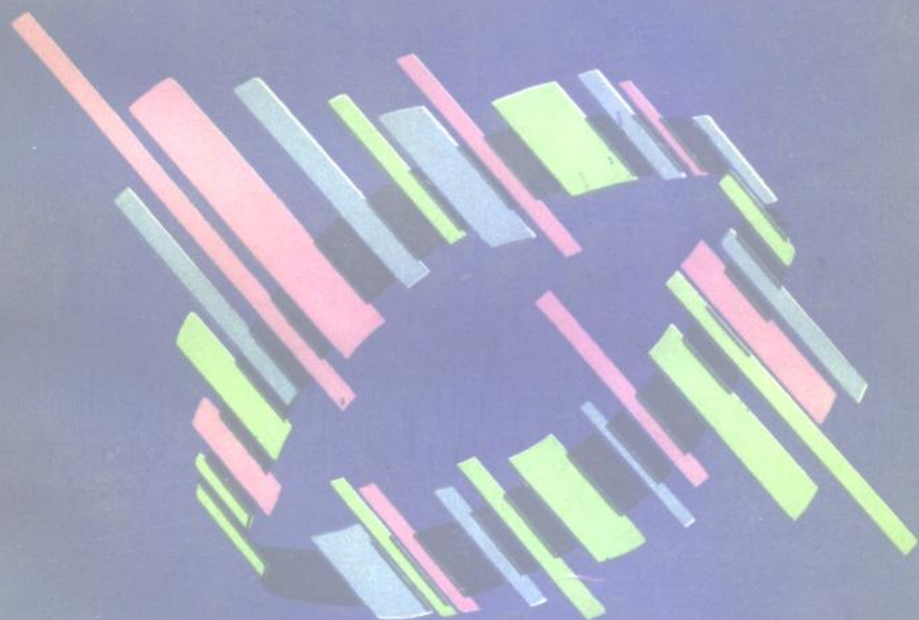


物理学

上册

马根源 王松立 金庆华 著



南开大学出版社

06
1080
368240

物 理 学

(上 册)

马根源 王松立 金庆华 编



南开大学出版社

内 容 提 要

本书是根据《乙类物理学教学大纲》为高校理科非物理专业编写的物理学教材。编写中，作者力求达到与中学物理的衔接和各系之间的平衡，从物理现象出发，以丰富的物理图象系统地阐述物理学的基本思想、概念、规律和方法，使学生系统地了解物理学的基本原理，学会用物理思维方法去分析问题。本书分为上下两册，上册包括力学、热学，下册包括光学、电磁学及近代物理学。

本书可作为理科非物理专业师生的教学参考书，也可供参加自学考试人员参考。

〔津〕新登字 011 号

物 理 学

(上册)

马根源 王松立 金庆华编

南开大学出版社出版

(天津八里台南开大学校内)

邮政编码：300071 电话：349318

新华书店天津发行所发行

天津市宝坻印刷厂印刷

1993年2月第1版

开本：850×1186 1/32

字数：480千

ISBN7-310-00551-1/O·71

1993年2月第1次印刷

印张：18.375 插页：2

印数：1 3000

定价：12.50元

编写说明

为提高基础课的教学质量,深化教学改革,我们在1988年11月对普通物理课实行分级教学、统一管理,把对理科非物理专业学生开设普通物理课定为培养基本科学素质的公共课,按照统一的教学大纲、教材和教学进度进行教学,实行统一命题、考试。根据这一决定的精神,编者以多年积累的教学经验,结合当前科学发展和教学实际情况,讨论制定了教学大纲初稿,征求有关各理科系系主任意见,呈交由赵景员、杨仲耆、张光演、马世宁等九名教授组成的鉴定委员会审查鉴定并通过。1989年根据大纲编出讲义,在数学实践中试用四届,经过修改,写成此教材。

编写过程中,我们力求从物理现象出发,以丰富的物理图象,概括而系统地阐述物理学的基本概念、基本规律和基本方法,使学生系统地了解物理学的基本原理,初步学会用物理思维方法去分析事物,为专业的后继课程学习和研究打下广泛而较扎实的物理基础,我们还特别注意对物理学前沿的新动向的介绍。

我们对教材的各部分内容有以下考虑。

力学注意与中学物理内容的衔接。在运动的描述中应用高等数学和采用直角坐标系、平面极坐标与自然坐标系,并突出运动的相对性、把相对论内容分别放在质点运动学和质点动力学中讲授,以便对物体从低速到高速的运动规律有完整的认识。但相对论内容只要求学生有一般性的了解即可。在动力学中,着重在质点力学的基础上,推演出质点系统的动量定理、动能定理和角动量定理,并充分认识动量守恒定律、能量守恒定律和角动量守恒

DWSG/55

定律是物理学中具有普遍意义的规律，要求学生很好地理解并学会运用。两体问题和刚体的定轴转动、平面平行运动问题，在实际应用中有重要价值，质心参照系在质点系统运动的描述中，具有特别重要的意义，在物理学中广为应用，在教学中应予以充分重视。

机械振动和机械波是比较广泛存在的又一类特殊质点系统运动形式，重点讨论简谐振动和平面简谐波。要求学生对振动的合成、波的函数、波的反射、折射、衍射、干涉以及驻波、多普勒效应等很好理解和掌握。为学习波动光学和认识物质的波动性打下良好的基础。

热学基础主要讨论理想气体的热运动，着重阐述经典统计力学中最基本的统计平均概念和几率分布律（麦克斯韦速率分布和玻耳兹曼分布律），对宏观量（压力、温度）的微观意义作比较详细的讨论，并从微观角度说明热力学第一定律和第二定律，要求学生理解为什么研究气体必须采用与牛顿力学不同的统计力学方法，并对统计力学有初步了解和学会运用。

电磁学突出场的概念和方法，阐明场与路的关系。从实验规律——库仑定律和毕奥-萨伐尔定律出发导出静电场和稳恒磁场的高斯定理和环路定理，引入感应电场和位移电流，最终建立电磁场的方程——麦克斯韦方程组。要求学生对电磁场的性质、场方程的物理意义有比较深入的理解并学会计算电磁场量，了解电磁波的性质，以及会分析带电粒子、载流导线在电磁场中的运动。在讲授中适当注意联系实际。电路，强调用场的观点理解和处理。学生应学会用基尔霍夫定律解复杂电路，初步学会分析电阻、电容、电感电路的暂态过程。

波动光学对波的时空特性、物理图象、矢量性及干涉、衍射、偏振现象作了比较深刻的描述。光的干涉中要求掌握光的相干条件和杨氏双缝干涉、薄膜干涉条纹的生成及规律，了解干涉的一

些应用。光的衍射中要求掌握夫琅和费衍射公式，了解光栅光谱及 X 光衍射，掌握瑞利判据，了解光学仪器的分辨本领。光的偏振中要求掌握偏振光的产生及检验。

量子物理着重讲授从经典物理到量子力学的过渡。突出物质的波粒二象性、阐述一些量子概念和量子现象，最终建立起薛定谔方程。这些只要求学生有一般的理解。对于氢原子应作较深入细致的讨论，这是应掌握的内容。近代物理简介一章介绍了一些近代物理内容，以开阔视野。

带 * 号的内容为选讲内容。

编写分工如下：

第一章到第七章由马根源编写；

第八章到第十四章由王松立编写；

第十五章到第十九章由金庆华编写；

绪论和第二十章由潘维济、韩绍先、常树人编写。

教研室内的同志们对本书书稿提出了不少宝贵意见，编者对此表示感谢。

限于我们的水平，错误和不妥之处在所难免，敬希指正。

编者于南开大学

1992 年 3 月

目 录

上 册

绪论	(1)
第一章 质点运动的描述	(5)
1-1 参照系和质点	(5)
参照系 质点	
1-2 位矢、速度和加速度	(9)
质点的位矢 位移 速度 加速度	
1-3 质点运动的坐标描述	(16)
质点运动的直角坐标描述 质点二维运动的极坐标描述 质点运动的自然坐标描述	
1-4 质点运动研究示例	(26)
一维问题 二维运动 圆周运动的三维处理方法	
1-5 相对运动和运动坐标系	(39)
相对运动 绝对时空观 平动坐标系和伽利略变换 匀速转动坐标系	
1-6 狭义相对论运动学	(52)
狭义相对性原理 时间和距离的度量 洛伦兹变换 狭义相对论运动学	
习 题	(65)
第二章 质点动力学	(73)
2-1 牛顿运动定律	(73)

	牛顿第三定律 牛顿第一定律 牛顿第二定律 质量和力 国际单位制单位和量纲	
2-2	几种常见力	(80)
	万有引力和重力 分子力 弹性力 摩擦力 粘滞力	
2-3	牛顿运动定律的应用	(88)
	质点的受力分析 质点动力学问题示例	
2-4	质点的动量和动量定理	(107)
	质点的动量 冲量 质点的动量定理	
2-5	质点的动能定理	(112)
	质点的动能定理 质点的势能 质点的能量守恒 势能曲线 功率	
2-6	质点的角动量和角动量定理	(132)
	质点的角动量 力矩 质点的角动量定理 质点的角动量守恒定律	
2-7	相对论动力学	(145)
	相对论动量与相对论质量 相对论中的力 相对论中的能量 质量—能量关系式 能量—动量关系式 静止质量为零的粒子	
	习 题	(154)
第三章	质点系统的守恒定律	(166)
3-1	质心 质点系统的动量守恒定律	(167)
	质心 质心运动定理 质点系统的动量守恒定律	
3-2	系统的能量守恒定律	(180)
	质点系统的动能定理 质点系统内力的元功 质点系统的内势能 质点系统的机械能定理 质点系统的机械能守恒定律 系统的能量守恒定律	
3-3	碰撞	(190)
	完全非弹性碰撞 完全弹性碰撞	
3-4	质点系统的角动量守恒定律	(194)
	作用于质点系统的力矩 质点系统的角动量 质点系统的角动	

	量定理 质点系统的角动量守恒定律	
3-5	质心坐标系	(203)
	质心坐标系 质心系动力学 两体问题	
	习 题	(218)
第四章	刚体的运动定律	(226)
4-1	刚体运动的描述	(227)
	刚体的平动 刚体绕定轴的转动	
4-2	刚体绕定轴转动的运动方程	(230)
	定轴转动刚体的角动量 作用于刚体上的力对转轴的力矩 转动惯量的计算 * 刚体绕主轴转动的运动方程 刚体绕定轴转动的转动方程	
4-3	刚体的动能定理	(246)
	力矩的功 刚体绕定轴转动的动能 刚体绕定轴转动的动能定理 刚体运动的动能定理	
4-4	刚体运动的守恒定律	(256)
	刚体运动的动量守恒定律 刚体的角动量守恒定律 刚体的能量守恒定律	
4-5	* 旋进 回转仪	(268)
4-6	非惯性参照系和惯性力	(272)
	经典相对性原理 动量守恒 * 相对论动量与质量 匀加速平动参照系中的物理学 * 匀速转动参照系中的物理学	
	习 题	(285)
第五章	振动	(295)
5-1	自由弹簧振子 简谐振动	(295)
	弹簧振子的自由运动 简谐振动 简谐振动的圆频率、周期和频率 简谐振动的振幅、相位和初始相位 简谐振动的旋转矢量(或振幅矢量)表示法 简谐振动的能量	
5-2	阻尼振动及其 Q 值	(314)
	阻尼弹簧振子 * 阻尼振动系统的 Q 值	

5-3	受迫振动 共振	(318)
	受迫弹簧振子 共振 * 共振带宽	
5-4	振动的合成	(325)
	频谱分析 同方向、同频率两个谐振动的合成 同方向、不同频率两个谐振动的合成 两个互相垂直的同频率简谐振动的合成 两个互相垂直的不同频率简谐振动的合成 利萨茹图形	
	习 题.....	(340)
第六章	机械波	(349)
6-1	波的基本概念	(350)
	机械波在弹性介质中的形成 纵波和横波 平面波和球面波 波速 波的周期、频率和波长	
6-2	平面简谐波	(359)
	平面简谐波的表达式(波函数) * 波动方程 波的能量 平均能流密度	
6-3	惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	(375)
	惠更斯原理 波的衍射 波的反射 波的折射	
6-4	波的叠加原理 波的干涉	(383)
	波的叠加原理 波的干涉	
6-5	驻波	(391)
	驻波 半波损失 * 共振	
6-6	多普勒效应	(400)
	声音的多普勒效应 * 电磁波的多普勒效应 * 激波	
	习 题.....	(407)
第七章	热学	(415)
7-1	热力学系统概述	(417)
	平衡态 状态参量和温度 理想气体的状态方程	
7-2	气体动理论的基本概念	(427)
	理想气体的微观描述 理想气体压力的统计意义 理想气体温度的统计意义 * 范德瓦尔斯气体的压力	

7-3	能量均分定理 理想气体的内能	(441)
	自由度 能量均分定理 理想气体的内能	
7-4	麦克斯韦速度分布律	(448)
	统计分布规律 麦克斯韦速度分布律 麦克斯韦速率分布律 三种特征速率	
7-5	玻耳兹曼分布律	(464)
	麦克斯韦平动动能分布律 麦克斯韦-玻耳兹曼分布律 玻耳兹曼分布律	
7-6	分子的碰撞频率和平均自由程	(469)
	平均相对速率 碰撞截面和碰撞频率 平均自由程	
7-7	气体内的输运过程	(476)
	气体输运过程的宏观规律 气体输运过程的微观解释	
7-8	热力学第一定律	(487)
	热力学系统中的功 热 热力学第一定律 摩尔热容量 * 实际气体的内能 焦耳-汤姆逊实验	
7-9	热力学第二定律和熵	(511)
	热力学第二定律的微观描述 热力学第二定律的宏观描述 熵 熵增加原理 熵变的宏观描述 熵的微观定义和宏观定义的联系	
7-10	热力学第一、二定律的应用	(521)
	熵变 循环过程 * 由热力学第一、第二定律引起的思考	
7-11	相变	(538)
	蒸发 沸腾 实际气体的等温线和气体的液化 气液二相图 固液相变 固气相变 三相点	
	习 题	(550)
附录一	中华人民共和国法定计量单位	(563)
附录二	基本物理常数	(573)
附录三	太阳、地球与月球数据	(576)

绪 论

宇宙是物质构成的。

大到日月星辰,小至质子电子,都是实体物质;再如电台发射的讯号,人眼见到的光以及人类赖以生存的重力场等等,这些都是场性物质。不论是实体物质还是场性物质,它们都在永恒不停地运动变化,绝对静止的物质是不存在的。物理学是研究物质之间相互作用和物质运动最基本、最普遍形态的学科。如机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等都属于最基本的运动形态。物理学是一门基础学科。

物理学所研究的运动规律具有普遍意义。

在各种生产实践过程或是高级运动形态里,都含有物理学要研究的运动规律。航天器的发射、弹道的研究、矿藏的勘探和开采、气象的长期预报、地震的预测,农业产量的预估、地下水文分布的探测、架桥盖房修路以及许多种产品的生产和检验,都要用到物理学的基本原理和基本定律。物理学有极其广泛的应用价值,这是它的内容和研究对象所决定的。我们在学习物理时,一定要注意到它的普遍应用价值。正是由于物理规律的普遍性和规律的基本性,所以与物理相关联的派生分支学科、与物理互相渗透的交叉学科很多。如空间物理、天体物理、大气物理、海洋物理、地球物理、生物医学物理、物理化学、量子生物、量子化学、计算物理、量子电子学等等不一而足。确实,物理学是门地道的基础学科,并且可以毫不夸大地说,物理学是理科学科中的第一基础学科。

从物理学发展史来看,人类的衣食住行、狩猎、捕鱼、纺织、种

地都必须进行一些物理活动；人类为求得生存和发展，就必须研究物理。物理学的发展和生产力的发展总是息息相关、相辅相成，且二者互为源泉。但物理学成为一门独立的学科，还是近三百多年的事。16、17 世纪，先驱者伽利略、开普勒等人对天体运行规律进行反复细致的考察和记录，运用地面上的一些科学实验，加之有效的理论分析，取得一定成果；再通过牛顿的总结，利用数学成果建成了经典力学体系。为适应蒸汽机的研制、效率的提高和第一次工业革命的需要，力学和热力学相应而生。到 19 世纪中叶，在楞次、法拉第、麦克斯韦根据许多电磁学实验结果总结出来的电磁理论的推动下，成功地研制成了电机、电器及电讯传送设备，人类开始进入了利用电能的电气化时代，这反映了第二次工业革命的成果。19 世纪末，以牛顿力学和麦克斯韦电磁理论为主要基础的经典物理学发展渐趋完善，实验做得渐趋准确。当一些物理学家的自满情绪像乌云一样笼罩在物理学上空时，带有突破性的实验现象，如放射性、光电效应现象的发现，对热辐射能谱及比热的研究，冲破了束缚物理学继续前进的桎梏。普朗克于 1900 年提出了能量量子假设。几乎与此同时，对物理高速运动规律的研究导致爱因斯坦狭义相对论的诞生(1905 年)。

量子物理学和相对论的诞生象征近代物理学的开端，物理学此时又获得长足进步。这些进步表现在 20 世纪 20、30 年代描述微观粒子运动规律、体系完整的量子力学的形成和分析物质结构的光谱学的蓬勃发展。随后，半导体物理、核物理、粒子物理、凝聚态物理、无线电电子学等这些物理学分支学科也都大面积地获得丰收。随着科技、生产的进一步发展，近几十年内物理学范围内又有一些惊人的发明和发现。60 年代出现新型的光源——激光，使古老的光学有了广阔的前景；加速器的进一步完备导致粒子物理学内容的极大丰富；电子计算机根本改变了工农业生产程序控制面貌，并改善了科学研究工作中的运算条件；脉冲技术正在向更短

的时间间隔延伸,以便我们可以了解各种快速反应,如化学变化和爆炸过程的瞬息变化;光波导和集成光学的兴起,预示着容量更大、运算速率更快的光学计算机将会出现;量子效应已经在较复杂的运动状态、如生理过程化学反应中产生不能忽视的作用,使得一些交叉学科,如量子生物学、量子化学等成为科学前沿的热点;不久前高温超导现象的发现和可控热核聚变突破性进展,诱使人们渴望和憧憬着美好的应用前景。所有这些物理事件都说明现代物理学的神速发展。物理学确实是一门富有活力、生机盎然的学科。

无数事实说明,物理学是一门实践性极强的学科。

可以这样说:“没有实践就没有物理学!”物理学中的每一项假设、原理和定律,都是根据对很多实验事实和数据的处理、提炼、概括和总结后而准确提出的。提出后的这些学说还必须通过实验、实践作进一步的检验。这样经过实践——理论——实践,循环反复,使科学不断发展。例如落体偏东,电流的磁效应,波粒二象性的验证,光波学说的确立,电子、中子、 μ 子的发现,荷质比的测定,光电效应,著名的迈克耳逊-莫雷实验,这些实验都在物理学发展史上立下了丰功伟绩。我们在学习物理时,要经常注意到物理学的实践性,这是很重要的。

物理学的理论具有高度的概括性。

物理学中的对称性原理充分体现了物质运动的空间、时间反演规律;泡利不相容原理说明了量子状态的独立性;海森堡不确定关系约束了微观粒子的运动行为;爱因斯坦的光速不变原理是研究高速运动规律中的一项重要而又不可违背的准则;德布罗意关于波、粒图象的假定奠定了几率波的基本概念,从而量子力学得有立足之地而得以发展;牛顿力学方程在处理解决宏观物体运动问题时有其独特的效果,它也是天体物理学中的第一理论支柱;具有高度对称形式的麦克斯韦方程组则是经典电磁运动规律的具有概

括性的描述；费马原理高度概括了包括直线传播、反射定律、折射定律的光传播规律；牛顿方程、麦克斯韦方程组和费马原理本身就是物理学规律的高度总结，而它们却又可以从物理学中范畴更广的最小作用原理在定义某些物理量的情况下直接得到……。这些物理学中的理论是根据实验事实提出来的，也是在最大限度上去总结和描述物质的运动规律的，甚至有的总结已经超出了自然科学的界线，达到艺术上美的境界。物理学是一门具有严密理论的学科！

再从物理学的研究方法来看，也体现了物理学的特点。

诸如建立参照系的方法，用隔离法来分析问题，用等效的方法化繁为简，用延拓外推方法去预料难以实现的情况，用阻抗匹配的措施来获得最大输出功率，用理想模型代替实际事物，用镜像法使问题简化，用合理的近似简捷地得出结果……。所提的这些物理分析方法都带有普遍意义，不仅局限于物理学。我们相信，物理学分析事物的方法有助于解决其他一些非物理的问题。物理学是一门能有效培养分析和解决问题能力的学科。

学好物理学，提高我们的科学素质。

第一章

质点运动的描述

自然界处于永恒的变化、运动之中,大到天体,小到粒子,无不在运动,而且运动的形式多种多样、错综复杂. 不认识运动规律,就难以了解自然界,研究运动、掌握运动的基本规律是科学工作者的基本任务.

实践和理论研究表明,在一切宏观自然现象中,不管运动形式如何复杂,以物质的粒子性来看,最基本的运动形式就是质点的运动. 作为物理学的第一章,我们先不涉及运动变化的原因,只讨论如何去描述一个质点的运动,这部分内容叫做质点运动学.

1-1 参照系和质点

一、参照系

自然界的一切物质都处于运动变化之中. 实践表明,绝对静止的和一成不变的物质是没有的,也就是说,运动本身具有绝对性. 然而,人们要认识物体的运动,了解物体的变化,定量地把一个物体的运动或变化描述出来,就必须选择一个物体或一个物体系统作为观察、研究的客观参考标准. 物理学中将这一客观的参

考标准——物或物体系，称做**参照系**。

参照系的选择不同，对同一物体的运动描述也就不同，就是说，**运动的描述具有相对性**。例如，人造地球卫星是在绕地球的椭圆轨道上运行，这是以地球为参照系，即相对地球为静止的观察者而言的。而对于宇宙飞船上的宇航员来说，飞船则是静止的，地球在转动。再如，某人站在沿直线匀速行驶的敞蓬汽车上竖直向上抛出一个球，在他看来（以车为参照系），球在作竖直上抛运动，无论抛出多高，最终总是落到他的手中；可是站在地面上的观察者，则认为该球是在作斜抛运动，所以抛出者抛出球后，必须随车运动一定水平距离才能接到该球。

人类长期生活在地球上，习惯以地球为参照系，在地球参照系中，地球是静止的，太阳和其它星系都在绕地球作极为复杂的运动，这就是历史上的地心说。如果以太阳为参照系，情况就迥然不同了。这时地球并非静止，它不仅有自转，而且还有绕太阳的近似圆周运动的公转，这就是有名的日心说。当年，曾有许多人为日心说的建立付出了血的代价，并把它的重要意义和达尔文的进化论相比拟。那么，究竟日心说对，还是地心说对呢？仅从运动学角度来看，二者都是无可非议的，正如前面描述人造地球卫星的运动一样，参照系不同，对运动的描述也就不同。有人会问：这岂不等于说，日心说和地心说成了半斤八两？请读者注意，运动的描述只是问题的一个方面。^①人类认识世界，在于寻求最简洁的运动规律，从这个意义上讲，日心说比地心说优越。实际上，哥白尼^②在当

① 在动力学中研究物体的运动定律时，参照系间是有原则差别的，并且，其中有一类参照系显示出较其它参照系更为优越。

② 哥白尼（Nicolaus Copernicus, 1473~1543）波兰天文学家，日心说（即地动说）的创立人。曾在波兰和意大利的几所大学学习，研究数学、天文学、法学和医学，后来参加政教活动。他的最大成就是以科学的日心说否定了在西方统治了达一千多年的“地心说”。这是天文学上一次伟大的革命，引起了人类宇宙观的重大革新，沉重打击了神权统治，使自然科学开始从神学中解放出来，从此更加迅速地向前发展。