1日起，在全国已统一使用国际单位制。这样不仅使我国的计量制度进一步统一，而且有利于加强我国同世界各国人民的经济文化交流。

力学单位制

国际单位制规定了七个基本单位和两个辅助单位。见附表1，在力学范围内规定的长度、质量和时间三个基本量，分别规定以米、千克和秒为基本单位。由各定义式推导出力学的一系列导出单位。如由 $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ 、 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 推导出速度和加速度的单位分别为米/秒和米/秒²；由牛顿第二定律 $F = ma$ 可以推导出力的单位是千克·米/秒²，定为牛顿。由力学三个基本量的单位和由基本量单位而推导出的导出量单位组成了力学单位制。

§ 1-2 量 纲

量纲

物理量可分为基本量和导出量，而导出量均由基本量组合而成。至于一个物理量是由哪些基本量组成和怎样组成的，表示这种关系的式子叫物理量的量纲式。量纲式中各基本量的幂指数叫做这个物理量对于所取基本量的量纲，量纲又叫做“因次”。

在国际单位制中，所有力学量都是由长度（ L ）、质量（ M ）、时间（ T ）这三个基本量组成的。任一力学量 Q 的量纲式都可写成：

$$[Q] = [L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma}]$$

其中 α 、 β 、 γ 分别叫做物理量 Q 对于长度、质量、时间的量纲。例如速度、加速度、力的量纲式分别为：

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = [LT^{-1}]$$

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = [LT^{-2}]$$

$$[F] = [m] [a] = [LMT^{-2}]$$

当单位制确定后，任何物理量都有它唯一确定的量纲和量纲式。

量纲式的作用

物理量的量纲式除表明导出量和基本量的关系外，还可以用来检验物理关系的正确性。在物理计算中，物理量的性质不会因数学运算而有所改变，因此，在一个物理关系式中，只有量纲相同的项才能相加减和用等号联结，这称为量纲法则。因此检验各项的量纲，就可以明确等式是否正确。例如匀变速直线运动的位移方程是：

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

式中左方的量纲是 $[L]$ ，右方第一项的量纲式是 $[LT^{-1}] \cdot [T] = [L]$ ；第二项的量纲式是 $[LT^{-2}] \cdot [T^2] = [L]$ ，经检验每一项的量纲式都是 $[L]$ ，可见这个依照量纲的检验是正确的。还可以举出许多例子，可以断定，一个正确的物理公式一定符合量纲法则。如某人推导出下面的公式：

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

上式的右方两项，前一项的量纲式是 $[LT^{-1}] \cdot [T] = [L]$ ，后面一项的量纲式是 $[LT^{-2}] \cdot [T] = [LT^{-1}]$ ，经检验这个公式前后两项量纲不同，所以不能相加减，不符合量纲法则，可以肯定这个公式是错误的。

但一个物理公式在量纲方面正确了，还不能肯定其正确性。式中数字系数正确与否，不能用量纲检验出来。如推导出关系式为：

$$a = v^2/s$$

如只用量纲法则去检验，是正确的。但公式却是错误的。故量纲可以用来初步检验物理关系的正确性。

另外根据量纲法则，有时从量纲的分析，可以明确方程中某一比例系数（实际上是一物理量）的量纲，从而定出这比例系数的单位。例如万有引力定律的表达式：

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中 G 表示万有引力常数， f 、 m 和 r 分别表示力、质量和距离。从 f 、 m 、 r 的量纲可得出 G 的量纲为 $L^3 M^{-1} T^{-2}$ ；相应地，在米·千克·秒单位制中， G 的单位为 $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$ 。

用量纲可以定出同一物理量不同单位之间的换算因数。例如力的量纲式为 LMT^{-2} ，力的单位从国际单位制换算为厘米·克·秒制时，可以写成：

$$\begin{aligned} 1N &= 1kg \cdot m \cdot s^{-2} = 1000g \times 100cm \cdot s^{-2} \\ &= 10^5 gcm s^{-2} = 10^5 dyn \end{aligned}$$

由此可得换算关系：

$$1N = 10^5 dyn$$

量纲除了用来表示导出量与基本量的关系；进行单位换算以及初步检验计算工作的正确性和确定有些关系式中比例系数的单位外，还有其它用途。例如利用量纲可以寻求复杂的物理规律提供线索等，这里就不再介绍了。

表 1 常用的力学量的国际单位制单位

物理量		单 位			量纲式	备 注
名 称	符号	名 称	中文符号	国际符号		
面 积	S	平 方 米	米 ²	m^2	$[L^2]$	
体 积	V	立 方 米	米 ³	m^3	$[L^3]$	
位 移	s	米	米	m	$[L]$	
速 度	v	米 每 秒	米/秒	m/s	$[LT^{-1}]$	
加 速 度	a	米每秒平方	米/秒 ²	m/s^2	$[LT^{-2}]$	

续表

物理量		单 位			量纲式	备 注
名 称	符号	名 称	中文符号	国际符号		
角 速 度	ω	弧度每秒	弧度/秒	rad/s	$[T^{-1}]$	1 赫 = 1 秒 ⁻¹ 1 牛顿 = 1 千克·米/秒 ²
角加速度	d	弧度每秒平方	弧度/秒 ²	rad/s^2	$[T^{-2}]$	
转 速	n	1 每 秒	1/秒	s^{-1}	$[T^{-1}]$	
频 率	ν, f	赫 兹	赫	Hz	$[T^{-1}]$	
密 度	ρ	千克每立方米	千克/米 ³	kg/m^3	$[L^{-3}M]$	
力	F	牛 顿	牛	N	$[LMT^{-2}]$	
重 量	G	牛 顿	牛	N	$[LMT^{-2}]$	
力 矩	M	牛 顿 米	牛·米	$N \cdot m$	$[L^2MT^{-2}]$	
动 量	p	千克·米每秒	千克·米/秒	$kg \cdot m/s$	$[LMT^{-1}]$	
冲 量	I	牛 顿 秒	牛·秒	$N \cdot s$	$[LMT^{-1}]$	
压 强	p	帕 斯 卡	帕	Pa	$[L^{-1}MT^{-2}]$	1 帕 = 1 牛/米 ²
功	W	焦 耳	焦	J	$[L^2MT^{-2}]$	1 焦 = 1 牛·米
能	E	焦 耳	焦	J	$[L^2MT^{-2}]$	
功 率	P	瓦 特	瓦	W	$[L^2MT^{-3}]$	1 瓦 = 1 焦/秒

§ 1-3 矢 量

标量和矢量

在物理学中，有一类物理量，只具有数值大小（包括有关的单位），而不具有方向性。这些量之间的运算遵循一般的代数法则。这样的量叫物理标量。简称标量。例如体积、质量、温度、功、能等。

标量可以有正负之分，例如温度， $+10^{\circ}C$ 表示在冰点以上 $10^{\circ}C$ ， $-10^{\circ}C$ 表示在冰点下 $10^{\circ}C$ ，但它们并不表示方向。有些标量只有正值，负值没有意义。例如用绝对温标表示温度只有正值，它说明在宇宙中不可能达到绝对零度这一事实。

另一类物理量，既要由数值大小（包括有关单位），又要由方向才能完全确定。这些量之间的运算并不遵循一般的代数运算法则，而遵循特殊的运算法则。这样的量叫物理矢量，简称矢量。例如力是矢量，你要想确定某个力 F 的作用如何，必须知道力的大小和方向才行。速度也是矢量，如果有两辆汽车速度大小都是 10 米/秒，一辆向东行驶，一辆向西行驶，那么它们的运动状态大不相同，几分钟后它们就相距很远了。

在几何中的有向线段就是一个直观的矢量，通常用空间中的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示矢量。用长度 $|\overrightarrow{AB}|$ 表示大小，用端点的顺序 $A \rightarrow B$ 表示方向。如图 1-1， A 称为始点， B 称为终点，这个矢量记作 $\overrightarrow{AB}$ 或用黑体字母 $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{a}$ 表示。矢量的大小（或长度）的数值称为它的模或绝对值。用记号： $|\overrightarrow{AB}|$ 或 $|\mathbf{A}|$ 、 $|\mathbf{a}|$ 表示。

如果两矢量大小相同，方向一致，则这两个矢量相等，如图 1-2 所示。如果两矢量大小相等，方向相反，则这两矢量互为负矢量。如图 1-3 所示。

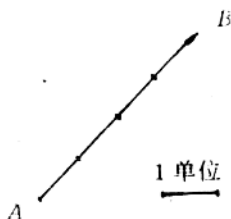


图 1-1

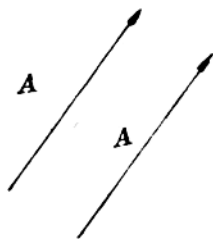


图 1-2

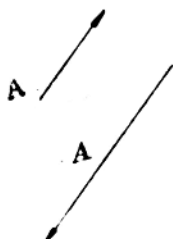


图 1-3

在比较几个矢量之间的关系时，或对它们进行运算时，这些矢量都要按照相同的比例来画且矢量可以在空间中平移，平移后矢量的大小方向仍保持不变。如图 1-4。

如果矢量 $\mathbf{A}_0$ 的数值大小（或模）等于 1，方向与矢量 $\mathbf{A}$ 相同。则 $\mathbf{A}_0$ 称为 $\mathbf{A}$ 方向上的单位矢量。矢量 $\mathbf{A}$ 也可以表示为

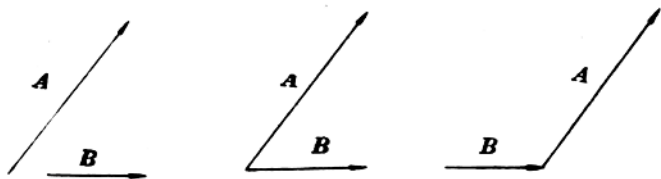


图 1-4 矢量平移

$$A = |A| A_0 \quad (1-1)$$

对于空间直角坐标系 ($oxyz$), 通常用 i 、 j 、 k 分别表示沿 x 、 y 、 z 三个坐标轴正方向的单位矢量。

例如在空间中有两个质点 m_1 和 m_2 , 它们之间有万有引力的相互作用, 如要表示质点 m_2 受到质点 m_1 的引力 F_{12} 时, 可取质点 m_1 所在处为坐标原点, 设从 m_1 指向 m_2 的单位矢量为 r_0 , 则 F_{12} 表示为

$$F_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_2^2} r_0 \quad \text{式中负}$$

号表 F_{12} 与 r_0 方向相反, 指向 m_1 。

矢量的加法和减法

矢量加法遵从平行四边形法则。

设两个矢量 A 、 B , 如图 1-6 所示, 要求它们的合矢量 C , 首先将矢量平移, 将两矢量的起点交于一点, 再以矢量 A 和 B 为两邻边。完成平行四边形, 自两矢量的交点划出对角线, 即代表 A 、 B 两矢量的和, 以下式表示

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

C 叫做合矢量, 而 A 、 B 叫做 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 A 的末

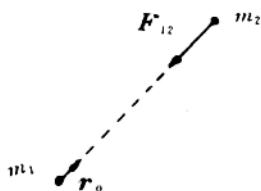


图 1-5 引力矢量

端为始点，画矢量 B ，则不难看出，由 A 的始点画到 B 的终点的矢量即为矢量 C ，这称为三角形法则：（图 1-7）

如果将两个以上的矢量相加，例如求矢量 A 、 B 、 C 、 D 的合矢量，则可按平行四边形法则，先求 A 、 B 的合矢

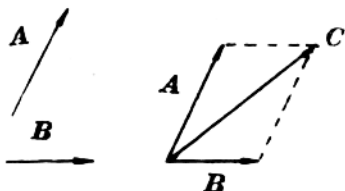


图 1-6

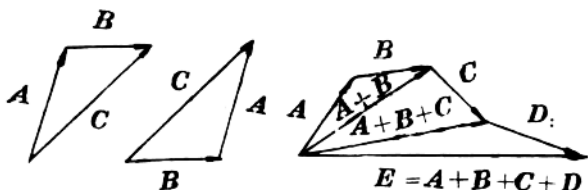


图 1-7

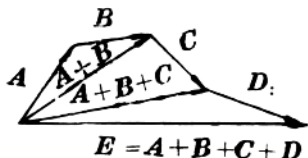


图 1-8

量，然后再求此合矢量与 C 的合矢量；依此类推。也可用三角形法则，在 A 的末端划 B ，再在 B 的末端划 C ，等等（图 1-8），最后由 A 的始点划到 D 的终点的矢量 E ，即为 A 、 B 、 C 、 D 的合矢量，以下表示：

$$E = A + B + C + D \quad (1-3)$$

运用这种方法，我们可以将任意多个矢量相加。

合矢量的大小和方向，除上述的作图法外，也可以通过计算求得。如图 1-9 中，

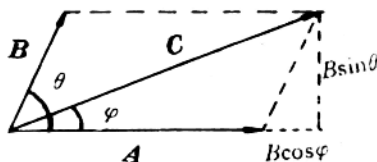


图 1-9 两矢量合成计算

矢量 A 和 B 之间的夹角为 θ ，则合矢量 C 的大小和方向，由余弦

定理可得：

$$C = \sqrt{(A + B\cos\theta)^2 + (B\sin\theta)^2}$$

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta} \quad (1-4)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{B\sin\theta}{A + B\cos\theta} \quad (1-5)$$

例题 设河水由西向东流，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 ，方向如图。试画出船相对于地面的速度 v_3 。

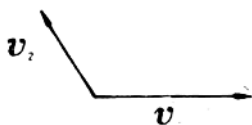


图 1-10

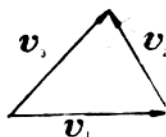


图 1-11

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，则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 $v_3 = v_1 + v_2$ 亦即用三角形法则由 v 的始点画到 v 的终点的矢量。

下面我们来介绍矢量的减法。设 A 、 B 为两个矢量，矢量 A 减矢量 B 就是矢量 A 加矢量 $-B$ ，即

$$R = A - B = A + (-B) \quad (1-6)$$

所以，求 $A - B$ 就是求 A 与 $-B$ 的合矢量。

如图 1-12 左图所示， A 与 $-B$ 的合矢量为 R ，因为平行四边形对边平行且相等，所以也等于由 B 的末端画到 A 的末端的矢量，如图 1-12 右图。

矢量差 $R = A - B$ 的大小和方向同样可用公式 (1-4) (1-5) 进行计算，只不过 θ 角是 A 与 $-B$ 之间夹角，或者是 A 、 B 夹角的补角。