

大学物理学

王少杰 华金龙 冯伟国 主编

(上册)



DA XUE WU LI XUE

DA XUE WU LI XUE

DA XUE WU LI XUE



DA XUE WU LI XUE

DA XUE WU LI XUE

同济大学出版社

高等工业学校试用教材

大学物理学

(上册)

主编 王少杰 华金龙 冯伟国
田智明 王少杰
编写 何庆平 吴於人

同济大学出版社

内 容 提 要

本书根据国家教委颁布的“高等工业学校物理课程教学基本要求”编撰。以面向 21 世纪为出发点,内容除覆盖大纲的要求外,增加了阅读材料和专题,以备教学中选用,贴近物理研究的前沿领域。各章均配有思考题和习题,类型详尽,供学习和复习选用。全书分上、下两册,上册包括力学(含相对论力学)和电磁学两部分。

本书可作为高等工科大学非物理专业教材,也可供其他类型学校的学生和教师使用或参考。

责任编辑 张智中
封面设计 周小丹

大 学 物 理 学

王少杰 华金龙 冯伟国 主编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮编 200092)

新华书店上海发行所发行

青浦任屯印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:17.25 字数:489 千字

1996 年 3 月 第 1 版 1996 年 3 月 第 1 次印刷

印数 1—12000 册 定价 18.00 元

ISBN7-5608-1628-2/O·143

前 言

本书是依据国家教委颁布的“高等工业学校物理课程教学基本要求”、结合编者多年的教学实践经验编写而成的。为了适应当前高新技术的发展,立足于培养跨世纪高等工程技术人才,除注意物理教材内容的科学性外,对课程内容的现代化也作了一些探索和改革。

编写过程中,我们力求处理好以下关系:

1. 在确保国家教委颁布的“高等工业学校物理课程教学基本要求”的基础上,结合教学特点和物理学的新发展,为提高和拓展学生的知识面,我们在传统教学内容框架下,增加了阅读材料和专题,以备教学中选用。

2. 注意与中学物理和大学后续课程的分工和衔接,凡涉及中学大纲的内容,适当提高起点,作总结性阐述(如质点力学部分)以压缩经典内容。延伸内容(如刚体中平面平行运动、电路中基尔霍夫定律、磁学中磁路等)以提到为止。既扩大知识面,又不过多膨胀。

3. 尽量处理好经典物理内容与近代、现代物理内容之间的关系。既考虑到经典物理是学生后续课程和能力、素质培养涉及的主要知识内容,也注意到在经典物理内容中渗透近代、现代物理的观点、概念和方法。并通过所谓开“窗口”的方法向学生介绍当前物理学的前沿、热点及在工程技术上的应用。如我们尝试编入了物性学和工程光学等内容以适当联系专业,拓宽学生视野;再有,本书有关章节后编写的天体膨胀、微重力、驻极体、量子霍尔效应、超导电性、超声与建筑声学、熵、传感器等阅读材料和书后设置的固体物理基础、非线性物理简介等“专题”,期望以此来拓宽工科大学生

EAB07153

物理学方面的知识。

4. 为适应学校特点和学分制对课程内容的需要,本书分上、下两册出版。上册包括力学(含相对论力学)和电磁学两篇,供第一学期使用。下册包括热学和物性学、振动与波、光学和近代物理基础四篇,供第二学期使用。其目的一方面是确保力学和电磁学在第一学期内学完,避免电磁学分隔为两学期而缺乏连贯性,另一方面也有利于优秀学生提前选修力学类和电学类后续课程。

5. 本书在介绍和论述物理知识的同时,也注意将科学建模思想、物理学发展简史、科学家创新精神、研究问题的唯物辩证方法和解决问题的能力作为课程的素质教育内容。因此在内容论述、例题安排、习题配置上均作了不少的努力。

6. 本书既可作为讲课时数为120—140学时的一般工科专业大学物理课程的教材,也可供理科非物理专业的学生选用。

另外,本书冠以*号的章节供选用,删去这些内容,并不影响全书的系统性。

参加本书编写工作的有田智明、王少杰、何庆平、吴於人、陆瑞征、华金龙、唐宗岳、吴天刚、羊亚平、顾牡等老师,最后由王少杰、华金龙、冯伟国负责统稿和定稿。

本书编写全过程中,同济大学物理系主任、博士生导师陈鸿教授始终将本书的编写作为基础课程建设的重要课题,在经费、人力上给予大力支持;同济大学物理系夏钟福教授等百忙中为本书撰写了阅读材料(驻极体);特别值得一提的是担任工科大学物理教学的两位年轻博士顾牡和羊亚平也积极认真地参加了本书的编写,为本书增色不少,在此一并向他们表示衷心的感谢!

同济大学宋开欣教授、章豫梅教授等极其认真仔细地分别审阅了本书上册和下册的全部内容。并提出了许多有益而宝贵的意见,保证了本书的科学性,并更体现了物理教学的规律性。在此表示由衷的感谢。

本书在编写出版过程中,同济大学教务处始终给予关注,还得

到同济大学出版社张智中等同志的大力支持,蔡毓琦高工百忙中为本书绘制了部分插图。没有他们的帮助,本书不可能及时同读者见面,在此也一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限、时间仓促,错误和不当之处,恳请读者提出批评、指正。

编者

1995年7月

目 录

第一篇 力 学

1. 质点运动学	(3)
§ 1.1 参考系 质点	(3)
§ 1.2 描述质点运动的物理量	(5)
§ 1.3 运动学的两类问题	(14)
§ 1.4 法向加速度和切向加速度	(19)
§ 1.5 相对运动	(27)
阅读材料(一) 天体运动 宇宙膨胀	(30)
思考题	(31)
习 题	(33)
2. 质点动力学	(37)
§ 2.1 牛顿运动定律	(37)
§ 2.2 相互作用力	(39)
§ 2.3 牛顿运动定律的应用	(45)
§ 2.4 非惯性系中的力学问题	(52)
阅读材料(二) 微重力	(60)
思考题	(61)
习 题	(63)
3. 力学中的守恒定律	(69)
§ 3.1 功和功率	(69)
§ 3.2 质点动能定理	(75)
§ 3.3 保守力的功 势能	(77)

§ 3.4	机械能守恒定律	(83)
§ 3.5	动量守恒定律	(89)
§ 3.6	质点的角动量和角动量守恒定律	(97)
* § 3.7	质心 质心运动定理	(102)
	阅读材料(三) 火箭飞行原理	(107)
	思考题	(110)
	习 题	(112)
4.	刚体力学基础	(119)
§ 4.1	刚体运动概述	(119)
§ 4.2	定轴转动定律	(123)
§ 4.3	刚体定轴转动的功能原理	(135)
§ 4.4	刚体定轴转动的角动量守恒定律	(143)
* § 4.5	旋进	(150)
* § 4.6	刚体的平面平行运动	(154)
	思考题	(161)
	习 题	(162)
5.	相对论基础	(171)
§ 5.1	力学相对性原理 伽利略变换	(171)
§ 5.2	狭义相对论基本原理	(175)
§ 5.3	洛伦兹变换	(178)
§ 5.4	狭义相对论的时空观	(187)
§ 5.5	相对论质量和动量 动力学基本方程	(194)
§ 5.6	相对论能量	(198)
	阅读材料(四) 广义相对论简介	(203)
	思考题	(207)
	习 题	(208)

第二篇 电 磁 学

6. 静止电荷的电场	(213)
§ 6.1 静电的基本性质	(213)
§ 6.2 电场和电场强度	(217)
§ 6.3 高斯定理	(231)
思考题	(244)
习 题	(246)
7. 电势	(250)
§ 7.1 静电场的保守性	(250)
§ 7.2 电势能、电势和电势差	(253)
§ 7.3 电势的计算	(255)
§ 7.4 等势面和电势梯度	(261)
思考题	(265)
习 题	(266)
8. 静电场中导体和电介质	(269)
§ 8.1 导体的静电平衡性质	(269)
§ 8.2 空腔导体 静电屏蔽	(276)
§ 8.3 电容与电容器	(283)
§ 8.4 电介质的极化和介质中的高斯定理	(291)
§ 8.5 电场的能量	(306)
阅读材料(五) 静电现象和应用	(315)
思考题	(321)
习 题	(324)
9. 稳恒电流和稳恒电场	(328)
§ 9.1 稳恒电流和稳恒电场	(328)
§ 9.2 电流和电流密度	(330)
§ 9.3 电源和电动势	(337)

§ 9.4 含源电路的欧姆定律和基尔霍夫定律	(340)
阅读材料(六) 驻极体	(345)
思考题	(352)
习 题	(353)
10. 稳恒磁场	(356)
§ 10.1 磁场和磁感应强度	(356)
§ 10.2 毕奥—萨伐尔定律	(361)
§ 10.3 磁场中的高斯定理	(374)
§ 10.4 安培环路定理	(377)
§ 10.5 洛伦兹力	(386)
§ 10.6 安培力	(394)
§ 10.7 磁力的功	(402)
阅读材料(七) 量子霍尔效应	(405)
思考题	(410)
习 题	(411)
11. 磁介质	(421)
§ 11.1 磁介质的磁化和分类	(421)
§ 11.2 有磁介质存在时的高斯定理 和安培环路定理	(428)
§ 11.3 铁磁质	(434)
§ 11.4 简单磁路	(437)
阅读材料(八) 超导电性	(440)
思考题	(449)
习 题	(450)
12. 变化电磁场	(454)
§ 12.1 法拉第电磁感应定理	(455)
§ 12.2 动生电动势	(460)
§ 12.3 感生电动势 感生电场	(466)
§ 12.4 自感和互感	(476)

§ 12.5	磁场的能量	(484)
§ 12.6	LR 和 CR 电路中的暂态过程	(488)
§ 12.7	位移电流和全电流定律	(493)
§ 12.8	麦克斯韦方程组	(499)
	阅读材料(九) 电磁污染	(503)
	思考题	(507)
	习 题	(509)
附录一	希腊字母表	(515)
附录二	书中物理量的符号及单位	(516)
附录三	常用物理基本常数表	(519)
	习题参考答案	(520)
	参考文献	(539)

第一篇 力学

自然界中一切物质都处在永恒不息的运动中,这种运动的普遍性和永恒性又称运动的绝对性。而运动形式又是多种多样,千变万化的。其中最简单、最普遍而又最基本的一种运动形式是一个物体在空间相对另一物体的位置(或者一物体的某一部分相对于其它部分的位置)随时间而变化的运动,这种运动称为机械运动。例如:行星绕太阳的运转、汽车的奔驰、货物的升降、战士的冲锋等等,都是机械运动。力学就是研究机械运动规律及其应用的学科。

力学的历史悠久,是人类最早建立的学科之一。力学发展成为一门系统的独立学科始于17世纪末期。牛顿(Isaac, Newton)在分析、总结前人的实验和理论的基础上,提出了力学的三条基本定律,奠定了经典力学的基础。这部分内容又称牛顿力学。以后力学得到了迅速的发展,在理论上形成了完整的体系。19世纪末期以来,随着科学技术的发展,产生了研究物体高速运动规律的相对论力学和研究微观客体运动规律的量子力学。使牛顿力学得以进一步的扩展和修正。尽管物理学的近代发展揭示了经典力学只在宏观低速领域内适用,然而由于一方面在相当广度的尺度和速率范围内经典力学仍具有较大的实用价值,另一方面在包括高速和微观领域在内的整个物理学中,经典力学的一些重要概念和定律,如动量、角动量、能量及其守恒定律也同样适用,于是经典力学不仅没有失去其原有光辉和存在价值,而且仍然保持着作为整个物理学基础的重要地位。从而,在自然科学和工程技术的广阔领域内,牛顿力学仍然能够较精确地解决广泛的理论和实际问题。

本篇研究的问题包括牛顿力学和狭义相对论。为研究方便起见,常把牛顿力学分为运动学和动力学。前者研究物体在运动过程

中位置和时间的关系，后者研究物体运动变化的原因和规律，由于本篇中首次广泛采用矢量、微积分等高等数学知识准确地表达牛顿力学中一些物理量和规律。这将有助于读者在中学物理基础上进一步加深对这些物理量和规律的理解和应用。

1

质点运动学

运动学的任务是描述机械运动,即研究物体在空间的位置随时间变化的关系,而不涉及运动变化的原因。

本章首先定义描述质点运动的物理量,如位置矢量、位移、速度和加速度等,并进而讨论这些量随时间变化的关系。然后讨论曲线运动中的法向加速度和切向加速度以及圆周运动的角量描述。最后将介绍相对运动以及相对运动中的速度相加定理。

位移、速度和加速度是运动学中的重要物理量,它们都具有相对性、瞬时性和矢量性,因而也反映了物体运动的基本特性。只有掌握了这些特性,才能正确理解这些物理量的意义。

§ 1.1 参考系 质点

1.1.1 参考系 坐标系

宇宙万物都处于永恒不停的运动中,绝对静止的物体是不存在的,这就是物质运动本身的绝对性。然而物质运动又有其相对性,火车相对车站运动,人造卫星相对地球运动,自然界不存在孤立运动的物体。物质运动的相对性为我们提供了描述物体运动的方法。

为了描述一个物体的运动,必须另选一个物体或物体系作参考(即认为它静止),然后研究这一物体相对于被选作参考的物体的运动。这个被选作参考的物体称为参考系。同一物体的运动,选择不同的参考系,运动的描述也是不同的。例如,在地面上行驶着的汽车中,有一物体自由下落,以汽车为参考系,物体作匀变速直

线运动。如以地面为参考系,则物体便作抛物线运动了。这种在不同参考系中,对同一物体的运动有不同的描述,称为运动描述的相对性。参考系的选择是任意的,主要看问题的性质和研究的方便,通常以运动的描述简明方便为原则。然而必须明确,参考系一经选定,物体运动的描述也即确定。若不特别声明,通常均以地面为参考系。

物理学是一门定量的科学,为了将物体各时刻的位置精确地表示出来,还需要在参考系中选择一个固定的坐标系,以确定物体在参考系中任一时刻的位置,可见坐标系是参考系的数学抽象。在物理学中常用的坐标系有直角坐标系和自然坐标系。当然,根据需要,我们也可以选用其它坐标系,例如极坐标系、球坐标系或柱坐标系等等。

有了参考系和坐标系,就可以确定物体的空间位置。再配以计时系统,就能描述物体的运动了。物体的每一位置与一定的时刻 t 相对应。物体的位置变化却与一定的时间 Δt 相对应,时间 Δt 是指某一初始时刻 t_1 到某一终止时刻 t_2 所经历的时间间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。需要注意的是计时起点 ($t=0$) 的选择是任意的,不一定就是物体运动开始的时刻。

1.1.2 质点

任何物体都有一定的大小和形状。一般说来,物体运动时,物体内各点的位置变化是各不相同的。所以要精确描述物体上各点的运动是很困难的。但在很多实例中,物体的大小、形状与所研究的问题无关或关系不大,甚至可以忽略不计。这样,我们就可以近似地把所研究的物体看作是一个没有大小和形状,但具有一定质量的点,称之为质点,从而使问题大大简化。例如,在图 1-1 中,研究地球绕太阳的公转时,由于地球的平均半径(约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$)比地球与太阳间的距离(约为 $1.50 \times 10^8 \text{ km}$)小得多,地球上各点相对于太阳的运动可视为近似相同,从而把地球当作一个质点。但当我们研究地球自转时,显然不能将地球看成是质点的。所以,一

一个物体能否看作质点,应根据所研究问题的不同情况而决定。

把物体抽象成质点的科学方法,在实践和理论上都具有重要意义。几百年来,人们对天体运动的研究证明,

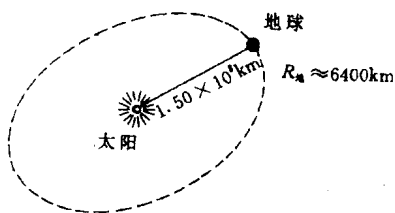


图 1-1 地球绕太阳运动

把天体看成质点能够正确地解决不少问题。从理论上来说,研究质点的运动规律,也是研究物体运动的基础。因为我们可以把整个物体看成是无数个质点所组成,从分析这些质点的运动入手,就可以了解整个物体的运动规律。

应该指出,质点是理想化的“模型”,是实际物体在一定条件下的科学抽象。引用这种理想化的“模型”,可以突出主要矛盾,简化实际运动过程,从而更容易找出其中主要的规律,这是物理学中经常使用的卓有成效的一种研究方法。读者还会看到在以后的每一物理领域中,仍会碰到诸如:分子物理中的“理想气体”,电学中的点电荷,等等理想模型。

§ 1.2 描述质点运动的物理量

1.2.1 位置矢量

要描述质点在空间任一时刻的位置,必须选定坐标系并确定原点 O 。若某时刻 t ,质点处于 P 点,则质点在该时刻的位置可以用矢量简明地表示出来。如图 1-2 所示,我们从坐标原点 O 出发向 P 点引一有向线段 $r=OP$, r 的方向表明 P 点相对坐标原点的方位, r 的大小(即它的模)表明 P 点到原点 O 的距离。矢量 r 称为质点的位置矢量,简称位矢,也叫矢径。很显然,质点运动时,其位置随时间变化,位矢 r 也随时间 t 改变。我们通常用一矢量函数表示,即

$$r=r(t) \quad (1-1)$$

式(1-1)反映质点空间位置随时间变化的过程,称运动方程矢量表示式。

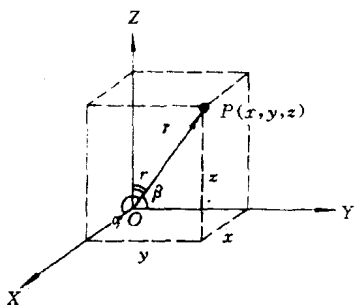


图 1-2 位置矢量

质点的位矢 r 也可用分量形式表示,如图 1-2 所示,在直角坐标系中,质点 P 的直角坐标 x, y, z 就是位矢 r 的三个分量,则可将 $r(t)$ 表示为

$$r = xi + yj + zk \quad (1-2)$$

式中 i, j, k 分别为沿 x, y, z 轴的单位矢量。于是质点 P 相对于原

点 O 的距离,即位矢 r 的模可表示为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-3)$$

质点 P 相对原点 O 的方向,即位矢 r 的方向可用三个方向余弦表示为:

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-4)$$

式中 α, β, γ 分别是 r 与 x 轴, y 轴, z 轴间的夹角,其中只有两个是独立的。

质点在运动过程中,位置随时间变化既可用运动方程矢量形式式(1-1)或(1-2)表示,也可用下列分量式(参数方程)表示,即

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-5)$$

知道了运动方程,就能够确定任一时刻质点的位置,进而研究质点的运动规律。

质点运动时所描绘出的空间径迹称为轨道。由运动方程式(1-