



全国高等师范专科学校教材

普通物理·力学

王正清 主编

高等教育出版社

全国高等师范专科学校教材

普通物理·力学

王正清 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是国家教委《1988~1990年二年制师专八个专业教材编写出版规划》中的一本教材。它根据国家教委师范司1989年颁发的二年制师专物理专业教学大纲的要求,努力从物理现象和实验事实出发,阐明基本物理概念和物理思想,重视联系中学教学实际,重视物理知识的实际应用(包括农村中的应用)。全书包括质点运动学、质点动力学的基本定律、天体运动与万有引力、功和能、冲量和动量、刚体力学、固体的弹性形变、机械振动、机械波、声的基础知识、流体力学、相对论基础共12章。在每节后有练习与思考,在一些章节后增有颇具启发性的阅读材料、制作与实验等,并在激发学生学习兴趣、增加启发性等方面作了一些尝试。

本书由王正清主编,一~五章初稿由石亚非编写,绪论及六章初稿由王正清编写,七、八、九、十章初稿由黄大全编写,第十一、十二章初稿由严仲强编写,并共同讨论相互修改。经刘昌年教授和苏文芳副教授审查。

本书是二年制师专物理专业的教材,同时也可供三年制师专、一般高校、教育学院、职业大学本、专科和中学教师、自学青年参考。

全国高等师范专科学校教材

普通物理·力学

王正清 主编

*

高等教育出版社 出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 14.25 字数 350 000

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数0001—1950

ISBN7-04-002858-1/O·917

定价 3.25 元

前 言

本书是国家教委《1988~1990年二年制师专八个专业教材编写出版规划》中的一本。它是根据国家教委师范司1989年颁布的师范专科学校物理专业教学大纲的基本要求，为适应当前师范专科学校普通物理教学和培训初中物理教师的需要而编写的。在编写过程中，我们努力从物理现象和实验事实出发，阐明基本物理概念和物理思想，联系中学实际，加强物理基础，不要求过高，不过分追求严谨；重视物理知识的实际应用，特别是在农村的实际应用，通过物理知识的应用为解决实际问题打下基础；致力于培养人的素质，增强适应能力；尝试做到加强启发性，努力激发读者学习兴趣，增强学习物理的自觉性；力图用辩证唯物主义观点阐明教材内容，注意爱国主义的思想教育。对于这些，我们作了一些努力，但限于水平，很难完全达到要求。

考虑到读者在高中已具备的数学知识和物理知识，本教材不是任何概念都从头讲起。为了照顾没有及时学到微积分和矢量运算的读者，本书结合讲授，适当介绍必要的数学知识。为了扩展知识面，加强启发性，增加物理学史方面的知识，有些必要的补充知识我们用小字编排，并试编了一些课外阅读材料，供读者参考。为了加深对物理概念的理解，学练结合，我们将练习题与思考题一起编排在每节后面，并尝试着编了一些小实验和小制作，引导读者自己动手实验，提高自制教具、学具的能力。本书统一采用1988年全国自然科学名词审定委员会公布的新订物理学名词并按国际单位制符号进行叙述和运算。

本书共分十二章。第一、二、三、四、五章初稿由石亚非（宜昌师专）执笔，绪论及第六章由王正清（宜昌师专）执笔，第

七、八、九、十章由黄大全（宜昌师专）执笔，第十一、十二章由严仲强（镇江师专）执笔。审稿会后，又互相交换地进行修改。绪论及第一、二、六章由王正清修改，第三、四章由严仲强修改，第七、八章由黄大全修改，第五、九、十、十一、十二章由石亚非修改。石亚非还负责编审习题和小实验、小制作。最后由王正清复核定稿。

本书承镇江师专刘昌年教授和华中师范大学苏文芳副教授审定，他们提出了许多宝贵意见。苏文芳同志又复审了修改稿。高等教育出版社的同志们给予了大力支持。宜昌师专冯笙琴同志复核了习题答案。我们在此一并深表谢意。

由于我们水平有限，时间紧促，错误和不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九八九年八月

目 录

绪论	1
第一章 质点运动学	15
§ 1-1 质点参考系和坐标系	15
§ 1-2 矢量	19
§ 1-3 质点的运动方程 位移	21
§ 1-4 速度和加速度	25
§ 1-5 直线运动	30
§ 1-6 抛体运动	38
§ 1-7 圆周运动	43
§ 1-8 相对运动	51
第二章 质点动力学的基本定律	56
§ 2-1 牛顿第一定律	56
§ 2-2 牛顿第二定律	60
§ 2-3 牛顿第三定律	65
§ 2-4 力学中常见的几种力	68
§ 2-5 质点的平衡	74
§ 2-6 牛顿运动定律在质点动力学问题中的应用	82
§ 2-7 力学相对性原理	91
§ 2-8 非惯性系与惯性力	92
§ 2-9 经典力学的适用范围	97
第三章 天体运动与万有引力	101
§ 3-1 行星运动 开普勒定律	102
§ 3-2 万有引力定律	106
§ 3-3 地球的引力与物体所受的重力	111
§ 3-4 万有引力定律的一些应用	114
第四章 功和能	121
§ 4-1 功和功率	122
§ 4-2 动能和动能定理	135

§ 4-3	物体系的势能	143
§ 4-4	机械能定理与机械能守恒定律	151
第五章	动量和动量守恒定律	162
§ 5-1	质点的动量定理	162
§ 5-2	动量守恒定律	171
§ 5-3	火箭飞行的基本原理	178
§ 5-4	碰撞	183
第六章	刚体力学	194
§ 6-1	刚体的平动和定轴转动	195
§ 6-2	施于刚体的力	200
§ 6-3	平面力系的简化	212
§ 6-4	刚体的质心和质心运动定理	214
§ 6-5	转动定理 转动惯量	218
§ 6-6	定轴转动刚体的角动量	230
§ 6-7	刚体的转动动能 力矩的功	235
§ 6-8	圆环体的滚动	243
§ 6-9	刚体的平衡	247
第七章	固体的弹性形变	258
§ 7-1	应变和应力	259
§ 7-2	胡克定律	264
§ 7-3	拉伸和压缩时的形变势能	270
§ 7-4	剪切应变和应力	272
§ 7-5	弯曲和扭转	275
第八章	机械振动	280
§ 8-1	简谐振动	280
§ 8-2	描述简谐振动的特征量	285
§ 8-3	单摆和复摆	295
§ 8-4	简谐振动的能量	299
§ 8-5	简谐振动的合成	301
§ 8-6	阻尼振动	310
§ 8-7	受迫振动 共振	314
第九章	机械波	321

§ 9-1	机械波的产生和传播	321
§ 9-2	平面简谐波的表达式	329
§ 9-3	波的能量	335
§ 9-4	波的叠加原理 波的干涉	339
§ 9-5	多普勒效应	347
第十章	声的基础知识	354
§ 10-1	声速 声波的反射和折射	354
§ 10-2	声压 声强与声强级	358
§ 10-3	声源 乐音的特征	362
*§ 10-4	声音的吸收与噪声的控制 超声 次声的应用	368
第十一章	流体力学	373
§ 11-1	流体静力学	373
§ 11-2	理想流体的稳定流动	388
§ 11-3	伯努利方程及其应用	393
§ 11-4	粘滞流体的运动	403
§ 11-5	粘滞流体中运动物体所受的阻力	408
第十二章	相对论基础	413
§ 12-1	狭义相对论的实验基础	413
§ 12-2	狭义相对论的时空观	420
§ 12-3	相对论力学的主要结论	431
*§ 12-4	广义相对论简介	437
主要参考书目		439
习题选答		440

绪 论

一、物 理 学

——一门探索自然奥秘、改造自然的 基础科学

经过世代人们的努力，物理学已成为一门博大精深的
基础科学。一个个自然之谜被揭开，但同时又有许多新的课题摆在
人们面前。例如，太阳及其家族成员（九大行星、陆续发现的几
十颗卫星等）乃至一切物体之间的引力机制到底是什么？为什么
宇宙的各个星系看起来正背离我们而去？我们观察到的宇宙半径
(10^{26} m) 怎样受到光速的限制？物质构成的层次是不可穷尽的
吗？怎样统一各种基本相互作用？守恒定律在微观层次中怎么会
遭到某些破坏？DNA（脱氧核糖核酸）螺旋大分子中某些对称性
的破坏是否正是遗传密码之所在？等等。在改造自然，发展城乡
科技、教育事业，实现祖国四化的过程中，也有更多的生产实践
问题、科技问题、教学问题等待我们去解决，去探索。这些问题的
解决越来越离不开物理学的基本知识、基本规律和基本方法。
因为，物理学研究的是物质运动最一般的规律和物质的基本结构，
它涉及我们生活着的物质世界的一切领域。

物理学所研究的物质运动形式，包括机械运动、分子热运动、
电磁运动、原子和原子核内部的运动等等。这些运动形式存在于
一切高级运动形式（化学变化、生命运动……）之中。例如，在
化学变化中存在着吸热、放热等物理现象。又如，能量转换与守
恒定律存在于自然界一切运动过程之中，不论它们是简单的或复

杂的，有生命的或无生命的，概莫能外。

物理学所研究的物体的线度，从与人体大小可比拟、可由人直接感知的对象（这种对象的集合称为宏观世界）开始，向非常大和非常小两个方向发展。小至各种粒子，如原子和构成原子的电子、质子和中子等，称之为微观世界，其线度在 $10^{-10}\text{m}\sim 10^{-15}\text{m}$ 或更小。大至地球、太阳、星系，称之为宏观世界，它们分布在 10^{26}m 或更大的范围内。两者的线度相差 10^{41} 倍。物质的各个层次都有其特有的结构和规律。目前，人类正向宇宙学、天体物理学、核物理学和粒子物理学以及统一各种相互作用的理论进军。

当然，揭开宇宙之谜、物质之谜和生命之谜是全人类的事业。它需要物理学与自然科学各学科、生产技术部门乃至社会科学等领域协同作战。作为培养21世纪建设伟大社会主义祖国栋梁的中学物理教师、特别是广大农村地区的初中物理教师，其任务是千方百计培养青少年对探索自然奥秘的兴趣，培养他们对建设祖国、振兴中华的责任感和事业心，培养他们为追求真理、探索真理而顽强学习的意志和毅力。特别重要的是，在读者由中学跨入大学之门、跨入物理科学之门的时候，要了解学习物理学最基本的方法，要掌握物理学中最本质的东西——物理学基本观念的建立与发展，并看到物理学的现状与未来。这样就可以找到学习物理学的入门钥匙，增加学好物理学的信心。

二、物理学的研究方法

——打开知识宝库的钥匙

物理学是一门实验性的科学。物理学的基本研究方法是伽利略开创的观察、实验与抽象思维相结合，即从观察和实验的事实出发，经过科学抽象，形成科学的理论。再用理论进一步指导实践，并改进和完善物理理论。发现新问题和新理论，以至无穷。

1. 观察和实验 据史料记载在1583年, 年仅十八岁的伽利略, 在比萨教堂做礼拜时, 被屋顶上来回摆动的吊灯所吸引. 他把自己脉搏跳动的次数跟吊灯摆动的次数进行比较. 发现吊灯每摆动一次, 脉搏总是同样跳动几次. 为了证明自己的观察是正确的, 伽利略从教堂回去后, 做了一系列实验, 终于确定了摆的等时性. 年轻的伽利略当时正在学医, 他便利用摆的等时性制成了测量病人脉搏次数的计时器.

伽利略认识摆的等时性从观察开始. 观察是人们有目的有计划地对自然现象进行考察的一种方法. 观察使人们获得有关事物的直接知识, 从而为科学理论的建立和发展提供可靠的科学事实. 然而, 由于自然现象错综复杂, 不易控制, 单靠观察来分析现象是困难的. 为了得到科学的结论, 伽利略进行了一系列实验, 所谓实验, 就是人们根据研究的目的, 利用科学仪器设备, 人为地控制或模拟自然现象, 排除干扰, 突出主要因素, 在合适的条件下去研究自然规律的一种方法. 实验方法对科学的发展有极其重要的作用. 例如伽利略等人一系列杰出的实验研究, 为物理学迅速发展成一门独立的学科奠定了基础.

2. 抽象思维或逻辑加工 人们通过观察和实验获得关于自然界的信 息, 这只是第一步. 我们不仅要知其然, 还要知其所以然. 伽利略将实验结果进行归纳、类比与分析, 最后才得出摆的等时性的结论, 把观察和实验获得的感性知识上升为理性知识. 物理学中常用的一些抽象思维方法主要是: 比较、分类、类比、归纳与演绎、分析与综合、理想模型与假说等.

认识事物要从对事物的区分开始. 要区分, 就要比较, 有比较才能鉴别. 比较就是确定对象之间的共同点和差异点的一种逻辑方法.

类比是一种富于探索性的逻辑思维方法. 在一定知识的基础上, 把已经熟知的对象与未知对象进行对比, 发挥想象的威力去

探测未知的陌生对象，所谓“触类旁通，举一反三”。科学史上，许多具有划时代意义的假说，就是通过类比建立起来的。例如1924年，法国物理学家德布罗意将物质粒子与光进行类比，提出了物质粒子也具有波粒二象性的假设，为量子力学的建立奠定了基础。

任何一门科学的发展都有一个通过观察、实验而积累资料的阶段。当材料积累到一定程度就要进行整理。整理事实材料的需要，促进了归纳与演绎、分析与综合等逻辑方法的发展。十八世纪，弗兰西斯·培根的实验归纳法（见《新工具》）和笛卡儿的演绎数学法（见《方法论》），在物理学整理资料时期起了重要作用。归纳、演绎与类比不同，类比是从特殊到特殊的推理，归纳是从特殊到一般的推理，而演绎则是从一般到特殊的推理，即从普遍性的知识、原理、定律等出发，推出具体的个别结论。

分析就是在思维中把认识对象的整体分解为各个部分，从认识事物本质的方法。在物理学中，经常采用“元抽象法”，即从某种物理客体中抽象出任意一小部分，如从流体中抽象出非常小的体积元，从刚体中抽象出一个很小的质元进行研究。

综合是一种与分析相反的思维过程，它把各个研究对象的本质方面按其内在联系有机地统一成整体，使人们对事物有一个较全面的认识。

理想模型是科学抽象的一种特定形式。它不仅用科学抽象的方法，抽象出研究对象的共同属性，而且把这些属性理想化为极限情形。例如，质点的概念就是把物体的体积缩小为零而建立起来的一种模型；刚体则是根据固体不易改变形状和体积这一共同属性，再进一步理想化为完全不发生形变的理想模型。

科学方法是打开知识宝库的钥匙，通向科学发现的金桥。在学习知识的同时，必须十分重视学习、发现和研究问题的方法。

3. 测量和单位 要进行观察和实验，获取定量的物理知识，就必须进行测量。测量是把要量度的物理量同被取作单位的同类

量进行比较。单位的规定是相当任意的，重要的是用有效而可行的方法来一致地规定它，具有重现性，并得到国际公认。

1971年第十四届国际计量大会选择了长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量、发光强度七个物理量作为基本量。它们的单位列表如下。这是现行国际单位制（SI）的基础。这样，我们需要七套操作程序，说明怎样在实验室里产生这七个物理量的基本单位。下面我们仅介绍长度、时间和质量的基本单位。

基 本 量	单 位	国际符号	中文符号
长 度	米	m	米
质 量	千 克	kg	千克
时 间	秒	s	秒
电 流	安 培	A	安
热力学温度	开尔文	K	开
物质的量 ^①	摩 尔	mol	摩
发光强度	坎德拉	cd	坎

(1) 长度的基本单位是米，符号为m。1983年10月召开的第17届国际计量大会规定：1米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒的时间间隔内的行程。在这个新的米定义中，真空中光速的数值已是一个定义值，即 $c = 299792458 \text{ms}^{-1}$ ，通过这个定义值，长度单位米与时间单位秒直接联系在一起，而不再是一个与其他基本单位无关的独立的基本单位。

(2) 时间的基本单位是秒，符号为s。1秒等于铯原子(^{133}Cs)发出的特定辐射周期的9129631770倍。

(3) 质量的国际制标准是保存在法国国际计量局的一个铂-铱圆柱体，规定其质量为1千克(1kg)。国际协议还规定： ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 为一个原子质量单位(符号为1u)。

① 注意，要区别“质量”与“物质的量”这两个基本量。“质量”是物质的一种属性，是物质惯性大小的量度。“物质的量”是表征物质系统基本单元数目多少的物理量，并不表示物质质量的多少。

$$1 u \approx 1.660 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

4. 物理学中的数学方法 美国数学家倍尔的一部著作名为《数学——科学的皇后与奴仆》,这个书名恰当地表达了数学在科学中的地位。研究任何事物,既要考察其质的方面,也要考察其量的方面,而且只有通过量的研究才能准确把握其质的规定性及变化。物理学是一门定量的科学,需要数学为它提供简洁精确的语言;提供数量分析和数值计算方法;提供严密推理和逻辑证明的工具。1665年,牛顿对万有引力定律已经有了成熟的考虑,但直到1687年,运用他自己发明的微积分方法严格论证之后才正式发表。法拉弟虽然有高超的实验技巧和丰富的想象力,并提出了非常深刻的力线和场等物理思想,但他的数学能力不强,在他的著作《电学实验研究》中没有一个数学公式,没有能把他自己的成果概括为定量的理论。麦克斯韦巧妙地运用一组偏微分方程,简明地概括了经典电磁理论的全部基本定律,并且利用数学推导预言了电磁波的存在。爱因斯坦在数学家的帮助之下,利用上个世纪创立的黎曼几何和张量分析,才得以建立广义相对论。由此可见,物理学的研究不用到数学是不可想象的。

物理学是由一组概念、定律和定理组成的。物理概念、定律、定理都有明确的含意,需要用文字说明和数学表示。在学习和研究物理时,既要理解它们的物理意义,也要掌握它们的数学表述。只有把两者有机地结合起来,才能较好地掌握并应用物理理论。

三、物理观念的演变

——贯穿物理学发展史的主线

物理学基本观念的演变,最本质地反映出物理思想的变革。任何一种物理理论总是力图以尽可能少的基本概念和定律为基础,这些概念和定律就构成一个理论体系的基本观念。

机械论的物质观念、时空观念和因果观念，是经典力学藉以建立的基本观念。牛顿为了确定对他的动力学有效的参考系，引进了绝对空间和绝对时间。在牛顿看来，空间是一个三维框架，物体就在这样一种框架中运动。时间的流逝是单向的、均匀的，时间是一个与空间无关的概念。时间、空间和运动是彼此独立的，即绝对空间和绝对时间是离开物质而独立存在的。

十九世纪后半叶，马赫对牛顿的绝对时空提出了尖锐的批评。他说：“如果我们立足于事实的基础上，我们就会发现自己只知道相对的空间和运动，绝对时间是一个没有用处的形而上学的概念。”^①马赫的这一观点对爱因斯坦创立狭义相对论起了积极作用。爱因斯坦基于空间、时间与物质运动互相联系，质量与能量相互联系等基本观念，提出了新的时空观，建立了狭义相对论（参看第十二章）。

电磁场理论是以相互作用场的观念为基础的。发现万有引力之后，人们一度认为两个相距很远的物体直接相互吸引，其间不需任何传递媒质，也不必考虑作用从一个物体传递到另一个物体所需的时间。这是一种超距作用的概念。法拉第却对电磁作用另有看法。法拉第一生做过大量的实验，并在关于电解过程和电介质如何影响电力的研究中，认识到介质在相互作用中起着重要作用。法拉第把这种想法推广到真空，引入了“力线”的概念。他并且设想，在带电体、磁体和电流周围空间中存在某种由电或磁产生的“连续介质”，起着传递电力和磁力的媒介作用，并把它称为电场和磁场。在物理学中第一次提出了作为近距作用的场的观念，打破了传统的超距作用观念，为电磁理论的建立奠定了基础。在此基础上，麦克斯韦建立起电磁场理论。1868年，他又提出了光的电磁学说，把原来相互独立的电学、磁学和光学三个

^① 马赫著《力学及其发展的历史批判理论》（简称《力学史》）。

理学分支综合起来，实现了物理学史上的一次大统一。

场的观念也改变了机械论的物质观。人们认识到，不仅气体、液体、固体等实物是物质，电场、磁场、引力场等场也是物质存在的一种形态。

在所有的概念中，能量也许是最常见和最重要的概念，莱布尼兹提出“活力”，后来发现热能、电能……，能量的形式是多种多样的，由能量守恒与转化定律把它的多种形式统一起来。图0-1

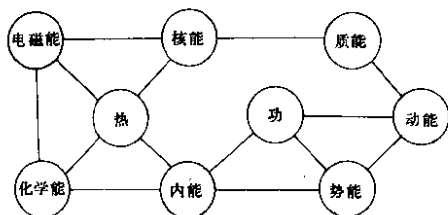


图 0-1

给出了能量的一些形式及基本的相互联系，应该注意，不是所有这些形式都是界限分明的；内能的一部分是分子的动能；存储的化学能可以认为是原子势能；质量的变化几乎都伴随着其他能量的变化，质量与能量的联系是本世纪对能量的认识的重要进展。图中热与功是能量转移的两种方式，能量是自然现象之间联系的主要纽带，它把自然界结合为一个整体。海洋、天空和陆地，通过能量转换而结合在一起。能量转换，有的象露水蒸发一样细致，有的象雷电暴雨一样剧烈。能量之所以这样重要是因为能量守恒和转换。没有能量守恒和转换，能量就不会在一处消失，必然在另一处产生，能量的不同形式只能被人们当作截然不同的概念，人类就不可能这么容易转换或输送能量。

随着人们对自然界认识的深入，守恒定律越来越显示其重要

意义。守恒定律从次要的配角上升为主角。在本世纪二十年代以前，人们从运动方程导出不变性原理和守恒规则。爱因斯坦关于相对论的研究工作，使人们认识到不变性和对称性的重要意义，以至于在近代物理中我们把它们看作第一性的原理，或者说只有利用对称性的论证和不变性定律来导出自然定律并验证其正确性才是自然的。

在二十世纪以前，能量被认为是连续变化的。1900年4月27日，著名的英国物理学家开尔文勋爵在总结十九世纪物理学成就的长篇讲话中指出：“在已经基本建成的科学大厦中，后辈物理学家似乎只要做一些零碎的修补工作就行了。”^①但是，开尔文又谨慎地指出：在物理学晴朗天空的远处还有两朵令人不安的乌云，一朵是与热辐射有关的问题，一朵是迈克尔孙-莫雷实验。为了解释热辐射的实验结果，1900年12月普朗克提出了能量量子化假设。他认为谐振子的能量不是连续的，而只能是一份一份量子化的。量子理论的发展正是依赖于能量的不连续性、波粒二象性等观念。

1905年，爱因斯坦发展了普朗克的量子化假设，满意地解释了光电效应。他认为电磁辐射的能量也是量子化的，光象粒子那样与物质相互作用，这种粒子被称为光量子或光子。关于光的本性的研究，已有很长的历史了。早在1672年，牛顿提出光的微粒说，认为光是由微粒组成的。1678年，荷兰物理学家惠更斯用光的波动说解释了光的直线传播和反射、折射定律。从此光的微粒说与波动说一直在争论中发展。十九世纪初，实验证实光的干涉、衍射后，波动说似乎取得了决定性的胜利。但光的量子说使人们对光的本性的认识又有了一个螺旋式的上升。光既具有波动性又具有粒子性。

德布罗意指出：人们无法理解，为什么对光来说，需要有两

^① 引自杨福家著《原子物理学》P. 32. 上海科学技术出版社（1985年）版。