

21 世纪高等院校教材



大学物理

陈 曙 主编



科学出版社

内 容 简 介

本书系统讲解了大学物理学课程的知识点,内容涉及运动学、力学、分子动理论、振动与波、电磁学、波动光学和近代物理基础.本书注重基本理论和基本概念的阐述,具有知识点全面、讲述清晰简要的特点.作为基础课程教材,本书在编写过程中从实际的教学环境、教学对象和教学要求出发,力求做到“好教好学”,并且有益于后续相关课程的学习.

本书适合作为大学本科化学类、生命科学类、医药类专业一、二年级本科生大学物理课程教材,也可作为相关专业学生和社会读者的参考用书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理 / 陈曙主编. —北京: 科学出版社, 2012

21 世纪高等院校教材

ISBN 978-7-03-035534-8

I. ①大… II. ①陈… III. ①物理学—医学院校—教材 VI. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 213617 号

责任编辑: 窦京涛 昌 盛 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 闫 磊 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏主印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 9 月第一次印刷 印张: 21 1/2

字数: 510 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

当你翻开本书时，就意味着物理学作为一门大学基础课程进入了你的课程表。那么宏观地看看物理学是什么以及物理教学的作用，无疑对你如何学好大学物理课程是有益的。

物理学是一门经典而又永远充满活力、散发迷人魅力的学科。物理学是研究物质结构、相互作用的最基本、最普遍规律的一门基础科学。就物理学的基础知识构成来讲，它可以分为力学、热学、电磁学、光学、近代物理、理论物理学等。物质、运动、相互作用、规律是这门学科的主要关键词。物理学研究涉及的领域非常广阔：空间上可以从基本粒子的大小 10^{-15}m 开始，到类星体的尺寸 10^{26}m ，“小到不能再小，大到不能再大”；时间尺度从 10^{-25}s 的最不稳定粒子寿命，到 10^{39}s 质子的寿命，时间范围“从没有昨天的那一天开始，到没有明天的那一天为止”，或是宇宙的起源与终结。

化学、生命科学、医学、药学等都是自然科学的重要组成部分。在自然科学的发展过程中，物理学作为严格的、定量的“模范”学科，一直发挥着极其重要的作用，在与其他学科相互作用中，物理学促进了自身及其他学科的发展。例如，化学中的原子论、分子论的发展为物理学中气体动理论的建立奠定了基础，从而能够对物质的热学、力学、电学性质做出满意的解释；而物理学中量子理论的发展，原子的电子壳层结构的建立又从本质上说明了各种元素性质周期性变化的规律。以物理学中关于半导体材料的晶体理论为出发点发展而来的大规模集成电路，是计算机硬件得以发展的基础；计算机技术在量子化学、药物分子设计方面的应用使得这些学科方兴未艾，呈现勃勃生机。物理学同样为现代生物学的发展奠定了重要基础：为生命科学提供现代化的实验手段，如电子显微镜、X 射线衍射、核磁共振（NMR）、扫描隧道显微镜（STM）等；为生命科学研究提供重要的理论概念和方法。2003 年美国的保罗·C.劳特伯（Paul C Lauterbur）和英国的皮特·曼斯菲尔德（Peter Mansfield）因为在核磁共振成像（MRI）方面的贡献而获得了诺贝尔生理学或医学奖。其实从 1952 年起的物理学奖算起，核磁共振方面的工作已经 5 次获得诺贝尔奖了。

经典物理学家、量子力学开创者、科学哲学大师 M.普朗克说过：“科学是内在的整体，它被分解为单独的学科不是由于事物的本质，而是由于人类认识能力的局限性。实际上存在着由物理到化学，通过生物学到社会科学的连续链条，这是任何一处都不能被打断的链条。”放眼当今世界上任何一所现代大学的课程设置，都以培养学生良好的科学素养、严密的思维能力、扎实的专业基础，乃至优雅的人文情怀，为总体目标。这些也都是物理学教学的一个努力方向。

本书就是围绕上述目标，结合教学环境、教学对象而编写的。本书在大学物理教学大纲的总框架内，对课程所涉及的知识点、展开讨论的切入点、研究问题的深度和广度等方面都有所考量。本书融入了编者在中国药科大学几十年物理学课程教学实践的体会，同时也关注到学生知识基础、知识水平的变化和提高，以及化学、药学、现代生命科学的发展。编者深知，一门课程的教材对教师和学生来讲，既是教学的引导者和组织者，又是教学内容的主要出发点，是教师与学生连接的重要平台之一。本书力求做到以上几点。

关于“如何学好大学物理学课程”这一问题，编者在此提出以下几点建议。读者应该

注意,这里提的是“学好课程”,并且这些建议应该具有一定的通用性,但是并不是针对“研究学问”.请读者自己体会其中的差别.

1. 你的物理课老师会在上课过程中对每章每节进行分析、讲解,因此上课时认真听就显得很重要.听课要讲究效率,注意学习老师分析问题的方法就是一种高效率的学习途径.是否记笔记以及如何记笔记,可以因人而异.

2. 阅读是你获得本课程知识的另一个有效途径.阅读加思考是一种很好的习惯,这一习惯可以使你获得许多学习的乐趣,主动的阅读还会获得许多学习的成就感呢!

3. 如果能将课程中的知识或原理与现实生活、其他课程中的一些事例联系起来分析,对这些知识点你就学得比较好了.希望你经常试试这样做!

4. 重视数学知识和数学的应用.实际上,你把物理学看成是大量的数学模型的建立和应用也无妨.物理公式中的每一个符号都是有意义的,它们之间的联系构成了公式.学好物理课程的还会有额外的收获:你的数学学习说不定就变得更轻松.

5. 做些练习——这是必需的!解题过程也是一种思维的训练过程.但并不意味着你做了大量的练习题就学好了物理.同学之间多进行一些有意思的讨论,这也是一种学习的好习惯,这样的习惯不仅仅有利于本课程的学习!

本书的编写工作得到了中国药科大学理学院、教务处的关心和支持.他们一直都非常重视基础课程的建设、改革.真诚地感谢中国药科大学其他学院的许多老师、物理教研室退休的或工作过的老师,还有多年来学习本课程的学生,他们都对本课程提出过宝贵意见.

限于编者的学识水平,本书中的错误和不妥之处难免.恳请使用者不吝指正和赐教,编者将不胜感激.

前言部分编者还转载了美国物理协会网站上(www.aps.org)的一篇常年“置顶”的短文“Why Study Physics?”(Laird Kramer, 美国佛罗里达国际大学).编者认为,大学生在系统开始本课程的学习之前认真读一下该文,还是不无益处的.

陈 曙

2012年5月

Why Study Physics?

Laird Kramer /FIU

Physics is crucial to understanding the world around us, the world inside us, and the world beyond us. It is the most basic and fundamental science. Physics challenges our imaginations with concepts like relativity and string theory, and it leads to great discoveries, like computers and lasers, that change our lives.

Physics encompasses the study of the universe from the largest galaxies to the smallest subatomic particles. Moreover, it's the basis of many other sciences, including chemistry, oceanography, seismology, and astronomy. All are easily accessible with a bachelor's degree in physics.

The importance of physics isn't limited to the "hard sciences". Increasingly, physicists are turning their talents to molecular biology, biochemistry, and biology itself. Even medicine has a niche for physicists, and since medical physicists are hard to come by, they are much in demand.

Physics also undergirds many new technologies. Cell phones, the Internet, and MRIs are only a few examples of the physics-based technological developments that have revolutionized our world. Many theoretical and experimental physicists work as engineers, and many electrical and mechanical engineers have physics degrees.

A physics education equips a person to work in many different and interesting places—in industrial and government labs, on college campuses, and in the astronaut corps. In addition, many physics grads leave the lab behind and work at newspapers and magazines, in government, and even on Wall Street—places where their problem-solving abilities and analytical skills are great assets.

So—physics is interesting, relevant, and it can prepare you for great jobs in a wide variety of places. Shouldn't you take a physics course?

来源: <http://www.aps.org/programs/education/whystudy.cfm>

目 录

前言

Why Study Physics?

第 1 章 质点运动学	1
1.1 矢量	1
1.1.1 矢量的定义和表示方法	1
1.1.2 矢量的加法与减法	2
1.1.3 矢量的乘法	2
1.1.4 矢量在直角坐标系中的表示	4
1.1.5 矢量的导数	5
1.2 质点运动的描述	6
1.2.1 参考系 坐标系	6
1.2.2 质点 质点系	7
1.2.3 位置矢量	7
1.3 质点的位移、速度、加速度	8
1.3.1 位移	8
1.3.2 速度	8
1.3.3 加速度	10
1.4 质点的曲线运动	10
1.4.1 平面自然坐标系	11
1.4.2 速度和加速度在自然坐标系中的解析表示	11
1.5 运动学的两类问题	12
1.5.1 运动学的第一类问题	12
1.5.2 运动学的第二类问题	13
习题	14
第 2 章 质点动力学	17
2.1 牛顿运动定律	17
2.1.1 牛顿运动三定律	17
2.1.2 基本力简介	19
2.1.3 牛顿定律的应用	20
2.2 动量守恒定律	21
2.2.1 质点的动量定理	21
2.2.2 质点系的动量定理	22
2.2.3 动量守恒定律	23
2.3 机械能守恒定律	25

2.3.1	功 功率	25
2.3.2	质点的动能定理	26
2.3.3	几种常见力的功	27
2.3.4	保守力	28
2.3.5	势能	29
2.3.6	质点系的动能定理和功能原理	30
2.3.7	机械能守恒定律	31
2.3.8	能量守恒定律	31
2.4	质点的角动量	32
2.4.1	质点的角动量	32
2.4.2	质点的角动量守恒定律	33
	习题	33
第3章	刚体力学	37
3.1	刚体运动的描述	37
3.1.1	平动和转动	37
3.1.2	描述定轴转动的物理量	38
3.2	刚体定轴转动定律	40
3.2.1	力矩	40
3.2.2	定轴转动定理	41
3.2.3	转动惯量	41
3.3	定轴转动的动能定理	44
3.3.1	力矩的功	44
3.3.2	转动动能	44
3.3.3	动能定理	45
3.4	角动量守恒定律	46
3.4.1	刚体对定轴的角动量	46
3.4.2	角动量定理	46
3.4.3	角动量守恒定律	47
3.5	进动	49
	习题	50
第4章	流体的运动	53
4.1	理想流体的定常流动	53
4.1.1	理想流体	53
4.1.2	定常流动	53
4.1.3	连续性方程	54
4.2	伯努利方程及其应用	55
4.2.1	伯努利方程	55
4.2.2	伯努利方程的应用	57
4.3	黏性流体的运动	61

4.3.1 牛顿黏性定律	61
4.3.2 层流与湍流	62
4.3.3 黏性流体的运动规律	63
4.4 泊肃叶定律	64
4.5 斯托克斯定律	65
习题	66
第 5 章 相对论	68
5.1 经典力学时空观和伽利略变换	68
5.1.1 经典力学的时空观	68
5.1.2 伽利略变换	68
5.2 狭义相对论基本原理	69
5.2.1 伽利略变换的局限性	69
5.2.2 狭义相对论的基本原理	70
5.3 洛伦兹变换	70
5.3.1 洛伦兹时空变换	70
5.3.2 洛伦兹速度变换	71
5.4 狭义相对论的时空观	72
5.4.1 同时性的相对性	72
5.4.2 长度收缩(动尺缩短)	73
5.4.3 时间膨胀(动钟变慢)	74
5.4.4 因果律对运动速度的限制	75
5.5 相对论动力学	76
5.5.1 相对论的质量	76
5.5.2 相对论的动量	77
5.5.3 相对论动能	77
5.5.4 相对论能量 质能关系	78
5.5.5 相对论的能量与动量关系	79
5.6 广义相对论简介	79
5.6.1 广义相对性论基本原理	80
5.6.2 广义相对性论重要结论和实践检验	81
习题	81
第 6 章 振动与波	84
6.1 简谐振动	84
6.1.1 弹簧振子模型	84
6.1.2 线性回复力	87
6.1.3 简谐振动的旋转矢量图示法	87
6.1.4 简谐振动的能量	88
6.2 简谐振动的合成	89
6.2.1 相同方向上同频率简谐振动的合成	90

6.2.2	相同方向上不同频率的两个简谐振动的合成、拍现象	91
6.2.3	相互垂直方向上简谐振动的合成	91
6.3	阻尼振动 受迫振动 共振	92
6.3.1	阻尼振动	92
6.3.2	受迫振动、共振	94
6.4	机械波的产生和传播	94
6.4.1	机械波的产生	95
6.4.2	波长、周期和波的传播速度	95
6.4.3	惠更斯原理	96
6.5	平面简谐波	97
6.5.1	平面简谐波的波动表达式	97
6.5.2	波动方程	98
6.5.3	波的能量和波的强度	99
6.5.4	介质对波的吸收	100
6.6	波的叠加 波的干涉	100
6.6.1	波的叠加	100
6.6.2	波的干涉	101
6.6.3	驻波	102
6.7	声波	103
6.7.1	声强级和听觉区域	103
6.7.2	多普勒效应	104
6.7.3	超声波	105
	习题	106
第7章	分子物理学	111
7.1	分子热运动及其统计规律	111
7.1.1	分子动理论的基本观点	111
7.1.2	分子热运动的统计规律性	111
7.2	理想气体分子动理论	112
7.2.1	理想气体的物态方程	113
7.2.2	理想气体的微观模型	113
7.2.3	理想气体的压强公式	114
7.2.4	理想气体的温度公式	115
7.3	能量均分定理	116
7.3.1	自由度	116
7.3.2	能量均分定理	117
7.4	麦克斯韦速率分布规律	118
7.4.1	测定气体分子速率分布的实验	119
7.4.2	麦克斯韦速率分布律	119
7.4.3	平均自由程和平均碰撞频率	121

7.5 真实气体	122
7.5.1 真实气体的等温线	122
7.5.2 范德瓦耳斯方程	123
7.6 气体内的迁移现象	125
7.6.1 热传导现象	125
7.6.2 扩散现象	125
习题	126
第 8 章 静电场	128
8.1 库仑定律 电场强度	128
8.1.1 电荷	128
8.1.2 库仑定律	128
8.1.3 电场强度	129
8.2 高斯定理	132
8.2.1 电场线	132
8.2.2 电通量	132
8.2.3 高斯定理	133
8.3 环路定理 电势	137
8.3.1 静电场的环路定理	137
8.3.2 电势能 电势	138
8.3.3 电场强度与电势的关系	141
8.4 静电场中的导体	142
8.4.1 导体的静电平衡条件	142
8.4.2 静电平衡时导体的性质	143
8.4.3 空腔导体和静电屏蔽	144
8.5 电容	146
8.5.1 孤立导体的电容	146
8.5.2 电介质对电场的影响	146
8.5.3 电容器的电容	149
8.5.4 电容器电容的计算	149
8.6 静电场的能量	150
8.6.1 电荷系统的相互作用能	151
8.6.2 电容器的能量	152
8.6.3 电场的能量和能量密度	152
习题	153
第 9 章 磁场	158
9.1 磁场 磁感应强度	158
9.1.1 磁场	158
9.1.2 磁感应强度	158
9.1.3 磁感应线	159

9.1.4	磁通量	160
9.1.5	磁场的高斯定理	160
9.2	毕奥-萨伐尔定律	160
9.2.1	毕奥-萨伐尔定律	160
9.2.2	运动电荷的磁场	161
9.3	安培环路定理	163
9.4	磁场对运动电荷的作用	167
9.4.1	洛伦兹力	167
9.4.2	质谱仪	168
9.4.3	霍尔效应	169
9.5	磁场对电流的作用 磁矩	170
9.5.1	安培定律	170
9.5.2	磁场对载流线圈的作用 磁矩	173
9.6	磁介质	174
9.6.1	磁介质	174
9.6.2	磁导率	175
9.6.3	铁磁质	176
	习题	178
第 10 章	电磁感应	182
10.1	电磁感应定律	182
10.1.1	电磁感应现象	182
10.1.2	法拉第电磁感应定律	182
10.1.3	有旋电场	185
10.1.4	涡电流	185
10.2	自感	186
10.2.1	自感现象 自感系数	186
10.2.2	RL 电路	188
10.3	磁场的能量	189
10.4	电磁场及其传播	192
10.4.1	位移电流	192
10.4.2	麦克斯韦电磁场基本方程	193
10.4.3	电磁波的产生和传播	195
10.4.4	电磁波的能量	196
10.4.5	电磁波谱	197
	习题	198
第 11 章	光的干涉	201
11.1	光的干涉条件	201
11.1.1	光的相干条件	201
11.1.2	相干光源	202

11.2	双缝干涉	203
11.2.1	双缝实验	203
11.2.2	劳埃德镜实验	205
11.3	光程和光程差	205
11.4	薄膜干涉	207
11.4.1	薄膜干涉	207
11.4.2	劈尖干涉	210
11.4.3	牛顿环	211
11.4.4	迈克耳孙干涉仪	213
	习题	213
第 12 章	光的衍射	216
12.1	惠更斯-菲涅耳原理	216
12.1.1	光的衍射现象	216
12.1.2	惠更斯-菲涅耳原理	216
12.1.3	衍射的分类	217
12.2	单缝衍射	218
12.3	衍射光栅	221
12.3.1	光栅衍射	221
12.3.2	光栅光谱	224
12.4	夫琅禾费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	225
12.4.1	圆孔衍射	225
12.4.2	光学仪器的分辨本领	226
12.4.3	显微镜的鉴别距离	227
12.5	X 射线的衍射	227
12.5.1	X 射线 (伦琴射线)	227
12.5.2	劳厄实验	228
12.5.3	布拉格方程	228
12.5.4	X 射线衍射方法	230
12.5.5	X 射线衍射的应用	230
	习题	231
第 13 章	光的偏振	233
13.1	自然光和偏振光	233
13.2	反射光和折射光的偏振	233
13.3	起偏和检偏 马吕斯定律	234
13.3.1	起偏和检偏	234
13.3.2	马吕斯定律	235
13.4	光的双折射	236
13.5	偏振光的干涉	238
13.5.1	椭圆偏振光 圆偏振光	238

13.5.2	偏振光的干涉	239
13.6	旋光现象	240
13.6.1	旋光性	240
13.6.2	圆二色性	241
	习题	242
第 14 章	光的粒子性	244
14.1	热辐射	244
14.1.1	热辐射现象	244
14.1.2	黑体辐射定律	245
14.1.3	普朗克量子假设	246
14.2	光电效应	248
14.2.1	光电效应及实验规律	248
14.2.2	经典理论在解释光电效应时遇到的困难	250
14.2.3	爱因斯坦的光子学说	250
14.2.4	光电效应的应用	251
14.3	康普顿效应	252
14.3.1	康普顿散射实验	252
14.3.2	康普顿散射的理论解释	253
14.4	光的波粒二象性	254
	习题	255
第 15 章	量子物理基础	257
15.1	玻尔氢原子理论	257
15.1.1	氢原子光谱	257
15.1.2	玻尔的氢原子理论	258
15.2	德布罗意物质波	262
15.2.1	物质波	262
15.2.2	物质波的实验证明	263
15.3	不确定关系	265
15.3.1	动量坐标的不确定关系	265
15.3.2	时间能量的不确定关系	267
15.4	波函数 薛定谔方程	268
15.4.1	波函数及其统计解释	268
15.4.2	薛定谔方程	270
15.4.3	一维无限深势阱中的粒子	272
15.4.4	一维方势垒的穿透	275
15.5	氢原子	276
15.5.1	氢原子的薛定谔方程	276
15.5.2	量子化与量子数	277
15.5.3	电子云	279

15.6 电子自旋	279
15.6.1 施特恩-格拉赫实验	279
15.6.2 电子自旋的描述	280
15.6.3 原子的电子壳层结构	281
习题	282
第 16 章 现代物理专题	285
16.1 原子核	285
16.1.1 原子核的基本性质	285
16.1.2 原子核的放射性衰变	292
16.1.3 核反应	297
16.1.4 射线与物质的相互作用	299
16.1.5 射线的剂量与防护	300
16.1.6 放射性核素的应用	301
16.2 核磁共振	302
16.2.1 核子与原子的自旋和磁矩	303
16.2.2 核磁共振	304
16.2.3 核磁共振的应用	307
16.3 激光	308
16.3.1 激光产生原理	309
16.3.2 激光的特点	312
16.3.3 激光的应用	313
习题	314
参考文献	316
附录 1 基本物理常量(2010 年国际推荐值)	317
附录 2 部分习题参考答案	318

第 1 章 质点运动学

自然界的一切物质都是运动的. 实际物体的运动是较复杂的, 一般可分为平动、转动和形变. 所谓平动是指物体整体位置的移动, 物体作平动时, 物体中任意两点之间连线的方向保持不变. 为了使讨论的问题简化, 本章暂不涉及转动和形变, 仅研究一个形状和大小可以不计但具有一定质量的物体的运动, 这样的物体称为质点 (particle). 质点是物理学中引入的一个理想模型. 平动可以归结为质点的运动.

对于质点的运动, 通常从两个方面进行讨论. 首先是单纯地描写质点在空间的运动情况, 即说明它的运动特征, 如质点的位置、速度、加速度、轨道等, 这部分内容称为质点运动学. 其次是讨论质点运动产生的原因和控制运动的方法, 即说明运动的因果规律, 如牛顿运动定律等, 这部分内容称为质点动力学.

本章介绍质点运动学, 即讨论质点运动的定量描述问题. 由于在力学理论中普遍采用了矢量和微积分学等数学方法, 为此, 本章首先简单介绍矢量及矢量微商的有关知识.

1.1 矢 量

1.1.1 矢量的定义和表示方法

1. 矢量的定义

有一些物理量除有大小外, 还有方向性. 我们定义: 既有大小又有方向并满足平行四边形加法法则的量为矢量 (vector). 例如, “力”、“位移”、“加速度”等都是矢量.

2. 矢量的表示方法

一个矢量可以用一个具有一定长度、一端带有箭头的线段表示. 如图 1-1 所示, 线段长度表示相应单位下矢量的大小, 箭头所指方向即矢量的方向. 矢量在书写时可以用符号 $\vec{A}$ 表示, 在印刷品中则一律用黑斜体字母表示, 如 $\boldsymbol{A}$. 矢量的大小 (数值) 称为矢量的模, 表示为 $|\boldsymbol{A}|$ 或 A .

3. 矢量的相等 负矢量

两个矢量只有大小相等且方向相同时, 这两个矢量才相等, 如图 1-2 (a) 中 $\boldsymbol{A} = \boldsymbol{B}$. 如果两个矢量大小相等而方向相反, 则称它们互为正负矢量, 如图 1-2 (b) 中 $\boldsymbol{A} = -\boldsymbol{B}$ 或 $\boldsymbol{B} = -\boldsymbol{A}$.

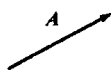
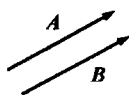


图 1-1 矢量的表示



(a)



(b)

图 1-2 矢量的相等和负矢量

4. 单位矢量

如果矢量的模等于 1, 则该矢量称为单位矢量 (unit vector), 用符号 A_0 表示, 即

$$A = AA_0 \quad (1-1)$$

1.1.2 矢量的加法与减法

一般来说, 矢量运算时任何一个矢量都可以平移. 如矢量 A 、 B (其夹角为 θ) 相加, 可通过平移使两个矢量的起点重合, 再以二矢量为两边作平行四边形, 从两个矢量的起点出发的平行四边形的对角线矢量就是它们之和 C (与 A 的夹角为 α), 如图 1-3 (a) 所示. 但有时简化为三角形加法更为简便, 这就是通过平移使 B 的起点与 A 的箭头端重合, 再从 A 的起点连到 B 的箭头端的矢量 C 就是 A 、 B 之和, 如图 1-3 (b) 所示, 即 $C = A + B = B + A$.

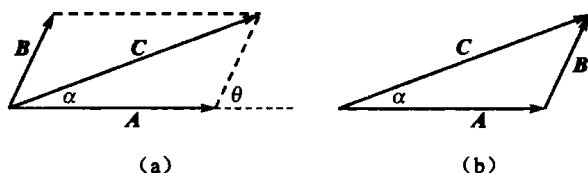


图 1-3 矢量的加法

由图 1-3 可知, 矢量加法满足交换律, 同时

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

$$\alpha = \arctan \frac{B\sin\theta}{A + B\cos\theta} \quad (1-3)$$

如果是多个矢量相加, 连续运用三角形加法就很容易推广为多边形加法. 如图 1-4 所示, 矢量 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 相加, 其和为 $\sum_{i=1}^5 A_i$.

由矢量加法的法则和负矢量的定义, 易得矢量减法运算方法

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

如图 1-5 所示, 矢量 A 减矢量 B , 可通过平移使两个矢量的起点重合, 从矢量 B 的末端指向矢量 A 的末端的矢量 C 就是 A 、 B 的矢量差.

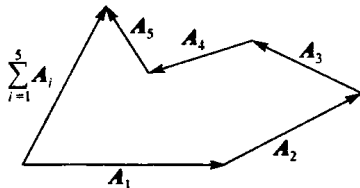


图 1-4 多个矢量相加

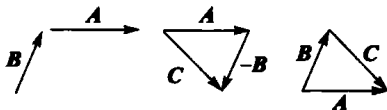


图 1-5 矢量的减法

1.1.3 矢量的乘法

矢量因具有大小和方向两个因素, 所以矢量乘法不像标量 (无方向的量) 那样简单, 根据需要, 我们定义三种乘法.

1. 数乘

一个标量与一个矢量相乘称为数乘, 其乘积仍为矢量, 如

$$\alpha A = B$$

$$B = \alpha A$$

且当 $\alpha > 0$ 时, 则 B 与 A 同向; 当 $\alpha < 0$ 时, 则 B 与 A 反向.

2. 点乘 (标量积)

两个矢量的点乘积为标量, 称为标积 (scalar product). 定义为

$$A \cdot B = AB \cos \theta \quad (1-4)$$

式中, θ 为矢量 A 与 B 之间的夹角, $0 \leq \theta \leq \pi$. 由定义式 (1-4) 可知乘积为标量, 无方向但有正负, 当 $\theta < \pi/2$ 时, 乘积为正值; 当 $\theta > \pi/2$ 时, 乘积为负值; 当 $\theta = \pi/2$ 时, 乘积为零. 其中, $B \cos \theta$ 称为矢量 B 在矢量 A 方向上的投影, $A \cos \theta$ 称为矢量 A 在矢量 B 方向上的投影. 显然, 点乘满足交换律, 即

$$A \cdot B = B \cdot A \quad (1-5)$$

在定义了矢量的点乘以后, 当一个质点在恒力 F 作用下作直线位移 s 时, 恒力所做的“功” W 就可以简洁地表示为 F 与 s 的点乘, 即

$$W = F \cdot s$$

3. 叉乘 (矢量积)

两个矢量 A 、 B 的叉乘积 $A \times B$, 定义为一个新矢量 C , 称为 A 与 B 的矢积 (vector product). 其大小定义为

$$C = |A \times B| = AB \sin \theta \quad (1-6)$$

式中, θ 为矢量 A 与 B 之间的夹角, $0 \leq \theta \leq \pi$.

矢积 $A \times B$ 的方向规定为既垂直于 A , 也垂直于 B , 即垂直于 A 、 B 所在的平面, 如图 1-6 所示, 其指向可由右手规则 (right-hand convention) 确定: 伸开右手, 使除大拇指以外的其余四指从 A 沿小于 180° 方向转向 B (转角 θ 即矢量 A 与 B 之间的夹角, $0 \leq \theta \leq \pi$), 竖起大拇指, 则大拇指所指的方向即矢积 $A \times B$ 的方向.

由上面定义可知, 叉乘不满足交换律, 而是

$$A \times B = -B \times A \quad (1-7)$$

引入叉乘后, “力矩”就可以简洁地表示为矢径 r (由某一给定点 O 指到力 F 的作用点的矢量) 与作用力 F 的叉乘积, 如图 1-7 所示. 用 M 表示力矩, 则

$$M = r \times F$$

M 的方向垂直于 r 、 F 所在的平面并满足右手法则, M 的大小为

$$M = rF \sin \theta = Fd$$

即力矩等于力和力臂的乘积, 这正是读者所熟悉的. 也许不好理解的是: “力矩”本来是表示一个物体受力后绕某一点旋转趋势的一个物理量, 为什么这个量会与旋转平面垂