普通高等教育"十二五"规划教材

DAXUE WULI JICHU

大学物理基础

上册

金永君　姜洪喜　刘　辉　主编
任常愚　主审

化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

DAXUE WULI JICHU

大学物理基础

上册

金永君　姜洪喜　刘　辉　主编

任常愚　主审

兰　民　骆素华　姜向前　编

化学工业出版社

·北　京·

本书是根据教育部高等学校工科物理基础课程教学指导分委员会2008年制定的《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》编写的。本书紧扣该教学基本要求，在选材上突出物理图像，弱化数学推演。本书分三册出版，上册包括力学篇、热学篇；中册是电磁学篇，讲述物理学的电磁学部分；下册包括振动与波动篇、波动光学篇、近代物理篇。本册内容包括绪论与预备知识、质点运动学、质点动力学、气体动理论、热力学基础、附录等。内容的选择上除了讲解经典基本内容外，通过渗透式教学方法，注重物理思想、物理方法的融入；同时为适应CDIO教学模式的教学改革需要，积极渗透和融入与教学内容紧密结合的工程教育素材及相关著名物理学家简介。为了拓宽学生的现代物理知识领域，适时插入现代物理概念与物理思想，安排了许多与现代实际应用有密切联系的例题，还专辟了阅读材料。为利于学生预习和自习，每章还编写了本章小结和相关思考题和练习题。

本书可作为高等理工科院校理工科各专业大学物理基础课程的教材，也可供其他有关专业选用或作为读者自学的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理基础. 上册/金永君，姜洪喜，刘辉主编. 北京：化学工业出版社，2010.10
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-09456-8

Ⅰ. 大… Ⅱ. ①金…②姜…③刘… Ⅲ. 物理学-高等学校-教材 Ⅳ. O4

中国版本图书馆CIP数据核字（2010）第173837号

责任编辑：满悦芝　　文字编辑：韩亚南
责任校对：陈　静　　装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号　邮政编码100011）
印　　装：三河市延风印装厂
787mm×1092mm　1/16　印张13¼　字数341千字　2011年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）　售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：24.00元

前　言

大学物理是理工科大学生必修的基础理论课。时代飞速发展、科技日新月异，作为一切自然科学和工程技术的基础，物理学有着突飞猛进的发展。为适应现代化建设的需要，大学物理教学必须适时更新教学内容、教学手段和方法，不仅要培养学生的思维能力、主动学习能力，以及应用物理知识解决问题的能力，还要培养学生将物理知识应用于交叉领域的能力和创新能力。因此，全书增加了许多应用方面的新内容，并简单介绍了某些前沿问题。

从体系上，为保持教材内容与形式的和谐性，同时也考虑到实际教学工作的连续性，整套教材基本架构分为三册：上册为力学篇和热学篇，中册为电磁学篇，下册为振动与波动篇、波动光学篇、近代物理篇。全书在编写过程中，既吸收以往经典的物理理论精华，尽可能系统地、完整地、准确地讲解有关的物理学知识，同时又注入科技发展的新观点和方法，介绍近代物理以及高新技术的发展，注重物理思想的渗透和工程教育素材的开发与融入，使全书内容具有鲜明的时代特色和工程气息。

本教材还注重方法论的教育，如归纳和演绎、分析和综合、类比和等效、对称和守恒、决定性和概然性等。在能力培养方面，注重培养学生把握本质、提出问题和分析解决问题的能力。教材内容还包含了一定自学内容，一些半定量的延伸性、扩展性知识，学生可以在教师的指导下通过自学来获取，借以培养自学能力，确立“终生学习”的观点。由于大学物理教学除了“授业”外，还有“育人”的任务，为此，本套教材介绍了科学大师的事迹，简要说明了他们的思想境界、治学态度、开创精神和学术成就。通过对科学家的介绍，培养学生严肃认真、不怕艰苦的学习态度，勉励学生重视大学物理学的学习，使学生了解学习物理学在培养人们的正确思维方法和科学素养等方面的重要作用。

本套书是 2005 年黑龙江省新世纪高等教育教学改革工程项目——“网络环境下大学物理教学体系的研究与实践”、2006 年黑龙江省教育科学“十一五”规划课题——“网络环境下的大学物理协同教学模式的研究与实践”的一项研究成果。本书的编写同时也是大学物理渗透式教学方法、适应当前 CDIO（构思、设计、实现和运作）教学模式改革在教材方面的一项尝试性工作，全套书共分三册。本书打 * 部分为选学内容。

本册书为上册，由金永君、姜洪喜、刘辉主编。内容包括绪论与预备知识、质点运动学、质点动力学、刚体定轴转动、气体动理论、热力学基础、附录等。其中金永君编写绪论与预备知识、气体动理论、热力学基础、附录等部分；姜洪喜编写质点运动学、质点动力学部分；刘辉编写刚体定轴转动部分。本书在理论知识介绍的同时，积极渗透和融入了一些与本册内容相关的物理学前沿内容——阅读材料。为了让读者更好掌握教材内容，书中给出了习题的参考答案，供读者参考。

本书的编写也得到了其他院校教师的指导和帮助，长春工业大学兰民同志帮助查阅了部分参考文献，提供了大量参考资料；哈尔滨工业大学骆素华、姜向前博士校对了全部书稿并给出了书中习题的参考答案。书中参考了大量的插图、科学家信息等，在此对相关资料作者表示感谢！

本书编写过程中吸收了本校教师任敦亮、李晓萍、尹向宝、丁宏伟、王丰、李社等的宝

贵建议，在此表示衷心的感谢！

由于编者学识有限，内容和体系改革的实践经验还不够，不妥之处在所难免，望读者批评指正，编者不胜感谢。

编　　者

2010 年 10 月于冰城哈尔滨

目　录

第1篇　力　学

第2篇 热 学

绪论与预备知识

0.1 绪论

在整个世界中，存在着各种形态的物质，它们都是在相互联系、相互作用下处于永恒的运动与发展中。因此，物质、运动和相互作用是人们认识自然界万千事物的三个最基本的要素。

0.1.1 物理学的意义

物理学是通过研究宇宙间物质存在的基本形式、性质、运动、转化和内部结构等方面，从而认识这些结构的组成元素及其相互作用、运动和转化的基本规律的科学。物质通常在其周围其他物质作用下运动，各种形式的运动可以相互转化。物理学所研究的物质运动包括：机械运动、热运动、电磁运动、微观粒子的运动等运动形式。由于这些运动形式及其规律具有普遍性，所以物理学就成为其他自然科学和工程技术科学的重要基础。在许多科学技术领域和生产部门中，都广泛地应用着物理学中的力学、热学、电磁学、光学和近代物理等各方面的基本理论和基础知识。可以认为，物理学与数学一样，是当代工程技术科学的重要支柱。因此，只有较好地掌握物理学的基本理论、基础知识和基本技能，才能比较顺利地研究其他自然科学和技术科学，并了解现代科学技术的成就，更好地促进所从事的专业的发展。也就是说，物理学在理工科学生的知识结构中具有重要的奠基作用。

0.1.2 物理学的发展

物理学的各分支学科是按物质的不同存在形式和不同运动形式划分的。人对自然界的认识来源于实践，随着实践的扩展和深入，物理学的内容也在不断扩展和深入。古希腊人把所有对自然界的观察和思考，笼统地包含在一门学科里，即自然哲学。几个世纪以前，科学才划分为天文学、力学、物理学、化学、生物学、地质学等。在牛顿时代科学与哲学还没有完全分家，牛顿的《自然哲学的数学原理》就是一个证明。17 世纪牛顿在伽利略、开普勒等工作的基础上，建立了完整的经典力学理论，这就是现代意义下的物理学的开端。18～19 世纪，卡诺、焦耳、开尔文、克劳修斯等建立了宏观的热力学理论；库仑、奥斯特、安培、法拉第、麦克斯韦等建立了电磁场理论。至此，经典物理学的体系已经建成。然而，19 世纪末 20 世纪初，一系列与经典物理极不相容的实验事实相继出现，先后在爱因斯坦、普朗克、玻尔、德布罗意、海森伯、薛定谔、玻恩等人的努力下，创立了相对论与量子力学，奠定了近代物理学的理论基础。

随着物理学各分支学科的发展，人们发现物质的不同存在形式和不同运动形式之间存在着联系，于是各分支学科之间开始互相渗透。物理学也逐步发展成为各分支学科彼此密切联系的统一整体。

进入 21 世纪以来，物理学面临着新一轮革命的孕育与涌动。物理学对客观世界的探索与认识不断向新的深度和广度拓展：从基本粒子、纳米尺度的微观世界到星系的宏观世界，从飞秒瞬间到宇宙时标，从生命起源到人类的自我认识，日新月异，异彩纷呈，永无止境。

当今物理学的研究领域里有两个尖端：一个是高能物理和粒子物理；另一个是天体物

理。前者在极小的尺度上探索物质更深层次的结构；后者在极大的尺度上追寻宇宙的起源和深化。可是近百年的研究表明，这两个极端竟奇妙地衔接在一起，成为一对密不可分的姊妹学科。因为粒子物理学家也希望从宇宙早期演化理论中获取一些信息和证据来检验极高能量下的粒子理论，犹如一条蟒蛇咬住自己的尾巴，如图 0.1 所示。

图 0.1 粒子理论如蟒蛇咬住尾巴

0.1.3 物理学的先导作用

纵观人类文明发展史，科学技术的每一次重大突破，都会促进生产力的巨大飞跃，推动人类社会的飞速发展，而每一次新技术革命都是以物理学的革命为先导的。

第一次在 18 世纪 60 年代，以蒸汽机的发明和应用为主要标志。热力学理论的研究，促进了蒸汽机效率的提高。第二次在 19 世纪 70 年代，以电的发明和应用为主要标志，麦克斯韦的电磁场理论为电力技术的发展提供了重要的理论基础，从此，人类开始了以电这种能源为动力的照明、通信等为基础的现代文明生活；20 世纪下半叶以来，随着信息技术、空间技术、新材料技术、新能源技术、生物技术和海洋技术等一批高新技术的兴起，导致一场席卷全球的新技术革命浪潮。它以强大的冲击力量带动了世界产业结构的调整与升级，也引起人们思想观念和生活方式的深刻变革。它是以 19～20 世纪之交的物理学的三大发现（电子、放射性、X 射线）和爱因斯坦相对论的发现为先导的。

事实证明，物理学理论的任何一项重大突破，都会引起一系列新技术的诞生；同样，新技术的兴起又将推动物理学向更高更深层次发展。物理学家力图寻找一切物理现象的基本规律，从而统一地理解一切物理现象。这种努力虽然已经有所进展，但现在离实现这一目标还很遥远。人们对客观世界的探索、研究是无穷无尽的。

0.1.4 怎样学习物理学

由于物理学本身的特点及其作用，大学物理是高等学校非物理类理工科各专业开设的一门重要的基础课程。学好大学物理课程对进一步深入学习后续课程是非常重要的，并且对于学习新科学、新材料、新工艺都会有很大的帮助，因为大学物理从知识内容学习到科学方法论的培养等方面有十分重要的作用。

大学物理所研究的问题与以往中学学习的课程有联系，但又不同，尤其是处理方法、深度和广度都有大的差别。在学习本门课程时应该注意以下几点。

（1）注意物理思想和方法的学习。物理学是以实验为基础，同时又有理论基础和学说的

一门学科。通过物理课内容和知识的学习，掌握物理学研究的方法和思想，学会善于观察、实验、概括、归纳和总结及提出物理假设，这是物理学研究的特点。这些方法在今后的学习和研究中都会发挥重要的作用。

（2）在学习大学物理的过程中，注意能力的培养，即自学、抽象思维、解答习题及发展思维能力的培养。自学能力主要是指通过课程的学习，能自己阅读、查阅文献的能力；抽象思维和发展思维能力，主要是学习对具体实际问题抽象物理模型、数学表达，并能由此学习发现新规律、新现象的思想方法，即创新思维和能力。这些能力要通过学习、解答和思考物理问题逐步培养，物理课程的学习难在研究问题的方法，这要通过适量的具体物理题的解答，逐步提高实际应用和综合分析解决问题的能力。

（3）在学习大学物理的过程中要注意物理课程的特点，掌握正确的学习方法。学习过程中，注意物理学中具体研究对象和体系的不同，现象不同，研究的方法和手段不同，规律、结论及所适用范围的不同。要注意在实际的学习中培养对于物理现象和规律认识的悟性，物理学重在理解，在理解的基础上学习、掌握方法，真正通过大学物理课程的学习，使自身在多方面终身受益，实现学习大学物理课程的根本目的。

0.2 标量与矢量

0.2.1 标量

在物理学中，有一类物理量，如时间、质量、功、能量、温度等，只需要用大小（包括数字与单位）和正负就可完全确定，这类物理量统称为标量。标量既有大小又有正负，它是代数量，可用代数方法计算。例如，同类的标量可以求代数和；又如，标量函数的求导和积分运算，遵循微积分中的代数运算法则。这些在高等数学中都有详细介绍，这里重点介绍矢量及其运算。

0.2.2 矢量

在大学物理中，还有一类物理量，如位移、速度、加速度、力、动量、冲量等，计算时必须同时给出大小和标明方向，才能完全确定；并且在相加时服从平行四边形法则。这类物理量称为矢量。例如，若只说物体以 10m/s 的速度运动，而不指出方向，人们就不了解该物体究竟朝哪个方向运动，只有指出运动的方向，运动速度才完全确定。

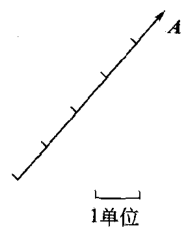

图 0.2 矢量图示法

矢量的表示通常有两种方法：一种是用带箭头的字母（例如 $\vec{A}$）表示矢量，平时在手写时采用这种方法；另一种是用黑体字母（例如 $\boldsymbol{A}$）表示矢量，印刷体通常采用这种方法。在作图时，可以在空间用一有向线段来表示，如图 0.2 所示。线段的长度表示矢量的大小，箭头的指向则表示矢量的方向。

因为矢量具有大小和方向这两个特征，所以只有大小相等、方向相同的两个矢量才相等，如图 0.3(a) 所示。如果有一个矢量和另一个矢量 $\boldsymbol{A}$ 大小相等，而方向相反，这一矢量就称为矢量 $\boldsymbol{A}$ 的负矢量，用 $-\boldsymbol{A}$ 来表示，如图 0.3(b) 所示。

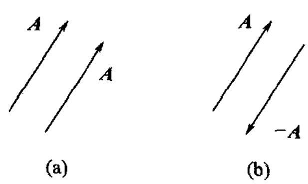

图 0.3 等矢量与负矢量

将矢量平移后，它的大小和方向都保持不变。矢量平移不变性是矢量的一个主要性质。在考察矢量之间的关系或对它们进行运算时，往往根据需要将矢量进行平移，如图 0.4 所示。

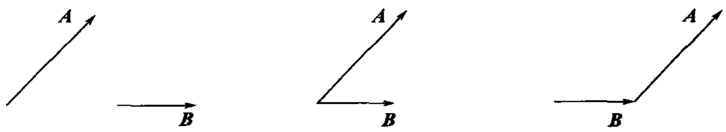

图 0.4 矢量的平移不变性

矢量的大小称为矢量的模。矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模常用符号 $|\boldsymbol{A}|$ 或 A 表示。模等于 1，且方向与矢量 $\boldsymbol{A}$ 相同的矢量称为矢量 $\boldsymbol{A}$ 方向上的单位矢量，记为 $\boldsymbol{r}_0$，矢量 $\boldsymbol{A}$ 可以表示为

$$\boldsymbol{A}=|\boldsymbol{A}|\boldsymbol{r}_0$$

这种表示方法实际上把矢量 $\boldsymbol{A}$ 的大小和方向这两个特征分别表示出来了。

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

0.2.3 矢量的加法与减法

（1）矢量加法　设有两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，如图 0.5 所示。将它们相加时，可利用矢量平移不变性，将两矢量的起点交于一点，再以这两个矢量为邻边作平行四边形，从两矢量的交点作平行四边形的对角线，此对角线即代表 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的两矢量之和。用矢量式表示为

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B} \tag{0.1}$$

$\boldsymbol{C}$ 称为合矢量，而 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 则称为矢量 $\boldsymbol{C}$ 的分矢量。利用平行四边形求矢量的方法称为矢量相加的平行四边形法则。

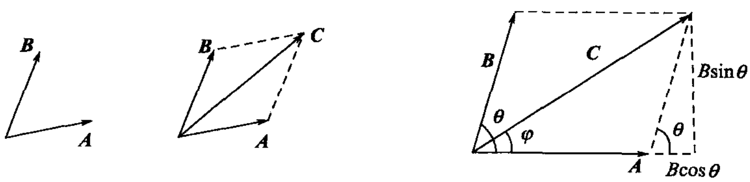

图 0.5 矢量合成的平行四边形法则

合矢量的大小和方向，也可以通过计算求得。在图 0.5 中，矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 之间的夹角为 θ，则合矢量 $\boldsymbol{C}$ 的大小和方向为

$$C=\sqrt{A^2+B^2+2AB\cos\theta}$$

$$\varphi=\arctan\frac{B\sin\theta}{A+B\sin\theta}$$

因为平行四边形的对边平行且相等，所以两矢量合成的平行四边形法则可简化为三角形法则，即以矢量 $\boldsymbol{A}$ 的末端为起点，作矢量 $\boldsymbol{B}$，如图 0.6(a) 所示。不难看出，由矢量 $\boldsymbol{A}$ 的起点画到 $\boldsymbol{B}$ 的末端的矢量就是合矢量 $\boldsymbol{C}$。同样，如以矢量 $\boldsymbol{B}$ 的末端为起点，作矢量 $\boldsymbol{A}$，由 $\boldsymbol{B}$ 的起点画到 $\boldsymbol{A}$ 的末端的矢量也就是合矢量 $\boldsymbol{C}$，如图 0.6(b) 所示。

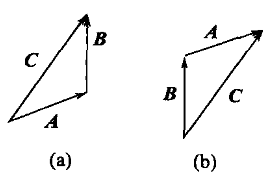

图 0.6 矢量合成的三角形法则

对于同一平面上的多矢量的相加，原则上可以逐次采用三角形法则进行，先求出其中两个矢量的合矢量，然后，将该合矢量再与第三个矢量相加，求得三个矢量的合矢量。依此类推，即得到多个矢量合成时的多边形法则，如图 0.7 所示。若要求出四个矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$ 的合矢量时，可从矢量 $\boldsymbol{A}$ 出发，首尾相接地依次画出矢量 $\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$，然后由第一矢量 $\boldsymbol{A}$ 的起点到最后一个矢量 $\boldsymbol{D}$ 的末端连一有向线段 $\boldsymbol{R}$，这个矢量 $\boldsymbol{R}$ 就是四个矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$ 的合矢量。

（2）矢量减法　两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之差也是一个矢量，可用 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$ 表示。矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之差可定义成矢量 $\boldsymbol{A}$ 与另一矢量 $-\boldsymbol{B}$ 之和。其中 $-\boldsymbol{B}$ 表示与矢量 $\boldsymbol{B}$ 的大小相等而方向相反的另一矢量，即

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B}) \tag{0.2}$$

同两矢量相加一样，两矢量相减也可以采用平行四边形法则，如图 0.8(a) 所示。

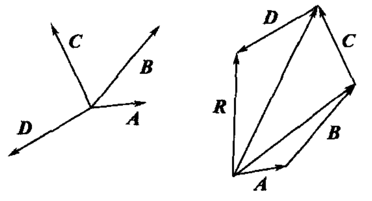

图 0.7　矢量合成的多边形法则

从图 0.8(b) 中也可以看出，如两矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 从同一点画起，则自 $\boldsymbol{B}$ 的末端向 $\boldsymbol{A}$ 的末端作一矢量，即为矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之差 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$。

求矢量差的大小和方向，仍可用式(0.1) 及式(0.2) 进行计算，但必须注意，角 θ 不是矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之间的夹角。

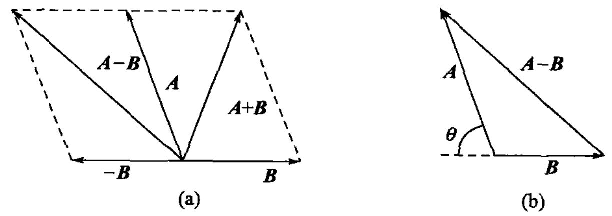

图 0.8　矢量相减

0.2.4　矢量乘法

（1）矢量数乘　设有数 k 和矢量 $\boldsymbol{A}$，则 $k\boldsymbol{A}$ 称为矢量数乘，数乘的意义是：$k\boldsymbol{A}$ 仍是矢量，其模是矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模的 k 倍。若 $k>0$，则 $k\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{A}$ 同向；若 $k<0$，则 $k\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{A}$ 反向，如图 0.9 所示。

（2）矢量点乘（标积）　其一般定义如下：设 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 是任意两矢量，则两矢量点乘为一标量，即

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB\cos\theta \tag{0.3}$$

式中，θ 为 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 间的夹角（规定以小于 π 的角度表示），如图 0.10 所示。

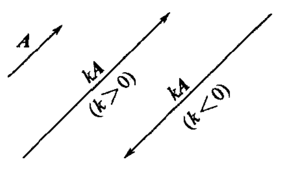

图 0.9　矢量的数乘

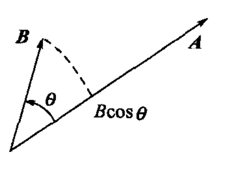

图 0.10　矢量的点乘

由两矢量点乘的定义可以推出下列性质。

① $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A}$。

② $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{A}=A^2$。

③ 若 $\boldsymbol{A}/\!/\boldsymbol{B}$，则 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB$。

④ 若 $\boldsymbol{A}\perp\boldsymbol{B}$，则 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=0$。

（3）矢量叉乘（矢积）　其一般定义如下：设 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 是任意两矢量，则两矢量叉乘为一新矢量，即

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B} \tag{0.4}$$

$\boldsymbol{C}$ 的大小为

$$C=AB\sin\theta$$

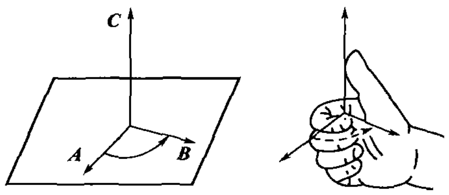

图 0.11 矢量的叉乘

式中，θ 为 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 两矢量间的夹角。

矢量 $\boldsymbol{C}$ 的方向则垂直于 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 两矢量所组成的平面，方向由右手螺旋定则（简称右手定则）确定，即从 $\boldsymbol{A}$ 经由小于 180° 的角转向 $\boldsymbol{B}$ 拇指伸直时所指的方向。如图 0.11 所示。

由矢量叉积的定义可以推出下列性质。

① $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=-(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A})$。

② $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{A}=0$。

③ 若 $\boldsymbol{A}\perp\boldsymbol{B}$，则 $|\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}|=AB$。

④ 若 $\boldsymbol{A}/\!/\boldsymbol{B}$，则 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=0$。

0.2.5 矢量的直角坐标分量表示

为了便于对矢量进行计算，常需要在直角坐标系中将一矢量分解为多个分矢量。

设在平面直角坐标系 Oxy 中，矢量 $\boldsymbol{A}$ 的始端位于原点，它与 x 轴的夹角为 α，如图 0.12 所示。从图可见，矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 x 轴、y 轴上的分矢量都是一定的，即

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j} \tag{0.5}$$

沿 x 轴的正方向取单位矢量 $\boldsymbol{i}$，沿 y 轴的正方向取单位矢量 $\boldsymbol{j}$。

式中，A_x，A_y 分别为矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 x 轴和 y 轴上的分矢量的模，有

$$A_x=A\cos\alpha \quad A_y=A\sin\alpha$$

注意：α 是由 x 轴按逆时针方向旋转至 $\boldsymbol{A}$ 的角度。

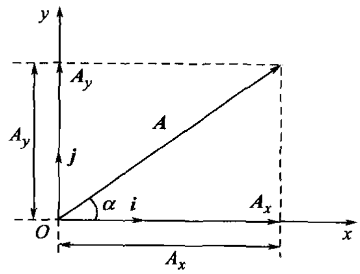

图 0.12 矢量在平面上的正交分解

矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模和夹角 α 分别为

$$A=\sqrt{A_x^2+A_y^2} \qquad \alpha=\arctan\frac{A_y}{A_x}$$

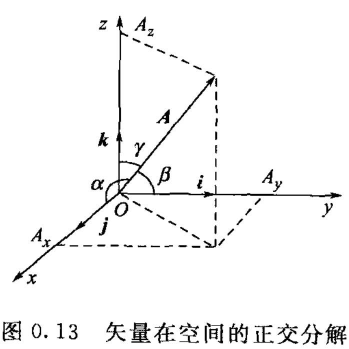

图 0.13 矢量在空间的正交分解

分矢量 A_x 和 A_y 的值可正可负，取决于矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 x 轴的夹角 α。

在图 0.13 所示的空间坐标系中，若矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 x，y，z 坐标轴上的分矢量的模分别为 A_x，A_y，A_z。以 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$，$\boldsymbol{k}$ 分别表示 x，y，z 坐标轴上的单位矢量，则有

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k} \tag{0.6}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模为

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

矢量 $\boldsymbol{A}$ 的方向由该矢量与 x，y，z 坐标轴的夹角（分别为 α，β，γ）确定，有

$$\cos\alpha=\frac{A_x}{A} \quad \cos\beta=\frac{A_y}{A} \quad \cos\gamma=\frac{A_z}{A}$$

由于直角坐标系的单位矢量具有正交性，故

$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}=1$$

$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{i}=0$$

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

$$\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k} \quad \boldsymbol{j}\times\boldsymbol{k}=\boldsymbol{i} \quad \boldsymbol{k}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}$$

因此，两矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的运算在直角坐标系的分量表示为

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

0.2.6 矢量合成的解析法

运用矢量的分量表示法，可以使矢量的加减运算得到简化。如图0.14所示，设矢量$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$的合矢量为$\boldsymbol{C}$，合矢量$\boldsymbol{C}$可由平行四边形法则求出。如矢量$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$在坐标轴上的分矢量的模分别为A_x，A_y和B_x，B_y，由图很容易得出，合矢量$\boldsymbol{C}$在坐标轴上的分量满足关系式

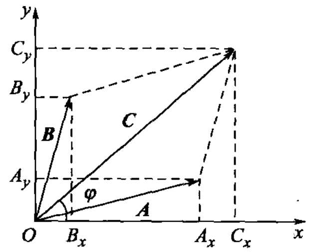

图0.14 矢量分解的合成法

$$C_x=A_x+B_x\quad C_y=A_y+B_y$$

故
$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=(A_x+B_x)\boldsymbol{i}+(A_y+B_y)\boldsymbol{j}$$

$\boldsymbol{C}$的大小和方向可由下列两式确定：

$$C=\sqrt{C_x^2+C_y^2}\quad \varphi=\arctan\frac{C_y}{C_x}$$

0.2.7 矢量的导数和积分

（1）矢量的导数　在物理上的矢量常常是参量时间（t）的函数，因而写作$\boldsymbol{A}_{(t)}$、$\boldsymbol{B}_{(t)}$等。

在直角坐标系中，矢量$\boldsymbol{A}_{(t)}$可表示为

$$\boldsymbol{A}_{(t)}=A_{x(t)}\boldsymbol{i}+A_{y(t)}\boldsymbol{j}+A_{z(t)}\boldsymbol{k}$$

所以
$$\Delta\boldsymbol{A}_{(t)}=\Delta A_{x(t)}\boldsymbol{i}+\Delta A_{y(t)}\boldsymbol{j}+\Delta A_{z(t)}\boldsymbol{k}$$

求极限得

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{A}_{(t)}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}A_{x(t)}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}A_{y(t)}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}A_{z(t)}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}\tag{0.7}$$

二阶导数的概念也可应用到矢量函数上，例如矢量$\boldsymbol{A}_{(t)}$的二阶导数可表示为

$$\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\mathrm{d}^2A_{x(t)}}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2A_{y(t)}}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}^2A_{z(t)}}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}\tag{0.8}$$

下面列出一些有关矢量函数的导数的简单公式。

① $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{B}}{\mathrm{d}t}$。

② 当C是常量时，则$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(C\boldsymbol{A})=C\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t}$。

③ 当$f(t)$是t的可微函数时，则$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[f(t)\boldsymbol{A}(t)]=f(t)\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t}+f'(t)\boldsymbol{A}(t)$。

④ $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B})=\boldsymbol{A}\cdot\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{B}}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t}\cdot\boldsymbol{B}$。

⑤ $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})=\boldsymbol{A}\times\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{B}}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{A}}{\mathrm{d}t}\times\boldsymbol{B}$

以上介绍的是一元函数的求导。一般来说，如果某一矢量是标量变量（如空间坐标x，y，z和时间t）的函数，则是多元函数的情况。多元函数的求导比较复杂，可由一元函数的求导推广得出，这里不做介绍。

（2）矢量的积分　矢量函数的积分很复杂，下面举两个物理中常用的简单例子。

矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 均在同一平面直角坐标系内，且$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{B}}{\mathrm{d}t}=\boldsymbol{A}$，于是有

$$\mathrm{d}\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}\mathrm{d}t$$

将上式积分并略去积分常数，得

$$\boldsymbol{B}=\int\boldsymbol{A}\mathrm{d}t=\int(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j})\mathrm{d}t=(\int A_x\mathrm{d}t)\boldsymbol{i}+(\int A_y\mathrm{d}t)\boldsymbol{j}=B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j} \tag{0.9}$$

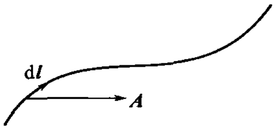

图 0.15　曲线运动

上式在物理学中经常遇到，如计算直线和曲线运动的位置矢量或位移、力的冲量等。

若矢量 $\boldsymbol{A}$ 在平面直角坐标系中沿图 0.15 所示的曲线变化，则 $\int\boldsymbol{A}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$ 就是这个矢量沿此曲线的线积分。由于有

$$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$$
$$\mathrm{d}\boldsymbol{l}=\mathrm{d}x\boldsymbol{i}+\mathrm{d}y\boldsymbol{j}+\mathrm{d}z\boldsymbol{k}$$

所以 $\int\boldsymbol{A}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}=\int(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})\cdot(\mathrm{d}x\boldsymbol{i}+\mathrm{d}y\boldsymbol{j}+\mathrm{d}z\boldsymbol{k})=\int A_x\mathrm{d}x+\int A_y\mathrm{d}y+\int A_z\mathrm{d}z$

如上式中的 $\boldsymbol{A}$ 为力，$\mathrm{d}\boldsymbol{l}$ 为位移，则上式就是变力做功的计算式。

在今后的物理学习过程中，将会应用到以上的表述和运算。在近代科技文献中，物理量的矢量表示已广泛应用。

第1篇　力　　学

引　　言

力学是物理学中最重要而又古老的基础学科之一，也是现代工程技术的基础。它的主要任务是研究物体的机械运动规律。物体间的位置变化，或物体内部各部分之间的相对位置随时间的改变都称为机械运动。机械运动是物质最简单、最基本的运动形式。物质运动的所有形式几乎都包含有机械运动。

力学的建立和发展经过了漫长的时期。早在公元前，我们祖先在《墨经》中就有关于杠杆原理的论述，希腊的亚里士多德提出了“力生运动”的观点。到 17 世纪伽利略研究了物质惯性，随后，牛顿在前人实验的基础上，提出了著名的关于物质运动的三大运动定律，使得物体机械运动的研究提高到一个新水平。以牛顿三大运动定律为基础而建立和发展的力学称为牛顿力学，也称为经典力学。

随着科学技术的进步与发展，通过对新的实验现象的观察，牛顿力学已不适用于高速运动和微观物质运动的情况。由此而诞生了近代物理学的两大基础——相对论和量子力学。虽然它们研究物体运动规律的思想和方法有很大的不同，但是，牛顿力学仍然对量子力学、相对论等其他理论产生了深刻的影响。因此，牛顿力学仍然是学习物理学的重要基础。

本书力学部分包括质点运动学和动力学、刚体及其定轴转动运动学和动力学等内容。