

高等师范院校《普通物理》试用教材

力学

战永杰 于 斌 佟天波 主编

Xue

东北师范大学出版社

高等师范院校《普通物理》试用教材

力 学

战永杰 于 斌 佟天波 主编

东北师范大学出版社

高等师范院校《普通物理》试用教材

力 学

LI XUE

战永杰 于 斌 佟天波 主编

责任编辑：于荣海 封面设计：王 帆 责任校对：陈 江·

东北师范大学出版社出版
(长春市斯大林大街110号)

吉林省新华书店发行
吉林大学印刷厂印刷

开本：850×1168毫米 1/32

1989年5月第1版

印张：15

1989年5月第1次印刷

字数：383千字

印数：0001—5 500册

ISBN 7-5602-0291-8/O·33

定价：4.00元

东北高师物理系协作组
《普通物理》教材编审委员会

主任委员 金万修

副主任委员 喻身启 张炎勋 张林芝

委员 (以下以姓氏笔划为序)

王振山 王英超 石文善 刘华祥

时维着 李占良 战永杰 岳津生

杨秉爱 耿义志 常广石 毅 赫

前 言

这本教材是根据1987年9月在哈尔滨师范大学召开的东北高师物理系协作组第三次系主任会议精神组织编写的。

这本教材以1980年高等学校理科物理教材编审委员会审订的高等师范院校《力学》教学大纲和协作组编审委员会制定的编写《普通物理》教材的指导思想和原则为依据,结合协作组各成员单位(15所高师物理系本科)多年来使用的自编《力学》讲义的经验,在充分讨论研究的基础上编写成的。

在编写过程中,我们努力使本书体现下列特点:

(1) 教材要充分体现师范教育的特点,要注意密切联系中学物理教材实际、物理教学实际和物理教师实际。例如,某些概念和规律的讲述可以从中学物理的内容引出;加强同中学物理内容和方法的比较;对某些一般性结论进行分析讨论,引出中学物理的某些结论,并指出它是某些条件下的特例;对中学物理教学中经常出现的疑难问题应给予足够的重视等。

(2) 注意阐述物理概念的实质、物理规律的适用范围和条件。

(3) 要突出物理的思想方法,突出科学方法论,注意探索物理问题的思路,要反映培养能力,发展智力的教育思想。例如,适当引入物理学史的内容,着重使学生了解先进的物理思想是如何突破传统观念而发展起来的,对知识的阐述要有批判的观点、讨论的态度等。

(4) 要尽量用物理学的整体观点来阐述物理概念和规律。

(5) 要尽量反映物理学科前沿的成果和研究方法。

本书由冷冰教授主审,由战永杰、于斌、佟天波主编。参

加编写的有：贾玉江、周东来、常广石、张迺春、佟天波、于斌和战永杰。

在编写工作中，先后在长春、沈阳经过三次审稿、讨论和改稿，然后由主编通审。贾玉江同志协助参加了改稿和定稿工作。全书最后由战永杰同志进行统稿和定稿工作。本书全部插图的绘制工作由顾达天、谢利民、刘金江三同志完成。在此谨表谢意。

在编写过程中，我们曾参阅了国内外诸多著作、学者的研究成果以及兄弟院校的有关教材，在此谨致谢意。

由于我们的水平和教学经验有限，书中难免有不少缺点和错误，诚恳地希望大家批评指正。

东北高师物理系协作组
《普通物理》教材编审委员会《力学》编写组

1988年12月

代 序

在本书出版的时候，我愿意向读者介绍和推荐这本教材。

普通物理力学是高等师范院校物理系最主要的专业基础课之一，它对培养合格的中等学校物理教师具有十分重要的意义。现在普通物理教材已有多种版本，但不同风格和特色的教材仍感不足。本书的主要特点是能针对高师物理专业的需要，紧密联系中学物理教材、物理教学及物理教师的实际，注重阐述基本概念的物理实质和基本规律的物理意义，强调其适用条件和范围；根据培养目标的要求，突出了物理学的思想方法，尽可能地用物理学的整体观点来讨论力学的概念和规律，并且适当反映了本学科的前沿成果和教学研究的结晶，体现了培养能力、发展智力的先进教育思想。因此，本书在众多的同类教材中仍可占有一席之地。本书既可作为高等师范院校本（专）科普通物理力学课的教材，也是中等学校物理教师在职进修比较适宜的用书。

编写一本好教材不是一件容易的事，需要反复实践，多次修订，希望作者继续努力，虚心听取读者、同行和专家的意见，为高师物理教材的建设做出更大的贡献。

冷 冰

1988年12月于沈师

目 录

代 序.....	(1)
前 言.....	(3)
第一章 引 论.....	(1)
§ 1.1 物理学的构成.....	(1)
§ 1.2 物理学的研究对象和任务.....	(3)
§ 1.3 物理学规律.....	(5)
§ 1.4 物理学研究方法.....	(8)
§ 1.5 数学在物理学研究中的作用和地位.....	(12)
第二章 质点运动学.....	(17)
§ 2.1 空间和时间参照系.....	(17)
§ 2.2 位移和路程.....	(19)
§ 2.3 速度和加速度.....	(22)
§ 2.4 质点直线运动的规律.....	(28)
§ 2.5 匀变速直线运动.....	(30)
§ 2.6 质点平面曲线运动的规律.....	(36)
§ 2.7 速度的合成与相对运动.....	(41)
§ 2.8 抛体运动.....	(45)
§ 2.9 圆周运动.....	(50)
思考题.....	(52)
习 题.....	(53)
第三章 质点动力学.....	(57)
§ 3.1 牛顿第一定律.....	(58)
§ 3.2 牛顿第二定律.....	(62)
§ 3.3 牛顿第三定律.....	(67)
§ 3.4 单位制和量纲.....	(69)
§ 3.5 力的种类.....	(72)

§ 3.6 质点的平衡·····	(78)
§ 3.7 牛顿运动定律在直线运动中的应用·····	(80)
§ 3.8 牛顿运动定律在曲线运动中的应用·····	(88)
§ 3.9 力学相对性原理·····	(92)
§ 3.10 非惯性系 惯性力·····	(95)
§ 3.11 牛顿力学的适用范围·····	(99)
思考题·····	(100)
习 题·····	(101)
第四章 动量守恒定律·····	(106)
§ 4.1 质点动量定理·····	(107)
§ 4.2 质点组动量定理和质心运动定理·····	(115)
§ 4.3 动量守恒定律·····	(125)
§ 4.4 火箭的运动·····	(131)
思考题·····	(134)
习 题·····	(135)
第五章 功 和 能·····	(139)
§ 5.1 功和功率·····	(139)
§ 5.2 动能和动能定理·····	(145)
§ 5.3 保守力 质点组的势能·····	(150)
§ 5.4 功能原理与机械能守恒定律·····	(158)
§ 5.5 碰撞·····	(169)
思考题·····	(181)
习 题·····	(182)
第六章 万有引力定律·····	(189)
§ 6.1 行星的运动 开普勒定律·····	(189)
§ 6.2 万有引力定律·····	(190)
§ 6.3 地球表面附近物体所受重力的变化·····	(198)
§ 6.4 万有引力势能·····	(201)
§ 6.5 三种宇宙速度·····	(209)
§ 6.6 引力场 等效性原理·····	(211)
思考题·····	(216)
习 题·····	(217)

第七章 角动量	(219)
§ 7.1 力矩	(219)
§ 7.2 质点的角动量定理及角动量守恒定律	(225)
§ 7.3 质点组的角动量定理及角动量守恒定律	(232)
思考题	(237)
习 题	(238)
第八章 刚体力学	(240)
✓§ 8.1 刚体运动学	(240)
§ 8.2 作用于刚体的力	(247)
§ 8.3 刚体定轴转动的动量和角动量	(253)
§ 8.4 刚体定轴转动的转动方程	(263)
§ 8.5 刚体定轴转动的动能定理	(269)
✓§ 8.6 刚体的平面运动	(275)
* § 8.7 滚动摩擦	(282)
§ 8.8 刚体的平衡	(286)
§ 8.9 刚体受力作用点的分析	(292)
* § 8.10 回转仪	(294)
思考题	(299)
习 题	(300)
第九章 固体的弹性	(308)
§ 9.1 外力、内力和应力	(308)
§ 9.2 弹性体的拉伸和压缩	(310)
§ 9.3 弹性体的剪切形变	(314)
§ 9.4 弹性体的弯曲和扭转	(315)
思考题	(318)
习 题	(319)
第十章 振 动	(320)
§ 10.1 简谐振动的动力学特征	(320)
§ 10.2 简谐振动的运动学特征	(328)
§ 10.3 简谐振动的几何表示	(335)
§ 10.4 简谐振动的能量	(337)
§ 10.5 简谐振动的合成	(340)

§ 10.6 阻尼振动·····	(346)
§ 10.7 受迫振动 共振·····	(349)
思考题·····	(352)
习 题·····	(353)
第十一章 波 动 ·····	(357)
§ 11.1 机械波的基本概念·····	(357)
§ 11.2 平面简谐波的运动学方程·····	(367)
§ 11.3 波动方程·····	(373)
§ 11.4 波的能量特点·····	(378)
§ 11.5 波的叠加 干涉·····	(382)
§ 11.6 驻波·····	(386)
§ 11.7 多普勒效应·····	(394)
§ 11.8 声波·····	(400)
思考题·····	(405)
习 题·····	(407)
第十二章 流体力学 ·····	(413)
§ 12.1 流体·····	(413)
§ 12.2 流体静力学·····	(415)
§ 12.3 流体运动学·····	(424)
§ 12.4 伯努利方程·····	(427)
§ 12.5 流体的反作用力·····	(434)
§ 12.6 粘滞流体的运动·····	(437)
§ 12.7 粘滞流体中运动物体所受的力·····	(444)
思考题·····	(449)
习 题·····	(450)
附 录 ·····	(454)
习题答案·····	(454)
主要参考书目·····	(466)

第一章 引 论

§1.1 物理学的构成

物质的运动形式是多种多样的，物理学所研究的是机械运动、热运动、电运动、原子及原子内部的运动等比较简单的运动形式。

物体间以及同一物体各部分间相对位置的变化称为机械运动。行星绕太阳运转，太阳系绕银河系中心的运转，汽车的运动等，无不包含着机械运动。机械运动是最常见的，也易于直接观察和感觉，所以对这种运动的研究最早。物理学中研究机械运动的规律及其应用的部分称为力学。到17世纪，人们对机械运动的基本规律已有了比较系统、比较完整的了解；到18世纪，力学发展到了较高的水平。1687年牛顿的《自然哲学的数学原理》的出版是力学发展的重要里程碑。开普勒、伽利略和其他人的研究成果为牛顿的集前人之大成提供了基础。在牛顿以后，力学在物理学中占支配地位一百多年，并对18世纪数学的发展起了推动作用。

物体温度的变化以及与温度变化有关的现象称为热现象。人们现在已经知道热现象是构成物质的大量分子的无规则运动引起的。大量分子的无规则运动称为热运动。物体的温度实际上是热运动剧烈程度的量度。由大量粒子所组成的体系，其运动遵循特殊的规律——统计规律。考察蒸汽机汽缸中个别分子的运动可以发现，它不断地与其它分子碰撞，变化多端，杂乱无章；但考察蒸汽分子的整体运动，则会发现在一定条件下处于各种速度变化范围内的分子所占的百分比都是确定的，这就是统计规

律的一种表现。正因为存在统计规律，汽缸中的蒸汽作为一个整体，其温度、压强等物理量的变化有确定的规律。统计规律不能用力学规律来说明，因而热运动也不能归结为机械运动。物理学中研究热运动的规律及其应用部分称为热力学与分子物理学。

电磁学与直接感觉联系较少，直到19世纪后期，才形成为物理学的一个独立分支。电荷的运动以及由电荷运动引起的各种变化称为电运动。我们把物理学中研究电运动规律及其应用的部分称为电磁学。

电荷之间存在着相互作用力。这种相互作用是靠电磁场来传递的。人们还发现，某处的电磁场发生变化，这种变化将以光速向四周传播，形成电磁波。电磁波具有各种不同的波长。通常眼睛看到的光也是一种电磁波，不过波长很短，只有1厘米的两万分之一左右。研究光的产生、传播和它与物质的相互作用是光学的内容。

力学、热学、光学和电磁学统称为经典物理学。与此相对应，自20世纪初至30年代期间发展起来的狭义相对论和量子力学等称之为近代物理学。光具有波动和粒子双重性质（即波粒二象性）。后来又发现电子等粒子在不少场合也表现波的性质，也具有波粒二象性。现在已经知道，各种微观粒子都具有波粒二象性。由此出发，在实验及理论研究的基础上，人们建立了量子力学。量子力学比较成功地说明了原子内部电子的运动情况，使人们对原子结构有了比较清楚的了解。

相对论是近代物理学的理论基础之一。包括两部分内容：一是“狭义相对论”（1905年建立）；二是“广义相对论”（1916年建立）。狭义相对论认为物体的长度、物理过程、化学过程，甚至生命过程的持续时间以及物体的质量都和它们的运动状态（即速度）有关。不过这种关系只是在物体的速度接近光在真空中的速度时才比较明显。牛顿力学只是一种在低速宏观范围内的力学理论。相对论的建立也是人类对自然界长期探索的结

果.相对论已为许多事实所证实.从相对论建立至今80余年间,光学、电磁学、原子物理学、原子核物理、天体物理和基本粒子物理等领域的大量实验不断在检验相对论,但至今尚未发现哪一个实验明显地与相对论相悖.相对论已成为人类在研究物质结构,探索宇宙起源等活动中的有力工具.

§1.2 物理学的研究对象和任务

纵观物理学的发展过程可以看出,它的研究对象是随时代而变化的,而且研究的范围越来越广.例如,17纪世以天体运动、地面上物体的下落、大气压力等力学现象为主要研究对象;19世纪是对电和磁研究的极盛时期;进入20纪世后,则以分子、原子、电子、原子核等为主要研究对象,微观物理学成为研究的主流.

现在物理学对客观世界的描述,已由人本身的生存环境和活动的空间范围(称之为宏观世界)向两个方向发展:小的方面——原子内部(称之为微观世界);大的方面——天体和宇宙(称之为宇观世界).表1.1中列出一些实体结构的名称以及与物质层次相关的专门科学分支的名称.

表1.1 宇宙的结构

实 体	大 小	相关的专门学科分支
基本粒子	10^{-15}m 以下	粒子物理学
原 子 核	10^{-14}m	核物理学
原 子	10^{-10}m	原子物理学
分 子	10^{-9}m	化 学
巨型分子	10^{-7}m	生物化学
固 体		固体物理学
液 体		液体动力学
气 体		空气动力学
植物与动物	$10^{-7}\text{m}—10^2\text{m}$	生物学
地 球	10^7m	地质学

恒 星	$10^7\text{m} - 10^{12}\text{m}$	天体物理学
星 系	10^{20}m	天文学
银河星团	10^{23}m	
宇宙已知部分	10^{26}m	宇宙学

从表中可看出，各学科分支都与物质的线度有关，如化学的研究对象为原子、分子或巨型分子，其线度为 $10^{-10}\text{m} - 10^{-7}\text{m}$ ；生物学的研究对象为植物和动物，其线度为 $10^{-7}\text{m} - 10^2\text{m}$ ；而物理学则不然，它几乎和宇宙中各种大小的物质都有关系。如力学的研究范围从电子直到宇宙；而粒子物理学、核物理学以及原子物理学都是物理学的重要分支；固体、液体和气体都是物理学的研究对象；天体物理学的理论部分是理论物理的重要组成部分；宇宙学是天文学和物理学的一个重要分支。

物质的层次以其线度计算从 10^{-15}m 到 10^{26}m 大小相差 10^{41} 倍，却几乎都与物理学密切相关。可见，物理学在自然学科中占特殊重要地位。

如果天文学、生物学、化学等属于分论性的科学，那么物理学可以说是总论性的科学、基础性科学。物理学并不研究各层次物质的所有问题，它的任务是：研究物质结构和相互作用以及它们的运动规律。物理学不是深入研究特定的对象，而是探求各种对象的共同属性，它追求自然界中的基本规律，探索自然界中最基础、最基本的内容。而其它许多自然科学的分支（如天文学、地质学、气象学等），所探索的内容则不是自然界的最基本的规律。这些科学分支必须从物理学中吸取养料，作为它们的基础。

物理学由于它的普遍性、基本性以及与其它学科的相关性，使它在自然科学中占有独特的地位。它从几条基本原理出发，引出了众多意义深远的推论。

近代科学的发展，使物理学和其它学科之间的关系更加密切。例如，许多边缘科学（生物物理学、量子生物学以及生物磁学等）的诞生，都与物理学密切相关。现代化的医院、考古学、艺术以及体育竞技运动等领域都广泛使用物理学的知识和方法。可见，物理学不仅促进人类对自然界的探索，同时对人类的社会进步也有较大的贡献。

§1.3 物理学规律

物理规律是由实验（或经验）出发，经过反复地归纳和演绎，并与逻辑方法和实验加以比较而获得的研究成果。物理规律反映着物质间相互作用和有关物理现象（或过程）中内在的必然关系。物理规律是客观存在的，是不依人的意志为转移的。规律只能发现，不能创造。

物理学研究的对象和过程是采用科学抽象的方法，或多或少作了一定的简化之后而建立的模型和理想过程；又由于物理学是定量的科学、实验的科学，在观察和实验中，限于仪器的精密程度，操作技术的准确程度，不可避免地出现测量误差，所以所反映的各物理量之间关系的物理规律，只能是近似的，物理规律不仅有其近似性，而且由于规律总是在一定范围内发现或在一定条件下推理而得到的，所以规律还具有局限性，也就是说，物理规律总是有它的适用范围和适用条件的。物理学的规律大体可分为四种类型。

（一）守恒定律

在一个孤立的粒子系统中，如果某种可观察量的总量值不随时间的推移而改变，这个可观察量就服从守恒定律。守恒定律并不要求单个粒子的可观察量保持不变。相反地，相互作用的粒子可以彼此交换大小不等的可观察量，但是孤立粒子系统的

可观察量总值必定保持不变。自然界物质的运动及其转化的守恒性具有两方面的不可分割的含义。(1)自然界各种物质运动的转化，在量上是守恒的，无论是自然发生的过程，还是人为发生的过程，都只能从一种运动形式转化为另一种运动形式。随着科学技术的发展，人类改造自然的能力也不断提高，能够创造出在自然界里不能直接获得的物质材料。但这不是创造物质本身，也不是创造运动本身，而只是改变物质存在的具体形态，也就是变换了物质运动形式，并且为物质运动在量上的守恒性提供了有力的科学根据。(2)自然界各种物质运动形式的转化，在质上也是守恒的。即任何一种运动形式都具有转化为另一种运动形式的能力，并且是不灭的。因为物质运动形式转化的根本原因，都是在物质自身内部，在矛盾的基础上，经过从量变到质变而实现的。物质如果不能从自身产生出转化条件，那么物质就失去了运动。

总之，自然界物质的运动不仅在量上而且在质上都是守恒的。它既不能创造，也不能消灭，只能从一种形式转化为另一种形式。整个自然界就是这样一个永恒运动和无限发展的物质世界。

质量守恒定律从古代就为人们所认识了。而能量守恒定律则是经过漫长的历史时期由许多物理学家逐渐确立起来的。机械能守恒定律和热力学第一定律是能量守恒定律的特殊形式；电荷守恒定律是一个重要的定律，已经有大量事实证明它是正确的；此外，还有动量守恒定律、角动量守恒定律和虚功原理等。海森堡的测不准关系可以看作是一种信息守恒定律。

(二) 场的规律

把某个物理量在空间分布的区域称之为场。一般的场可以看作是连续的，而把场在个别区域的高度集中情况看作是不连续的。不管物理量是否连续，而把它看作是场，这是新物理学