

上海职工高等学校试用教材

普通物理学

上册

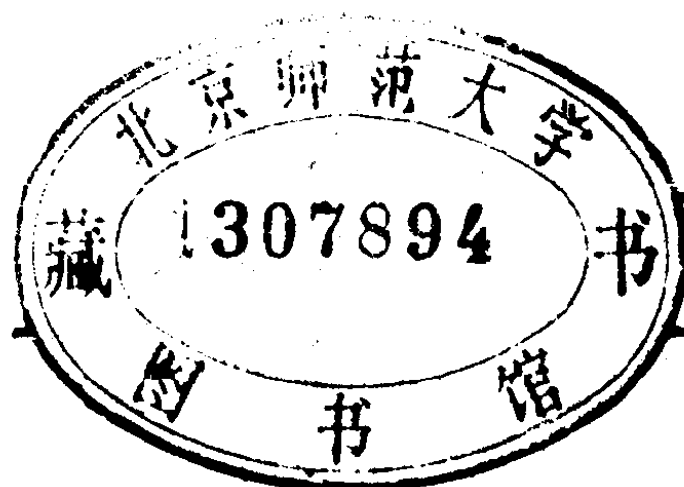
上海科学技术出版社

上海职工高等学校试用教材

普通物理学

(上册)

541187/24



上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书由“上海市职工大学普通物理编写组”根据一九八三年“教育部全国职工高等专科学校基础课、技术基础课教学大纲审定会”上审定的高等工业专科学校普通物理学教学大纲的精神编写,是现行职工大学、业余大学普通物理学课程的试用教材之一。

本书在编写中贯彻“少而精”的原则,对教学大纲所规定的基本内容的阐述比较详尽完整,而对非基本内容的叙述则简单扼要。书中小字体的内容,可根据专业需要和学时安排自行选择。

考虑到职工大学、业余大学的特点,本书配有一定数量的例题和习题。在每篇结束后均附有各篇内容的小结,可作复习提纲之用。

《普通物理学》编写组成员名单

屠庆铭 张汉文 王荣鸣
王秉章 林叶华 魏佩贤
戴继贤

上海职工高等学校试用教材

普通物理学(上册)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

本书由上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 11.125 字数 245,000

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数 1—18,500

统一书号: 13119·1257 定价: 1.85 元

前 言

本书由“上海市职工大学普通物理编写组”根据一九八三年“教育部全国职工高等工业专科学校基础课、技术基础课教学大纲审定会”上审定的高等工业专科学校普通物理学教学大纲的精神编写,是现行职工大学、业余大学普通物理学课程的试用教材之一。

本书在编写中注意到贯彻“少而精”的原则,对教学大纲所规定的基本内容的阐述比较详尽完整,而对于非基本内容的叙述则简单扼要。书中小字体的内容是教育大纲所规定的部分选讲内容,教师可根据专业需要和学时安排自行选择。

考虑到职工大学、业余大学学生的特点,本书配有一定数量的例题。在例题的安排上力求由浅入深,循序渐进。对于一些难度较高而又有一定指导意义的综合性例题则放在各章“应用举例”一节,其中有些例题可在习题课中安排学生进行讨论。

此外,本书各章还配有难度适中的习题以供学生消化所学理论知识。

本书在每篇结束后均附有各篇内容的小结,可作复习提纲之用。

限于编者水平,缺点错误在所难免,恳切希望使用本书的教师和同学批评指正。

在本书编写过程中,承蒙许多单位大力协助,在此表示衷心感谢。高梓老师参加了本书一部分的审阅工作,在此致谢。

上海职工高等学校《普通物理学》编写组

1984年9月

目 录

(上 册)

绪 论

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	11
§ 1-1 参照系和坐标系	11
§ 1-2 质点运动方程	13
§ 1-3 位移 速度 加速度	17
§ 1-4 直线运动	22
§ 1-5 抛体运动	31
§ 1-6 圆周运动	35
§ 1-7 应用举例	41
习题一	48
第二章 质点动力学	51
§ 2-1 牛顿运动定律	51
§ 2-2 常见的几种力	56
§ 2-3 力学的单位制和量纲	62
§ 2-4 牛顿定律的应用	66
§ 2-5 惯性系和非惯性系	74
习题二	76
第三章 功和能	81
§ 3-1 功	81
§ 3-2 动能 动能定理	87
§ 3-3 势能	92
§ 3-4 功能原理 机械能守恒定律	96

§ 3-5 能量转换和守恒定律	100
§ 3-6 应用举例	100
习题三	108
第四章 冲量与动量	112
§ 4-1 冲量 动量 动量定理	112
§ 4-2 动量守恒定律	119
§ 4-3 碰撞	123
§ 4-4 应用举例	128
习题四	134
第五章 刚体的定轴转动	136
§ 5-1 刚体运动学基础	137
§ 5-2 转动定律 转动惯量	144
§ 5-3 力矩的功和刚体的动能	153
§ 5-4 力矩的冲量和角动量 角动量守恒定律	157
§ 5-5 经典力学的适用范围	163
§ 5-6 应用举例	164
习题五	168
本篇小结	172

第二篇 机械振动和机械波

第六章 机械振动基础	178
§ 6-1 简谐振动	178
§ 6-2 描述简谐振动的基本物理量	184
§ 6-3 谐振系统的能量	187
§ 6-4 单摆和复摆	190
§ 6-5 简谐振动的旋转矢量表示法	193
§ 6-6 谐振动的合成	195
§ 6-7 阻尼振动 受迫振动 共振	202
§ 6-8 应用举例	204
习题六	208

第七章 机械波	211
§ 7-1 机械波的产生和传播	211
§ 7-2 波长 波频和波速	216
§ 7-3 波面 波线	218
§ 7-4 平面简谐波	219
§ 7-5 波的能量	224
§ 7-6 惠更斯原理	230
§ 7-7 波的反射和折射	232
§ 7-8 波的干涉和衍射	235
§ 7-9 驻波	240
§ 7-10 应用举例.....	244
习题七.....	246
本篇小结	248

第三篇 分子物理学和热力学基础

第八章 气体分子运动论	253
§ 8-1 平衡态 理想气体状态方程	253
§ 8-2 气体分子运动论的基本概念	260
§ 8-3 理想气体的压强	264
§ 8-4 理想气体分子的平均平动动能与温度的关系	269
§ 8-5 气体分子的速率分布律 麦克斯韦速率分布律	273
§ 8-6 能量按自由度均分原理 理想气体内能	279
§ 8-7 分子的碰撞和平均自由程	285
§ 8-8 真实气体 范德瓦耳斯方程	288
§ 8-9 气体的迁移现象	290
§ 8-10 应用举例.....	293
习题八.....	299
第九章 热力学基础	301
§ 9-1 内能 功和热量	301
§ 9-2 热力学第一定律	304

§ 9-3 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用 气体的 摩尔热容	308
§ 9-4 热力学第一定律对理想气体绝热过程的应用	316
§ 9-5 循环过程 卡诺循环	319
§ 9-6 热力学第二定律	323
§ 9-7 卡诺定理	327
§ 9-8 应用举例	328
习题九	332
本篇小结	335
附录一	340
附录二	341
附录三	342
习题答案	343

绪 论

物理学研究的内容

自然界是由不断运动着的物质所组成。物质有各种形式,大的,如日月星辰;小的,如组成物体的分子、原子,它们组成了固体、液体、气体等各种物体;另外,光和其他的电磁辐射也是物质。

运动是物质的存在形式,所有的物质都在不断地运动。运动包括自然界中所发生的一切变化过程。位置变动是最简单的运动,称为机械运动;而人类的思维活动是高级的复杂的运动。我们对物质的认识就是通过对它运动规律的研究来实现的。物理学所研究的是物质最基本、最普遍的运动形式,包括机械运动、热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动。根据这些运动形式,物理学包括了力学、热学、电磁学、原子和原子核物理等各个分枝。

物理学所研究的运动普遍存在于其它较高级、较复杂的运动形式之中。因此,物理学所研究的物质运动规律具有一定的普遍性。例如,某些物理学的基本规律如万有引力定律一切物体都遵从;再如,在自然界中发生的一切过程都遵从能量转化和守恒定律及电量守恒定律。因此,物理学是其它自然科学和工程技术的基础。

物理学的研究方法

实践——理论——实践,是一切科学的认识法则,物理学也遵从这一法则。

观察和实验是物理学的重要实践手段之一。观察是对自然界中发生的某些现象加以观察研究,找出它的规律。实验是在人工控制的条件下,对某些现象反复进行观测研究。在实验中常把复杂条件加以简化,突出主要因素,排除或减少次要因素的影响,从而得到一些基本的规律。在现今科学技术高度发展的条件下,实验的地位越来越重要,并已成为物理学的主要实践手段。

实际问题总是比较复杂的,往往有许多因素起作用,这对我们研究问题带来了不少困难。正确的研究方法是在研究问题中,抓住主要的因素,忽略次要的因素,这样可以使复杂的问题简单化,便于研究;而且由于我们抓住了主要矛盾就容易得到反映问题本质方面的一些结论。在物理学中,经常建立一些理想模型作为研究的对象。物理模型是对实际研究客体的一个理想的近似,它保留了研究对象中的一些起决定性作用的因素,而忽略了次要的因素。例如,质点、刚体、理想流体、理想气体、理想导体等都是物理模型。许多真实的物体在一定条件下,可以用理想模型处理。如理想气体状态方程在常温常压下可适用于真实的气体。对理想模型研究得到的一些规律往往是反映问题主要方面的基本规律,在这一基础上再把各种次要的因素逐步考虑进去,就可以得到更符合实际情形的一些结果,这实际上就是由简单到复杂的研究过程。

在实践的基础上,为了得到能够正确反映事物客观规律

的理论，在物理学中经常需要提出一些基本出发点作为理论的基础，这就是所谓假说。例如量子理论就是建立在普朗克(Planck)量子假设的基础上发展的；而光速不变这一假设是爱因斯坦(Einstein)狭义相对论的基本出发点之一。物理学的假设都是根据观测实验而提出的，因此是有所依据的，而且，假设的正确与否，归根结底需要由实践来检验。在假设的基础上发展的理论所得到的主要结论，必须通过实践进行验证，这种验证实际上是对假设的检验。

物理学与“四化”建设的关系

我们学习自然科学的目的在于掌握自然规律，利用自然，改造自然，为人类服务。

物理学作为自然科学的一门，我们应当以同样的目的来学习它。

物理学的发展对促进生产起了很大的作用。迄今为止，物理学已经历了三次较大的突破。在十七、十八世纪，由于牛顿力学和热力学的发展，对其它学科的进展起了推动作用，它们为蒸汽机和机械工业的发展作了理论上的准备，因而引起了第一次工业革命，使人类的生产水平有了一个飞跃。十九世纪，在法拉第(Faraday)、麦克斯韦(Maxwell)电磁理论的推动下，成功地制造了电机、电器和各种电信设备，引起了工业电气化的革命，这就是第二次工业革命。二十世纪以来，由于相对论和量子力学的建立，人们对原子、原子核结构的认识日益深刻，从而在这一基础上发展了原子能的应用。随着原子能、电子计算机、半导体、激光、空间科学等新技术蓬勃发展，引起了第三次工业革命，从而促进了以信息处理为主的

新的工业革命，使社会生产力进一步得到解放。这些事实证明了生产的发展主要依靠科学技术的力量，而物理学作为基础科学在促进生产上所起的作用是十分巨大的。

目前，我国正处在建设社会主义四个现代化的新时期，实现四个现代化的关键是科学技术现代化，为了早日实现四个现代化的宏伟目标，必须培养一支又红又专的科学技术队伍。物理学作为一切自然科学和工程技术的基础，是科技人员应当熟悉掌握的。

普通物理学是职工大学理工科各类专业必修的基础课程之一。通过本课程的学习，可使学生在学习专业知识和近代科学技术方面打下必需的物理基础，以适应我国四个现代化建设的要求。

第一篇 力 学

力学研究物体最简单、最基本的运动形式——机械运动的规律及其应用。机械运动就是指物体之间或某一物体内部各部分之间相对位置的变化,例如行星绕太阳运动,车辆、船只、飞机的运动,各种机器的运动,弹簧振动,气体、液体的流动等等。力学是一门很古老的学科,在十七世纪和十八世纪逐步形成了较完整的体系。普通物理学中的力学是后续各篇的基础,也是学习理论力学、材料力学、流体力学等课程的基础。力学的基本原理在日常生活和生产实践中有着广泛的应用。

力学分成运动学和动力学两部分。运动学研究物体在运动过程中位置随时间变化的规律以及描写运动的物理量——位移、速度、加速度随时间变化的情况;而动力学研究物体运动变化的原因,即研究物体间相互作用对物体运动的影响。

预 备 知 识

1. 标量和矢量

普通物理学中常见的物理量有标量和矢量两类。标量只有大小和正负而没有方向,如时间、质量、功、能量等。矢量既有大小,又有方向,而且合成时满足平行四边形加法,如位移、速度、加速度、力等。一般用带箭头的字母($\vec{A}$)或黑体字($\mathbf{A}$)表示矢量。矢量的大小称为模,用 A 或 $|\vec{A}|$ 表示。

2. 矢量的加减法

矢量可用图示法形象地表示。画一带箭头的线段表示矢量，线段的长度表示矢量的大小，即矢量的模，而箭头的指向表示矢量的方向。图 1.1 表示一个大小为 7 个单位，方向沿图中箭头方向的矢量。

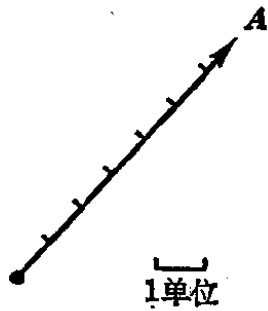


图 1.1 矢量的图示法

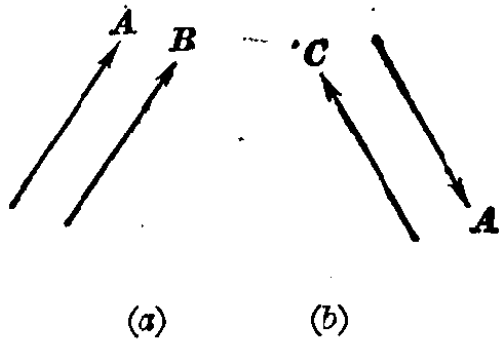


图 1.2 等矢量和负矢量

图 1.2(a) 中 A 、 B 两矢量的大小相等，方向相同，称为等矢量，即

$$A = B.$$

而图 1.2(b) 中 A 、 C 两矢量的大小相等，方向相反。 C 矢量称为 A 矢量的负矢量，即

$$C = -A.$$

在进行加减法运算时，需要将矢量平移，而平移后的矢量，其大小、方向均不变。

标量的加减用代数法则，而矢量的加减必须用几何加法，即平行四边形法则。

设有两矢量 A 和 B ，如图 1.3 所示。它们相加时，先将其中某一矢量(B)平移，使它与另一矢量(A)起点相同，然后以两矢量 A 、 B 为邻边作平行四边形。从共同起点(O)所作的对角线 OC ，即代表 A 和 B 的矢量和。用矢量式表示为

$$C = A + B,$$

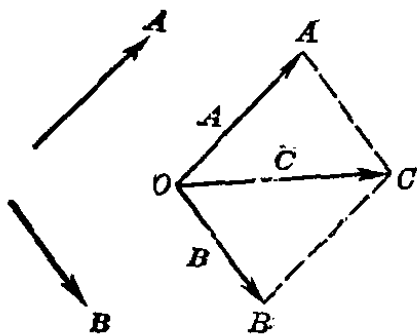


图 1.3 矢量平行四边形加法

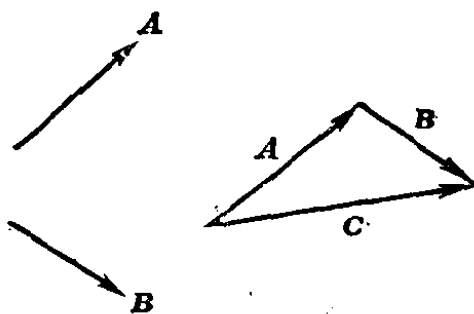


图 1.4 矢量的三角形加法

C 为合矢量, 而 A 和 B 称为 C 的分矢量。

由图 1.3 知 OB 与 AC 是平行四边形的对边, 它们代表了相等的矢量, 因此由 A 到 C 的有向线段 $\overrightarrow{AC}$ 即矢量 B 。从图中看到矢量 A 、 B (即 $\overrightarrow{AC}$)、 C 构成 $\triangle OAC$, 而 B (即 $\overrightarrow{AC}$) 的起点是 A 的终点。因此, 矢量的平行四边形加法可以简化为三角形加法: 两矢量相加时, 将其中某一矢量平移, 使该矢量的起点与另一矢量的终点相接, 即首尾相接, 如图 1.4 所示, 然后把由 A 的起点与 B 的终点相连的有向线段 C , 表示为 A 、 B 的合矢量 C 。显然, 三角形加法比平行四边形加法简便。

合矢量的大小和方向可用几何方法计算求得, 如图 1.5 所示。若 A 、 B 之间的夹角为 θ , 那么其合矢量 C 的大小为

$$\begin{aligned} C &= \sqrt{(A + B \cos \theta)^2 + (B \sin \theta)^2} \\ &= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}, \end{aligned}$$

C 的方向可用它与 A 的夹角 φ 表示:

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{B \sin \theta}{A + B \cos \theta}.$$

对于两个以上矢量相加, 一般采用三角形加法, 如图 1.6 所示。当 A 、 B 、 C 三个矢量相加时, 先求出其中两个矢量的合矢量, 然后将这合矢量与第三矢量相加, 求出三个矢量的合矢

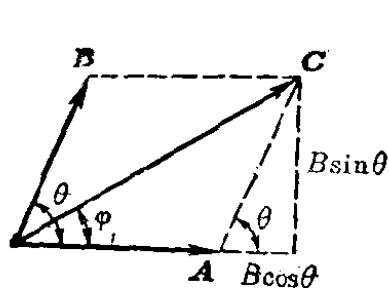


图 1.5 两矢量合成的计算

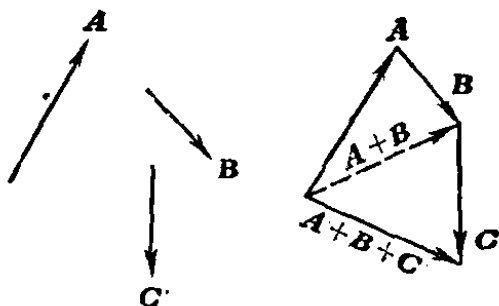


图 1.6 矢量的多边形加法

量。依次类推,即可求出多个矢量的合矢量。由此可见,所有分矢量与合矢量在图中构成一个多边形,所以这种求合矢量的方法又称为多边形加法。

矢量的减法可按矢量加法运算,因为

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

所以 $A - B$ 可用 A 加上 B 的负矢量 (即 $-B$) 运算,如图 1.7 所示。同样为了简化起见,矢量减法也可用三角形法则运算。从图 1.7 看到 $OBAO$ 是平行四边形,因此 $\overrightarrow{BA}$ 等于 C ,于是可得矢量减法的三角形法则:如图 1.8 所示,将 B 平移使它与 A 共起点,由 B 的终点指向 A 的终点的有向线段 C ,即为 $A - B$,而由 A 的终点指向 B 的终点的有向线段为 $-C$,即 $B - A$ 。

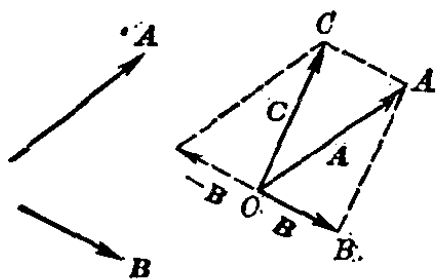


图 1.7 矢量减法

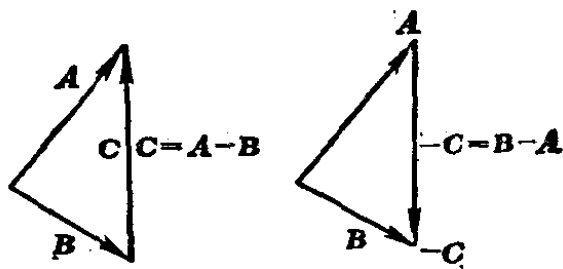


图 1.8 矢量三角形减法

两个或两个以上矢量可以合成为一个确定的矢量;而把一个矢量分解为两个或两个以上的分矢量时,其分解的结果

与分矢量的方向有关. 如图 1.9 所示, $\mathbf{A}$ 矢量的分矢量沿 OX 、 OY 方向, 则分解后的分矢量分别为 $\mathbf{A}_1$ 、 $\mathbf{A}_2$, 若分矢量的方向沿 OM 、 ON , 则分矢量分别为 $\mathbf{A}'_1$ 、 $\mathbf{A}'_2$. 但是一个矢量分解为几个分矢量时, 若确定了分矢量的方向, 那末其分解的结果是唯一的.

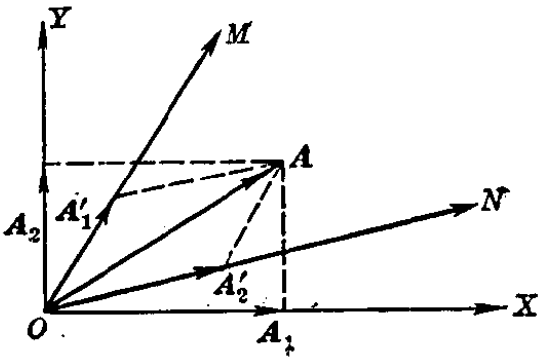


图 1.9 矢量的分解

我们常把一个矢量沿空间三个互相垂直的方向分解, 这三个互相垂直的方向就构成空间直角坐标系. 每个方向为直角坐标系的一根轴, 通常用 X 、 Y 、 Z 表示. 在每个轴上引入单位矢量, 其模为 1, 方向沿轴的正向, 通常用 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示 X 、 Y 、 Z 轴的单位矢量. 因此任一矢量 $\mathbf{A}$ 在空间直角坐标系中可表示为

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

这种表示方法称为矢量的解析式, 式中 A_x 、 A_y 、 A_z 分别

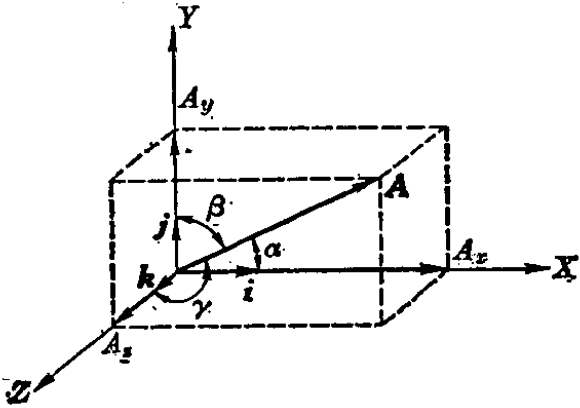


图 1.10 矢量的解析表示法

为 $\mathbf{A}$ 矢量在 X 、 Y 、 Z 轴上的分量或坐标, 也可称为 $\mathbf{A}$ 在坐标轴上的投影(如图 1.10 所示).

注意分量 A_x 、 A_y 、 A_z 有正负, 而矢量的模总是正的, 它可表示为

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

矢量的方向由 $\mathbf{A}$ 矢量分别与三根坐标轴的夹角的余弦, 即方向余弦确定:

$$\cos \alpha = \frac{A_x}{|\mathbf{A}|}, \quad \cos \beta = \frac{A_y}{|\mathbf{A}|}, \quad \cos \gamma = \frac{A_z}{|\mathbf{A}|}.$$