



普通高等教育“十二五”规划教材

# 物理学基础教程

杨宏菲 主编

航空工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 物理学基础教程

主 编 杨宏菲

副主编 李秀娟 高莉莉

航空工业出版社

北 京

## 内 容 提 要

本书共分为 5 篇 14 章。第 1 篇力学主要介绍了质点运动学、牛顿运动定律、动量守恒与机械能守恒、刚体的定轴转动；第 2 篇热学主要介绍了气体动理论和热力学基础；第 3 篇电磁学主要介绍了静电场、稳恒磁场、电磁感应与电磁场；第 4 篇振动与波动主要介绍了机械振动、机械波和波动光学；第 5 篇近代物理基础主要介绍了狭义相对论基础和量子论基础。

本书语言简洁、详略得当，可作为高等院校理工科各专业的教材，也可供其他相关工程技术人员自学参考。

### 图书在版编目 (C I P) 数据

物理学基础教程 / 杨宏菲主编. — 北京 : 航空工业出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-80243-589-6

I. ①物… II. ①杨… III. ①物理学—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 152898 号

## 物理学基础教程 Wulixue Jichu Jiaocheng

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京忠信印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2011 年 3 月第 1 版

2011 年 3 月第 1 次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 19.75 字数: 493 千字

印数: 1—3000

定价: 38.00 元



物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的学科，其研究目的在于认识物质运动的普遍规律和揭示物质各层次的内部结构。物理学涉及范围极广，它既研究人们身旁发生的物理现象，也研究宇宙中天体的运动及构造，还研究微观领域中物质的运动规律。

物理学是自然科学和工程技术的基础，它的基本理论渗透到自然科学的各个领域，应用于诸多生产技术部门。物理学与其他学科具有广泛密切的联系，它的基础知识是每一个工程技术人员都必须具备的。

《物理学基础教程》是高等教育理工科各专业学生的一门重要的通识性必修基础课。通过本课程的学习，应使学生系统地打好必要的物理基础，增强学生分析问题和解决问题的能力，培养学生的探索精神和创新意识。为此，根据新的教育形势下对高校学生的素质要求和学生的特点，我们精心编写了这本教材。

本教材主要具有以下几个鲜明的特点：

一、内容全面。本教材在内容的选取上保留了经典物理学的力、热、电、光等内容，并简要介绍了近代物理（狭义相对论和量子论）的基础内容，使学生在掌握重点知识的前提下，能够对物理学有一个相对完整和系统的了解。

二、叙述精炼。本教材在知识点的讲解方面，以简明扼要为宗旨，主要突出物理思想和物理概念，淡化复杂公式的数学推导过程，内容深入浅出，使学生能够较快理解和掌握重点与难点内容。

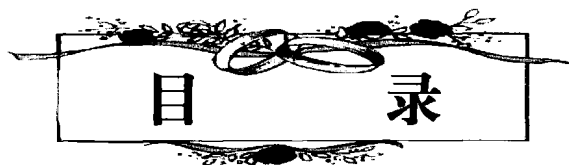
三、实例丰富。本教材在绝大部分重点知识点后都附有相应的计算应用实例，通过这些实例阐明了相应问题的思考方法及解题步骤，以帮助学生更加深刻地理解所学知识，并掌握其实际应用。

四、习题精选。本教材在各章习题的选取上，力求做到精而全，并适度降低数学难度，其中，填空题紧紧围绕各章的基本内容，解答题主要针对各章的重点内容，着重考察学生对各章知识的理解和掌握。

在编写本教材的过程中，编者翻阅了大量的资料和教材，在此，对这些资料的作者和编者表示衷心的感谢。由于时间仓促，编写人员水平有限，书中不尽如人意之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2011年1月



# 目 录

预备知识 矢量 .....	1
0.1 标量和矢量 .....	1
0.2 矢量的加法和减法 .....	1
0.2.1 矢量的加法 .....	1
0.2.2 矢量的减法 .....	2
0.3 矢量合成的解析法 .....	3
0.4 矢量的乘法 .....	3
0.4.1 矢量数乘 .....	3
0.4.2 矢量标积 .....	4
0.4.3 矢量矢积 .....	4
0.5 矢量的导数 .....	5
0.6 矢量的积分 .....	5
0.6.1 矢量的不定积分 .....	5
0.6.2 矢量的定积分 .....	6

## 第 1 篇 力学

第 1 章 质点运动学 .....	7
1.1 质点、参考系、坐标系和单位制 .....	7
1.1.1 质点 .....	7
1.1.2 参考系 .....	8
1.1.3 坐标系 .....	8
1.1.4 单位制 .....	9
1.2 描述质点运动的物理量 .....	10
1.2.1 位矢 .....	10
1.2.2 位移 .....	10
1.2.3 速度 .....	11
1.2.4 加速度 .....	13
1.3 运动方程 .....	14
1.4 平面曲线运动 .....	16
1.4.1 切向加速度和法向加速度 .....	16
1.4.2 圆周运动的角量描述 .....	18
1.4.3 线量和角量的关系 .....	19



1.5 相对运动	20
本章小结	22
思考与练习	23
<b>第2章 牛顿运动定律</b>	<b>25</b>
2.1 牛顿三大定律	25
2.1.1 牛顿第一定律	25
2.1.2 牛顿第二定律	26
2.1.3 牛顿第三定律	26
2.2 力学中常见的几种力	27
2.2.1 万有引力	27
2.2.2 重力	27
2.2.3 弹力	27
2.2.4 摩擦力	28
2.3 牛顿运动定律的应用	28
本章小结	32
思考与练习	33
<b>第3章 动量守恒与机械能守恒</b>	<b>34</b>
3.1 动量定理和动量守恒定律	34
3.1.1 质点的动量和动量定理	34
3.1.2 质点系的动量定理	36
3.1.3 动量守恒定律	37
3.2 功和动能定理	39
3.2.1 功	39
3.2.2 功率	41
3.2.3 质点的动能定理	41
3.2.4 质点系的动能定理	43
3.3 势能	44
3.3.1 万有引力、重力与弹力做功	44
3.3.2 保守力与非保守力	46
3.3.3 势能	46
3.4 功能原理和机械能守恒定律	47
3.4.1 功能原理	47
3.4.2 机械能守恒定律	48
3.4.3 能量守恒定律	48
本章小结	50
思考与练习	51
<b>第4章 刚体的定轴转动</b>	<b>53</b>
4.1 刚体的运动	53
4.1.1 刚体的平动	53



4.1.2 刚体的定轴转动 .....	53
4.2 刚体定轴转动定律 .....	54
4.2.1 力矩 .....	54
4.2.2 转动定律 .....	55
4.2.3 转动惯量 .....	56
4.3 刚体定轴转动的动能定理 .....	59
4.3.1 力矩的功 .....	59
4.3.2 转动动能 .....	60
4.3.3 刚体定轴转动的动能定理 .....	60
4.4 刚体的角动量定理和角动量守恒定律 .....	61
4.4.1 角动量 .....	62
4.4.2 刚体的角动量定理 .....	63
4.4.3 刚体的角动量守恒定律 .....	63
本章小结 .....	64
思考与练习 .....	65

## 第 2 篇 热学

第 5 章 气体动理论 .....	67
5.1 分子运动论和统计规律性 .....	67
5.1.1 分子运动论的基本观点 .....	67
5.1.2 统计规律性 .....	68
5.2 理想气体状态方程 .....	68
5.2.1 宏观态与微观态 .....	69
5.2.2 平衡态 .....	69
5.2.3 气体的状态参量 .....	69
5.2.4 理想气体状态方程 .....	70
5.3 理想气体的压强与温度 .....	71
5.3.1 理想气体的微观模型 .....	71
5.3.2 平衡态气体的统计假设 .....	71
5.3.3 理想气体的压强公式 .....	71
5.3.4 理想气体的温度公式 .....	73
5.4 能量均分定理与理想气体的内能 .....	74
5.4.1 自由度 .....	74
5.4.2 能量均分定理 .....	75
5.4.3 理想气体的内能 .....	76
5.5 麦克斯韦速率分布律 .....	77
5.5.1 速率分布函数 .....	77
5.5.2 麦克斯韦速率分布律 .....	78



5.5.3 三种统计速率 .....	79
本章小结 .....	80
思考与练习 .....	81
<b>第 6 章 热力学基础</b> .....	<b>83</b>
6.1 热力学系统及准静态过程 .....	83
6.2 内能、做功及传热 .....	84
6.2.1 内能 .....	84
6.2.2 做功 .....	84
6.2.3 传热 .....	85
6.3 热力学第一定律及其应用 .....	85
6.3.1 热力学第一定律 .....	86
6.3.2 热力学第一定律的应用 .....	87
6.4 循环过程与卡诺循环 .....	93
6.4.1 循环过程 .....	93
6.4.2 卡诺循环 .....	95
6.5 热力学第二定律 .....	97
6.5.1 热力学第二定律的两种表述 .....	98
6.5.2 自发过程的方向性 .....	98
6.5.3 可逆过程与不可逆过程 .....	99
本章小结 .....	99
思考与练习 .....	100

### 第 3 篇 电磁学

<b>第 7 章 静电场</b> .....	<b>102</b>
7.1 电荷守恒定律与电荷的量子化 .....	102
7.1.1 电荷 .....	102
7.1.2 电荷守恒定律 .....	103
7.1.3 电荷的量子化 .....	103
7.2 库伦定律 .....	103
7.3 电场强度 .....	104
7.3.1 静电场 .....	104
7.3.2 电场强度 .....	105
7.3.3 点电荷的场强 .....	105
7.3.4 场强叠加原理 .....	106
7.3.5 连续带电体的场强 .....	107
7.4 高斯定理 .....	112
7.4.1 电场线 .....	112
7.4.2 电通量 .....	113



7.4.3 高斯定理	115
7.4.4 高斯定理的应用	116
7.5 电势	120
7.5.1 静电场的安培环路定理	121
7.5.2 电势能	122
7.5.3 电势与电势差	122
7.5.4 点电荷电场中的电势	123
7.5.5 电势叠加原理	123
7.5.6 连续带电体电场中的电势	124
7.5.7 等势面	125
7.5.8 场强与电势的微分关系	125
7.5.9 电势的计算	126
7.6 静电场中的导体	129
7.6.1 导体的静电平衡条件	129
7.6.2 静电平衡导体上的电荷分布	130
7.6.3 静电屏蔽	132
7.7 静电场中的电介质	133
7.7.1 电介质的分类	133
7.7.2 电介质的极化	134
7.7.3 电介质中的高斯定理	136
7.8 导体的电容	137
7.8.1 孤立导体的电容	137
7.8.2 电容器的电容	138
7.9 静电场的能量	141
7.9.1 电容器的静电能	141
7.9.2 静电场的能量	142
本章小结	143
思考与练习	147
<b>第 8 章 稳恒磁场</b>	<b>149</b>
8.1 基本磁现象与磁感应强度	149
8.1.1 基本磁现象	149
8.1.2 磁感应强度	150
8.2 毕奥—萨伐尔定律及其应用	151
8.2.1 毕奥—萨伐尔定律	151
8.2.2 毕奥—萨伐尔定律的应用	152
8.3 磁场的高斯定理	157
8.3.1 磁感应线	157
8.3.2 磁通量	158
8.3.3 磁场的高斯定理	159



8.4 磁场的安培环路定理及其应用	160
8.4.1 安培环路定理	160
8.4.2 安培环路定理的应用	161
8.5 磁场对带电粒子的作用力	165
8.5.1 洛伦兹力	165
8.5.2 带电粒子在匀强磁场中的运动	166
8.5.3 霍尔效应	168
8.6 磁场对载流导线的作用	169
8.6.1 安培定律	169
8.6.2 磁力矩	172
8.7 磁场中的磁介质	173
8.7.1 磁介质	173
8.7.2 磁介质的磁化机理	174
8.7.3 磁介质的磁导率	174
8.7.4 磁介质中的安培环路定理	175
8.7.5 铁磁质	176
本章小结	178
思考与练习	180
<b>第9章 电磁感应与电磁场</b>	<b>182</b>
9.1 电磁感应定律	182
9.1.1 电源的电动势	182
9.1.2 电磁感应现象	184
9.1.3 楞次定律	185
9.1.4 法拉第电磁感应定律	185
9.1.5 感应电流和感应电荷	186
9.2 动生电动势与感生电动势	188
9.2.1 动生电动势	188
9.2.2 感生电动势	190
9.3 自感与互感	192
9.3.1 自感	192
9.3.2 互感	194
9.4 磁场的能量	195
9.4.1 自感线圈储存的能量	195
9.4.2 磁场的能量	196
9.5 电磁场与电磁波	197
9.5.1 麦克斯韦电磁场理论	197
9.5.2 电磁波	200
本章小结	200
思考与练习	202

## 第 4 篇 振动与波动

第 10 章 机械振动 .....	204
10.1 简谐振动 .....	204
10.1.1 简谐振动的运动方程 .....	204
10.1.2 描述简谐振动的物理量 .....	206
10.1.3 简谐振动曲线 .....	209
10.1.4 旋转矢量法 .....	209
10.1.5 简谐振动的能量 .....	211
10.2 简谐振动的合成 .....	212
10.2.1 相位差 .....	212
10.2.2 两个同方向、同频率简谐振动的合成 .....	213
10.2.3 两个同方向、不同频率简谐振动的合成 .....	215
10.3 阻尼振动、受迫振动与共振 .....	216
10.3.1 阻尼振动 .....	216
10.3.2 受迫振动 .....	218
10.3.3 共振 .....	219
本章小结 .....	220
思考与练习 .....	221
第 11 章 机械波 .....	223
11.1 机械波的产生与传播 .....	223
11.1.1 机械波的产生条件 .....	223
11.1.2 横波与纵波 .....	224
11.1.3 波的几何描述 .....	225
11.1.4 描述波动的物理量 .....	225
11.2 平面简谐波的波动方程及其物理意义 .....	226
11.2.1 平面简谐波的波动方程 .....	226
11.2.2 波动方程的物理意义 .....	227
11.3 波的能量与能流密度 .....	230
11.3.1 波的能量 .....	230
11.3.2 能流密度 .....	231
11.4 惠更斯原理与波的衍射 .....	232
11.4.1 惠更斯原理 .....	232
11.4.2 波的衍射 .....	233
11.5 波的叠加原理与波的干涉 .....	233
11.5.1 波的叠加原理 .....	234
11.5.2 波的干涉 .....	234
11.6 驻波 .....	236
11.6.1 驻波的产生 .....	237



11.6.2 驻波方程	237
11.6.3 半波损失	238
11.6.4 驻波的能量	239
11.7 多普勒效应	239
11.7.1 波源不动, 观察者相对介质以速度 $v_0$ 运动	239
11.7.2 观察者不动, 波源相对介质以速度 $v_s$ 运动	240
11.7.3 波源与观察者同时相对介质运动	241
本章小结	241
思考与练习	243
第12章 波动光学	245
12.1 相干光	245
12.1.1 光的相干性	245
12.1.2 获得相干光的方法	246
12.1.3 光程与光程差	247
12.1.4 透镜的等光程性	248
12.2 杨氏双缝干涉与洛埃镜干涉	248
12.2.1 杨氏双缝干涉	248
12.2.2 洛埃镜干涉	251
12.3 薄膜干涉	251
12.3.1 平面薄膜干涉	251
12.3.2 劈尖	253
12.3.3 牛顿环	256
12.3.4 迈克尔逊干涉仪	258
12.4 光的衍射	259
12.4.1 惠更斯-菲涅耳原理	259
12.4.2 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	259
12.4.3 夫琅禾费单缝衍射	260
12.5 光学仪器的分辨率	263
12.5.1 圆孔衍射	263
12.5.2 光学仪器的分辨率	264
12.6 衍射光栅	265
12.6.1 光栅衍射条纹的形成	265
12.6.2 光栅的缺级现象	266
12.6.3 光栅光谱	266
12.7 光的偏振	267
12.7.1 自然光与偏振光	267
12.7.2 起偏与检偏	269
12.7.3 马吕斯定律	270
12.7.4 反射光与折射光的偏振	270



本章小结 .....	271
思考与练习 .....	273
<b>第 5 篇 近代物理基础</b>	
<b>第 13 章 狭义相对论基础</b> .....	<b>275</b>
13.1 经典力学时空观 .....	275
13.2 狭义相对论的基本原理与洛伦兹变换 .....	277
13.2.1 狭义相对论的基本原理 .....	277
13.2.2 洛伦兹变换 .....	277
13.3 狭义相对论的时空观 .....	278
13.3.1 同时的相对性 .....	279
13.3.2 时间的延缓 .....	279
13.3.3 长度的收缩 .....	279
13.4 狭义相对论的动力学基础 .....	281
13.4.1 质速关系 .....	281
13.4.2 相对论动力学的基本方程 .....	281
13.4.3 质能关系 .....	282
13.4.4 能量与动量的关系 .....	283
本章小结 .....	284
思考与练习 .....	285
<b>第 14 章 量子论基础</b> .....	<b>287</b>
14.1 黑体辐射与普朗克能量量子假设 .....	287
14.1.1 黑体 .....	288
14.1.2 黑体辐射规律 .....	288
14.1.3 普朗克能量量子假设 .....	289
14.2 爱因斯坦光量子假设 .....	290
14.2.1 光电效应 .....	290
14.2.2 光量子假设与光电效应方程 .....	292
14.2.3 光的波粒二象性 .....	292
14.3 玻尔氢原子理论 .....	293
14.3.1 氢原子光谱的规律性 .....	293
14.3.2 玻尔氢原子理论 .....	293
14.4 德布罗意波 .....	296
14.4.1 德布罗意假设 .....	296
14.4.2 戴维逊-革末实验 .....	297
14.5 波函数与薛定谔方程 .....	297
14.5.1 波函数 .....	297
14.5.2 薛定谔方程 .....	298



本章小结 .....	299
思考与练习 .....	300
参考文献 .....	302

# 预备知识 矢量

## 0.1 标量和矢量

在物理学中,物理量可以分为标量和矢量两类。其中,标量只有大小(部分有正负之分),没有方向,如质量、时间、路程、温度、能量和功等,它们之间的运算遵循一般的代数法则;而矢量既有大小,又有方向,如速度、加速度、力、动量和电场强度等,它们之间的运算遵循特殊的运算法则。

矢量通常用黑体字母  $A$  或带有箭头的字母  $\vec{A}$  表示。矢量的大小称为矢量的模,用  $|A|$ 、 $|\vec{A}|$  或  $A$  表示。模为 1 的矢量称为单位矢量,用  $e_A$  或其他指定符号表示。于是,矢量  $A$  可写为:

$$A = |A|e_A \quad \text{或} \quad A = Ae_A \quad (0-1)$$

在作图时,常用有向线段表示矢量,如图 0-1 所示。有向线段的长度表示矢量的大小,箭头表示矢量的方向。

两个矢量  $A$  和  $B$ , 如果其大小相等,方向相同,则称  $A$ 、 $B$  相等,即  $A=B$ ; 如果其大小相等,方向相反,则称  $B$  是  $A$  的负矢量,即  $B=-A$ 。

如图 0-2 所示,若把矢量  $A$  在空间内平移,则其大小和方向均不变,仍等于原来的矢量,即矢量具有平移不变性。

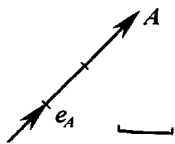


图 0-1 矢量的图示

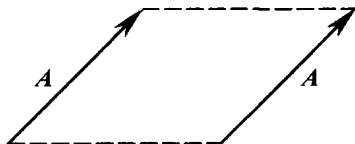


图 0-2 矢量平移

## 0.2 矢量的加法和减法

### 0.2.1 矢量的加法

通常将两个或多个矢量的相加称为矢量的合成,即

$$A+B=C \quad (0-2)$$

$C$  称为两矢量  $A$  和  $B$  的合矢量。

矢量的合成法则主要有平行四边形法则和三角形法则两种。

#### 1. 平行四边形法则

平行四边形法则是指把两矢量  $A$  和  $B$  的始端移到空间一点  $O$ , 以这两个矢量为邻边做平



行四边形，则此平行四边形的对角线就是  $A$ 、 $B$  的合矢量  $C$ ，如图 0-3 所示。

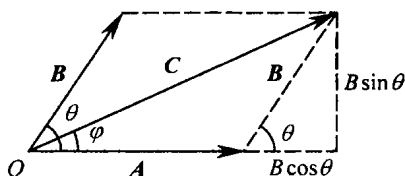


图 0-3 平行四边形法则

合矢量  $C$  的大小，可由余弦定理得出：

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta} \quad (0-3)$$

式中： $\theta$ —— $A$  与  $B$  的夹角。

合矢量  $C$  的方向可用它与矢量  $A$  的夹角  $\varphi$  表示：

$$\varphi = \arctan \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta} \quad (0-4)$$

## 2. 三角形法则

三角形法则是将矢量  $B$  平移，使矢量  $B$  的始端与矢量  $A$  的末端相接，则从矢量  $A$  的始端到矢量  $B$  的末端画出的矢量就是  $A$ 、 $B$  的合矢量  $C$ ，如图 0-4 (a) 所示。

多个矢量合成时，可由三角形法则推出多边形法则，如图 0-4 (b) 所示，此时的合矢量为：

$$R = A + B + C + D \quad (0-5)$$

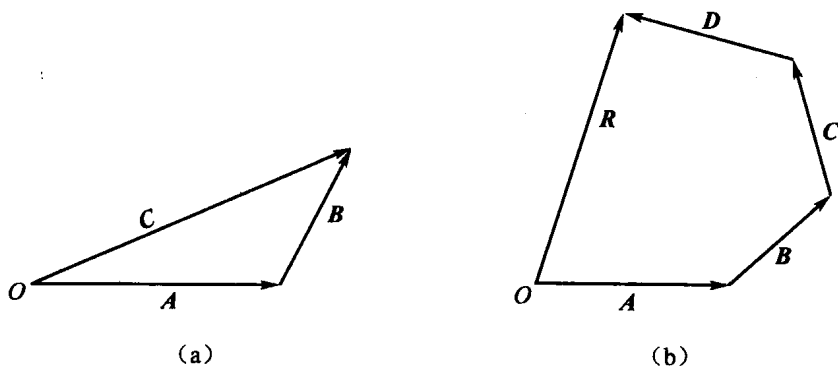


图 0-4 三角形法则和多边形法则

## 0.2.2 矢量的减法

如图 0-5 所示，矢量相减可用负矢量变换成矢量相加，即

$$A - B = A + (-B) = C \quad (0-6)$$





### 0.3 矢量合成的解析法

矢量合成的解析法是指先把各个矢量进行正交分解，然后用它们的分量进行运算。

如图 0-6 所示，矢量  $A$  在一直角坐标系中。设  $i$ 、 $j$ 、 $k$  分别为  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴上的单位矢量， $A_x$ 、 $A_y$ 、 $A_z$  分别为矢量  $A$  在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴上的分量（即投影），则

$$A = A_x i + A_y j + A_z k \quad (0-7)$$

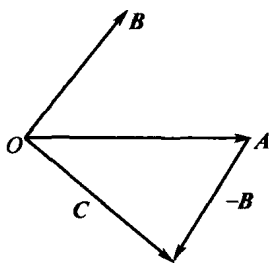


图 0-5 矢量的减法

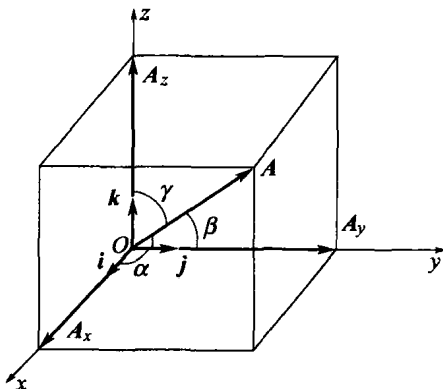


图 0-6 矢量  $A$  在直角坐标系中的分量

矢量  $A$  的大小为：

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (0-8)$$

矢量  $A$  的方向由矢量  $A$  与  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴的夹角  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  确定，即

$$\cos \alpha = \frac{A_x}{A}, \quad \cos \beta = \frac{A_y}{A}, \quad \cos \gamma = \frac{A_z}{A} \quad (0-9)$$

若直角坐标系中有矢量  $A$ 、 $B$ ，则根据矢量合成的解析法，其合矢量  $C$  可表示为：

$$C = C_x i + C_y j + C_z k$$

$$C_x = A_x + B_x, \quad C_y = A_y + B_y, \quad C_z = A_z + B_z \quad (0-10)$$

合矢量  $C$  的大小和方向分别为：

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2} \quad (0-11)$$

$$\cos \alpha = \frac{C_x}{C}, \quad \cos \beta = \frac{C_y}{C}, \quad \cos \gamma = \frac{C_z}{C} \quad (0-12)$$

### 0.4 矢量的乘法

矢量的乘积有三种，即矢量数乘、标积和矢积。

#### 0.4.1 矢量数乘

矢量数乘是指矢量与标量相乘。设矢量  $A$  与一个标量  $m$  相乘，得到矢量  $C$ ，即  $C = mA$ 。