

高等学校理工大专教学用书

物理学

曾远文 杨自觉 等编



四川大学出版社

844412

04
8030
1

高等学校理工大专教学用书

物 理 学

(上册)

曾远文 杨自觉 等编

四川大学出版社

一九九二年·成都

(川)新登字 014 号

责任编辑: 杨守智

封面设计: 冯先洁

版式设计: 杨守智

物 理 学(上册)

曾远文 杨自觉 等编

※

四川大学出版社出版发行(四川大学校内)

四川省新华书店经销 四川省金堂新华印刷厂印刷

787×1092mm 32开本 印张: 12 字数: 250千字

1992年7月第一版

1992年7月第一次印刷

印数: 0001—7000册

ISBN 7-5614-0483-2/O·61 定价: 4.20元

编 者 的 话

我国的高等教育事业已发展成为多层次的体系。大学专科成为了培养“四化”建设人才的一个重要方面。由于大学专科层次的物理学教材目前尚缺乏，因此，我们组织力量编写了这套教材。全书分上、下两册：上册内容为力学、机械振动和机械波、气体分子运动论和热力学基础；下册为电磁学、波动光学、近代物理学基础。

为了有利于教学，书中的每一章均指出了本章基本内容和重点内容的要求，并配有与要求相应的例题和习题；书末还附有各章习题的参考答案。

我们编写的原则是：（1）体现大专层次的要求，内容少而精并注意实际应用；（2）内容的处理上重视概念和基础，不过份求全求深，叙述上明晰易懂；（3）考虑到高科技的发展对教育提出的要求，我们适度地增多了近代物理学的基本内容，除有相对论、光的量子性、玻尔氢原子理论、原子核和粒子物理的内容外，对量子力学、激光、半导体、超导体等也分别列章作了介绍，以适应教学对近代物理基础知识增长的要求。书中凡带有“•”符号的内容，它们之间是相对独立的，可根据需要选用。

参加编写的人员有曾远文、杨自觉、陶必友、胡国斌、许印方、李先富、朱本安。全书由杨自觉、曾远文修改并定

稿。

我们对支持和关心本书的编写和出版的所有同志和单位表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中不足不妥之处难免，欢迎批评指正。

编 者

于四川大学物理系

一九九一年十二月

绪 论

物理学是自然科学庞大体系中的一部分基础学科。从17世纪至今，物理学一直是迅速发展、门类浩繁的自然科学体系中的带头学科。

物理学的研究对象是物质的基本结构与属性，物质间的基本相互作用与规律，物质的基本运动形式与规律，以及物理规律的应用等。其研究领域极其广泛：在空间标度上，从基本粒子的亚核范围（ 10^{-14}m ）直到整个宇宙（200亿光年）；在时间标度上，从 10^{-24}s 的短寿命过程直到整个宇宙纪元（约150亿年）。

物理学所建立的基本规律和研究方法，深刻地影响着自然科学的其他学科与工程技术，甚至影响着社会科学的发展。许多新学科的建立，工程技术上许多重要的发明和创造，都来源于物理学。可以认为，人类历史上的三次技术革命，都是物理学研究成果的推广和应用。17、18世纪中，由于牛顿力学的建立和热力学的发展而研究成功的蒸汽机和其它机械，以及它们的广泛应用，引起了第一次技术革命；到了19世纪，由于电磁理论的建立而研制成功的电力机械和电讯设备，使人类进入广泛应用电能和无线电通讯的时代，引起了第二次技术革命；20世纪以来，由于相对论、量子论的建立，对原子、原子核以及其它微观粒子运动的研究日益深

入，促进了半导体、合成材料、核能应用、激光技术、空间技术和计算机技术等一系列新技术、新材料、新能源以及相应的新兴学科的蓬勃兴起和发展，引起了现在的所谓第三次技术革命。总之，科学与技术的发展，与物理学这门基础与带头学科的研究和应用是分不开的。

当前我国正进行四个现代化的建设，四个现代化的关键是科学技术现代化，发展高科技的任务正摆在我国人民面前。要想在这方面有所创造，有所发明，有所前进，学好物理学这门基础课是有重要意义的。

目 录

绪 论

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	(2)
§ 1—1 参照系 时间	(3)
§ 1—2 位移	(4)
§ 1—3 速度	(9)
§ 1—4 加速度	(12)
§ 1—5 直线运动	(15)
§ 1—6 平面曲线运动	(18)
§ 1—7 圆周运动的角量描述	(28)
习 题	(33)
第二章 质点动力学	(38)
§ 2—1 牛顿运动定律	(38)
§ 2—2 力学中常见的三种力和受力分析	(42)
§ 2—3 牛顿定律的应用	(48)
§ 2—4 力学量的单位和量纲	(56)
* § 2—5 惯性系和非惯性系	(58)
习 题	(62)
第三章 功、能和动量	(68)
§ 3—1 功 功率	(69)
§ 3—2 动能 动能定理	(74)
§ 3—3 物体系的势能	(78)

§ 3—4	功能原理和机械能守恒定律·····	(84)
§ 3—5	动量 冲量 质点的动量定理·····	(90)
§ 3—6	质点系的动量定理 动量守恒定律·····	(96)
§ 3—7	正碰撞问题·····	(101)
	习 题·····	(107)
第四章	刚体的定轴转动 ·····	(115)
§ 4—1	刚体的平动和定轴转动·····	(116)
§ 4—2	力矩 转动定律 转动惯量·····	(118)
§ 4—3	力矩作功 定轴转动的动能定理·····	(130)
§ 4—4	角动量与角动量守恒定律·····	(136)
§ 4—5	经典力学的适用范围·····	(142)
	习 题·····	(143)
	第二篇 机械振动和机械波	
第五章	机械振动 ·····	(150)
§ 5—1	简谐振动·····	(150)
§ 5—2	简谐振动的旋转矢量表示法·····	(160)
§ 5—3	谐振动系统的能量·····	(162)
§ 5—4	阻尼振动 受迫振动和共振·····	(166)
§ 5—5	同振动方向同振动频率的简谐振动的合成·····	(171)
§ 5—6	同振动方向不同振动频率的简谐振动的合成·····	(174)
* § 5—7	振动方向相互垂直的简谐振动的合成·····	(177)
	习 题·····	(181)
第六章	机械波 ·····	(183)
§ 6—1	机械波的产生和传播 ·····	(186)
§ 6—2	平面简谐波 ·····	(193)
§ 6—3	波的能量 波的强度 ·····	(202)
§ 6—4	惠更斯原理 ·····	(207)
§ 6—5	波的干涉 驻波 ·····	(212)

声波 超声和次声	(222)
习 题	(226)
第三篇 气体分子运动论和热力学基础	
第七章 气体分子运动论	(233)
§7—1 分子运动论的基本概念	(233)
§7—2 气体的状态参量 平衡态	(237)
§7—3 理想气体的状态方程式	(242)
§7—4 理想气体的压强公式	(248)
§7—5 温度与分子平均平动动能的关系	(254)
§7—6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	(258)
§7—7 气体分子的速率分布律	(264)
§7—8 分子的平均碰撞次数及平均自由程	(274)
* §7—9 气体内的迁移现象	(278)
* §7—10 实际气体 范德瓦耳斯方程	(285)
习 题	(292)
第八章 热力学基础	(297)
§8—1 系统的内能 功和热量	(298)
§8—2 热力学第一定律	(303)
§8—3 理想气体的等容过程和等压过程	(305)
§8—4 理想气体的等温过程和绝热过程	(311)
§8—5 循环过程	(320)
§8—6 卡诺循环	(330)
§8—7 热力学第二定律	(335)
* §8—8 热力学第二定律的统计意义	(340)
* §8—9 卡诺定理	(342)
习 题	(346)
习题参考答案	(354)
附 录	(363)

I	矢量	(363)
II	国际单位制 (SI) 简介	(368)
III	常用物理基本常数表	(370)
IV	地球、月球、太阳的数据	(371)

第一篇 力 学

在物理学研究的各种运动形式中，最简单、最基本的是物体位置的变化。这种变化，可以是各物体之间相对位置的变化，也可以是一个物体的某些部分相对于其它部分位置的变化。这种位置的变化叫做机械运动。例如，通讯卫星的运行、机械加工使工件产生的形变等等，都是机械运动。力学就是研究机械运动规律的学科，也是学习物理学的基础。力学规律的核心是牛顿运动定律和守恒定律（机械能守恒、动量守恒及角动量守恒等）。

第一章 质点运动学

任何物体都有大小和形状。物体作一般机械运动时，物体上各部分的运动规律是十分复杂的，如果在所研究的问题中，物体的大小和形状对我们所研究的问题不起作用或所起作用甚小而可以忽略时，为了突出问题的主要方面，可以将物体视为只有质量的一个几何点，称为质点。它是物体的一种理想化模型。例如，在研究地球绕太阳公转时，由于地球的直径远远小于日、地之间的平均距离，地球上各点对太阳的运动差异很小，可以将地球看作质点，从而突出了公转这一问题的主要方面。但在研究地球的内部构造或地球自转等问题时，就不能再将地球当作质点了。可见，质点模型的应用，是有条件的，应视具体情况而定。

在本章的讨论中，都把物体简化为质点，只研究质点的空间位置随时间变化的关系，而不涉及运动的原因，这部分内容称为质点运动学。学完本章，要求：

(1) 熟悉运动方程的矢量形式及其坐标分量形式，能用已知的运动方程求速度、加速度和简单的轨道方程；

(2) 了解运动的绝对性与描述运动的相对性；明确位置、速度、加速度的瞬时性、矢量性和相对性。正确理解切向加速度和法向加速度的物理意义并能进行简单的计算；

(3) 在直线运动和平面运动中，学会用建立坐标的方

法解决有关问题，掌握圆周运动中角量与线量的关系。

§ 1—1 参照系 时间

一、参照系和坐标系

任何物体都处在永恒的运动中。地球上看来不动的房屋、树木等，实际上都跟随着地球自转和绕太阳公转而运动，不但如此，太阳还带着它周围的九大行星以很高的速度绕着银河系的中心旋转……，因此，对宇宙中的任何物体来说，运动是绝对的。

力学中为了描述物体的运动，需要选定另外的物体作为参考，这个被选定来作为参考的物体称为参照物或参照系。例如，为了描述火车的运动，既可以选取铁路两旁的站台或电杆作为参照系，这时火车相对于站台或电杆是运动的；也可以选取火车车厢内的地板或行李架作为参照系，由于地板或行李架跟随着车厢同步运动，所以以地板或行李架为参照系，火车并没有运动。可以看出，描述物体的同一运动，选取不同的参照系会得到不同的结果，就是说，物体运动的描述是相对的，称为描述运动的相对性，简称运动的相对性。在具体问题中如何选定参照系，应视描述运动的需要和是否方便而定。

为了定量地描述物体在各时刻的运动情况，还需要在参照系上建立一个坐标系。具体作法是，将坐标原点固定在参照系上，按物体作直线运动或平面运动，相应地建立一维或二维坐标系；描述物体的空间运动，就需要建立三维坐标系。

二、时间和时刻

时间是各事件发生的先后次序所组成的序列。例如，飞机20时25分从成都起飞，途经各地，于22时15分在广州降落。飞机途中飞经各地是一系列事件，它们按先后次序相继发生，这就是时间的流逝。乘客则是通过飞机上的挂钟或手表，得知时间流逝的快慢。起飞20时25分那一瞬间是个时刻，降落22时15分那一瞬间是另一个时刻。在这两个时刻之间，就是从成都飞到广州所经历的时间间隔。

任何物体的运动，任何自然现象的演变，都是在空间、时间中进行的。定量描述物体的运动，就在于确定各个时刻物体在空间的位置以及位置随时间的变化情况。

应当注意，1秒末和2秒初实际上是指同一个时刻，表示为 $t = 1$ 秒；第2秒钟则是指2秒初到2秒末之间的一段时间间隔。

在国际单位制（代号为SI，详见附录）中，时间和时刻的单位为秒（s）。常用的单位还有分（min）、小时（h）等。

§1—2 位 移

一、位置矢量、运动方程

定量描述质点的运动，关键在于确定各个时刻质点的位置。今选取一个参照系，并在参照系上固定一个直角坐标系，参见图1—1。 t 时刻质点在某点 p 的位置，可以用 p 点的坐

标 x 、 y 表示，也可以用从坐标原点 o 指向 p 点的有向线段 r 来表示。 r 叫做位置矢量，也称为矢径或位矢。在图1—1中，位矢 r 的长短表示质点与原点的距离，其箭头表示质点的方位。

什么是矢量？矢量是同时具有大小和方向，而且它们的合成运算遵从平行四边形法则的量。请参看本书附录I“矢量”。

质点的位置坐标 x 、 y 是质点的位矢 r 在直角坐标系的 X 轴、 Y 轴上的投影或分量。 x 、 y 两个量是标量，只有大小、正负之分。它们服从标量运算法则。

如果在 X 、 Y 轴的正方向上，取长度为1个单位长度的矢量 i 、 j （它们称作单位矢量），则质点的位矢 r 在直角坐标系中可表示为

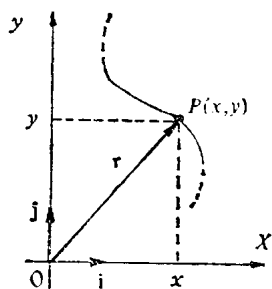


图1—1

$$r = xi + yj \quad (1-1)$$

上式表明， r 是两个正交分矢量 xi 、 yj 的矢量和。

位矢 r 的大小可由图1—1中的几何关系求得

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1-2)$$

r 的方向可由 r 与 X 轴、 Y 轴的方向余弦确定

$$\cos \alpha = \frac{x}{r} \quad \text{或} \quad \cos \beta = \frac{y}{r} \quad (1-3)$$

质点在运动过程中，其位置随时间的变化，可以用位矢 r 是时间的函数（ r 的大小、方向都可能随时间变化）来表示，即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-4)$$

或

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} \quad (1-5)$$

(1-4) 或 (1-5) 式称为质点运动方程的矢量形式。

在平面直角坐标系内的坐标分量方程为

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad (1-6)$$

(1-6) 式通常称为质点的运动方程式。将 (1-6) 式中的二分量方程联立消去时间 t , 就得到质点实际运动的轨道方程式:

$$f(x, y) = 0 \quad \text{或} \quad y = g(x) \quad (1-7)$$

如果质点作直线运动, 将其运动的直线轨道选定为 X 坐标, 则运动方程成为

$$x = x(t) \quad (1-8)$$

在不同的坐标系内, 描述质点的同一位置, 其位矢 $\mathbf{r}$ 有不同的表达形式, 所以位矢 $\mathbf{r}$ 具有相对性。这是描述运动的相对性的具体体现。

例题1-1 已知某质点的运动方程为

$$\mathbf{r} = a\cos\omega t\mathbf{i} + b\sin\omega t\mathbf{j}$$

式中 a 、 b 、 ω 均为常数。求质点距坐标原点的距离 r 及轨道方程。

解 由题给条件, 写出平面直角坐标分量方程式为:

$$x = a\cos\omega t, \quad y = b\sin\omega t$$

所求距离为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{a^2\cos^2\omega t + b^2\sin^2\omega t}$$

因为 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$, 表明质点与坐标原点的距离将随时间而改变。由上述两个运动方程式消去时间 t , 得到质点的轨道方程