

文明之源

——物理学

吴翔 沈菴 吴於人 编著
陆瑞征 羊亚平

文明之源

——物理学

吴 炯 洪 遵 夏 静 人 等著
—— 熊 秉真 李 祖基 校订

文明之源

——物理学

吴翔 沈蕊 吴於人 编著
陆瑞征 羊亚平

内 容 提 要

本书尽量用深入浅出的笔法来阐明物理学的基本知识,尽力避免繁复的数学语言;为强化实用性和时代性,大部分篇幅用于介绍近代物理学及其应用。其中近三分之一的篇幅用比较通俗的语言介绍现代科技及其与物理学的关系,目的是使读者对现代科技,特别是面向 21 世纪的新科技有一个初步的了解,这无疑会对他们将来从事任何工作均有裨益。同时以物理学史和自然哲学为主要线索阐明物理学的认识论和方法论,使读者从物理学的研究方法中获得教益,从而有助于他们在从事其他行业的工作中提高其分析问题处理问题的能力。建议用大量图片并匹配有关的多媒体音象、演示实验、录象片等给学生以直观的教学,因为物理学是一门实验的科学,课堂教学中的直观性是必不可少的。

总之,本书集专业性与通俗性、科学性与哲学性于一身,是贯通理科和文科的一道理想的桥梁。

本书供高等院校文史哲、管理、经济、法学、商学、政治等非理工科学生学习物理学的教材,也可供中等学校物理教师参考。

序 一

在西方,一些物理学家提出这样的问题:如果一个人未读过莎士比亚的著作,会认为没有教养;但是一个人不知道牛顿、爱因斯坦的理论,却不被看做没有文化。这不奇怪吗?于是他们仿照“艺术欣赏”、“歌剧欣赏”那样,在大学文科开设起“科学欣赏”、“物理欣赏”课来。在我国,情况可能更是这样。特别是对那些在中学就惧怕数学且厌恶物理而选择文科的学生来说,在他们的心目中物理是那样枯燥、难懂,有什么可欣赏的?

上面说的是二十多年前的事,现在情况又有了许多新的发展。据一位到美国去攻读经济学的研究生说,她在入学一开始遇到的课程里,老师就介绍大爆炸宇宙学,接着又讲黑洞。这对于一位从中国经济系本科读出来的学生来说,困难是可想而知的。不要像过去那样错误地认为,经济学一般地排斥数学,从而也拒绝物理学。20世纪下半叶以来,理论经济学家们耗费了大量的时间和精力,极力将数学融入经济学。1987年9月在美国圣塔费(Santa Fee)研究所(这是座落在一所昔日的女修道院里、以鼓励学科交叉和年轻人新思维著称的小型研究所)举办了一次经济研讨会,有经济学和物理学两方面的诺贝尔奖金得主多人参加。会上物理学家们简直被经济学家们的数学才能给镇住了,他们感到既敬佩又惊骇。他们敬佩的是这些数学化的经济理论太完美了,惊骇的是导致这些完美理论所作的假设太理想化了,令人不敢相信。理论物理学家们对待数学的态度与经济

学家是不同的。物理学家们看重的是物理思想和物理模型,对数学严谨性并不看得那么重要,理论上的错误总会被实验所纠正。但在经济学领域里人们不可能获得那样纯净而精确的数据资料,足以说明某个理论正确与否。所以数理经济学家们总要求做到,他们的数学推演在逻辑上是一丝不苟的。新古典经济学继承了亚当·斯密的思想,市场总会由一只“看不见的手”来调节,走向均衡。在物理学中,一个系统必须有负反馈机制,才能在涨落中复归平衡。在经济理论中这种负反馈机制就是“报酬递减率”。一位年轻的经济学家阿瑟(B. Arthur)从近年高科技市场的新情况出发,提出“报酬递增率”的理论,长期得不到经济学界的认同。在圣塔费的这次研讨会上阿瑟被邀请在第一次会上作第一个报告,报告的题目是“经济学中的自我强化机制”。这里的“自我强化机制”可理解为一种正反馈机制。阿瑟在报告中所用的术语,如报酬递增率、正反馈、非线性、锁定,都是物理学家熟悉的,对他的许多观点物理学家频频点头。主持会的诺贝尔物理奖得主 P·W·安德逊举手提问道:“经济学是不是很像自旋玻璃?”是的,在自旋玻璃中使自旋平行和反平行的相互作用交错出现,让一个原子的自旋往往处于“窘态(frustration)”,这个原子必须权衡各方面的利害,做出对策与抉择。这多么像人类的经济社会啊!物理学与经济学是相通的。经济学家不仅需要数学,更需要物理学,需要其中的物理思想和物理模型。

理工科需要开物理课,本是天经地义的。文科开物理课,在我国还是新鲜事。近年来不少院校尝试着为文科开设了物理课,并且受到学生的欢迎。同济大学是其中比较成功的,值得祝贺。文科的物理课,显然不应是理工科物理课的压缩或稀释。文科物理课应该包括哪些内容?有什么特色?按什么体系讲?也许它会包含一些物理学史料、方法论、哲学思想的内容,以及人文精神、与物理有关的社会问题、高科技的成果等,但一切都不能脱离物理本身来讲,否则这样的物理课就“变味”了。开设文科物理

课,现在我们还缺乏经验,各种想法都可以尝试。将来有一些经验以后,也不必有统一的模式。同济大学吴翔教授等编写的这本《文明之源——物理学》,为我们提供了一个良好的范本,可供大家参考和选用。祝愿这本文科的物理课教材(或者说,参考书,在我看来区分二者是没有意义的)在实践中更加充实和完善,受到更加普遍的欢迎。

北京大学 赵凯华

2000年7月

序 二

20 世纪汹涌澎湃的科技革命浪潮把人类推到了与 21 世纪相会的门槛上。在赞美新世纪的曙光时,人们的耳畔却仿佛响起了查尔斯·狄更斯(1812—1870)的声音(《双城记》):

“这是最好的时候,这是最坏的时候;这是智慧的年代,这是愚蠢的年代;这是信仰的新纪元,这是怀疑的新纪元;这是光明的季节,这是黑暗的季节;这是希望之春,这是失望之冬;我们将拥有一切,我们将一无所有;我们正在直登天堂,我们正在直下地狱……”

是的,当今社会每一个深思熟虑的人都会既有一种幸福感,又有一种危机感,或者说“机遇与挑战并存”的感觉吧。科技的发展使人们的物质生活空前地富裕起来,但竞争又使生活节奏变得太快;与此同时,地球上有限的能源及其他不可再生的资源也以日益加快的节奏被耗用掉;在人类活动日益加剧的干预下,地球整体生态环境继续恶化。在与“原子能”这把“双刃剑”和平共处了 55 年之后,另一把“基因工程和克隆技术”的“双刃剑”又被握到了人们的手上,又一次产生了“拔剑四顾心茫然”的感觉*。

如果说,100 年前人们曾怀疑过科学是否会继续大发展的话,那末今天主要的担心则是科技能否被正确地利用的问题了。这关系到我们这个“地球村”究竟能否达到“可持续发展”的目标,而假

* 引自李训经、沈致远“科学家的社会责任”一文,载《科学》52 卷 1 期 24 页,2000 年 1 月。

如处理不当的话,我们“地球村”便好像“泰坦尼克号”,高速行驶在夜幕下平静而冰冷的海洋上。

那末,危机集中表现在哪里呢?看来用物理的术语来表述还是合适的,即“不平衡”三个字。物质文明与精神文明发展不平衡:人对“自然”的认识或改变似乎已经很多,而对自己的认识或“人性”的改变实在太少;人本来是自然界的一部分,本应与自然和谐相处,如今却企图凌驾于自然之上并已受到自然的惩罚而不自觉。物理学告诉我们:不平衡状态会导致倾覆或者“相变”,人类社会也正孕育着巨大的危险。

造成这一不平衡状态的原因极为复杂,需要深入研究,但有一点已被指出的是由于四百多年来人类文化和人才教育上的分裂所致。随着“文艺复兴”欧洲走出中世纪,科学发展起来以后,人类文化中便分出了科学文化,逐渐区别于早已形成的人文文化,与此相应地,在培养年轻人的大学里,实行了高度专业化的教育。于是一个人的,尽管可能是某种科技(或人文)领域里的专家,却对人类文化的更广大领域所知甚少。这一局限性导致自己专业活动中的短期行为和全局观念的缺乏。有些科技专家只管埋头专业工作,人文意识淡薄,他们总是把对人类社会的发展可能会产生长期或全局性影响的事情或决定都推给政治家去做。而有些政治家凭各种猜疑、傲慢或偏见甚至一时冲动而匆忙作出的决定,造成了不可挽回的严重后果,这又与他们自身的局限性有密切的关系。这样的事例,在20世纪难道见得还少吗?

一切社会活动都是人的活动,要改善我们的社会,就必须改善和提高人的全面素质。因此我们的教育应当致力于培养德、智、体、美等诸方面和谐发展的一代新人。而为要做到这一点,正如已故著名女科学家吴健雄所指出,就应该把人类文化已经长期分裂而造成隔阂的两种文化——科学文化与人文文化——在学校校园里重新加以弥合,这是为了避免社会可持续发展中出现危机而必须解决的一个刻不容缓的问题。新世纪的年轻一代,不但是各行各业的专家,而且都应该有广博的知识,有完善的人格修养,能够

相互沟通,相互理解,负责任而有远见。在这样优秀的群体中选拔出来的最优秀人才做“船长”和“领航员”,才能使新的“泰坦尼克号”避开一切冰山暗礁,驶向幸福的彼岸。

我是从上述全球教育改革的大背景下去理解吴翔教授等编著的《文明之源——物理学》一书的。他们在绪论中就引了美国著名科学家拉比的话:“只有把科学和人文科学融为一体,我们才能期望达到与我们的时代和我们这一代人相称的智慧的顶点。”这本书既讲授力学、电磁学、光学和热学等经典物理的基础知识,又评述相对论宇宙学和量子论等 20 世纪新的理论发展,还介绍物理学在新材料、激光与信息科学、新能源甚至经济学等各方面的应用。作者不仅仅论述各种具体的科学知识,而且紧紧扣住“物理学是文明之源”这一主题,使书中洋溢着一种文化气息,一种历史感,整体感和美感,使具体知识的叙述中闪现出思想的光辉,让学生也多少能够像身历其境地去体验一下先驱者思维的过程和创造的快乐。

全书 12 章内容丰富翔实,而篇幅不大,这是令人佩服的。本书为新型教材提供了一种经验:把引起同学兴趣,提高他们的学习自觉性和主动性,启发他们思考问题,放在比具体传授知识更重要的位置上。

我认为这种处理教材的态度和方法不仅对文科学生是必要的,即使对理工科学生的教学也值得我们借鉴。过去我们在有些课上讲了那么多公式、定理和计算,而学生则处在被动的地位,学习缺乏兴趣,考试过后大部分内容都还给了老师,很重要的一个原因就是讲课缺乏思想性和启发式的缘故。

当然,这方面的改革是很难的,我们在复旦大学也处于试验之中。但是我觉得本书的作者比我们更勇敢,迈出的步子比我们的更大,尤其是在讲科学史、取材的新颖,陈述的生动和图文并茂等方面。作为近邻,我们复旦大学的教师早就听说他们在同济大学的教学实践中受到学生的热烈欢迎,这充分证明他们的方向是正确的,试验是非常出色的。

吴翔教授等五位作者在年龄上组成良好的梯队结构,他们以高度的责任感、极大的热情和艰辛的努力完成了这本书,为新世纪的教育事业作出了一份宝贵的贡献,我相信并预祝他们一定会在不久的将来取得更大的成功。让我们大家一起热切地期望:我们的年青一代将会比我们更聪明,将能找到解决人类面临的各种难题的途径和方法来。故在书成之日,乐为之序。

倪光炯

2000年4月15日

于复旦大学

前 言

高等院校文科(准确地说是文史哲、管理、经济、法学、商学、政治等非理工科)学生要不要学习物理学,这是一个一直有争议的问题。我认为答案应该是肯定的,因为这些专业的学生虽然在将要从事的工作中多半不会直接应用物理学的知识和结论,但是学习物理学过程中,学生受到的逻辑思维能力的训练以及分析问题和处理问题的能力的培养,将让他们终身受用不浅。举例而言,物理学中常用的模型理论方法,已经被广泛地移植到许多学科领域,例如经济信息分析,被经济学界称为“量化经济学”。无怪乎现在已经有大批物理学博士在华尔街从事量化经济学的工作,他们也把这个学科分支称为“ECONOPHYSICS”,也就是“经济物理学”。现在我国也开始有一些物理学博士在进行这方面的研究。所以,我认为文科学生确实应该进行物理学的学习。

当然,由于文科学生的特点,在物理学的教学方式上,应有别于理工科学生。正是由于他们将来的工作一般不会直接应用物理学的现成结论,因而没有必要让学生死记硬背许多物理学的定理和公式,而这正是许多文科学生最为头痛的并且使他们丧失了对物理学的兴趣。我们在教学中,重点向学生介绍物理学的一些基本概念以及一些重要结论的形成过程,从而使学生对物理学的认识论和方法论有所了解,同时比较通俗地介绍近代物理和现代科技之间的关系,这样,物理学的学习将更具有趣味性。我们希望通过这样的教学,学生一方面获得必要的知识,更重要的是获得分析和处理问题的能力方面的锻炼。

本着上述教学思想,我们在编著本教材时采用了以下各原则:

1) 本书供将来不直接从事与物理学有关的研究和生产工作的非理工科学生应用,因而本书作者尽量用深入浅出的笔法来阐明物理学的基本知识,尽力避免繁复的数学语言。为强化实用性和时代性,本书大部分篇幅用于介绍近代物理学及其应用。

2) 本书以物理学史和自然哲学为主要线索阐明物理学的认识论和方法论。使读者从物理学的研究方法中获得教益,从而有助于他们从事其他行业的工作中提高其分析问题处理问题的能力。此外,为尊重历史,本书有些地方出现了非法定计量单位,仅加注说明,未作换算。

3) 本书以将近三分之一的篇幅用比较通俗的语言介绍现代科技及其与物理学的关系。目的是使读者对现代科技,特别是面向 21 世纪的新科技有一个初步的了解,这无疑会对他们将来从事的任何工作均有裨益。

4) 本书用大量图片并匹配有关的多媒体音象、演示实验、录象片等给学生以直观的教学。因为物理学是一门实验的科学,课堂教学中的直观性是必不可少的。

总之,本书集专业性与通俗性、科学性与哲学性于一身,是贯通理科和文科的一道理想的桥梁。我们用这一教材进行了二轮教学实践,取得了很好的教学效果,许多学生表示,通过对本教材的学习,改变了在中学里对物理学望而生畏的感觉,而对物理学产生了新的兴趣。

本书执笔分工如下:绪论、第九、十、十一章(吴翔);上篇(陆瑞征)。中篇、结束语(沈施);第十二章、习题、索引等(羊亚平);图片、多媒体音象、演示实验、录象片(吴於人)。

由于作者们水平有限,时间又比较紧迫,本书必然会有不少缺点甚至错误,望读者不吝指正。

吴翔

于同济大学

2000 年 10 月

目 录

序一	赵凯华
序二	倪光炯
前言	吴 翔

绪论.....	1
---------	---

上篇 经典物理基础

第一章 时空与运动的经典表述	23
§ 1 绝对时空观的形成	23
1.1 哥白尼革命	23
1.2 伽利略的贡献	27
1.3 牛顿的绝对时空观	31
1.4 物质世界的空间尺度和时标	33
§ 2 牛顿与经典力学	38
2.1 牛顿力学的建立	38
2.2 牛顿运动三定律	38
2.3 伽利略和牛顿的科学方法	42
2.4 伽利略相对性原理和伽利略坐标变换	43
2.5 万有引力定律的建立	45
§ 3 守恒定律和航天原理	53
3.1 动量守恒和火箭推进原理	53
3.2 机械能守恒定律与宇宙速度	59
3.3 角动量守恒与航天器的运动	66
3.4 搜寻地外文明	67
第二章 场和波	72
§ 1 法拉第的贡献	72

1.1 奥斯特实验的启示	73
1.2 法拉第电磁感应定律的建立	74
1.3 法拉第力线和场的概念	76
§ 2 麦克斯韦电磁场理论的建立	78
§ 3 电磁波	80
3.1 电磁波的发现	80
3.2 电磁波谱	84
3.3 无线电波的应用	84
§ 4 光的波动性	94
4.1 波动说与微粒说的对立	94
4.2 波动说的复兴	95
4.3 光的颜色与光谱学	100
4.4 光的散射	102
4.5 光学与电磁学的统一	105
4.6 电磁场的物质性	106
第三章 温度 能量 熵	109
§ 1 温度	110
1.1 热力学第零定律——测温原理	110
1.2 生理热平衡	111
1.3 温度大观	112
1.4 绝对零度的探索	115
§ 2 热力学第一定律	119
2.1 能量守恒定律的确立	119
2.2 热力学第一定律的表述	122
2.3 地球表面的温度与温室效应	123
§ 3 热力学第二定律	124
3.1 自然现象的不可逆性	124
3.2 热力学第二定律的表述	125
3.3 熵和熵增加原理	126
3.4 玻尔兹曼熵	126
3.5 熵与人口	128
3.6 熵与信息	131

3.7 熵与社会、经济和管理	132
§ 4 气体动理论	136
4.1 气体动理论的建立	136
4.2 布朗运动与分形	137
4.3 布朗运动与股票、期权	139
第四章 19 世纪物理学的成就和危机	144
§ 1 经典物理框架的完善	144
1.1 19 世纪物理学发展的特征	144
1.2 经典物理框架的完善	146
§ 2 世纪之交物理学的三大发现	147
2.1 电子的发现	148
2.2 X 射线的发现	152
2.3 放射性的发现	156
§ 3 世纪之交的两朵乌云	161
3.1 “以太漂移”的探索	162
3.2 黑体辐射规律的探索	166

中篇 现代物理基础

第五章 时空理论的变革之秀——相对论	177
§ 1 什么是相对论	178
1.1 从延拓相对性原理的涵义说起	178
1.2 狭义相对论的建立	180
1.3 时空可变释义	185
1.4 相对论动力学的主要结论	189
§ 2 引力场中的时空结构	191
2.1 等效原理和马赫原理	192
2.2 相对性原理的再延拓	193
2.3 时空结构的变更——弯曲时空概念的确立	194
† § 3 相对论时空观——现代文明的奇丽瑰宝	198
3.1 时空与物质运动	199
3.2 时空的动力学机制	199
3.3 相对性原理的延拓与物理学理论的发展	200

3.4 相对论建树对现代文明建设的影响	202
第六章 茫茫玉宇 谁主沉浮——相对论宇宙学概述	208
§ 1 广义相对论的大尺度印证	209
1.1 光线弯曲和引力透镜效应	210
1.2 引力辐射	211
1.3 天文新发现和广义相对论的再度辉煌	213
§ 2 标准宇宙模型	215
2.1 宇宙学原理和宇宙膨胀假说	216
2.2 宇宙红移及其哈勃定律	218
2.3 有限无界动态宇宙模型与现代宇宙观的确立	221
§ 3 黑洞探索方兴未艾	223
3.1 黑洞、白洞,交相辉映	224
3.2 黑洞与时空结构的奇异性	226
3.3 黑洞探索的宇宙学意义	228
第七章 现代物质观的理论基石——量子论	232
§ 1 量子概念,量子物理之灵魂	233
1.1 能量子和光量子	234
1.2 量子(定)态和量子跃迁	237
1.3 物质波和微观粒子的波粒二重性	239
1.4 波函数的概率解释和概率波概念	242
1.5 海森伯不确定性原理	246
§ 2 量子真谛,明乎霭乎	247
2.1 量子论的统计特色和测量特征	249
2.2 玻尔互补原理与观测概念之认定	250
2.3 “薛定谔猫佯谬”之解析与“物理实在”定义之修改	253
2.4 作用量子 h 释义	257
[†] § 3 量子场——物质存在的基本形式	258
3.1 场量子化与量子场论	259
3.2 真空——量子场的基态	261
3.3 相互作用描述方式的演变	262
[†] § 4 量子论与相对论的形式结合	264
4.1 相对论量子力学与正电子预言	264