

高等学校“十二五”规划教材

应用物理

薛兵 张晓军 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校“十二五”规划教材

应 用 物 理

主 编 薛 兵 张晓军

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共分为三篇,分别为热学基础,静电防护技术理论与静电应用技术,以及辐射度学、光度学和色度学基础。本书主要针对纺织材料和纺织品设计生产过程中所涉及的物理原理和相应技术问题,从纺织材料和制成品的加工到后处理,对于它们的功能化和去害化的原理进行了较为全面的讨论,并在原理的基础上对功能化和去害化的技术进行了一些探讨。

本书可以作为纺织工程设计和服装工程设计专业学生的教材和参考书,也可作为从事该专业工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

应用物理/薛兵,张晓军主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2012.2

高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2721-2

I. ① 应… II. ① 薛… ② 张… III. ① 应用物理学—高等学校—教材 IV. ① O59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 278521 号

策 划 戚文艳

责任编辑 戚文艳 李恩科

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 17

字 数 402千字

印 数 1~2000册

定 价 29.00元

ISBN 978-7-5606-2721-2/O·0120

XDUP 3013001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

纺织品的发展趋势是纺织材料和制成品的功能化、去害化和艺术化。针对这个发展趋势,西安工程大学物理系针对服装设计专业和工业设计专业开设了“应用物理”课程,其内容涉及纺织品生产和加工过程的热学、电学和光学等问题。通过本课程的学习,使学生对纺织品的物理性能有更深入的了解,对今后的产品设计打下坚实的基础。

众所周知,物理学是研究物质的基本结构、相互作用和物质最基本运动形式及相互转化规律的学科。物理学的研究对象具有极大的普遍性,因而物理学的研究成果和长期以来形成的一整套科学的思维方式和研究方法,不仅有力地推动了自然科学和生产技术的发展,而且在社会科学和艺术领域产生了深远的影响。

对于理工科类的服装设计和工业设计,从纺织材料的加工到制成品,其过程中必然会涉及材料的性能和制成品的功能,这些性能和功能都会对产品的多元化产生极其重要的影响,而这些性能和功能的改善和优化遵循物质运动的基本原理。从这些基本原理出发可赋予材料和制成品新的特性,从而满足市场的各种需求。但这些基本原理的实现还需进行大量的研究和实验工作,并从中寻求最佳方案。这必然会对设计者的思维方式和思想方法提出更高的要求。

如前所述,材料和制成品功能化是材料和制成品的的发展趋势。根据编者掌握的情况,目前对服装用品的功能化要求涉及热学、电学、光学、声学、电磁学及现代物理学的相关学科。针对这种发展趋势,本书对纺织材料和制成品所涉及的热学、电学和光学内容进行了较为全面的阐述,对产品的保暖与防寒、去静电危害以及制成品外观颜色等性能形成的机理进行了深入解读,在纺织品的设计和研发过程中给学生提供全新的思路和方法,从而开拓学生的思维,让他们从另一视角理解纺织品的设计。

书中还对物理美学进行了初探,这也是编者一个新的设想。美不仅体现在外表,更应体现于内在。自然与美是并存的,不应割裂自然与美的天然联系,而应实时体现出自然的美。

课题组在本书的编写过程中,将纯粹的大学物理学的内容进行了部分删减,增加了材料传热、导热、静电防护技术理论和静电应用技术以及颜色光学等内容。这些内容涉及材料和制成品的热性能、电学和光学性能,可以为纺织品的功能化提供有力支持。

本教材由薛兵、张晓军、王安祥、张崇辉共同编写,绪论由张崇辉编写,第一篇热学基础由张晓军编写,第二篇静电防护技术理论与静电应用技术由薛兵编写,第三篇辐射度学、光度学和色度学基础由王安祥编写,全书由薛兵、张晓军统稿。

由于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请读者指正批评!

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 热 学 基 础

第 1 章 温度	16	2.4 能量均分和理想气体的内能	31
1.1 热学基本概念	16	2.4.1 气体分子的自由度	31
1.1.1 系统与外界	16	2.4.2 能量按自由度均分定理	32
1.1.2 平衡态与状态参量	17	2.4.3 理想气体的内能	33
1.1.3 系统与外界相互作用的方式	17	思考题与习题二	34
1.2 热力学第零定律	18	第 3 章 热力学第一定律	37
1.2.1 基本概念	18	3.1 功和热量	37
1.2.2 热力学第零定律和温度的定义	19	3.1.1 热力学过程	37
1.3 温标	19	3.1.2 气体系统做功的表达式	38
1.3.1 经验温标	19	3.1.3 热量	38
1.3.2 热力学温标	20	3.2 热力学第一定律及其应用	39
1.3.3 各种温度间的换算关系	21	3.2.1 热力学第一定律	39
1.4 实用温度计	21	3.2.2 热力学第一定律的应用	39
1.4.1 热膨胀式温度计	21	思考题与习题三	45
1.4.2 电阻温度计	22	第 4 章 热量传递	47
1.4.3 热电偶温度计	22	4.1 热量传递的三种基本方式	47
思考题与习题一	23	4.1.1 热传导	47
第 2 章 气体动理论	24	4.1.2 热对流	48
2.1 宏观状态和微观状态	24	4.1.3 热辐射	49
2.1.1 分子运动论的基本观点	24	4.2 传热过程和传热系数	51
2.1.2 微观状态与微观量	25	4.2.1 传热过程	51
2.2 理想气体的压强	27	4.2.2 传热系数	52
2.2.1 理想气体分子模型	27	4.3 热阻	53
2.2.2 理想气体的压强公式	27	4.4 服装壁面的导热	56
2.3 理想气体的状态方程和温度公式	30	4.4.1 平壁的导热	56
2.3.1 理想气体的状态方程	30	4.4.2 圆筒壁的导热	57
2.3.2 理想气体的温度公式	30	思考题与习题四	59
2.3.3 方均根速率	31		

第二篇 静电防护技术理论与静电应用技术

第5章 静电起电理论	62	6.3.3 增湿	101
5.1 金属之间的接触起电	62	6.3.4 电离空气法	103
5.1.1 金属之间的接触	62	6.3.5 应用导电性材料消除静电	109
5.1.2 接触电位差的产生与计算	63	6.3.6 改变摩擦材料或摩擦条件 消除静电	110
5.2 金属与电介质的接触起电	65	6.4 消除纺织静电的化学方法	111
5.2.1 电介质等效功函数和离子 偶电层	66	6.4.1 防静电剂	111
5.2.2 接触起电量的计算	66	6.4.2 消电机理	111
5.3 介质与介质的接触起电	68	6.4.3 防静电剂的分类与性能	112
5.3.1 接触起电量的计算	68	6.5 导电性填充材料的应用	113
5.3.2 介质材料的静电起电序列	70	6.5.1 导电性填充材料	114
5.4 影响固体接触起电的因素	72	6.5.2 导电填充材料的防静电机理	115
5.4.1 摩擦的影响	72	6.6 防静电阻燃双功能服装面料	116
5.4.2 周围环境的影响	74	6.6.1 拼混兼容	117
5.5 固体起电的其它方式	75	6.6.2 络合兼容	117
5.6 固体静电的流散与积累	77	6.6.3 复合兼容	117
5.6.1 流散和积累的一般概念	77	思考题与习题六	118
5.6.2 介质内部静电电荷的流散与积累	78	第7章 静电应用技术	119
5.6.3 导体上静电电荷的流散与积累	80	7.1 静电植绒	119
5.7 人体起电	81	7.1.1 植绒原理	119
5.7.1 人体静电的定义及起电机理	81	7.1.2 设备加工工序	120
5.7.2 人体带电的静电规律	82	7.1.3 静电植绒织物的三组分	120
5.7.3 影响人体带电的主要因素	84	7.2 静电纺纱	121
思考题与习题五	84	7.2.1 静电纺纱工作过程	122
第6章 纺织静电的危害及防护	86	7.2.2 纤维在高压静电场中的行为	123
6.1 纺织材料的静电危害	86	7.3 静电印花	124
6.1.1 纺织材料静电效应的分类	86	7.4 静电除尘器	125
6.1.2 纺织材料在生产加工中的 静电障碍和危害	87	7.4.1 静电除尘器的工作原理	125
6.1.3 纤维制品在使用过程中的 静电障碍和危害	91	7.4.2 静电除尘器的类型	126
6.2 纺织静电的消除原理	92	7.5 静电喷涂	128
6.2.1 纺织材料的静电产生和流散	92	7.6 静电复印	130
6.2.2 纺织静电的评价指标	93	7.6.1 静电复印机的工作原理	130
6.2.3 影响静电指标的主要因素	94	7.6.2 静电复印机的分类	133
6.3 消除纺织静电的物理方法	97	思考题与习题七	135
6.3.1 机器接地	97	第8章 静电的测量	136
6.3.2 静电接地系统的各种阻值 及其取值	97	8.1 纺织静电测试概论	136
		8.1.1 纺织静电测量的特点	136
		8.1.2 纺织静电测试方法的分类	137
		8.1.3 纺织静电的测试标准	137

8.2 纺织材料静电性能的定性测试	137	8.3.1 静电电压的测量	140
8.2.1 放电声音测定	137	8.3.2 静电量的测定	144
8.2.2 烟灰试验	138	8.4 纺织材料电气特性参数的测量	147
8.2.3 吸尘试验	138	8.4.1 比电阻的测量	147
8.2.4 张帆试验	138	8.4.2 织物介电常数的测定	150
8.2.5 吸附金属片试验	139	8.4.3 静电半衰期的测定	151
8.3 纺织材料带电特性参数的测量	140	思考题与习题八	152

第三篇 辐射度学、光度学和色度学基础

第9章 辐射度学与光度学基础	154	10.1.2 反射比、吸收比及透射比	180
9.1 常用辐射量	154	10.1.3 绝对黑体	182
9.1.1 立体角	154	10.1.4 基尔霍夫定律	183
9.1.2 辐射度量的名称、定义、符号 及单位	154	10.1.5 黑体辐射定律	184
9.2 光谱辐射量和光子辐射量	160	10.2 朗伯辐射体及其辐射特性	186
9.2.1 光谱辐射量	160	10.2.1 朗伯余弦定律	186
9.2.2 光子辐射量	161	10.2.2 漫辐射源的辐射特性	186
9.3 视觉的生理基础	163	10.3 辐射量的计算	188
9.3.1 眼睛的构造及功能	163	10.3.1 辐射量的计算	188
9.3.2 视觉的形成	165	10.3.2 密闭空腔中的辐射为 黑体辐射	193
9.3.3 明视觉与暗视觉	165	10.4 发射率和实际物体的辐射	194
9.3.4 视觉的适应	166	10.4.1 半球发射率	194
9.3.5 视角	168	10.4.2 方向发射率	195
9.4 光谱光效率	169	10.4.3 朗伯辐射体的发射率	195
9.4.1 等亮曲线和等能曲线	169	10.4.4 热辐射体的分类	196
9.4.2 光谱光效率函数	170	10.4.5 人体皮肤和服装的辐射	198
9.5 光度量	172	思考题与习题十	199
9.5.1 光通量与辐通量的关系	173	第11章 色度学基础	201
9.5.2 发光强度单位坎德拉的新定义	173	11.1 光与视觉	201
9.5.3 光谱光视效能	174	11.1.1 可见光辐射	201
9.5.4 光通量的计算	175	11.1.2 视网膜的颜色感知特性	202
9.5.5 发光效率	177	11.1.3 颜色的分类和颜色特性	203
9.5.6 光出射度	177	11.1.4 颜色立体	204
9.5.7 光亮度	177	11.1.5 格拉斯曼颜色混合定律	205
9.5.8 光照度	177	11.2 颜色匹配	205
9.5.9 光量	178	11.2.1 颜色匹配实验	205
思考题与习题九	178	11.2.2 颜色匹配方程	207
第10章 热辐射的基本定律	180	11.2.3 色度坐标和色度图	208
10.1 黑体辐射的基本定律	180	11.2.4 三刺激值计算公式	209
10.1.1 热辐射	180	11.3 CIE 1931 标准色度系统	210

11.3.1	1931 CIE - RGB 系统	210	11.6.1	CIE 1931 色度图的不均匀性 ...	243
11.3.2	1931 CIE - XYZ 系统	213	11.6.2	CIE 1960 均匀色度标尺图	245
11.3.3	色度系统的转换	219	11.7	CIE 的均匀颜色空间	248
11.4	CIE 1964 补充标准色度系统	222	11.7.1	CIE 1960 UCS 系统的缺陷	248
11.5	CIE 色度的计算方法	227	11.7.2	CIE 1964 均匀颜色空间	249
11.5.1	物体色度坐标的计算	227	11.7.3	CIE 1976 均匀颜色空间	251
11.5.2	CIE 测色的参照标准和 观测条件	237	11.8	CIE 标准照明体和标准光源	254
11.5.3	混合色色度值的计算	238	11.8.1	色温和相关色温	254
11.5.4	主波长和色纯度	239	11.8.2	CIE 标准照明体和标准光源	256
11.6	CIE 1960 均匀色度标尺图	242	思考题与习题十一		262
参考文献					264

绪 论

1. 物理学的研究对象

自然界无限广阔, 丰富多彩, 形形色色的物质在其中不断地运动变化着。什么是物质? 大至日月、星辰, 小到分子、原子、电子, 都是物质。固体、液体、气体和等离子体, 这些实物是物质; 电场、磁场、重力场和引力场, 这些场也是物质。总之, 自然界的无数实物, 多种多样, 包罗万象, 都是运动着的物质的不同形态。

一切物质都是在不断地运动着、变化着的, 绝对不运动的物质是不存在的。日月的运行、江河的奔流、生物的代谢, 这些都是物质运动变化的例子, 正如恩格斯所说: “运动, 就最一般的意义来说, 就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说, 它包括宇宙中发生的一切变化和过程, 从单纯的位置移动直到思维。” 自然科学, 包括物理学在内, 是以认识物质世界的基本属性、研究物质运动的基本规律为对象的。物质运动复杂多样, 它们既服从共同的普遍规律, 又各自有其独特的规律, 对各种不同物质的研究, 形成了自然科学的各个学科。

物理学研究的是物质运动最基本、最普遍的形式, 包括机械运动、分子运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等等, 显然这些运动并非都是简单的。物理学所研究的运动, 普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式中, 因此, 物理学所研究的规律具有极大的普遍性。

物理学研究的最大空间尺度是宇宙, 约 10^{26} m (约 150 亿光年), 最小空间尺度是夸克, 约 10^{-20} m, 跨度达 46 个数量级。物理学按空间尺度把物质世界分为宇观体系、宏观体系和微观体系。物理学研究的最长时间尺度是宇宙的年龄, 约 10^{18} s (约 150 亿年), 最小时间间隔是硬 γ 射线的周期, 约 10^{-27} s。

2. 物理学的地位

物理学是除数学以外一切自然科学的基础, 是现代科技的先导, 也是当代工程技术的重要支柱。物理学课程不仅是理工农医各专业重要的基础课程, 而且是培养大学生科学精神、科学思维方法、创新能力的素质课。它在培养学生树立科学的世界观, 增强学生分析问题和解决问题的能力, 培养学生的探索精神和创新意识等方面, 具有其他课程不可替代的重要作用。对物理学的这个评价并不为过, 物理学的新发现, 它所产生的新概念及新理论, 常发展为新的学科或学科分支。它的基本概念、基本理论和实验方法向其他学科或技术领域的渗透总是毫无例外地促成该学科或技术领域革命性的变化, 甚至是里程碑式的进步。回顾物理学发展的全过程; 可以加深我们对物理学重要性的认识。

物理学的发展已经历了三次突破。在 17、18 世纪, 由于牛顿力学的建立和热力学的发展

展,不仅有力地推动了其他科学的发展,而且适应了研制蒸汽机和发展机械工业的社会需要,引起了第一次工业革命,极大地改变了工业生产的面貌。到了19世纪,在法拉第-麦克斯韦电磁理论的推动下,人们成功地制造出了电机、电器和电信设备,引起了工业电气化,使人类进入了使用电的时代,这就是第二次工业革命。20世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对原子、原子核结构的认识日益深入,在此基础上,实现了原子核能和人工放射性同位素的利用,促成了半导体、核磁共振、激光、超导、红外遥感、信息技术等新兴科技的发明,许多边缘科学发展起来了。新兴工业犹如雨后春笋,现代科学技术经历了一场伟大的革命,人类进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间科学等高新技术的时代。物理学是一切自然科学、技术科学、工程技术、现代物质文明的基础。

物理学课程的本质决定了物理学思想方法教育具有重要的地位和作用。物理课程具有科学的品格,更具有教育意义上的文化品格,它既是一项掌握知识和技能的活动,更是一种价值活动或文化活动。因此,学生学习物理知识和技能,掌握物理学的方法本质上都是在特定的物理情景中发生的文化行为和文化活动。在这种文化活动中,学生在学校学习物理学的过程就是生命存在的一种方式,是学生把自己作为主体与学习内容的课题融为一体的过程,它的价值目标最根本的取向是学生在物理世界中发展人的主体精神和展现人的生命价值。因此,从文化的意义上看,物理课程作为文化主体的存在,承担着文化构建的使命。物理学课程以它特有的科学内容、科学思想方法和内在的科学精神以及情感动力能够赋予个体生命以价值、尊严、自由和创造力。

教育部教学指导委员会在《大学物理基本要求》中也写道:“在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列科学的世界观和方法论,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,是人类文明发展的基石,在人才的科学素质培养中具有重要的地位。”

3. 物理学研究方法

物理学研究方法遵从实践—理论—实践的认识法则。具体地说,物理学的理论,就是通过观察、实验、抽象、假说等研究方法并通过实践的检验而建立起来的。观察和实验是科学研究的基本方法。观察是指对自然界中所发生的某种现象,在不改变自然条件的情况下,按照它原来的样子加以观测研究,例如对天体和大气中的现象一般采用观察的方法进行研究,而且随着科学技术的发展,观察的手段也更加先进和准确。

实验是在人工控制的条件下,使现象反复重演,进行观测研究。在实验中,常把复杂条件加以简化,突出主要因素,排除或降低次要因素的作用,这是一种非常重要的研究方法。例如,在利用单摆测定重力加速度的实验中,决定单摆振动周期的主要因素是摆长和重力加速度。至于摆线的质量和可延伸性、摆锤的大小和质量以及摆的幅度等,对振动周期虽然也有影响,但都是次要的因素。在实验中,我们必须选用适当的摆长,不宜太长也不宜太短,用伸长小的绳子做摆线,用直径较小的球做摆锤,并使摆做小幅度振动,这样就可以得到较准确的结果。

抽象方法是指根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立一个与实际情况差距不大的理想模型来进行研究。例如,“质点”和“刚体”都是物体的理想模型。把物体看做“质点”时,“质量”和“点”是主要因素,物体的“形状”和“大小”是可以忽略不计的次要因素。把物体看做“刚体”(即形状和大小均保持不变的物体)时,

物体的“形状”、“大小”和“质量分布”是主要因素，物体的“变形”是可以忽略不计的次要因素。在物理研究中，这种理想模型是十分重要的。

为了寻找事物的规律，在还没有现有理论能够解释的情况下，对于现象的本质所提出的一些说明方案或基本论点等，统称为假说。假说是在一定的观察、实验的基础上提出来的，进一步的实验论据对这些假说进行修改。在一定范围内经过不断的检验，经证明为正确的假说，最后上升为定律，或成为理论的一部分。安培提出的分子电流假说以及从它推出来的结果，因为能够很好地解释磁现象的本质，经大量实验证明是正确的，故成为电磁理论的一部分；量子假说的建立和量子理论的演变发展为量子理论。在科学认识的发展过程中，假说是很重要的甚至是必不可少的一个阶段。

物理定律一般是指实验定律，是实验事实的总结，说明某些现象之间的相互联系，或说明某些物理量之间的关系，常用文字或数学公式的形式来表述。由于实验条件、实验精度的限制，物理定律有其近似性和局限性，但在一定程度上能够反映客观实在的规律性。物理学理论是通过许多不同的而相互有关的现象的研究，从一些已经建立起来的定律中，经过更为广泛的概括而得到的系统化的知识。体系完整的理论往往可以从少数几条比较简单的基本原理出发，说明一定范围内的现象，并且还能在一定程度上预言未知现象的存在，进一步指导新的实践。例如麦克斯韦电磁场理论，不仅能解释各种电现象和磁现象之间的关系，而且预言了电磁波的存在及其传播速度，并终于为实验所证实。

从观察、实践、抽象、假说到理论，物理学的研究并没有结束，理论将继续受到实践的检验，如果实践中所发现的事实与理论有矛盾，这个理论就必须修改，有时候甚至要放弃原有的理论，而建立更能反映客观实际的新理论。20 世纪以来，近代物理学中的许多重大成就，例如相对论时空观和物质的波粒二象性的确立、基本粒子相互转化的实验和理论等都是些重要例子。

4. 物理量和量纲

物理量是通过描述自然规律的方程或定义新量的方程而彼此联系的。为指定单位制和引入量纲的概念，国际标准单位制(SI)中通常把长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度 7 个量作为相互独立的基本量，将它们的单位作为基本单位。其它量则根据定义或借助方程表示，并称为导出量，导出量的单位称为导出单位。

任一物理量 Q 可以用其他量以方程式的形式表示，这一表达式可以是若干项的和，每一项又可表示为选定的一组基本量(如 $A, B, C, \dots$)的乘方之积，有时还乘以数字系数 ξ ，即

$$Q = \xi A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

每一项中基本量的指数($\alpha, \beta, \gamma, \dots$)各不相同。因此，导出量的单位也可以由基本单位(包括它的指数)的组合来表示，其关系式就称为该量的量纲。量 Q 的量纲表示为基本量的量纲积，即

$$\dim Q = (A)^\alpha (B)^\beta (C)^\gamma \dots$$

式中 $(A), (B), (C)$ 表示基本量 A, B, C 的量纲，而 α, β, γ 则称为量纲指数。所有量纲指数都等于零的量为无量纲量，其量纲积或量纲为 $(A)^0 (B)^0 (C)^0 \dots = 1$ 。7 个基本量长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度的量纲分别用 L, m, t, I, T, n 和 I 表示，而导出量 Q 的量纲一般形式为

$$\dim Q = L^\alpha m^\beta t^\gamma I^\delta T^\epsilon n^\zeta I^\eta$$

表 1 列出了本书中常用的物理量名称、符号及单位。

表 1 物理量的名称、符号和单位

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l, L	米	m
面积	$A(S)$	平方米	m^2
体积, 容积	V	立方米	m^3
时间	t	秒	s
速度	v, u, c	米每秒	$m \cdot s^{-1}$
加速度	a	米每二次方秒	$m \cdot s^{-2}$
周期	T	秒	s
频率	f, ν	赫[兹]	Hz
波长	λ	米	m
振幅	A	米	m
质量	m	千克	kg
密度	ρ	千克每立方米	$kg \cdot m^{-3}$
动量	p	千克米每秒	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$
冲量	I	牛[顿]秒	$N \cdot s$
力	F, f	牛[顿]	N
力矩	M	牛[顿]米	$N \cdot m$
压力, 压强	p	帕[斯卡]	Pa
功	W, A	焦[耳]	J
能[量]	E, W	焦[耳]	J
功率	P	瓦[特]	W
热量	Q	焦[耳]	J
热力学温度	$T(\theta)$	开[尔文]	K
摄氏温度	t, θ	摄氏度	$^{\circ}C$
热容[量]	C	焦[耳]每开[尔文]	$J \cdot K^{-1}$
摩尔质量	M	千克每摩[尔]	$kg \cdot mol^{-1}$
热导率(导热系数)	λ, κ	瓦[特]每米开[尔文]	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
电量	Q, q	库[仑]	C

续表

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
电流	I, i	安[培]	A
电压, 电势差	V, U	伏[特]	V
电荷密度	ρ	库[仑]每立方米	$C \cdot m^{-3}$
电场强度	E	伏[特]每米	$V \cdot m^{-1}$
电容	C	法[拉]	F
电容率(介电常数)	ϵ	法[拉]每米	$F \cdot m^{-1}$
电阻	R	欧[姆]	Ω
发光强度	I	坎[德拉]	cd
辐[射]出[射]度	M	瓦[特]每平方米	$W \cdot m^{-2}$
辐[射]照度	E	瓦[特]每平方米	$W \cdot m^{-2}$

5. 物理学之美

物理学除了具有承载基本科学知识的“工具价值”外,更具有“理性价值”,一门课程就是一种文化,物理学就是一种科学文化,具有科学的品格,更具有有一种教育意义上的文化品格。大自然是美的,大自然的规律也是美的,物理学研究的是自然界最基本、最普遍的规律,因此,物理学应该是最美的。

培养创新型人才,开展现代新型人才的素质教育,国家提倡开展在理科、工科学生中渗透艺术教育和在艺术类学生、文科学生中贯穿科学教育,因为在人类文明的发展史上,艺术和科学同宗同源,正如诺贝尔奖获得者李政道教授所说:“事实上,如同一个硬币的两面,科学和艺术源于人类活动最高尚的部分,都追求着深刻性、普遍性、永恒和富有意义。”艺术阐释视觉的世界,物理学描述其不可见的作品,物理学和艺术就像缠绕在同一棵树上的两根藤蔓,它们彼此相望,共同向上,科学和艺术对外部世界的探讨殊途同归,以各自相对独立而又相似的范式,分别得到了在本质上相同(或相近)的结果。

爱因斯坦也曾指出:“音乐和物理学领域中的研究工作在起源上是不同的,可是被共同的目标联系着,这就是对表达未知的东西的企求。……这个世界可以由音乐的音符组成,也可以由数学的公式组成。”这就是说,科学和艺术都以各自的同构方式,从不同的侧面来反映大千世界中无数现象背后的两种秩序:精确的、严格的秩序和混沌的、奔放的秩序。它们共同支撑着世界的运动。因此,科学与艺术,无疑是人类文化世界中的两朵奇葩,是同一文化母体所孕育出的一对“孪生兄妹”,它们有差异,就像天上的云和地上的冰。然而它们却拥有共同的根基,它们都生长在社会生活的土壤中,都从哲学的枝叶上吸收养分,摄取阳光,它们之间荣枯相依,兴衰与共。科学创造和艺术创造一样,它们都是为了在纷乱中找出秩序,在杂乱中理出统一,从现象中揭示本质,都是为了认识世界和改造世界。“功夫不负有心人”,就像画家能把他的情感变成形状和颜色,诗人能把他所感受到的最深刻的东西用和谐的字句表达出来一样,“作为对决心献身科学研究事业的人们的奖赏,大

自然将在你的眼前敞开自己身处的奥秘，展现出自己奇妙的匀称、和谐一致的结构，展示出无以伦比的瑰丽——用各式各样的现象组成一幅统一的宇宙的壮丽图画。”因此，“科学探索本身也充满了诗意”，物理学同样处处展现着深层次的美。

“千载苦琢白玉壁，一朝竞放紫罗兰。”由历代物理学艺术大师所精心雕琢的物理学大厦可谓是一座辉煌壮丽的科学殿堂。只要我们对它进行全面的审美观察和审美评价，就不难发现，物理科学中处处都有美的印迹。确实物理学是很美丽的，在物理学的发展过程中，物理学家在探索物理学规律的艰辛旅程中，总是伴随着对美的热烈追求。例如，哥白尼与托勒密地心说的决裂，就是有其执着追求美的因素，他深信完美的理论在数学上应该是“和谐和简单的”；托勒密为了解释天文观察的结果，引入了许多“均轮”、“本轮”，使得天文学既复杂又失恰；因此，在极端困难的条件下，哥白尼苦心孤诣，研究了三十多年，终于建立了不朽的日心说；后来，开普勒深切感受到日心说的美，毅然抛弃了从他的老师第谷那儿接受的地心说观点，他说“我从灵魂的最深处证明它是真实的，我以难以想象的心情去欣赏它的美”。

(1) 距离产生美感。人们喜欢秩序，厌恶混乱；喜欢简洁，厌恶繁杂。大千世界，千变万化盘根错节，如何理出头绪，显出框架呢？每当秋夜人静独自遥望星空，深邃的天际布满了星星，她们是那么的遥远、神秘，而又那么的清晰、实在，你会体验到一种无法替代的美感，这要归功于“遥望”，因为“遥望”使你能从总体上把握万物的真谛。苏东坡的名句：“不识庐山真面目，只缘身在此山中。”《物理学》就是要识大自然的真面目，那只有站在理性的高度“遥望”、鸟瞰宇宙万物，从中抽象出各种模型：质点、刚体、黑体、谐振子、理想气体等，使人感受到大千世界的颗颗“星星”在闪烁。在《物理学》的天地里，小到原子大到太阳都可以有同一名称——质点；帕瓦罗蒂的歌声和朦胧的月光可以有相同的称呼——波，这是何等的简练何等的气魄，使人想起八大名人山水画，寥寥几笔，辽阔而幽深；想起林风眠的《鹭鹭》，潇洒、大气；想起传统京剧，有形而又无形。

(2) 对称、平衡、和谐乃是人类共通的审美标准。古希腊对匀称、丰满的人体美的仰慕；古罗马的建筑；哥德式的教堂；中国的宫殿和庙宇(如图 1 所示)；《物理学》中的对称、平衡的理念更是处处可见：作用力与反作用力；正负电荷：S 极与 N 极；粒子的左旋、右旋；微观世界的 CPT 对称(如图 2 所示)；正物质与反物质(如图 3 所示)，黑洞与白洞；等等，而最为典型的要数电磁场理论，如表 2 所示。就连为电磁场理论最后润笔的麦克斯韦在为变化的磁场假设了感应电场后，也没忘了为变化的电场假设一个位移电流，以求平衡。如此工整的对称就像一幅上乘的对联，难怪有人惊呼这样完美的规律究竟是物质世界所固有的，还是人类发明的？

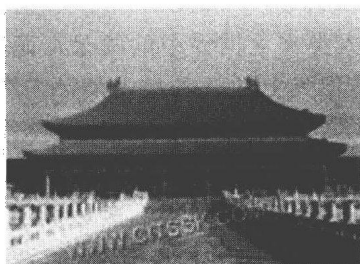


图 1 故宫太和殿

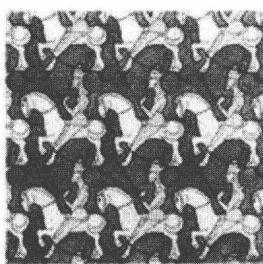


图 2 埃舍尔的《骑士》(CPT 对称)

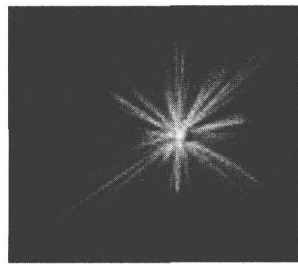


图 3 正物质与反物质

表 2 电磁场理论的对称性

电 场	磁 场
电场强度 $E = \frac{F}{q}$	磁感应强度 $B = \frac{M}{p_m}$
电位移 $D = \epsilon E$	磁场强度 $H = \frac{B}{\mu}$
电通量 $\Phi_e = \iint_S E \cdot dS$	磁通量 $\Phi_m = \iint_S B \cdot dS$
电容 $C = \frac{q}{U}$	电感 $L = \frac{\Phi}{I}$
电场能量 $\frac{1}{2} CU^2, w_e = \frac{1}{2} DE$	磁场能量 $\frac{1}{2} LI^2, w_m = \frac{1}{2} BH$
电场高斯定理 $\oiint_S D \cdot dS = \sum q_i$	稳恒磁场安环定律 $\oint_L H \cdot dl = \sum I_{in}$
静电场环流定理 $\oint_L E \cdot dl = 0$	磁场高斯定理 $\oiint_S B \cdot dS = 0$

1927 年,魏格纳指出了宇称的守恒;1956 年杨振宁和李政道指出,有些基本粒子在左右手系统中会有不对称行为。不久,实验证实了这个预言。在李政道和杨振宁的震惊物理学界的论文中有一段富有浓厚哲理性的文字:“If such asymmetry is indeed found, the question could still be raised whether there could not exist corresponding elementary particles exhibiting opposite symmetry such that in the broader sense there will still be overall right-left symmetry.”(如果发现了这种不对称,那么我们要问,是否相应地还存在着另一类表现相反不对称的基本粒子行为,从而在更广泛的意义上,仍旧保持着总的左右对称。)二位因发现某些不对称而一鸣惊人的物理学家,在他们的成名论文中所想到的所追求的却仍然是对称和平衡,更大范围的对称、平衡,这种对大自然的和谐所怀有的坚定信念仅仅说是出自对实验数据的忠诚,恐怕是不够的,与二位怀有同样坚定信念的前辈们牛顿、莱布尼茨、麦克斯韦、爱因斯坦、普朗克、玻尔、海森伯,如能读到这段文字,定会感到由衷的欣慰。

(3) 稳定感乃是人类审美心态中又一要素。她表现为对封闭、独立系统的向往;表现为绝对客体的皈依和崇拜,也许是长期的农业文明在人类审美心态上留下了厚厚的积淀,一个独立、封闭系统,自给自足的系统比一个无边界、无制约的开放系统更有安全感、稳定感。莱茵河畔的古堡,北京的四合院,中国的长城乃至联合国宪章规定的一百多个大小国家的边界不可侵犯,互不干涉内政等等都体现了这类心态。经典物理学所受到的影响也是明显的:在合外力为零的系统内,动量守恒;在合外力做功为零,非保守内力做功为零的系统里机械能守恒;在合外力矩为零的系统内,角动量守恒,乃至整个宇宙(有限)中,质量(能量)守恒,电荷守恒,却很少有人怀疑:为何宇宙的质量、电荷从一开始(如果有开始的话)就是恒定了的?以后不可改变?而这个恒量又是谁来定的呢?这恐怕已经不仅是个实验物理学的问题,而更是个信念问题:人们相信这一点,人们愿意相信这一点。“守恒”,可使人深感物质世界的实在、可知和稳定,让人想起中国赠送给世界的礼物——世纪

宝鼎，古朴、浑厚、可靠。

二千多年前孔子望着川流不息的江河感慨：“逝者如斯夫，不舍昼夜”。每个人都被时空的急流裹卷着不息向前，每个人都渴望这川流中出现几块永恒的岩石可供攀附、依靠，于是“上帝”出现了，“真主”、“佛祖”出现了，因为人类太需要一个永恒的绝对的权威供灵魂皈依，尽管这些“岩石”都只是幻想中的虚像，科学家、物理学家更喜欢实像。经过几代优秀物理学家的智慧和努力，一块块实在的“岩石”出现了，这就是宇宙普适常数、真空中光速、普朗克常数、引力常数、电子电荷；电子静止质量；质量静止质量；中子静止量；阿伏加德罗常数；波尔半径；电子磁矩；核磁子；摩尔气体常数；玻尔兹曼常数；精细结构常数；里德伯常数等。这些自然常数是大自然有意无意泄露的最高机密，不过大自然只泄露给用全部生命与之拥抱的人，如玻尔兹曼、普朗克、爱因斯坦等，在爱因斯坦前，人们相信绝对参照系——“以太”，光就在其中传播，谁也没有认真怀疑过寻找过她，直到二十世纪初的迈克尔逊—莫雷实验，两位物理学家的著名实验没有得到预期的结果——没有“以太”，试图解释这一实验现象的人们绞尽脑汁、千方百计，但始终不肯放弃“绝对”的信念，其中包括爱因斯坦：即便没有一个绝对惯性系，也该有个绝对的变化率——绝对速度——光速，爱因斯坦成功了，相对论诞生了，人们也接受了，因为人们觉得这只不过是以一个绝对的“最快”代替了原来心目中的绝对“最大”，而“绝对”依旧，“岩石”仍在，皈依没变！

(4) 韵律与节奏。曾经有人问爱因斯坦“死亡意味着什么”？爱因斯坦脱口而出：“死亡意味着再也听不到莫扎特的音乐了”，十七、十八世纪德意志不朽的节奏和旋律，激励并哺育了这个时期西方几乎所有伟大的灵魂，并久久地震撼着整个世界；在东方，每当传来京剧唱腔，纳凉的老人们一个个摇头晃脑用蒲扇拍着大腿，享受着韵味、韵律、节奏和层次感——全人类不可或缺的精神食粮，这也许是出于生命的律动——呼吸和脉搏。《物理学》要把握的是大自然的脉搏：宇宙的运行是平稳滑动的、无级变化的还是跳跃的分立的？宇宙是否也有本身的节奏？天地是否也有其内在的节拍？1900年12月26日，普朗克响亮地给予肯定的回答，他从黑体辐射的“紫外灾难”中找到一个“小精灵”——普朗克常数(h)，接着，爱因斯坦解释光效应，康普顿解释电子散射，玻尔解释氢原子结构——乃至整部量子理论、量子力学都还真离不开她(h)，她告诉人们原来这个世界(能量、质量、电量、动量、角动量……)不是连续的，而是一节一节、一段一段、一级一级分立的、量子化的，最小的单元就是 h ，她为谱写宇宙奏鸣曲立好了节奏，定好了基调。接着我们看到玻尔的氢原子谱线图：相对基态能级($n=1$)有赖曼系；相对第二能级($n=2$)有巴耳末系；相对第三能级($n=3$)有帕邢系……。他给人的层次感、韵律感简直就像《红楼梦》丰富多彩的人物关系图。再看波函数，他把粒子的波动性(几率波)展现得如此完美，在定态一维势阱里的电子($n=3$)在三个几率最大处有节奏的停顿，简直就是在跳华尔兹——蓬，擦，擦；……于是一幅电子几率分布图出现了，普朗克常数问世近一个世纪了，但以她为序曲的宇宙奏鸣曲可能还只刚刚演奏了第一乐章，人们期待着物理学家们为本世纪谱写更壮丽的新乐章。

(5) “无限”，“无穷”——本能的想往。“落霞与孤鹜齐飞，秋水共长天一色”，唐代神童王勃的千年绝句把视野引向朦胧的天边，把思绪引向无穷、无尽、无限和无数，我们仿佛看到在一块无比光滑的无限大平板上，放着一钢球，伽利略一推，钢球保持初速直线向前，向前……直到无边。“外力只能改变速度，而不能维持速度”。一个引向无限的“思想实验”否定了近二千年来亚里斯多德的经验结论，牛顿力学三大定律从这里开始了，将实验(经

验)现象合乎逻辑地引向无限、无穷和无数,这是王勃带给我们的深远意境,也是伽利略带给我们的博大美感,可以说整个经典物理学就是从这里开始的:牛顿从苹果有引力,地球有引力,月亮有引力……引向无数——万有引力(他并没对万物作过实验);将辐射体的单色吸收比引向无限,我们得到“黑体”;将一热循环分解为无限多个卡诺循环,我们得到“熵”;将子波数引向无数,我们得到惠更斯原理等等,所有这些究竟是我们看到的,还是我们想到的?也许都是,“欲穷千里目,更上一层楼”,直到看到的和想到的融为一体;直到人们的思想、观念和大自然的客观存在融为一体;直到“天、地、人”三者浑然一体!

追求简洁和秩序,喜爱匀称和谐,皈依“绝对”和“永恒”,情系节奏和韵律,想往“无限”和“无穷”,这些全人类真实的精神本性,共同的审美情感,在物理学家们全身心投入探索物质世界的真谛时,不可能无所流露,尽管《物理学》是一门实验性科学,实验为其出发点和归宿点,然而从起点至终点的漫长过程呢?这不能不是个经受人们群体意志(共同审美标准)比较筛选的过程,不能不是个淘汰那些缺乏美感和时代感的学说的过程,不能不是个人们按自己的审美观从全部宇宙真理中挑选部分真理的过程。普朗克说:“所有物理学的真理都是可以商榷的。”谁来商榷?当然是人(们)与人(们)商榷,那么商榷的结果就不能不带有群体审美意志的深深烙印,群体意志是意志,但又不是任何个人的意志,她对于任何一个人来说是客观存在的、物质的。从这个意义上说它也是物质世界的一部分。

中国传统山水画中常会出现二、三个人的,比例很小、着墨不多,与山水融为一体,使人回味无穷:人(包括人们的意志)不是宇宙的主宰,而是宇宙的一部分,大自然的真谛乃是包括群体意志在内的所有客观存在的总和。人们总是按照美的原则来认识世界,改造世界的,“判天地之美,析万物之理。”这就是《物理学》。

6. 欣赏物理学的美

物理学美来自于物理学研究对象的美感;来自于物理学问题的美;来自于物理学研究方法的美;来自于物理学实验的美;来自于物理学思维的美;来自于物理学理论和物理学公式的美;来自于物理学的哲学美;来自于物理学技术应用的美。

卢瑟福用实验证明了原子由原子核与电子所构成,原子核居中,电子在外。但原子的结构究竟是怎样的呢?最初认为原子的结构和太阳系相仿,原子核就好比太阳,而电子就像行星那样在各自的轨道上绕原子核旋转。但与经典的电磁理论发生了矛盾:绕核运动的电子应该辐射出电磁波,因此它的能量要不断减少,电子绕核运动的轨道半径也会减小,于是电子将沿着螺旋线的轨道落入原子核,这样看来,原子应当是不稳定的,而实际上原子是稳定的。幸而不久迎来了量子力学,对电子这样的微观粒子的行为作了完全不同的描述。原来电子根本没有一定的位置,也没有一定的运动轨道。原子中的电子就好像云雾般弥漫在原子核外的空间,形成所谓“电子云”。电子到底在哪儿?科学家们众说纷纭,还是诗人说得好:“只在此山中,云深不知处。”你看,电子云的意境很朦胧飘逸吧!

物理学人深有体会,物理亦文化,物理往往以各种形式艺术化,处处融入美学元素,从艺术性方面来看物理学,也会发现其最美的一面。

(1) 物理学蕴涵着艺术化的概念与模型。艺术化的物理学概念与模型,可谓是物理科学美的一大特色。由于文学在所有艺术中是最富有思想性的艺术,它在内容上和表现形式上比起其它艺术都远较广阔。每一种内容、一切精神事物和自然事物等等均可纳入其中,并加以形象化。它最主要的审美特征在于使表现对象具有形式的极大自由与内涵的极