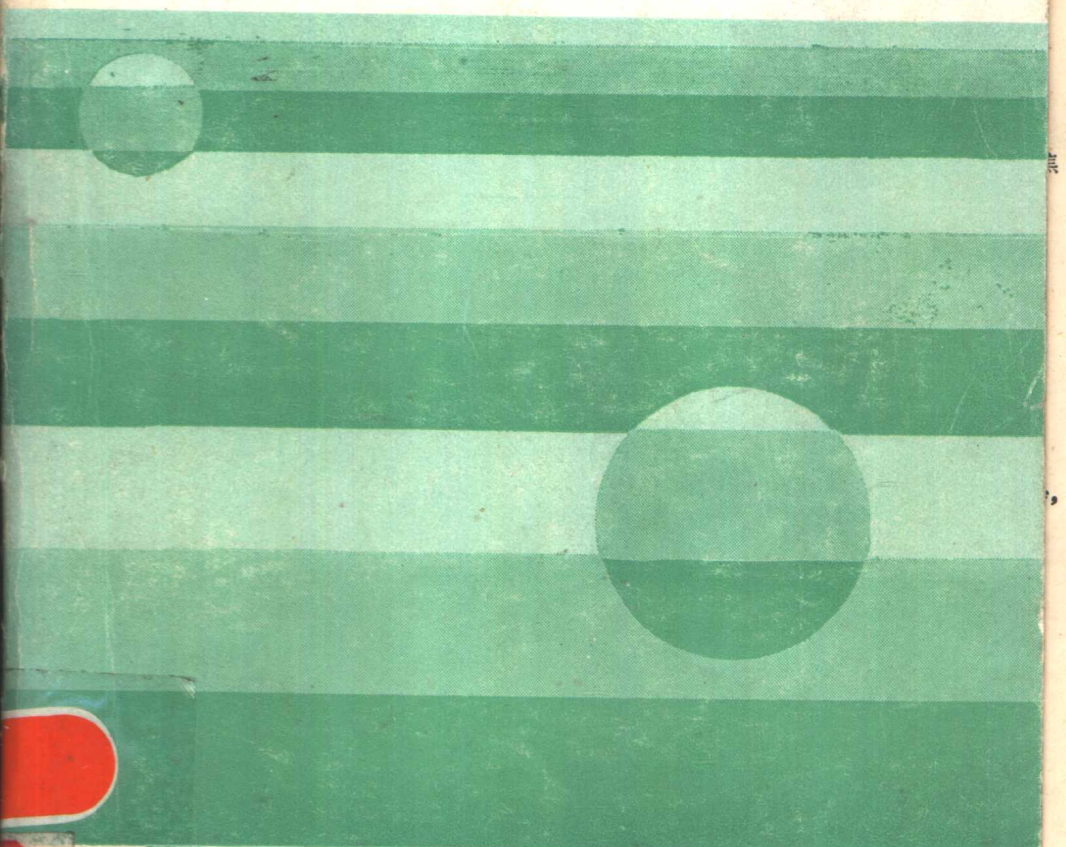


4X9

# 物理学简明教程

朱苍磬 黄伯坚

戴小杨 胡润清



华中理工大学出版社

# 物理学简明教程

朱苍馨 虞伯坚

戴小杨 胡润清

华中理工大学出版社

## 内 容 提 要

本书着重讲授经典物理学，对近代物理学只作了概略介绍。为便于教学，书中内容安排采用国内大多数物理学教科书通行的体系。内容包括力学、分子物理学和热力学、电磁学、振动与波、量子物理基础等。本书注意了加强基础，精选内容，并配有较多的例题和习题。

该书是为高等工程专科学校物理学课程编写的教科书，也适用于高等工院校物理课时较少的专业以及作为自学用书。

## 物理学简明教程

朱苍馨 黄伯坚

戴小杨 胡润清

责任编辑 傅岚亭

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

武汉大学出版社印刷总厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：16 字数：332 000

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数：1-11 500

ISBN 7-5609-0364-6/O·60

定价：5.95元

# 前 言

《物理学简明教程》是为高等工程专科学校物理学课程编写的教科书，也适用于函授、夜大学、自修大学、电视大学、职工业余大学及高等工科院校物理课时较少的专业。全书授课约100学时左右。

本书是在高等工程专科学校“《物理学》课程教学基本要求〈初稿〉”的精神指导下编写的，充分考虑了大专的特点。书中着重讲授经典物理学，对于近代物理学只作概略介绍，为便于教学，书中内容安排采用国内大多数物理学教科书通行的体系。本书注意加强基础，精选内容，既有一定的广度，又有适当的深度，学生在有限的学时内可以掌握到物理学的基本知识，基本概念和基本规律，为学习后续专业课程打下坚实的基础，在培养学生的辩证唯物主义世界观方面也能起到积极作用。为了加深学生对理论的理解和提高演算能力，书中配有大量例题。所选习题也都难易适中。

本书概念明晰，条理清楚，深入浅出，文句通俗，利于授课，便于自学。

本书的编写工作是在华中理工大学成人教育学院副院长胡润清暨郑青林主持下进行的，由朱苍磐统稿，朱苍磐（绪论、电磁学、附录），黄伯坚（振动与波、光学、量子物理基础），戴小杨（力学、分子物理学和热力学），胡润清（矢量基础）共同编写。由于编者水平有限，成书时间仓促，所以书中难免有欠妥之处，恳请读者批评指正。

本书初稿承蒙华中师范大学刘传庠、汪德新、胡三珍三位老师审阅，并提出宝贵意见，我们表示衷心感谢。

编者

1987年2月

ABE 07/01

## 绪 论

宇宙万物，大至日月星辰，小至分子、原子，无一不在永恒的运动变化之中。自然科学的任务就是研究形形色色、纷纭繁复的物质运动。物理学所研究的乃是最基本的物质运动形式，包括机械运动、热运动、电磁运动、原子和原子核的运动等等。这些运动普遍存在于物质的其他高级运动形式之中。这些高级运动形式，诸如化学运动、生命过程等，虽各有其独特的规律，不能单纯用物理定律来说明，但都包含着物理学所研究的基本运动形式，因此物理规律最具有普遍性，物理学是其他自然科学和工程技术的基础。

正象其他学科一样，物理学也是通过观察、实验、抽象、假说来研究物质世界的。人们借助于观察和实验对某些物理现象有所认识。为了解释这些现象，人们提出假说，这些假说能否反映现象的本质，只有依靠实验来检验，以便去除错误的成分，保留正确的部分，并加以发展，提升为理论。当观察和实验发现了新的物理现象，而为已有理论不能说明时，就必须改进旧的理论，或者提出新的假说。这些改进后的理论或新的假说是否符合实际又需进一步用实验检验。总之，物理学认识世界、研究物质运动的过程也是遵从实践-理论-实践的法则的。理论可使经验、直觉提纯、升华，而实践既是检验真理的唯一标准，又是发展真理的坚实基础。

抽象也是物理学研究中必不可少的方法。影响物理过程的因素往往是多种多样的，但其中必有主要与次要之分。如果我们企图无限精确地、不分主次地考虑全部因素，那么必将事与愿违，一事无成。譬如当我们研究地球的公转时，如果除了太阳的引力外，还同时考虑地球的形状、大小，以及宇宙中其他无数星体的作用，那么要想解决问题，显然是无望的。因此在物理学中常建

立各种理想模型，诸如质点、刚体、理想气体、点电荷、点光源等等。虽然这些理想模型实际上并不存在，但利用它们却可以突出主要矛盾，撇开次要因素，有助于我们查明物质运动的主要规律。所以在物理学研究中，合理地建立理想模型是十分重要的。

随着科学技术的进步，物理学与生产实践的关系日益密切。生产的发展对物理学提出新的课题，为物理学的研究提供物质基础。反过来，物理学的每一次重大突破又都为生产实践创造出全新的技术与手段。正是物理学使人类进入了蒸汽机时代、电气化时代。目前原子能、电子计算机、激光、半导体、空间科学正日益深入到各个工程技术和生产实践的领域。物理学和其他自然科学一起正在使人类经历一场空前伟大的技术革命，为人类社会创造前所未有的高度文明。

在我国实现四个现代化、进行社会主义建设的宏伟事业中，需要大量科学家、工程师和技术人员。由于物理学已经渗透到各个技术领域之中，所以人们必须掌握一定的物理学基本理论和实验技能。物理学是理工科各个专业的一门基础课程，希望学生认真学习，严格训练。唯有如此，才能为未来的工作奠定坚实的基础，作出成绩。

# 目 录

绪论	( I )
矢量基础	( 1 )

## 第一篇 力学

<b>第一章 质点运动学</b>	( 8 )
§ 1-1 参考系和坐标系 质点	( 8 )
§ 1-2 运动独立性原理	( 10 )
§ 1-3 描述质点运动的诸要素	( 11 )
§ 1-4 加速度	( 15 )
习题	( 22 )
<b>第二章 牛顿运动定律</b>	( 26 )
§ 2-1 牛顿第一定律 惯性	( 26 )
§ 2-2 牛顿第二定律 力的量度	( 27 )
§ 2-3 牛顿第三定律 系统的内力和外力	( 28 )
§ 2-4 几种常见的力	( 29 )
§ 2-5 牛顿定律应用举例	( 32 )
§ 2-6 伽利略相对性原理 非惯性系和惯性力	( 39 )
§ 2-7 力学中的单位制和量纲	( 43 )
习题	( 44 )
<b>第三章 动量 动量守恒定律</b>	( 50 )
§ 3-1 动量 动量定理	( 50 )
§ 3-2 质心及质心运动定理	( 53 )
§ 3-3 动量守恒定律	( 56 )
习题	( 63 )
<b>第四章 角动量定理和角动量守恒定律</b>	( 66 )
§ 4-1 有心力 角动量 力矩	( 66 )
§ 4-2 角动量守恒定律	( 68 )
习题	( 73 )

<b>第五章 功和能 机械能守恒定律</b> .....	( 75 )
§ 5-1 功 动能和动能定理.....	( 75 )
§ 5-2 物体系的势能.....	( 84 )
§ 5-3 势能和系统的稳定性.....	( 87 )
§ 5-4 机械能守恒定律.....	( 90 )
§ 5-5 碰撞.....	( 91 )
习 题.....	( 97 )
<b>第六章 刚体力学</b> .....	( 102 )
§ 6-1 刚体.....	( 102 )
§ 6-2 刚体运动的描述.....	( 104 )
§ 6-3 定轴转动的动力学基本方程.....	( 106 )
§ 6-4 角动量和角动量守恒定律.....	( 110 )
§ 6-5 刚体的总动能.....	( 114 )
习 题.....	( 116 )

## 第二篇 分子运动论和热力学

<b>第七章 分子运动论</b> .....	( 120 )
§ 7-1 系统的热运动形态及其研究方法.....	( 120 )
§ 7-2 理想气体模型.....	( 121 )
§ 7-3 理想气体的状态方程 温度和压强.....	( 123 )
§ 7-4 能量按自由度均分定理 理想气体的内能.....	( 127 )
§ 7-5 气体分子速率的统计分布.....	( 131 )
§ 7-6 气体分子的平均自由程.....	( 135 )
习 题.....	( 137 )
<b>第八章 热力学</b> .....	( 139 )
§ 8-1 温度 热力学第零定律.....	( 139 )
§ 8-2 内能 热力学第一定律.....	( 140 )
§ 8-3 准静态过程中的功.....	( 141 )
§ 8-4 热力学第一定律对理想气体的应用.....	( 143 )
§ 8-5 循环过程.....	( 146 )
§ 8-6 热力学第二定律.....	( 150 )



习题	( 155 )
----	---------

### 第三篇 电磁学

#### 第九章 真空中的静电场 ( 159 )

§ 9-1 电荷 库仑定律	( 159 )
---------------	---------

§ 9-2 电场 电场强度	( 163 )
---------------	---------

§ 9-3 高斯定理	( 175 )
------------	---------

§ 9-4 电势	( 184 )
----------	---------

§ 9-5 等势面 电场强度和电势的关系	( 190 )
----------------------	---------

习题	( 194 )
----	---------

#### 第十章 静电场中的导体和电介质 ( 197 )

§ 10-1 静电场中的导体	( 197 )
----------------	---------

§ 10-2 静电场中的电介质	( 200 )
-----------------	---------

§ 10-3 电介质中的电场 电位移	( 204 )
--------------------	---------

§ 10-4 电容器的电容	( 209 )
---------------	---------

§ 10-5 电场的能量	( 213 )
--------------	---------

习题	( 216 )
----	---------

#### 第十一章 稳恒电流 ( 219 )

§ 11-1 稳恒电流 电流密度	( 219 )
------------------	---------

§ 11-2 欧姆定律 电阻	( 221 )
----------------	---------

§ 11-3 电功率 焦耳定律	( 227 )
-----------------	---------

§ 11-4 金属导电的经典电子论	( 229 )
-------------------	---------

§ 11-5 电动势 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	( 231 )
-----------------------------	---------

习题	( 235 )
----	---------

#### 第十二章 真空中的稳恒磁场 ( 237 )

§ 12-1 基本磁现象	( 237 )
--------------	---------

§ 12-2 磁场 磁感应强度 磁力线 磁通量 磁场的 高斯定理	( 239 )
-------------------------------------	---------

§ 12-3 毕奥-萨伐尔定律	( 243 )
-----------------	---------

§ 12-4 安培环路定理	( 249 )
---------------	---------

§ 12-5 运动电荷的磁场	( 254 )
----------------	---------

习题	( 256 )
<b>第十三章 磁场对电流的作用</b>	<b>( 259 )</b>
§ 13-1 磁场对载流导线的作用 电流单位“安培”的定义	( 259 )
§ 13-2 磁场对载流线圈的作用	( 262 )
§ 13-3 磁场对运动电荷的作用	( 267 )
§ 13-4 霍耳效应	( 272 )
习题	( 275 )
<b>第十四章 物质的磁性</b>	<b>( 279 )</b>
§ 14-1 磁介质	( 279 )
§ 14-2 顺磁质和抗磁质的磁化 磁化强度	( 280 )
§ 14-3 有磁介质时磁场的基本定理 磁场强度	( 283 )
§ 14-4 铁磁质	( 286 )
习题	( 292 )
<b>第十五章 电磁感应 麦克斯韦方程组</b>	<b>( 294 )</b>
§ 15-1 电磁感应定律	( 294 )
§ 15-2 动生电动势	( 299 )
§ 15-3 感生电动势 感生电场	( 303 )
§ 15-4 涡电流	( 308 )
§ 15-5 自感	( 311 )
§ 15-6 互感	( 313 )
§ 15-7 磁场的能量	( 315 )
§ 15-8 位移电流 感生磁场	( 317 )
§ 15-9 麦克斯韦方程组	( 321 )
习题	( 322 )

## 第四篇 振动与波

<b>第十六章 机械振动</b>	<b>( 327 )</b>
§ 16-1 谐振动	( 327 )
§ 16-2 谐振动的数学表示式 位相	( 331 )
§ 16-3 谐振动的矢量图示 谐振动的能量	( 336 )

§ 16-4	单摆 振动的叠加原理	( 340 )
§ 16-5	谐振动的合成	( 342 )
§ 16-6	阻尼振动与受迫振动 共振	( 347 )
	习 题	( 351 )
<b>第十七章</b>	<b>机械波</b>	<b>( 354 )</b>
§ 17-1	波的一般概念	( 354 )
§ 17-2	平面简谐波 波动方程	( 357 )
§ 17-3	行波输送的能量	( 363 )
§ 17-4	惠更斯原理	( 367 )
§ 17-5	波的叠加原理 干涉与衍射	( 369 )
§ 17-6	驻波	( 373 )
	习 题	( 377 )
<b>第十八章</b>	<b>电磁振荡与电磁波</b>	<b>( 380 )</b>
§ 18-1	电磁振荡	( 380 )
§ 18-2	电磁波的发射和传播	( 384 )
§ 18-3	电磁波谱	( 389 )
	习 题	( 390 )

## 第五篇 波动光学

<b>第十九章</b>	<b>光的偏振</b>	<b>( 393 )</b>
§ 19-1	光源	( 393 )
§ 19-2	晶体的选择吸收产生偏振光 马吕斯定律	( 395 )
§ 19-3	由反射产生偏振光	( 399 )
§ 19-4	双折射	( 401 )
	习 题	( 404 )
<b>第二十章</b>	<b>光的干涉</b>	<b>( 406 )</b>
§ 20-1	光程 光的相干性	( 406 )
§ 20-2	双缝干涉	( 408 )
§ 20-3	薄膜干涉	( 411 )
§ 20-4	干涉现象的应用	( 416 )
	习 题	( 419 )

<b>第二十一章 光的衍射</b> .....	( 422 )
§ 21-1 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理 .....	( 422 )
§ 21-2 单缝夫琅和费衍射.....	( 424 )
§ 21-3 平面衍射光栅.....	( 428 )
§ 21-4 圆孔衍射 光学仪器分辨率.....	( 432 )
§ 21-5 晶体对X射线的衍射.....	( 436 )
习 题.....	( 438 )

## 第六篇 量子物理基础

<b>第二十二章 量子论的形成</b> .....	( 440 )
§ 22-1 黑体辐射 普朗克量子假说.....	( 441 )
§ 22-2 光的量子性.....	( 445 )
§ 22-3 线光谱 玻尔的旧量子论.....	( 449 )
§ 22-4 物质波.....	( 455 )
习 题.....	( 459 )
<b>第二十三章 量子力学初步</b> .....	( 461 )
§ 23-1 测不准原理.....	( 461 )
§ 23-2 波函数.....	( 464 )
§ 23-3 薛定谔方程.....	( 470 )
§ 23-4 氢原子.....	( 475 )
习 题.....	( 480 )
<b>附录 I 国际单位制(SI)简介</b> .....	( 482 )
<b>附录 I 常用物理基本常数表</b> .....	( 485 )
<b>习题答案</b> .....	( 487 )

# 矢量基础

在物理学中，有一些物理量只需要数值就可以描述，这些量称为**标量**，如质量、长度、能量、温度、时间等。还有一些物理量既有大小又有方向，而且相加时遵从平行四边形法则，这些量称为**矢量**，如力、位移、速度、加速度、电场强度、磁感应强度等。标量的运算遵从普通的代数法则，矢量则不同。下面简单介绍矢量的基本运算法则。

## 一、矢量的表示

1. 几何法 不指明具体的坐标系，用一带箭头的线段可以表示一个矢量。线段的长代表矢量的大小，箭头的方向表示矢量的

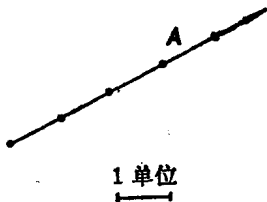


图1 矢量的图示

方向，如图1所示。在印刷时常用黑体字母表示，如**A**；在书写时多在字母上画一箭号表示，如 $\vec{A}$ 。只考虑矢量的大小时可写为 $|A|$ ，叫做**A**的绝对值或模，也用没有箭头的**A**表示。模等于1的矢量称为单位矢量。当用 $\hat{a}$ 表示矢量**A**方向的单位矢量时，有 $A = A \hat{a}$ 。

由于矢量具有大小和方向两个特征，矢量在空间平移后这两个特征不变，所以矢量平移后还是表示原矢量，这在矢量运算中很有用。如果两个矢量大小相等、方向相同，则说它们相等。

2. 解析法 在三维空间里，用几何法表示矢量的运算并不方便，因此常采用将矢量对一特定坐标系分解成分量的解析法。在二维空间里也常如此。

如图2所示，矢量起点位于坐标原点，*X*、*Y*、*Z*轴的单位矢量分别为 $\hat{i}$ 、 $\hat{j}$ 、 $\hat{k}$ ，**A**在三个轴上的分量分别为 $A_x$ 、 $A_y$ 、 $A_z$ ，则

$$A = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$$

显然  $|\mathbf{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$

$\mathbf{A}$  的方向由它与  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个坐标轴的夹角  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  确定:

$$\cos \alpha = \frac{A_x}{|\mathbf{A}|},$$

$$\cos \beta = \frac{A_y}{|\mathbf{A}|},$$

$$\cos \gamma = \frac{A_z}{|\mathbf{A}|}$$

需要注意, 矢量的起点不一定要位于坐标系的原点, 上面那样取法只是为了方便。

## 二、矢量的加减法

1. 加法 两矢量  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{B}$  相加, 一般可得一新矢量  $\mathbf{C}$ , 写为

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

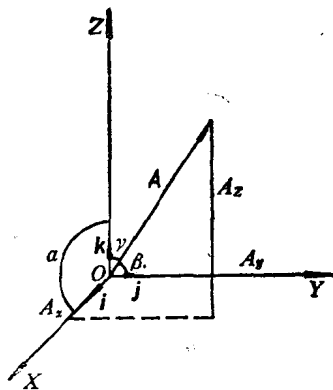


图2 矢量表示的解析法

新矢量可运用平行四边形法则得到。如图3所示, 将两已知矢量中的一个  $\mathbf{A}$  (或  $\mathbf{B}$ ) 平移, 将其起点放在同一点, 以  $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{B}$  为邻边作平行四边形, 由起点作对角线, 此对角线加上箭头即可表示两矢量的和  $\mathbf{C}$ 。

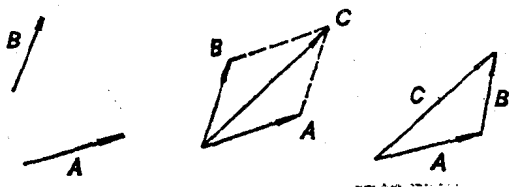


图3 矢量的加法

平行四边形法则又可简化为三角形法则: 以  $\mathbf{A}$  的末端作为  $\mathbf{B}$  的起点画  $\mathbf{B}$ , 则由  $\mathbf{A}$  的起点画到  $\mathbf{B}$  的末端的矢量就是合矢量  $\mathbf{C}$ , 如图3所示。

当多个矢量相加时, 可以将各矢量依次首尾相连, 从第一个

矢量A的起点到最后—个矢量D的末端引—有向线段就得到合矢量P, 如图4所示, 这叫矢量相加的多边形法则。

用解析法合成矢量, 可在给定的坐标系中, 把每个矢量分解成它的分量, 沿某一坐标轴的分量的代数和等于合矢量沿该坐标轴的分量, 由合矢量的各分量即可求出该合矢量。如图5所示,

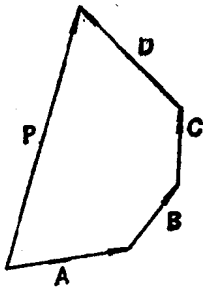


图4 矢量相加的多边形法则

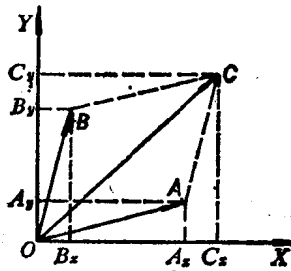


图5 矢量相加的解析法

$$A = A_x i + A_y j$$

$$B = B_x i + B_y j$$

$$A + B = (A_x + B_x) i + (A_y + B_y) j = C$$

显然

$$C_x = A_x + B_x,$$

$$C_y = A_y + B_y$$

容易证明, 矢量加法满足加法交换律和加法结合律, 即令

A、B、C为矢量, 有

$$A + B = B + A$$

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

2. 减法 将矢量的负值规定为等值反向的另一—矢量, 因此矢量的减法可化为矢量的加法处理。如图6所示,

$$A - B = A + (-B) = D$$

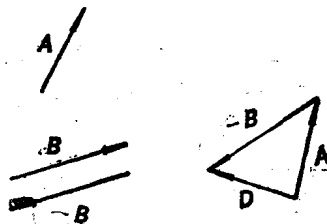


图6 矢量的减法

### 三、矢量的乘法

同类矢量才能相加减。不同类的矢量可以相乘而产生新的物理量。矢量有以下三种基本的乘法运算：

1. 数乘 矢量与标量相乘，结果得一矢量，如数 $k$ 与矢量 $A$ 相乘，得到一个新的矢量 $kA$ ，其大小为 $A$ 的大小的 $k$ 倍，当 $k > 0$ 时，新矢量与原矢量同向；当 $k < 0$ 时，新矢量与原矢量反向。

2. 标乘（点乘） 两个矢量标乘得一标量，如矢量 $A$ 与 $B$ 的夹角为 $\alpha$ ，则它们的标积定义为

$$A \cdot B = AB \cos \alpha$$

它实际上是一个矢量的大小和另一个矢量在第一个矢量方向上的投影的乘积，如图7所示。

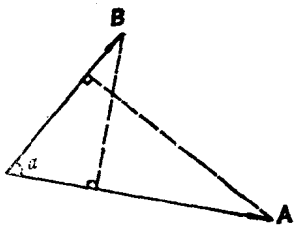


图7 矢量的标乘

以上规定，有实际的物理意义。例如物体在力 $f$ 作用下产生位移 $s$ ，且力与位移的夹角为 $\alpha$ ，则所作的功为

$$f \cdot s = fs \cos \alpha$$

显然，当两矢量平行，即 $\alpha = 0$ 时，有 $f \cdot s = fs$ ；当两矢量垂直，即 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 时，有 $f \cdot s = 0$

在直角坐标系中各单位矢量间有如下关系：

$$i \cdot i = j \cdot j = k \cdot k = 1$$

$$i \cdot j = j \cdot k = k \cdot i = 0$$

因而标积可用分量表示为

$$\begin{aligned} A \cdot B &= (A_x i + A_y j + A_z k) \cdot (B_x i + B_y j + B_z k) \\ &= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z \end{aligned}$$

由上面的定义和运算不难看出，两矢量点乘满足交换律，即

$$A \cdot B = B \cdot A$$

3. 矢乘（叉乘） 两矢量 $A$ 和 $B$ 矢乘可产生另一矢量 $C$ ，表示为



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

其定义如下： $\mathbf{C}$ 的大小是 $C = AB\sin\alpha$ ，其中 $\alpha$ 为 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 之间小于 $180^\circ$ 的夹角； $\mathbf{C}$ 的方向用右手螺旋法则确定，即将右手大姆指伸直，其余四指从矢乘的前一矢量 $\mathbf{A}$ 经小于 $180^\circ$ 的角转到后一矢量 $\mathbf{B}$ ，大姆指所指的方向就是矢乘所得新矢量 $\mathbf{C}$ 的方向，如图8所示。

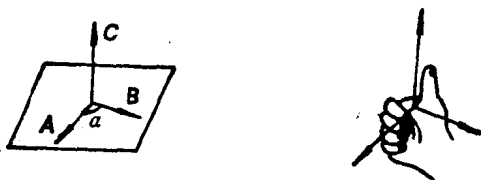


图8 矢乘

以上对矢量矢乘的定义，在物理学中也是很有用的，如力矩、角动量等都是两矢量矢乘的结果。

由定义容易看出以下几点：

(1) 所得新矢量 $\mathbf{C}$ 垂直于 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 所确定的平面；

(2) 若 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 平行，即 $\alpha = 0$ ，则矢积为零。若 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 垂直，即

$\alpha = \frac{\pi}{2}$ ，则 $|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = AB$ ，矢积最大；

(3) 矢乘不满足交换律， $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$ ；

(4) 在直角坐标系中，单位矢量的矢积为

$$\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0$$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}, \quad \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}, \quad \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j}$$

据此，两矢量 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 的矢积可用解析法计算，便于记忆的是行列式形式：

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \times \mathbf{B} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} \\ &= (A_y B_z - A_z B_y)\mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z)\mathbf{j} \\ &\quad + (A_x B_y - A_y B_x)\mathbf{k} \end{aligned}$$