

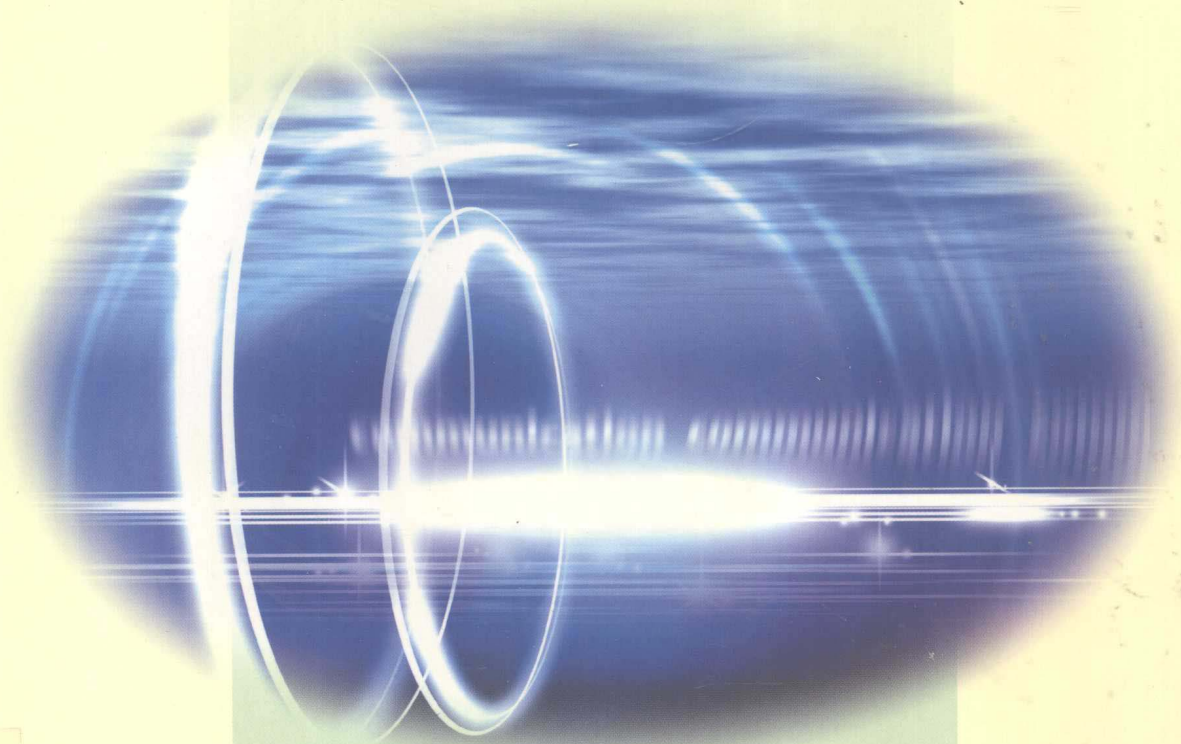


全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教学指导委员会审定

大学物理学

习岗 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

大学物理学

习 岗 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理学/习岗主编. —北京: 中国农业出版社,
2004. 6
全国高等农业院校教材
ISBN 7-109-08957-6

I. 大... II. 习... III. 物理学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 047035 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)
出版人: 傅玉祥
责任编辑 朱 雷

北京智力达印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 23.25

字数: 552 千字

定价: 32.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本教材是全国高等农林院校十五规划教材。全书共分连续体力学、气体动理论、热力学、静电场、恒定电流、稳恒磁场、电磁感应、振动与波动、波动光学和量子物理基础 10 章内容。本教材既注重系统阐述物理学的基础理论，又注意到物理学新思想、新方法和新技术的介绍。每章都深入浅出地讨论一些与之相关的生物科学和农林科技中的具体应用，涉及环境、生命、生态、能源和信息等热点问题。内容新颖，特色明显。

本教材可作为高等农林院校农林牧医及生物类各专业的《大学物理学》教材或教学参考书，对农林和生物学科技工作者也有参考价值。

编写人员

主 编 习 岗 (华南农业大学)

副主编 潘建斌 (河南农业大学)

杨学工 (湖南农业大学)

韩学孟 (山西农业大学)

参 编 李耀维 (山西农业大学)

杨初平 (华南农业大学)

柴丽娜 (北京农学院)

陈志伟 (河南农业大学)

前 言

物理学是整个自然科学的基础,是人类认识自然、改造自然和推动社会进步的动力和源泉,物理学理论及其所创立的世界观和方法论在培养学生的科学素质等方面起着极为重要的作用。因此,《大学物理学》是高等院校中一门必修的公共基础课。

21 世纪科技发展的基本特征是交叉与融合,各门学科之间的关系将日益密切,科学与技术将在许多方面获得突破,人类的科技知识总量成几何级数增长,学习将成为人们的终生行为。在这种情况下,高等教育惟有拓宽基础、淡化专业,加强基础课的比重,才能培养宽口径、厚基础、强适应的高素质人才。

本书是为高等农林院校农、林、牧、医、生物、生态、环保等专业编写的《大学物理学》教材,也是全国高等农林院校十五规划教材。由于 21 世纪生物科学和农林科技的发展,要求高等农林院校必须培养具备宽厚知识基础、扎实专业技能和较强综合分析能力和适应能力的复合型人才,这就对高等农林院校的大学物理学课程教学提出了新的标准。高等农林院校大学物理学课程教学的基本目标应是使学生较系统地学习物理学的基本内容、研究方法和工作语言,掌握人类所处的自然环境中的基本自然规律(特别是宏观自然规律),同时安装好了解现代科学技术发展的“窗口”以及物理学与生物科学和农林科技相结合的“接口”。

为了实现上述目标,本书在内容上编排了连续体力学、气体动理论、热力学、静电场、恒定电流、稳恒磁场、电磁感应、振动与波动、波动光学和量子物理基础 10 章内容,这些内容基本上包括了高等农林院校所要求的教学内容。考虑到高等农林院校的教学时数、学生基础等方面的因素,在每章的编写上,本书力求做到内容精练,深浅度适宜。

在精练内容的前提下,努力扩大教材的信息量,积极引进物理学研究的新思想、新成果和新技术,使教材具有时代特征是本书编写的一个基本思想。对此,本书通过两种做法来实现。一是在阐述基本内容之后,做适当的延伸。延伸部分用其他字体表述,以与基本内容相区别;二是列出可供深入查阅的参考文献,供有兴趣的读者进一步追踪。这种做法使教材具有很大的伸缩性,既突出了必须掌握的基本内容,又给教师和学生提供了较大的知识扩展空间。

在高等农林院校的大学物理学教材中如何安装物理学与生物科学和农林科技发展相结合的“接口”一直是一个难点。本书力求在这方面有所突破。本书的做法是在每章正文部分讲清物理学知识以后不失时机地联系与之相关的生物科学和农林科技中的问题。同时在每章结束后以阅读材料的形式较全面地讨论与本章教学内容相关的一些现代农业和生物学中的热点问题。当然,为了不冲淡物理学教学内容的主导地位,这些部分以其他字体列出,以供选读。

突出物理学的人文特征是本书希望做到的另一点。为此,本书采用夹叙夹议的方式引入一些科学史上的人文佚事、科学思想,希望这方面的努力能使教材更加生动有趣,具有亲和力。

21 世纪的科技发展日新月异,高等院校人才培养模式在不断变化,大学物理学教材也在不

断进行改革,教材改革中的所有做法都是尝试。我们希望本书能够成为一本特色明显、较受欢迎的教材。当然,本书的编写思路和具体做法是否恰当,有待于在教学实践中检验。

本书的编写分工如下:

- 绪 论 习 岗教授
- 第一章 柴丽娜副教授、韩学孟副教授
- 第二章 习 岗教授
- 第三章 韩学孟副教授
- 第四章 杨学工副教授
- 第五章 习 岗教授、李耀维副教授
- 第六章 潘建斌副教授
- 第七章 李耀维副教授
- 第八章 李耀维副教授
- 第九章 杨初平博士、陈志伟副教授
- 第十章 杨初平博士

最后,习岗教授对各章内容进行了修改与补充,总撰定稿。

由于本书是一本教材,在编写过程中我们借鉴和吸纳了许多相关教材和参考文献的内容。在此,我们对这些教材和文献的作者表示衷心地敬意和感谢。

由于作者水平所限,书中难免有缺点和不足之处,恳望读者指正。

编 者

2004年2月

目 录

前 言

绪 论	1
一、物理学的研究对象	1
二、物理学与技术和社会的关系	3
三、物理学的研究模式	4
四、为什么和怎样学习大学物理学	5
第一章 连续体力学	8
第一节 固体的弹性	8
一、固体的结构	8
二、应变与应力	11
三、晶体的拉伸与压缩	13
四、生物材料的应力与应变关系	14
第二节 静止液体的性质	16
一、液体的结构	16
二、液体的压强	19
三、液体的表面张力	21
四、拉普拉斯公式	22
第三节 液体的流动性质	25
一、液体的定常流动	25
二、连续性原理	26
三、伯努利方程	26
第四节 液体的黏滞性质	29
一、牛顿黏滞定律	29
二、泊肃叶公式	30
第五节 物体在黏滞液体中的运动	34
一、斯托克斯公式	34
二、雷诺数和流体相似率	35
三、生物体系的雷诺数	36

阅读材料 A 液晶与生物膜	37
一、液晶及其分类	37
二、生物膜及其相变	40
思考题一	41
练习题一	41
参考文献	43
第二章 气体动理论	44
第一节 气体的微观图像与宏观性质	44
一、气体的微观图像	44
二、理想气体的压强	47
三、理想气体的温度	49
四、真实气体的状态方程	52
第二节 气体分子的统计规律	57
一、气体分子速率的分布规律	57
二、能量均分定理	64
第三节 气体分子的输运规律	67
一、气体的黏滞现象	67
二、气体的热传导现象	68
三、气体分子的扩散	69
阅读材料 B 农业和生物学中的热传导	71
阅读材料 C 气体在植物叶组织的扩散	72
思考题二	75
练习题二	76
参考文献	77
第三章 热力学	78
第一节 热力学第一定律	78
一、热力学第一定律	78
二、理想气体的热功转换	82
三、大气绝热模型与干热风的形成	88
四、焓	91
第二节 热力学第二定律	92
一、循环过程 卡诺循环	92
二、热力学第二定律	96
第三节 熵	100
一、卡诺定理	100

二、克劳修斯不等式 熵	100
三、熵的微观本质	102
四、熵的计算	103
五、熵与生命	106
六、信息熵	107
阅读材料 D 吉布斯自由能及其在农业和生物学中的意义	110
一、吉布斯自由能的物理概念	110
二、化学势	111
三、水势	112
四、土壤—植物—大气连续体系中的水分运动	114
五、吉布斯自由能的生物学意义	115
思考题三	116
练习题三	118
参考文献	119
第四章 静电场	121
第一节 电场强度	121
一、库仑定律	121
二、电场强度	122
三、高斯定理	125
第二节 电势	129
一、电势能	129
二、电势	131
三、电场强度与电势的关系	132
第三节 静电场对导体和电介质的作用	133
一、静电场对导体的作用 尖端放电	133
二、导体对电介质的作用 细胞电融合	136
三、介质中的高斯定理	139
四、电容器	140
第四节 电场的能量	142
阅读材料 E 大气电场及其对农业和生物的影响	144
一、大气电场	144
二、大气电场的电容器模型	145
三、大气电场对生物和农业的影响	146
思考题四	147
练习题四	147
参考文献	150

第五章 恒定电流	151
第一节 电流密度与电阻	151
一、电流密度.....	151
二、欧姆定律的微分形式.....	152
三、电阻.....	153
第二节 电动势	156
一、电动势的物理概念.....	156
二、化学电池.....	159
三、接触电动势.....	160
四、温差电动势.....	160
五、能斯特电动势.....	162
第三节 含源电路的欧姆定律和基尔霍夫定律	163
一、含源电路的欧姆定律.....	163
二、基尔霍夫定律.....	165
三、基尔霍夫定律的应用.....	167
阅读材料 F 超导及其应用	169
一、超导现象.....	169
二、超导现象的理论解释.....	171
三、高温超导.....	172
四、超导的应用.....	172
思考题五	173
练习题五	173
参考文献	176
第六章 稳恒磁场	177
第一节 磁场	177
一、磁现象.....	177
二、磁感应强度.....	177
三、毕奥—萨伐尔定律.....	179
四、运动电荷的磁场.....	182
第二节 磁高斯定理与安培环路定理	183
一、磁高斯定理.....	183
二、安培环路定理.....	185
第三节 磁场对电流和电荷的作用	188
一、安培力.....	188
二、洛仑兹力.....	190

第四节 磁介质	196
一、顺磁质和抗磁质 磁场强度	196
二、铁磁质	199
阅读材料 G 环境磁场及其对生物的影响	202
一、环境磁场	202
二、环境磁场对生物的影响	204
思考题六	205
练习题六	206
参考文献	207
第七章 电磁感应	208
第一节 法拉第电磁感应定律	208
一、电磁感应现象	208
二、法拉第电磁感应定律	209
三、楞次定律	210
第二节 动生电动势和感生电动势	210
一、动生电动势	211
二、感生电动势 感生电场	211
第三节 电感 磁场的能量	213
一、自感	213
二、互感	214
三、磁场的能量	216
第四节 电磁场和电磁波	217
一、麦克斯韦方程组	217
二、电磁波	220
阅读材料 H 电磁场对生物体系的非热效应	224
一、极低频电磁场的非热效应	224
二、射频电磁场的非热效应	225
思考题七	226
练习题七	227
参考文献	228
第八章 振动与波动	230
第一节 简谐振动	230
一、简谐振动	230
二、阻尼振动	235
三、受迫振动 共振	236

第二节 简谐振动的合成与分解	238
一、一维同频率的简谐振动的合成	238
二、二维同频率的简谐振动的合成	239
三、二维不同频率的简谐振动的合成	241
四、振动的分解	241
第三节 波动	242
一、简谐波	242
二、波的能流密度 声强	245
三、多普勒效应	249
阅读材料 I 混沌	250
一、混沌现象对牛顿力学的挑战	250
二、非线性——产生混沌的根源	252
三、混沌与生命	257
思考题八	257
练习题八	258
参考文献	259
第九章 波动光学	260
第一节 分波前法干涉	260
一、光干涉的一般理论	260
二、杨氏干涉	263
三、洛埃镜干涉	266
第二节 分振幅法干涉	267
一、劈尖干涉	267
二、牛顿环	268
三、薄膜干涉的应用	270
第三节 光的衍射	274
一、光的衍射概述	274
二、夫琅禾费单缝衍射	276
三、光栅	278
四、X射线衍射	280
五、夫琅禾费圆孔衍射	282
第四节 光的偏振	285
一、偏振片与马吕斯定律	285
二、晶体的双折射现象	288
三、介质界面上反射光和折射光的偏振	290
四、旋光现象	291

五、生物的旋光性	293
阅读材料 J 激光及其在生命和农林科技中的应用	294
一、激光的产生及其特征	294
二、激光在生命和农林科技中的应用	297
思考题九	298
练习题九	299
参考文献	300
第十章 量子物理基础	301
第一节 光的量子性	301
一、黑体辐射	301
二、普朗克能量量子假说	305
三、爱因斯坦光子理论	306
第二节 粒子的波动性	307
一、物质波	307
二、不确定关系	310
三、概率波	313
第三节 薛定谔方程及其应用	315
一、波函数与薛定谔方程	315
二、薛定谔方程的应用	316
阅读材料 K 大气对光的吸收及其生态学意义	325
一、原子与分子对光的吸收	325
二、大气臭氧对光的吸收及其生态意义	327
三、大气中二氧化碳和水对光的吸收及其生态意义	328
思考题十	330
练习题十	331
参考文献	332
练习题参考答案	333
索引	339

绪 论

一、物理学研究对象

物理学的英文词 physics 来源于希腊文，它的原义是自然，而中文物理学中的“物”是指物质的结构和性质，“理”则指物质的运动与变化规律。因此，物理学是研究物质结构、性质和变化基本规律的科学。

早期古希腊人把所有对自然界的观察和思考笼统地包含在一门学问里，那就是自然哲学。在牛顿的时代里，科学和哲学还没有完全分家。牛顿划时代的著作名为《自然哲学的数学原理》，就是一个明证。由于物理学最直接地研究自然界的基本规律，所以牛顿把当时的物理学叫做自然哲学。以后，科学被分化为天文学、物理学、化学、生物学、地质学等等。

既然物理学是研究物质结构、性质及其变化基本规律的科学，它的研究对象也就十分广泛。从研究对象的空间尺度来看，大小至少跨越了约 42 个数量级，几乎包括了现今所知道的物质世界中的一切自然现象。

物理学将接近人体尺度 (m) 附近几个数量级的物质系统叫宏观系统 (macroscopic system)，研究这一系统的物理学称宏观物理学或经典物理学，物理学对物质世界的研究就是从这里开始的。在 19 世纪与 20 世纪之交，物理学开始深入到物质的分子、原子层次 ($10^{-9} \sim 10^{-10} \text{m}$)，在这个尺度上物质运动的规律与宏观系统有本质的区别，物理学家把分子、原子以及后来发现的更深层次的物质客体 (如原子核、质子、中子、电子、中微子、夸克等) 称为微观系统 (microscopic system)，研究微观系统的物理学包括原子物理、分子物理乃至高能或粒子物理学，粒子物理学研究对象尺度在 10^{-15}m 以下。20 世纪 80 年代以来，人们发现线度在 $0.1 \sim 100 \text{nm}$ 的系统具有许多特殊性质。这些特殊性质已引起广大科学家的浓厚兴趣，并投以很大的精力进行研究。呈现出微观特征的具有上述样品尺寸的系统称为介观系统 (mesoscopic system)。研究介观系统行为的介观物理学已发展成物理学中一个新分支。介观物理学的发展导致纳米技术的产生。由于纳米材料具有许多奇异特性，它们可在许多学科和技术领域里得到应用，产生新的交叉学科，纳米生物学就是其中之一。不难预见，纳米技术将在 21 世纪得到蓬勃的发展。

再把目光转向大尺度。在物理学中，人们把比宏观系统更大的系统称宇观系统 (cosmological system)。研究宇观系统的物理学包括天文学和天体物理学，研究对象从个别天体到太阳系、银河系，从星系团到超星系团，尺度横跨了 19 个数量级。物理学最大的研究对象是整个宇宙，最远观察极限是哈勃半径，尺度达 $10^{26} \sim 10^{27} \text{m}$ 的数量级，此时的物理学可称为宇宙学。在 20 世纪后半叶，宇宙学的巨大成就是建立了大爆炸宇宙模型。按照这个模型，宇宙是在 100 多亿年前的一次大爆炸中诞生的。在宇宙混沌初开时物质的密度和温度都极高，那时没有原子和分子，更谈不到恒星和星系，有的只是极高温的热辐射和在其中隐现的高能粒子。因而，早期的宇宙又成

了粒子物理研究的对象。粒子物理学家希望能从宇宙早期演化的观测中获得一些信息和证据来检验极高能量下的粒子理论。就这样，物理学中研究最大对象和最小对象两个尖端学科——宇宙学和粒子物理学竟奇妙地衔接在一起，结为密不可分的姊妹学科，犹如一条怪蟒咬住自己的尾巴（图 0-1）。

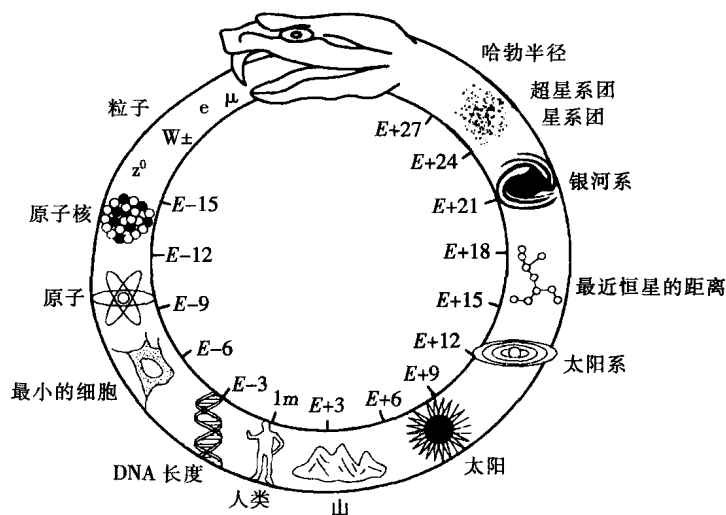


图 0-1 蟒蛇吞尾图

表 0-1 物质世界的层次及其相关学科

层次名称	空间尺度数量级 (m)	相关学科
宇宙半径	10^{26}	宇宙学
银河系团	10^{23}	
星系	10^{20}	天文学
星球	$10^7 \sim 10^{12}$	天体物理学
地球	10^7	地质学
地球上的动植物	$10^{-2} \sim 10^5$	生物学、生物物理学
凝聚态物质	$10^{-3} \sim 10^6$	凝聚态物理学
介观物质	$10^{-8} \sim 10^6$	介观物理学
气体		空气动力学
液体		液体动力学
固体		固体物理学
等离子体		等离子体物理学
巨大分子	10^{-7}	高分子化学、生物化学
分子	10^{-9}	分子物理学、化学
原子	10^{-10}	原子物理学
原子核	10^{-14}	原子核物理学
基本粒子	10^{-15}	粒子物理学

物理学和其他学科的关系又怎样呢？表 0-1 给出了物理学中研究的物质层次及其相关的学科。从中可以看到许多物质层次既是物理学的研究对象，也是其他学科的研究对象。因此，物理

学也就很自然地和其他学科走到了一起，从而产生了许多交叉学科。这里特别强调一下物理学与化学和生物学的关系。物理学与化学从来就是并肩前进的，这一点已是众所周知的事实。如果说物理化学还是它们在较为惟象的层次上的结合，则量子化学已深入到化学现象的微观机理，现在化学和物理学几乎没有明显的分界了。物理学与生物学的关系又怎么样？对于如何解释生命现象的问题，历史上“生机论 (vitalism)”曾流行一时。生机论认为生命现象是由某种“活力”主宰着，永远不能在物理和化学的基础上得到解释。但是，随着生命科学研究的不深入，人们发现在生命体系中存在着大量的物理过程和现象，这些过程和现象同样遵守物理学规律。不仅如此，对于生命起源、生物节律等重大的生物学难题似乎必须要有物理学家的参与才能解决。因此，物理学揭示的物质世界普遍而基本的规律对生命系统也是适用的。物理学构成了所有自然科学的基础，包括生物学在内。物理学和生物学相互渗透，前途是不可估量的。近四五十年在两学科的交叉点上产生的一系列重大成就，如 DNA 双螺旋结构的确定、耗散结构理论的建立等等充分证明了这一点。现在人们常说，21 世纪是生命科学的世纪，这话有一定道理。不过，生命科学的长足发展是在与物理学原理与方法的结合中，并在物理学技术的支撑下取得的。

二、物理学与技术和社会的关系

现在，人们习惯于把科学和技术联在一起，统称为“科技”，实际上二者既有密切联系，又有重要区别。科学解决理论问题，技术解决实际问题。科学要解决的问题，是发现自然界中确凿的事实和现象之间的关系，并建立理论把这些事实和关系联系起来；技术的任务则是把科学的成果应用到实际问题中去。科学主要是和未知的领域打交道，其进展，尤其是重大的突破，是难以预料的；技术则是在相对成熟的领域内工作，可以做出一定的成果。

历史上，物理学与技术的关系有两种模式。一种是技术向物理学提出了问题，促使物理学发展了理论，反过来提高了技术，即技术→物理→技术；另一种是理论先获得突破，导致了技术的产生，技术又反过来促进理论的发展。以解决动力机械为主导的第一次工业革命是第一种模式的例子。18 世纪末瓦特发明的蒸汽机给人们提供了有效的动力。其后，蒸汽机被应用于纺织、轮船、火车。但是，那时的热机效率只有 5%~8%。对提高热机效率的思考导致了 1824 年卡诺定理的产生。卡诺定理为提高热机效率提供了理论依据。到 20 世纪蒸汽机效率达到 15%，内燃机效率达到 40%，燃气轮机效率达到 50%。电气化的进程则是第二种模式的例子。从 1785 年库仑定律的建立到 1831 年法拉第发现电磁感应定律，基本上是物理上的探索，没有应用的研究。然而，此后半个多世纪，各种交、直流发电机，电动机和电报机的研究应运而生。到了 1862 年麦克斯韦电磁理论的建立和 1888 年赫兹的电磁波实验，又导致了马可尼和波波夫无线电的发明。

20 世纪以来，在物理与技术的关系中，上述两种模式并存，相互交叉。但几乎所有重大的新技术领域（如电子学、原子能、激光和信息技术）的创立，事前都是在物理学中经过了长期的酝酿，在理论和实验上积累了大量知识，才突然迸发出来的。没有 1909 年卢瑟福的 α 粒子散射实验，就不可能有 20 世纪 40 年代以后核能的利用；没有 1917 年爱因斯坦提出的受激发射的理论，也就不可能有 1960 年第一台激光器的诞生。当今对科学、技术，乃至社会生活各个方面都产生了巨大冲击的高技术莫过于电子计算机，由之而引发的信息革命被誉为第二次工业革命。然