

21 世纪高校规划教材·物理学

大学物理学

Daxue Wulixue

上

王亚伟 主编

中国科学技术大学出版社

21 世纪高校规划教材 · 物理学

大学物理学

◇ 上册 ◇

王亚伟 主编

中国科学技术大学出版社
合 肥

内 容 简 介

本书是在教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”相关研究成果及其精神指导下,依据教育部制定的《高等工业学校大学物理基本要求》,应用江苏大学京江学院“新概念物理学”的项目研究成果所编写的规划教材。全书分上、下两册。上册主要内容:力学、相对论和热学,下册主要内容:电磁学、光学和近代物理。本书以物理学学科的研究内涵为编著线索,在保持物理理论基础性强的同时加强了物理学原理应用新技术的介绍,力图体现本书高视点、厚基础、宽应用、新体系的时代特征。

本书可作为高等学校非物理专业的教科书,尤其适用于民办类学院各专业的使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学·上/王亚伟主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2004.2

21 世纪高校规划教材·物理学

ISBN 7-312-01657-X

I. 大… II. 王… III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124761 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026,发行电话:0551-3602905)

合肥华星印务有限责任公司印刷

全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:13.75 字数:312 千

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—5000 册

ISBN 7-312-01657-X/O·281 定价:16.00 元

《大学物理学》编写委员会名单

主 编 王亚伟

编 委 王亚伟 王纪俊 许伯强

葛一兵 张九如

* * * * *

策划编辑 张善金

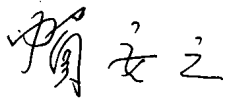
序

物理学是自然科学的基础，又是现代最具有活力的带头学科，它主导了当代新技术革命的前沿高新技术和学科，例如：空间科学，微电子技术，光电子技术，纳米材料技术，现代生物基因工程，分子生物学，信息技术等等，都是基于物理学的基础而发展起来的，即使是生命科学、现代量子化学等也是在现代物理学技术和量子理论物理学发展的带动下才迈进了崭新的阶段。可见，物理学是人类认识自然，改造自然，创造物质财富，推动社会进步的一个重要理论和技术源泉。物理学的基本理论、基本思想、分析和解决问题的方法对科技创新有着重要的与决定性的作用。

今天的物理学，一方面，与其他学科相互渗透，相互融合，共同发展，并且形成了许多新的交叉学科；另一方面，一些老的技术学科从物理学中吸取营养，出现了技术科学与物理学相互交织的景象。工程技术的发展必须以物理学的先行研究为基础，才能得以实现。因此，必须经过物理学基础理论的系统学习，才能培养出具有坚实理论基础和具有创新能力的工程技术人才。

王亚伟博士集多年物理学教学经验与教学研究成果，在其主研的“新概念物理学”项目的研究成果基础上，以物理学科学内涵为线索，以科学技术创新思想与技术方法为培养目的，针对应用型工程技术人才的培养要求，注重素质培养和素质教育，既系统地阐述了物理学的基本原理和方法，又融合物理学的新进展，特别是体现

了物理学在现代知识创新、技术创新中的应用成果，以培养学生在未来工程技术研发工作中的创新能力。全书包含了力学、振动与波、热学、电磁学、光学与近代物理学等内容，体系完整、内容新颖，是一本适合当今我国大学物理学教学的、能在培养出具有坚实理论基础和创新能力的工程技术人才中起到较大作用的一部好教材。



2004年1月8日于南京

贺安之先生为南京理工大学教授，博士生导师，曾长期任南京理工大学理学院院长，现任中国光学学会全息与信息处理专业委员会主任，江苏省激光与光学工程学会理事长。——编者

前 言

科学技术的不断进步和高新技术的迅速发展,极大地推动了世界经济的发展。世界经济的发展又极大地刺激了人们对人才的需求,这种需求促使人才的素质内涵和知识结构发生着巨大的变化。作为科学技术的基础学科——物理学既是一切科学技术的基础,又是所有学科中的一个主导学科,所以一直是高等教育中的一个重要教学学科。近年来该学科随着科学技术的不断进步也一直发生着相应的变化,这主要反映在:

(1) 新理论、新原理、新技术、新方法层出不穷,不断丰富着物理学内容。例如:超导理论、信息熵理论、等离子技术、激光原理与应用技术、光波导理论与应用技术,等等。

(2) 不同学科和技术本身的发展对物理学有着不同的要求,促进了物理学从不同的方向形成了自身不同的发展特征。例如:生物物理学、非线性物理学、纳米材料技术、计算机科学、通信与通讯技术等的发展,极大地促进了物理学的发展。

(3) 作为大学物理学教育的前期教育——中学物理学教学已经从内容和方法上进行了较大的改革,并且取得了相关的应用成果。

(4) 新技术的应用改变了物理学的实验手段和方法,从而对依赖于物理实验的物理学科产生了变化。例如:多媒体教学技术、计算机网络技术、计算机虚拟实验技术与图像处理与显示技术的发展极大地改变了物理学教学的方法和手段。

同时,高等教育的发展出现了多层次、多类别、多模块的教学需求,窗口课程、专业课程的发展又提出了对物理课程压缩学时的要求。尤其是二级民办

学院的迅猛发展为社会培养了大量的高级应用型专业技术人才,但是,作为一个重要的基础学科的教材——物理学的教材却存在着体系和内容上的陈旧,课时设置模块少,不适应要求等诸多问题,对此,大学物理学的课程改革已迫在眉睫,改革的呼声已在全球物理学教育界达成了共识。但是,怎样改革,改什么却存在着种种见解。作者以二级民办学院学生为教学对象,针对其培养目标和自身知识基础的状况,本着以素质教育为目的,物理方法和物理思想教育为本,在传授物理知识的同时更注重物理学技术应用的培养,对非物理类大学物理学课程的物理学教材从以下几个方面进行了改革:

(1) 提高教材基础层面,有效地减少大学与高中物理学教学的机械重叠层,节省空间以充实体现物理基础知识的新技术和新方法的教学内容。

(2) 精炼内容,以物理学的科学性和逻辑性为线条,从单体物质到多体物质,从经典到近代,从线性到非线性重构物理学教材体系,有效地缩短学时数。

(3) 以物理学的基础知识导入各个章节,各章内容中重视数学建模的技能训练和物理学思想方法的教育,深入浅出,增强综合素质教育训练的例题和习题,最终回归于实际应用。

(4) 对于新的实用性技术和物理学理论性较强但应用性较少的内容,以阅读性材料的形式提供给同学选读,以拓宽同学的知识面,培养同学的自学能力。

本物理学教材是由江苏大学京江学院立项的“新概念物理学教材的研究”项目研究成果为支撑,在吸取了编者多年对二级民办学院学生教学的经验和其他优秀物理学教材之精华的基础上编著而成。本书共分十章,第一章、第四章、第九章由王亚伟执笔,第二章由葛一兵执笔,第三章由许伯强执笔,第五、六、七章由张九如、许伯强共同执笔,第八章由王纪俊执笔,第十章由许伯强、王纪俊共同执笔,全书由王亚伟博士、教授统稿总撰。本教材分上、下两册,上册主要讨论了力学、相对论和热力学内容,下册主要讨论了电磁学、光学和近代物理内容,书中凡注*号的内容均为选学内容,建议学时为 90 个学时~110 个学时。

本书在编著过程中得到了江苏大学物理系全体同仁的大力支持，刘映栋教授在百忙中抽出时间认真审阅了本书的全部内容，对本书的内容和体系创新提出了极为宝贵的修改意见；贺安之教授获悉本书出版，十分高兴，欣然为本书作序，对本书的出版给予了热情的支持和帮助，在此一并致以深切的感谢！

由于我国高等教育教学体制改革的不断深化，知识创新成果的大量涌现，加上作者的水平所限，书中疏漏和不足之处在所难免，诚望读者不吝赐教。

编 者

2003 年 10 月 12 日

目 次

序	(I)
前 言	(III)
第 1 章 基本物质世界	(1)
1.1 物质的基本形态和基本形式	(1)
1.1.1 物质的基本形态	(1)
1.1.2 物质存在的基本形式	(2)
1.2 时空观	(2)
1.2.1 经典时空观	(2)
1.2.2 近代时空观	(3)
1.3 基本作用	(4)
1.3.1 物理世界的四大作用	(4)
1.3.2 本课程授课的主要时序	(5)
第 2 章 物体运动的基本规律	(6)
2.1 运动学基础	(6)
2.1.1 参照系与坐标系	(7)
2.1.2 平动描述	(8)
2.1.3 转动描述	(14)
2.1.4 运动的合成	(22)
2.2 动力学基础	(23)
2.2.1 物体的平动	(23)
2.2.2 物体的转动	(29)
*2.2.3 惯性系与非惯性系	(36)
2.3 守恒定律	(40)
2.3.1 动量 动量守恒定律	(40)
2.3.2 角动量 角动量守恒定律	(47)
2.3.3 功与能 机械能守恒定律	(51)

2.3.4 碰撞	(64)
*2.3.5 时空对称性与守恒定律	(67)
第3章 机械振动与机械波	(70)
3.1 线性振动	(70)
3.1.1 简谐振动	(70)
*3.1.2 有耗线性振动	(75)
3.2 简谐振动的振幅矢量图示法 相位差	(79)
3.3 振动的合成	(80)
*3.4 非线性振动	(86)
3.4.1 非线性振动系统	(87)
3.4.2 非线性振动系统的混沌行为	(89)
3.5 机械波	(91)
3.5.1 机械波的产生与传播	(91)
3.5.2 波动表达式	(96)
3.5.3 波的能量	(100)
3.6 机械波的干涉与衍射	(102)
3.6.1 波的衍射与惠更斯原理	(102)
3.6.2 波的干涉	(104)
3.7 多普勒效应	(111)
第4章 相对论基础	(115)
4.1 时间膨胀与长度缩短	(115)
4.1.1 相对论基本原理	(115)
4.1.2 同时性的相对性	(116)
4.1.3 时间膨胀	(117)
4.1.4 长度缩短	(119)
*4.2 洛仑兹时空变换与速度变换	(121)
4.2.1 洛仑兹时空变换	(121)
4.2.2 速度变换	(124)
4.3 相对论质量 动能和能量	(127)
4.3.1 质量与速度的关系	(127)
4.3.2 相对论动能	(128)

4.3.3 质能关系·····	(129)
4.3.4 能量与动量的关系·····	(131)
第5章 多个物体的宏观运动规律·····	(132)
5.1 系统的基本概念·····	(132)
5.1.1 系统和过程的描述·····	(133)
5.1.2 基本物理量·····	(135)
5.2 热力学第一定律·····	(137)
5.2.1 热力学第一定律·····	(137)
5.2.2 几个特殊过程的功、热量、内能·····	(138)
5.3 热力学第二定律·····	(146)
第6章 多个物体的微观运动统计规律·····	(153)
6.1 气体热运动规律·····	(153)
6.1.1 气体热运动特征·····	(153)
6.1.2 统计物理学基础·····	(153)
6.2 气体压强和温度的统计描述·····	(155)
6.2.1 理想气体的压强·····	(155)
6.2.2 理想气体的温度·····	(158)
6.3 能量均分定理·····	(159)
6.3.1 自由度·····	(159)
6.3.2 能量均分定理·····	(160)
6.4 麦克斯韦速率统计分布规律·····	(164)
6.4.1 速率分布函数·····	(164)
6.4.2 三个统计速率·····	(166)
6.4.3 玻尔兹曼能量分布规律·····	(169)
6.5 分子碰撞的统计规律·····	(170)
6.5.1 分子平均碰撞频率·····	(170)
6.5.2 分子平均自由程·····	(171)
*6.6 等离子体·····	(174)
*第7章 熵科学基础·····	(175)
7.1 克劳修斯熵·····	(175)

7.1.1 熵函数·····	(175)
7.1.2 熵增加原理·····	(178)
7.2 玻尔兹曼熵·····	(180)
7.2.1 热力学第二定律的统计意义·····	(180)
7.2.2 玻尔兹曼的描述·····	(181)
7.3 熵科学进展·····	(181)
7.3.1 熵与生命·····	(182)
7.3.2 熵与信息·····	(182)
上册习题与综合训练·····	(184)
参考文献·····	(205)

第1章 基本物质世界

自然界中的物质在分子力的作用下形成自身的形态，其形态可以分为：固态、气态、液态和等离子态；所有的存在形式归结为实物与场。

1.1 物质的基本形态和基本形式

1.1.1 物质的基本形态

分子间的作用决定了物质的形态，当物质中的分子间距约为 r_0 ($r_0 \approx 2.5 \times 10^{-10} \text{ m}$) 时，分子没有足够的能量来克服其他分子的吸引力，只能在 r_0 附近振动，若这种振动中心基本上是稳固的，则物质处于固体形态；若分子具有较大的振动能量，其振动中心是可以自由移动的，则物质处于液体状态，具有流动性；当分子具有较高的动能时，分子就能够摆脱其他分子的吸引而成为自由运动的粒子，此时的物质则为气体状态。

固体通常具有一定的体积和形态，可将其分为晶体、非晶体、准晶体三类，对晶体而言，内部的粒子呈现规则性排列，这些粒子可以是原子、分子和离子，一般也称其为原子态的、分子态的、离子态的或宏观分子态的晶体。例如：金属是原子的有规则排列，属于原子态的晶体；金刚石等是非金属元素以及许多化合物的规则排列，属于分子态晶体；盐等是离子的规则排列，属于离子态晶体，对于非晶体而言，其内部的粒子是无规则排列的，他们的粒子由一些大的长链分子组成，这些分子缠结在一起，有点类似于液体，但没有确定的熔点，形成了与晶体（具有确定熔点）的又一区别，如玻璃、沥青、塑料等，而准晶体既不像晶体粒子的规则排列，也不像非晶体粒子的完全无规则排列，而是具有长程准周期排列的特点，即在某一范围内，主要表现为晶体特性，超出这一范围，则主要表现为非晶体特性，是一种较为复杂的物质形态。液体通常有一定的体积，但无确定的形状；气体则是既无一定的形状又无一定体积的物质形态，而这两种状态除自身的特点和运行规律外，还具有流动性。

除固体、液体、气体三种状态外，人类又发现了物质的等离子体态，也有人称其为物质第四态，严格地说，等离子体就是电离了的气体，它是由电子、离子和未电离的中性粒子三种成分组成的，整体上呈准电中性，而且是集体效应起主要作用，是自然界里更为复

杂的一种聚集状态，它能够引起局部的电荷集中，产生电流，形成电场和磁场，这些场又反过来影响其他区域的带电粒子，因而等离子体态下的粒子运动，必然受到局部条件和整个等离子体的制约。综观整个宇宙中的物质，竟然有 99% 以上的物质处于等离子体态，只是人类现在生存的近地空间较少。在目前，对于等离子体理论和实验的研究已形成了一门新兴学科——等离子体物理学，并且出现了与等离子体有关的边缘学科。

1.1.2 物质存在的基本形式

实物和场是物质存在的两种基本形式。实物是由原子、分子组成的客观实体，它包括了大到宇宙天体、小到静止质量不为零的基本粒子，如太阳、地球、电子、质子、中子等。场是物质的又一存在形式，它是传递物质相互作用的媒质，如引力场是传递引力作用的媒质，电磁场是传递电磁作用的媒质，都属于无形的物质存在形式，从实物和场的基本性质上分析，实物和场都具有能量的运动属性，可参与物质之间的相互作用，但场却表现出特有的弥散性和叠加性，也就是说，场可以弥散于整个空间，并在空间的任意点允许各种场同时存在，且保持各自独立特征，当相同性质的场在空间某一点相遇时，可以相互叠加。

值得指出的是，物质无论以何种形式存在，其运动属性是不会改变的，自然界中没有不运动的物质，也不存在脱离物质的运动。物质的物理运动具有粒子和波动二种图像。

物质可以从一种形态转换为另一种形态，但是不能凭空创生，也不能化为虚无。这就是物质不灭原理。以连续为特征的物质世界为宏观世界，以不连续为特征的物质世界为微观世界，因此，物质世界被分为两个层次。另一种观点是把物质世界分为三个层次：微观、宏观、宇观。

物理学是研究物质的普遍属性，即研究实物和场的运动以及物质间相互作用规律的学科。

1.2 时 空 观

实物的运动形式多样，实物之间或实物内部彼此的相对位置变化是最简单、最基本的实物运动，称为机械运动。人们对于运动的描述总是基于一定的时空观。

要研究物质的运动，必然涉及空间和时间两个概念，时间用于描述运动的连续性，空间用于描述运动的广延性。

1.2.1 经典时空观

牛顿等认为物质、时间、空间三者是分离的，物体是在绝对静止的空间中随着绝对时

间的流逝而运动的。时间是连续均匀流逝着的，空间是一个容器，是一种特殊形态的物质，时间与空间无关，时空的性质与运动的物质无关。例如，在学校电影院看一场电影所用的时间与该部电影在飞行的飞机上放映所用时间相同，时间与空间无关。又如，十月怀胎的过程无论是在地球上还是在航天飞机里其时间不变。通常我们所经历的事件都是用经典时空观来度量的。

1.2.2 近代时空观

爱因斯坦等在长期的科学实践中，通过对时空的观测、研究和理性思考，认清了时空的基本属性，提出了时间均匀性假设、空间均匀性和各向同性假设。

1. 时间均匀性假设，时间平移对称性

时间均匀性假设的基本内容是：时间是一维的，它均匀地流逝着。时间的一维性，是指时间的测量与空间方位无关。例如，在某确定的空间测量某事件所经历的时间，无论钟放在什么方位，结果都相同。时间的均匀性可以这样理解：在某时刻做某个物理实验得到一个结果，换一个时刻在相同的条件下重复该实验，结果是相同的。

时间的均匀性意味着，当时间的计算起点移动时，物理规律的具体形式（表现为数学方程）不会改变，即物理规律对时间的平移变换具有不变性，这种不变性表明，不同的时刻在物理上是等价的，时间具有平移对称性。

2. 空间均匀性和各向同性，空间平移与旋转对称性

空间均匀性和各向同性假设的基本内容是：空间分布是均匀的，而且是各向同性的，即某方位的空间分布不可能与其他方位的空间分布有什么不同，这一假设表明，不同的空间位置在物理上是等价的。

空间的均匀性可以这样理解：在实验室做某物理实验，无论将仪器、设备放到什么位置，只要条件、方法等相同，所得结果就相同。这说明将空间坐标的原点移动时，物理规律的具体形式不会改变，即空间具有平移对称性。空间的各向同性可以这样理解：在实验室中某处做某个物理实验得到一个结果，然后将实验仪器在原地转过任意角度，重复这一实验，所得的结果仍然相同，这说明空间的一切方向都是等价的，物理规律对于空间的旋转变换具有不变性，即空间具有旋转对称性。

空间是物质运动广延性的反映，时间是物质运动过程持续性的体现。时间和空间的整体称为“宇宙”。时间与空间有关，时空的性质与运动的物质有关，爱因斯坦的相对论说明了这一点，在爱因斯坦的狭义相对论里，前述十月怀胎过程和看电影过程与空间有关。

1.3 基本作用

1.3.1 物理世界的四大作用

物质无论大小和以什么形式存在，它们之间总是存在着各种相互作用，这些作用改变着物质的运动状态，支配着自然界的千变万化，迄今人类所认识的基本作用有四种，它们分别是引力作用、电磁作用、强作用、弱作用。

万有引力相互作用是物质间最普遍的一种作用，当两个物体相距一定距离时，便存在引力作用，它的作用范围可以达到无限远，但在日常生活中，人类只对地球的引力作用（重力）有感觉，而对其他宏观物体间的引力常常没有感觉，这是由于一般物体的质量太小、万有引力可以忽略不计的缘故。但在研究星体间的相互作用时发现，由于星体的质量很大，万有引力的作用很强，因此将对天体的运行和演化产生重大影响。

电磁相互作用是整个自然界最普遍的相互作用，它影响着从宏观到微观的所有物质世界，其作用范围可达到无限远，属于长程作用。从微观上看，一切物质的理化性质都是与分子、原子的变化有关，是以电磁相互作用为基础的。

强相互作用是核力相互作用，是微观世界中基本粒子间的一种相互作用，其作用力程很短，只有 10^{-15}m ，作用时间也很短，只有 10^{-23}s ，但其作用强度很大。

弱相互作用是基本粒子衰变过程中的一种相互作用，常发生在原子核的 β 衰变、 μ 子的衰变等过程中，它的作用力程更短，其有效作用范围仅为 10^{-17}m ，作用强度大于万有引力，而小于电磁相互作用。

若将以上四种作用作数量级比较，设距离源 10^{-15}m 处强相互作用力的强度为 1，则其他力的强度分别为：电磁力是 10^{-2} ，弱相互作用力为 10^{-13} ，万有引力仅为 10^{-38} ，由此可见，万有引力作用是四种相互作用中强度最弱的一种，而且相差悬殊，在研究电磁力时，若不特别声明，万有引力则可忽略不计。

长期以来，物理学家总是在探索如何将物理学的理论归纳综合，以达到理论上的统一和认识上的飞跃。以力学为例，牛顿运动定律和万有引力定律实现了经典力学的综合，爱因斯坦的相对论则实现了更大范围的力学统一，那么能否再将物质相互作用统一为电弱相互作用的理论。后来，鲁比亚等从实验上证明了这个电弱相互作用的理论。这一发现也把原来的四种相互作用统一为三个，受此鼓舞，许多物理学家正在研究强相互作用和电弱相互作用的统一，并期盼实现物质间四种相互作用的“大统一”。