



徐叙瑗 编著

营造绚丽多彩 的光世界

—— 发光学趣谈



清华大学出版社



暨南大学出版社

《院士科普书系》编委会(第二届)

编委会名誉主任 周光召 宋 健 朱光亚

编委会主任 路甬祥

编委会委员 (两院各学部主任、副主任)

陈佳洱	杨 乐	闵乃本	陈建生	周 恒
王佛松	白春礼	刘元方	朱道本	何鸣元
梁栋材	卢永根	陈可冀	匡廷云	朱作言
孙 枢	安芷生	李廷栋	汪品先	陈 颢
王大中	戴汝为	周炳琨	刘广均	杨叔子
钟万勰	关 桥	吴有生	刘大响	顾国彪
陆建勋	龚惠兴	吴 澄	李大东	汪旭光
陆钟武	王思敬	朱建士	郑健超	胡见义
陈厚群	陈肇元	崔俊芝	张锦秋	刘鸿亮
方智远	旭日干	周国泰	王正国	赵 铠
钟南山	桑国卫			

编委会执行委员 郭传杰 常 平 钱文藻 罗荣兴

编委会办公室主任 罗荣兴(科学时报社)

副主任 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

总 策 划 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

总 责 任 编 辑 周继武 蔡鸿程 宋成斌

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有 6000 余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

15 世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达 14 个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的世界中大国里,再用 50 年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。



1999年12月23日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是20世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题，普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物，于科技知识中融入人文教育，不是一件容易的事。不少院士反映：写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中，科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题，科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言，指出科普是科教兴国的基础工程，勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神，传播科学思想，倡导科学方法，普及科学知识”，充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视，对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程，成熟一批出版一批；另一方面随着科学技术的进步和创新，不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此，《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

前 言

“万物生长靠太阳……”是指太阳光的不可或缺。人造光是黑夜中取代阳光的办法,发光则是人造光中的主体。

本书介绍了发光及其应用的多样性、广泛性、特征性、灵敏性、实用性等特点。全书包括5章:第1章为概说,让读者对发光学有个初步的了解。第2章叙述了光的基本性质,包括光的波动说及粒子说的微观结构、光在传播过程中的表现,光照射到物质上时跟物质的相互作用。第3章说明人造光的分类,讲述产生人造光的各种方法或途径,可以了解发光的广泛性和发光的主要特征。第4章突出介绍了用物理方法产生发光的各种类型,虽未列全(例如,就未提机械发光、声致发光等),但也是琳琅满目。此外还简单列举了自然界中由于宇宙射线(即从天空中射来的高能粒子)引起的发光现象。第5章又把讨论范围缩小到固体发光已有的及可能的应用,而且只限于自发辐射。至于受激发射(激光),尽管它也是发光,但它是特殊条件下的发光,因它已形成专门的领域,也有众多的应用,不在此介绍。发光分析也是很大的一个领域,涉及化学、医药、机械、环境等领域,这里只提了一二。可以看出,各种类型的发光的应用大有天地。例如,通过生物发光我们已找到几种预警肿瘤的方法;通过加热发光,可以研究矿物及考古等,这些领域都靠未来的青年学者去发现及发明。

本书在编写过程中提供部分稿件的有：楼立人、王永生教授；侯延冰、王振家、张希清副教授；徐征高级工程师；何大伟博士后；赵辉、杨盛谊、许秀来博士生；王丽辉硕士生。刘洪楷研究员阅读了全书，为定稿提出了很好的意见；董金凤同志完成了全书的编辑及文档工作。在此对他们一并表示衷心的感谢！但愿这本小书能使读者领会到发光的绚丽多彩、发光学的广阔前景。

书中不当之处，欢迎读者批评、指教。

徐叙瑛

2001年6月

目 录

1 概说	1
2 光	8
2.1 光的功能	9
2.2 光的波粒二重性	14
2.3 光的传播	20
2.4 光与物质的关系	30
2.5 光的观察	34
3 发光	39
3.1 热辐射及发光	40
3.2 物理发光	47
3.3 化学发光	59
3.4 生物发光	61
3.5 发光过程的主要特征	67
3.6 发光中的能量运输	75
4 各类物理发光	77
4.1 光致发光	77
4.2 阴极射线致发光	91

4.3	X射线致发光	98
4.4	放射线致发光	100
4.5	场致发光(电致发光)	103
4.6	自然界中的发光现象	119
5	发光的现实及潜在应用前景	127
5.1	灯用发光	127
5.2	显示用发光	137
5.3	光存储及其应用	178
5.4	上转换发光及量子剪裁	188
5.5	低维材料发光	197
5.6	长余辉发光材料	204
5.7	发光分析	207
	参考文献	209

1

概说

在人类社会生活中光明与黑暗的斗争连绵不断,黑暗势力从不想退出历史舞台。1999年3月24日北约悍然恃强向主权国家南斯拉夫联盟野蛮狂轰滥炸,至5月7日竟以5枚导弹袭击了我国驻南斯拉夫大使馆,造成3人殉职多人受伤,馆舍毁坏。这清楚地显示出它的猖狂,仍梦想把霸权主义及强权政治带人21世纪。但人民在觉醒,世界正走向和平、睦邻的多极化,“玩火者终必自焚”。在自然科学技术领域,人造光源正不断壮大,将光明撒向人间,逐渐占领每个需要照亮的角落。发光是人造光源的主体,发光学工作者最终要用发光“照

1879年爱迪生才成功地发明了白炽灯,开始了以加热代替燃烧产生光的技术。

亮全世界”。

阳光、空气及清水被誉为人类生存的三大要素,缺少了它们人类就不能生存。阳光是人们最直觉感到的不可缺少的要素。从远古以来,人们靠阳光生活及劳动,并且形成了对阳光的特殊喜爱。但阳光出现的时间只是一昼夜的一小半,已不能满足人类对光的需要。

在生活和生产实践中远古的先民发明了钻木取火。长时期人们利用燃烧产生的火光来照明。直到1879年爱迪生才成功地发明了白炽灯,开始了以加热代替燃烧产生光的技术。当人们进一步了解到不加热的物体也可发光后,就出现了另一种更丰富多彩的人造光,即发光。例如,出现了荧光灯,它在颜色、亮度、寿命、环保等方面的性能正在不断提高。这本小书将介绍发光学中的主要现象及其应用。提到发光,人们总以为光的主要特征是明亮,只要看见亮光就认为是发光,这是不确切的。

古代燧阳氏钻木取火,有了火就有了光。我们的祖先创造的方块汉字中的“光”字,就是由一个“人”观看一堆“火”的象形图画演化来的。后来发展出油灯、蜡烛及至目前还大量使用的爱迪生发明的白炽灯,它们都是靠燃烧、加热使物体温度升高发出光来。这不是“发光”。

如今的城市中出现了一些有玻璃墙的高楼大厦,它把太阳光强烈地反射到周围,形成一种新的“公害”,别看它很亮,但这也不是“发光”。究竟如何正确从各种光学现象中划分出“发光”来呢?对这一问题作出确切分类的是原苏联科学院院长瓦维洛夫。他把从物体上发出的光分为两类:

提到发光,人们总以为光的主要特征是明亮,只要看见亮光就认为是发光,这是不确切的。

一类是平衡辐射,这时物体向外辐射的能量与物体的温度相适应。这种辐射的颜色及强度因物体性质及温度而变。冬天寒冷季节北方多用煤炉取暖,人们把煤炉涂成黑色,就是为了使它的热辐射本领增强。这种辐射的颜色则取决于温度。早年,在炉中加热熔铁,烧热后它的颜色就由黑变红。钢铁工人要了解已熔钢铁的温度所用的仪器,是从熔融钢铁的光色来判断的。这类平衡辐射是热辐射,而不是“发光”。

另一类是非平衡辐射,它既包括发光又包括其它,如上面所说的反射等。瓦维洛夫认为发光与其它类型非平衡辐射的主要区别是:“发光”具有弛豫时间,俗话说就是缓一缓气的时。像吃了饭缓一缓气才去干活,打篮球时接到球后可换换架势,找好目标才再把球传出去。这个缓一缓气的时间可长可短,但总要有一点时间。这是“发光”的最重要的特点。

其它非平衡辐射则没有这点弛豫时间,所以它可以径直继续下去,沿着一定的规律发展。但发光在这点弛豫时间内就可能发生各种过程。例如打篮球时,球在手中传出之前可以被抢走。发光在这点时间内也可丧失发光本领,称为猝灭。20世纪40年代世界上多个实验室内都发现高速粒子经过溶液的时候液体能发出光来,当时都认为这是发光。但是瓦维洛夫认为还要仔细分析,他令他的研究生契连科夫按照他对发光的定义做了一个实验:在溶液中加入猝灭剂,如果是发光,在最初的弛豫过程中它就会被猝灭;反之,它就不是发光。实验证明它不会被猝灭,所以不是发光。他们意识到,在溶液中光速将降为 c/n (c 是真空中光速, n 是折光系

很多矿物、实物甚至生物体，只要条件具备都会发光，诸如矿石、衣服、牙齿、指甲、萤火虫和一些海洋生物等都会发光。

数)，它可以小于其中运动的高速粒子的速度。据此他们发现了契连科夫效应，这种效应此后成为探测高能粒子的一种方法。为此，他们后来成为诺贝尔奖的获得者。它的效应在超高速运动中也得到证实。至于光速，根据1999年的国际科学进展，现在已经可以将它($c=3\times 10^8$ m/s)降低到17m/s。有兴趣者还想把它降到乌龟爬行的速度。

对于发光，我们还经常注意它客观的发光强度，或者人眼见到的主观的发光亮度、发光光谱(即客观发光强度随波长的变化)或人眼主观上见到的发光颜色及发光的余辉(即发光逐渐减弱到零的发光)。古代传说中的夜明珠的发光就是这些物体被阳光或灯光照射后，发光强度慢慢衰减过程中发出的光。

发光现象极其广泛，在日常生活中“随处可见”。很多矿物、实物甚至生物体，只要条件具备都会发光，诸如矿石、衣服、牙齿、指甲、萤火虫和一些海洋生物等都会发光。按照爱因斯坦的辐射理论，物体吸收能量后，它如能辐射，这个辐射就包括两部分：一个是自发辐射，一个是受激发射。自发辐射是指人们不能控制的辐射，受激发射是合适波长诱发的发光，它们有相同的来源。自发发光类似队伍行进中的散步，而激光则类似齐步或者正步。一般条件下是自发发光，创造特别条件后才能产生激光。随着科学的进步，虽然爱因斯坦的辐射学说没有改变，但自发辐射已不是完全自发。人们已经找到一些途径，如微腔(即细小的空间)可以在一定程度上控制自发辐射，以及它的光谱等。

发光现象很早就为人所知了，如中国人说的夜明珠，17