

大学物理 (上册)

College Physics

● 李孝华 李传新 主编



华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

大学物理

(上册)

主 编 李孝华 李传新
副主编 万行华 曾令准 钟明新

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理(上册)/李孝华 李传新 主编
武汉:华中科技大学出版社,2005年9月
ISBN 7-5609-3402-1

- I. 大…
II. ①李… ②李…
III. 物理学-高等学校-教材
IV. O4

大学物理(上册)

李孝华 李传新 主编

策划编辑:袁冲 徐正达

责任编辑:万亚军

责任校对:朱霞

封面设计:刘卉

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华大图文设计室

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:8.25

字数:197 000

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

定价:10.80元

ISBN 7-5609-3402-1/O·351

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是《大学物理》教材上册,共分7章,主要包括经典力学和经典电磁学内容。每章后附有思考题和习题,以帮助学生巩固所学内容。本册还附有国际单位制、常用物理常量表、部分习题答案。

本书可作为高等院校工科专业大学物理课程教材,不同专业可根据其教学需要增减部分内容。本书还可作为各类成人教育及自学考试大学物理教学时的教材和参考书。

前 言

物理学是整个自然科学的基础,是工科各专业的一门重要基础课,对于培养学生科学素养和思维方法,提高学生科学研究能力起着重要的基础作用。学生通过本课程的学习,可以掌握一定的物理学基础理论和实验技能,为今后进一步学习专业知识打下坚实的基础。

在编写这本《大学物理》时,注意了以下几点。

(1) 工程专业大学物理教学要贯彻“以应用为主,以够用为度”的原则,内容力求弃繁就简。大学物理课教师必须了解有关工程专业背景,尽量掌握一些实际应用知识,使自己的教学工作更好地符合培养高级应用型人才的需要。同时本书也适当注意保持大学物理课程体系的完整性。

(2) 大学物理与中学物理的衔接。在教学过程中,应充分利用中学阶段已经具备的物理基础,避免对已学知识的简单重复。本书在理论的阐述、例题、习题等部分都广泛使用了高等数学知识。

(3) 为增加应用训练,应安排讨论课(思考题)、习题课,以帮助学生理解教学内容。

(4) 教材使用的灵活性。本教材主要包括5个独立的篇幅,力学(第2、3章),电磁学(第4、5、6章),振动、波动和波动光学(第7、8、9章),热学(第10、11章),近代物理基础(第12、13章)。为适应不同专业的要求,本书在章节的安排上充分考虑了各单元的相对独立性,可供不同的专业选用。

全书分上、下两册:上册包含力学、电磁学;下册包含振动、波

动和波动光学,热学,相对论基础和量子论基础。

参加本书编写工作的教师有李孝华(第1、2章)、万行花(第3、4章)、李其京(第5、8章)、曾令准(第6章)、钟明新(第7章)、王彪(第9章)、王华强(第10、11章)、李传新(第12、13章)。上册由李孝华负责统稿,下册由李传新负责统稿。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请各位读者在使用的过程中指正。

编 者

2005年3月

目 录

第1章 绪论	(1)
第1节 物理学的研究对象	(1)
第2节 物理学研究的方法	(2)
第3节 不断发展的物理学	(6)
第2章 质点力学	(10)
第1节 质点运动的描述	(10)
第2节 运动学的两类问题 直线运动	(19)
第3节 运动叠加原理 抛体运动	(22)
第4节 自然坐标系 圆周运动	(25)
第5节 牛顿运动定律及应用	(30)
思考题	(40)
习题	(42)
第3章 守恒定律	(47)
第1节 功 动能定理	(47)
第2节 功能原理 能量守恒定律	(57)
第3节 动量定理 动量守恒定律	(63)
第4节 质点的动量矩及动量矩守恒	(70)
思考题	(76)
习题	(77)
第4章 刚体的定轴转动	(81)
第1节 刚体的基本运动	(81)
第2节 刚体定轴转动的转动定律 转动惯量	(88)
第3节 刚体定轴转动的动能定理	(96)
第4节 刚体定轴转动的动量矩定理及动量矩守恒定律	(101)

思考题	(105)
习题	(107)
第5章 静电场	(110)
第1节 静电场 电场强度	(110)
第2节 高斯定理	(125)
第3节 环路定理 电势	(136)
第4节 静电场中的导体和电介质	(154)
第5节 电容 电场的能量	(166)
思考题	(174)
习题	(176)
第6章 稳恒磁场	(181)
第1节 磁感应强度	(181)
第2节 磁场的高斯定理	(184)
第3节 毕奥-萨伐尔定律	(186)
第4节 安培环路定理	(193)
第5节 安培定律 洛伦兹力公式	(200)
第6节 介质中的磁场	(214)
思考题	(218)
习题	(220)
第7章 电磁感应 电磁场	(226)
第1节 电磁感应的基本规律	(226)
第2节 动生电动势 感生电动势	(229)
第3节 自感 互感 磁场能量	(234)
第4节 位移电流 麦克斯韦方程组	(239)
思考题	(242)
习题	(242)
附录	(246)
参考文献	(257)

第1章 绪 论

第1节 物理学的研究对象

自然界是由物质组成的。一切物质都在不停地运动。在自然界中没有不运动的物质,也没有脱离物质的运动。大到宇观天体,如日月星辰,小至微观世界,如质子电子等基本粒子,都时刻不停地按照它们自身的规律永远运动着。从整个宇宙来看,太阳系只是沧海一粟。太阳系是银河系中的一小点,银河系之外,还有河外星系,银河系也只是浩瀚宇宙的极小部分。宇宙从空间上说有多大?宇宙从时间上说历史有多长?宇宙从何而来,又将向何处去?宇宙有开端吗?如果有,在开端之前是什么?宇宙有终结吗?……这些问题永远是科学家和哲学家感兴趣的课题。人类对天体的研究,如万有引力定律的发现,大大促进了物理学的发展;同时,物理学的发展,特别是现代物理学的一些最新突破,使一些奇妙的新技术得以实现,从而对于回答宇宙天体某些长期以来悬而未决的问题有所启发。天文学和物理学是从一开始就是相互关联、相互促进的学科。

宏观物体,形态多样,五光十色。它们都是由分子和原子组成

的。性质彼此不同的各种元素的原子又由更为基本的粒子——质子、中子和电子组成。此外,还有光子、中微子、 μ 介子、 π 介子、超子等都是基本粒子。就目前所知,基本粒子的种类已有三百多种。对基本粒子的研究是现代物理学研究的一个重要前沿阵地,形成物理学的一个重要分支——基本粒子物理学。目前对基本粒子的研究方兴未艾,多有突破,它是一个蓬勃发展、生机盎然的学科分支。

从宏观到微观,从宏观到宇观,人们对物理世界的认识细微而遥远,物质的运动深入而普遍,物质运动的形式基本而多样。物理学是研究物质的基本结构、相互作用及最基本、最普遍的运动形式的科学。物质的运动包括机械运动、电磁运动、分子热运动、原子、原子核运动和基本粒子运动等。

机械运动是最简单、最常见的运动形式,指物体之间或物体各部分之间发生的相对位置的变化。机械运动的例子很多,如各种车辆的行驶、机器的运转、天体的运动等等。其他较高级、较复杂的运动形式还有热运动、电磁运动等,都与机械运动有着不可分割的联系。因此,在物理学中首先讨论机械运动。力学就是研究机械运动的规律的。其次,电磁学讨论电磁运动。再次,分子物理学、原子物理学分别讨论分子热运动、原子、原子核运动和基本粒子运动等。

第2节 物理学研究的方法

一、物理模型抽象研究

为了突出所要研究的主要问题,总结一般规律,物理学常常把所研究的对象加以简化,建立高度抽象的理想模型,这种理想模型

反映了事物的本质特征。人们运用理想模型便于计算推理,探索物质运动的规律,建立物理运动方程。例如,牛顿在发现万有引力定律的过程中,就使用了简化、抽象、推理建立物理模型的方法:他从研究圆周运动到研究椭圆运动,从研究质点运动到研究球体运动,从研究单体运动到研究两体运动;把理想模型与实际事物加以比较,再适当修正,使理想模型与实际事物基本符合,最后总结出物体的运动规律。

当物体作平动,物体各点具有相同的速度和加速度以及运动物体的线速度比它运动的空间范围小很多时,以上两种情况都可以把运动物体当做质点处理。质点就是忽略物体的形状和大小、具有一定质量的点,是一种理想化的物理模型。例如在研究大海中轮船的航行,地球绕太阳的公转时,可以将轮船和地球当做质点处理。如果所研究的物体不能当做一个质点处理,那么可以将运动的物体当做若干个质点组成的集合——质点组。研究其中一个质点的运动,整个物体的运动情况也就清楚了。

在物理学的每一个领域中,都会遇到各种物理模型,如振动学中的谐振子,波动学中的弹性媒质,气体分子运动学中的理想气体,热学中的卡诺循环,电学中的点电荷,原子物理学中的原子模型、原子核模型等。

物理学中有许多通过物理模型建立物理方程的实例:克劳修斯提出理想气体模型,推导出气体压强公式;卡诺提出理想热机模型和理想卡诺循环,推导出卡诺定理;安培建立分子电流模型,对物质磁性的本质做了解释;麦克斯韦用涡旋电场模型和位移电流模型,推导出麦克斯韦方程组等。

此外,还有物理假说,此假说是根据一定的物理事实和科学理论对研究中的问题所提出的假定性的看法和说明,如卢瑟福原子结构假说、爱因斯坦光量子化假说、德布罗意物质波假说等。

二、物理实验验证研究

无数事实说明,物理学是一门实验学科,是一门实践性很强的学科。物理学中的每一项假设、原理、定理,都是根据很多实验事实和数据处理、提炼、归纳和总结出来的。提出的这些学说还必须再通过实验、实践做进一步的验证。这样通过实践—理论—再实践,反复循环,去粗取精,去伪存真,使科学不断发展。例如自由落体规律、库仑定律、电流的磁效应、波粒二象性、光的波动学说确立,电子、中子、介子的发现,荷质比的测定、光电效应等,物理实验都为这些规律和理论的确立做出了重要贡献。

物理学中常常设计一些理想实验,解决现实实验的困难。理想实验是按照实验的模型展开的思想推理过程。它为揭露旧理论的缺陷,探索新的理论提供了简便的方法。例如,伽利略为说明惯性原理,提出球沿光滑斜面下滑又上升的理想实验,牛顿为揭示天体运动的规律而构思在山巅上作平抛运动的理想实验,还有为说明同时性相对性的“爱因斯坦火车”,为说明等加速力场与引力场等价、惯性质量与引力质量等价的“升降机”等。这些理想实验形象、生动、具体,使人们更便于接受新的物理思想,更容易理解新的物理概念。

三、物理量和物理公式定量研究

任何一门自然科学,如果不能用数学定量研究就不能称之为科学,精确而严格的物理学更是如此。物理学的发展离不开数学模型,在物理学家眼中,客观世界变成了许许多多的物理量,自然界的物理规律变成了联系物理量的物理公式。每一个物理量都被赋予严格、准确的含义。只有透彻地理解每个物理量的含义,掌握数学模型的物理公式,进入物理世界才不会感到陌生,才能自由地进

行抽象思维。

在国际单位制(SI)中有七个基本物理量,它们是:长度(m)、质量(kg)、时间(s)、电流(A)、热力学温度(K)、物质的量(mol)、发光强度(cd)。其他物理量可以通过物理公式导出,如力 F 、能量 E 、电场强度 E 和磁感应强度 B 等。

这里不妨介绍一下人们对动量和动能这两个物理量的认识和确立的过程。17世纪,笛卡儿提出应该把物体的质量和速度的乘积 mv 作为“力”或物体“运动量”的量度。1687年,牛顿在他的《自然哲学的数学原理》中明确提出了动量的定义,并且通过他所总结的第二定律揭示出在物体相互作用中,正是动量这个物理量反映着运动变化的客观效果。1686年,德国数学家、物理学家莱布尼茨提出用物体的质量与速度平方的乘积 mv^2 作为“活力”即动能的量度。后来,伽利略、惠更斯和科里奥利等人研究力对物体做功,发现做功只改变活力的二分之一(即 $\frac{1}{2}mv^2$),才重新定义动能 $E = \frac{1}{2}mv^2$,莱布尼茨的表述才得到准确的表达:力对物体所做的功等于其动能的增加。

物理公式大致可分为以下三类。

(1) 物理量的定义式,如

$$p = mv; \quad W = \int F \cdot dr; \quad E = \frac{F}{q}; \quad d\Phi_m = B \cdot dS$$

物理量的定义式以等号右边的物理表达式来定义等号左边的物理量,因而这类公式的左、右两边不仅在数学上是相等的,而且物理意义也相同。

(2) 物理定律,如

$$F = ma; \quad pV = \frac{M}{\mu}RT; \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} r_0$$

这一类公式描述了从实验中总结而得出的物理规律,它建立了不同物理量之间的联系。例如牛顿第二定律 $F=ma$,它把物体的质量和它所受的力及因此而产生的加速度这三个物理量之间在数量 and 方向上的关系用一个等式联系起来了。

(3) 物理定理,它是从物理定律出发,通过对物理事件、物理性质的深入分析、逻辑推理之后得到的重要理论结果。此类公式比较抽象,但它们所表达的物理意义却更为深刻。如高斯定理

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

揭示了静电场的性质。

第3节 不断发展的物理学

物理学是人类认识世界、改造世界的产物,它是随人类社会实践的发展而产生、形成和发展的。物理学的发展,经历了古代物理学时期(以中国和古希腊为中心的经验物理学时期,16世纪以前),近代物理学时期(即经典物理学时期,16世纪到19世纪)和现代物理学时期(20世纪以来)的发展阶段,它的研究内容、研究方法和基本观念都在不断地发生着深刻的变化。

在公元前七八世纪之后,中国和古希腊形成了两个科学技术发展中心。手工业的发展为实验科学的产生准备了条件,这一时期,中国的科学技术取得了辉煌的成就,物理学的研究也达到了一个很高的水平。如墨家最早提出力的定义:“力,刑之所以奋也。”意思是说,力是使物体运动发生变化的原因。在《周易》中,为了说明天地的变化及种种现象,作者以阴阳的范畴为基础,构成了一种思

维体系,进而形成了中国古代特有的思维模式。中国古代的五行思想是指万物都由金、木、水、火、土五种基本元素构成,西周末的史伯提出“和实生物,同则不继”的命题,也就是说,不同元素的适当混合可以构成万物。在说明万物构成的问题时,名家的代表人物惠施(约前375—前318)曾提出一组重要的定义:“至大无外,谓之大一;至小无内,谓之小一。”(《庄子·天下》)其中“大一”是指极大的程度,可以用“无外”来描述;“小一”则小到“无内”的程度。儒家经典中有“语小,天下莫能破焉”。墨家对“小一”、“莫能破”提出“端,体之无厚而最前者也”(《墨经·经上》)。更有价值的观点是:“一尺之棰,日取其半,万世不竭。”(《庄子·天下》)

在古希腊文化遗产中,既有自然哲学方面的,也有具体科学方面的。在物质世界的起源上,有类似于中国“五行”的“四根”说,认为火、水、土、气四种元素组成万物。“原子”一词在古希腊文中的原义是“不可分割的”,当时认为原子的种类和数量都无限多,在空间中处于永恒的运动之中。亚里士多德(Aristotle,前384—前322)则系统地研究了运动、空间和时间,他的遗著很多,包括著名的《形而上学》、《物理学》、《伦理学》、《工具篇》等,被称为古希腊思想史上的“百科全书”。阿基米德(Archimedes,前287—前212)为测定皇冠的含金量,发现了浮力定理,历史上传为美谈。他对杠杆、简单机械和几何学等也有多方面的研究。

值得一提的是七八世纪,阿拉伯文化也在中东崛起,它以极大的热情吸收先进的东西方文化,当时的阿拉伯成了沟通东西方文化的桥梁,把中国的造纸、印刷术、火药、指南针等发明和印度的数字(今称阿拉伯数字)及十进制等传播到欧洲,在具体科学,特别是光学方面,也有不少深入的研究。

但是,中世纪以来,以经院为代表的宗教神学扼杀了生气勃勃的希腊精神,科学的发展受到很大抑制。15世纪末叶资本主义生

产关系的产生促进了生产和技术的发展,特别是席卷西欧的文艺复兴运动,解放了人们的思想,激发了人们的探索精神。近代自然科学就是在这种物质和思想的历史条件下诞生的,导致了天文学和力学领域中的革命。

波兰天文学家哥白尼(Copernicus, 1473—1543)为宣传日心说奋斗了一生,他的不朽著作《天体运行论》是反对教会统治,争取科学独立的宣言,是人类思想史上一个划时代的贡献。德国天文学家开普勒(Kepler, 1571—1630)经过长期的分析研究,归纳总结出行星运动三定律,表明天文学作为一门科学已经成熟,而且标志着新的科学思想和科学方法正在形成。意大利科学家伽利略(Galileo, 1564—1642)是与开普勒同时代的人,他从物理学的角度来支持哥白尼的日心说,制成了世界上第一个天文望远镜。伽利略著名的比萨斜塔实验,有力地纠正了亚里士多德关于“物体下落时其快慢与重量成正比”这一错误的观念。他首次用斜面来做理想力学实验,证明了不靠外力可以维持“惯性运动”,并逐渐明确了加速度的概念,还根据力学相对性原理提出了“伽利略变换”。

牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)是英国杰出的科学家,在伽利略、开普勒等人工作的基础上,确立了力学的三大定律和万有引力定律。1687年,他的名著《自然哲学的数学原理》的出版,是物理学史上划时代的事件,反映了人类认识自然的一次飞跃。牛顿是一位巨人,他代表了一个时代。牛顿力学的建立,标志着近代物理学的诞生。整个18世纪,物理学处于积累、准备的渐进阶段,不仅建立了分析力学,而且光学、热学、静电学也得到了发展,完成了奠基性的工作。到了19世纪,物理学获得了快速而重要的发展,相继建立了波动光学、热力学、分子物理学和以麦克斯韦方程组为标志的经典电磁场理论,经典力学日臻完善。

但是,到了19世纪末至20世纪初,在物理学晴朗的天空飘来

了两朵令人不安的乌云,这就是当时物理学无法解释的两个实验:一个是热辐射实验,一个是迈克耳孙-莫雷实验。而且当物理学乌云和风暴到来之前,已经有三个重大的事件揭开了近代物理学的序幕,那就是X射线、放射性和电子的发现。序幕还不是高潮,风暴终于来临。1905年爱因斯坦(Einstein, 1879—1955)建立狭义相对论,发动了一场关于时空观的革命。1919年卢瑟福(Rutherford, 1871—1937)发现原子核,通过对原子核稳定性的研究导致玻尔(N. Bohr, 1885—1962)量子论的建立。1925—1926年,海森堡(Heisenberg, 1901—1976)、薛定谔(Schrodinger, 1887—1961)建立量子力学,证明在物质微观世界领域,经典牛顿力学不再适用,从而把物理学的伟大革命推向一个高潮,使人类认识世界的思维方式发生了根本变革。爱因斯坦1915年建立广义相对论,使人们的视野扩展到广阔无限的宇宙空间,人们认识世界的能力达到了前所未有的高度。20世纪以来,物理学已经成为科学技术发展中的重要基础和带头学科,从1895—1897年X射线、放射性、电子的三大发现,到1932年发现中子及1942年第一个核反应堆建成,从1947—1955年电子管计算机、晶体管计算机,到如今计算机大量普及介入人们的日常生活,从1970年光纤通信,到现代的通信技术、信息和网络技术,过去100年与物理学有关的重大科技发现和发明层出不穷。物理学完成了从经典物理到现代物理的历史性跨越,量子场论、原子核物理学、粒子物理学、凝聚态物理学、非线性物理学、光物理学、天体物理学和现代宇宙学的迅速发展,并且向其他科学领域的挺进,对整个科学技术的发展起着巨大的推动作用。物理学的发展日新月异,一日千里!