



激光与光纤

J I GUANG YU GUANG QIAN

安徽教育出版社



249

责任编辑：王宏金

封面设计：李向伟

激光与光纤

李福利 杨瀛海 羊国光

安徽教育出版社出版

(合肥市跃进路1号)

安徽省新华书店发行 安庆新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：4.25 字数：90,000

1987年7月第1版 1987年7月第1次印刷

印数：2,000

ISBN7—5336—0225—0/G·543

统一书号：7276·543 定价：0.66元

出版说明

当前，以信息革命为中心的新技术革命的浪潮在世界范围内掀起，教育也面临着新的挑战。探索教育改革，为祖国的明天造就大批掌握新知识、新技术的建设人才，已成为举国瞩目的大事。然而，教材一般是相对稳定的，不可能及时补充新内容，加之新知识的传授，也需要有一定的基础知识做铺垫，而教材受篇幅、教时所限，不能容纳过多的新知识。因此，有必要编辑出版适当的辅助读物，开辟教育第二渠道。正是有鉴于此，我们约请了中国科学技术大学等单位的部分专家、学者，为中學生及具有初中以上文化程度的青少年编写了这套丛书。

本丛书以开阔眼界、启迪思想为目的，广泛、充实，取材新颖。全书有六个分册，分门别类、系统全面地讲述各新兴科学技术的产生、发展、趋向以及在生产、生活领域中的作用，特别注意我国自然资源、科技和经济管理水平，适合我国国情，具有很强的针对性。

本丛书各分册既各自独立，又相互联系，其内容均与中学教材相呼应，相补充，以中学基础知识为起点，循序渐进，并注意融知识性、趣味性为一体。

现代科技领域天地广阔，《青少年新技术系列读物》仅是其中六朵小小的彩云，以此献给青少年朋友，愿你们扶摇直上，在知识的天际里领略无限的风光。

20世纪科学之光

——引言

二十世纪六十年代初叶，激光——技术革命的一颗新星，照亮了科学园地的又一块处女地。她始而小试锋芒，继而大显身手，活跃于科学技术的各个领域。

激光，作为二十世纪的科学之光，与原子能、半导体、电子计算机一起被誉为本世纪的四项重大发明。它在短短的二十多年中触发了光学技术的一场革命，这场革命的“冲击波”席卷人类生活的各个领域，编织成一幅幅光彩照人的图画。

激光是量度宇宙空间的“尺”，用激光脉冲测量近40万公里的月地距离，误差仅有几厘米；激光又是量度微观世界的“尺”，一米的量程误差不到千万分之一米；激光还是标定时间的钟，激光测时的精度为多少万年差一秒，“誉满全球”的各类机械表、石英钟因此而大为逊色。

激光应用的广度之大，使人眼花缭乱。她涉足于工业，大块钢板，裁接自如；金钢宝石，出入从容。激光全息照相术使传统照相工艺黯然失色，一张平面的全息照片上显示的竟是一个“乱真”的立体世界。激光光子队伍正在光学纤维中充当使者，使“天涯若比邻”这个人类美好的愿望变成现

实。它“光顾”农业，农作物的种子因此而发生遗传变异，从而加快了“优化”的进程。它跻身医疗卫生事业，产生了激光手术刀、激光视网膜凝结机等一系列先进器材，促使现代医疗事业突飞猛进。

激光在军事工业上的应用已成为各发达国家热门的研究课题。目前，装有自动导航装置的激光炸弹的命中半径可达几米，在坦克火炮上配备激光测距仪，千分之一秒内即测得精度达几米的距离，并可自动调整炮弹位。

更为激动人心的是，由于激光的介入，原子物理、核物理科学的研究展现了光辉的前景。超短脉冲激光揭示了原子、分子微观动态过程；用调谐激光研究原子、分子能级的精细程度比传统方法提高了多少万倍！激光频率及长度基准的建立为检验一些基本物理定律，如引力波地发现提供了可能性。一门新兴的边缘学科——激光化学已经问世，它有助于研究化学反应的瞬时动态和反应机理。更值得一提的遗传工程研究技术，将因为激光对分子的裁剪而大放异彩。

激光，二十世纪的科学之光，正在推动人类生活进入更加美好的天地。它点缀了节日的夜空、多姿的舞台，它还美化了人类本身。人类用自己的智慧开发了大自然不曾慷慨赠予的这种“星光”。

为我们取来火种的普罗米修斯啊！你只是幻想的偶像，赋予你的荣誉原本是属于人类的！

目 录

20世纪科学之光——引言	1
1. 原子是这样发光的	1
爱因斯坦的感叹	1
有一份热发一份光	3
“炉火纯青”与“紫外灾难”	4
普朗克、爱因斯坦回天有术	7
原子内部爆发的“革命”	9
科学之光闪烁了	12
激光，原来如此	16
2. 风风雨雨四十年	20
科学的聚焦点	20
两盏报警的红灯	21
布洛姆柏根的匠心	23
疑是山穷水尽时	25
激光絮语	27
襁褓中的酸甜苦辣	31
3. 激光园地巡礼	33
固体激光器	33
气体激光器	37

染料激光器	40
半导体激光器	42
超短脉冲激光器	43
调 Q 激光器	4
锁模激光器	47
锁模·人体·加速器	48
4. 光束编织的世界	50
工业加工的佼佼者	50
农业上的“多面手”	56
妙手回春	57
遗传工程的利器	60
立体图像的窗口	61
现代武库中的“怪”物	67
氢弹与激光核聚变	72
信息时代的激光“唱片”	74
分离铀同位素的“第三者”	77
5. 光的神奇之路——光纤	81
结构奇特	81
身手不凡	83
新的里程碑	85
发展中的光纤世界	89
光纤传光之谜	90
光能损耗	92
光纤色散	94
6. 光纤通信	96
“光话”在开始应用	97
光纤通信巡礼	98
光纤通信技术漫谈	101

7. 人类的“第六”感官	107
传感技术面面	107
光纤传感器种种	108
光纤传感原理	111
光纤传感器应用枚举	113
8. 光学系统之大成	115
什么是集成光学	115
集成光路中的光器件	116
9. 我国激光与光纤事业在前进	112

1

原子是这样发光的

继原子能、半导体和电子计算机之后，激光登上了新技术的舞台。二十多年来的发展历史，对于科学技术的发展何其短暂！然而，激光这颗升起的新星，已经以其夺目的光辉照耀着工农业生产、交通、能源、医疗、国防、科学技术等许多领域，甚至在家庭生活中，我们也感受到了激光的存在。青年朋友，当你看到划破节日夜空的激光焰火时，当你在音乐晚会上欣赏着激光装点的五光十色的舞台时，你在好奇和赞叹它的美妙神奇之余，脑海中一定会闪烁着探索的问号：什么是激光？谁赋予它那么大的神通？

爱因斯坦的感叹

要理解什么是激光，激光是怎样产生的，必须先明白什么叫“光”。人们对光的本质的研究有很长的历史了。关于光的本质的系统的研究，从牛顿时代就已开始。牛顿认为光是许多小颗粒，光的反射就象乒乓球的反弹一样；光的折射是因为“光的小颗粒在水和玻璃等介质中比在空气中跑得更快”。

然而，牛顿的粒子说在解释许多光学现象时遇到了困难，比如，为什么绿光比红光折射得厉害？为什么两束光可以交叉而互不干扰？

1678年，荷兰物理学家惠更斯提出了光的波动说，这种学说很容易解释两束光交叉时为什么互不干扰。波动说还认为光在水和玻璃等介质中比在空气中的速度低（这与牛顿的说法相反），从而解释了光的折射现象，并进一步解释了光的干涉和衍射。但是，当时的波动说，还不能解释光的直线传播问题。

波动说与微粒说争论了大约一个世纪，由于牛顿那如雷贯耳的大名，使波动说很难取胜。

科学进入了十九世纪，1801年，英国的杨氏用著名的双缝衍射实验，支持了光的波动说。在牛顿去世后大约一百年，法国的菲涅耳提出了著名的菲涅耳原理，并在数学上完善了光的波动说，圆满地解释了许多复杂的光学实验现象。此后，随着科学技术的发展，光的波动说逐渐取代粒子说而主导物理学界。

那么，究竟光波是什么？它是怎样产生和传播的？这个问题后来由英国物理学家麦克斯韦解释了。1864年，他在研究电磁学理论的同时发现了电磁波，并发现了电磁波的传播速度等于光速，这就从理论上说明光就是一种电磁波。然而，且慢，不要认为光的“波动说”至此已彻底战胜了“粒子说”。

二十世纪初，人类借助先进的实验方法把物理学从宏观世界引进微观世界。德国大物理学家爱因斯坦正是在这个科学的转折点应运而生。他根据光电效应实验提出了一个新的物理概念——“光子”。他认为，光是一粒一粒以光速运动

的粒子流，这些光粒子称为光子。光子的能量 ϵ 是

$$\epsilon = h\nu$$

其中 ν 是光频率， h 是一个常数。这样，就在新的基础上揭示了光的粒子性。当然，这与牛顿的粒子说形同实异。

谈到这里，我们目前可以对光下这样一个定义：光是具有波粒二重性质的物质。它在某些方面表现了粒子性，在某些方面又表现了波动性。

但是，人类对光的本质的认识，不会到此为止。光的速度为什么是 c (≈ 30 万公里/秒)? 光在真空中为什么能传播? 光子有没有大小? 光子有没有内部结构? 这一个个疑团仍然萦绕着科学界。爱因斯坦曾经感慨地说到：“许多物理学家自认为他们知道光子是什么。我本人花费了一生时间想弄清它，可是到头来，还是不知道”。可见科学对于世界的认识是没有穷尽的。

有一份热发一份光

“有一份热发一份光”，这句话通常被用来比喻人们的贡献精神，但它本身所包含着的精确的科学道理，许多人也许不知道。

“有一份热发一份光”概括地说，包含这么三层科学意义：

① 热(能)可以变成光，任何有一定温度的物体都发光。事实也正是这样，太阳表面温度是 6000°C ，太阳可以发光；炼钢炉内的温度可达 2000°C ，也发光；白炽电灯的灯丝温度可达 1500°C ，也发光。人的体温是 37°C ，人体也发光，只不过人体发光是肉眼不能直接看见的红外线。科学家们

把任何有一定温度的物体发出的光，称为热辐射。

② “一份热”是什么意思呢？热是一种能量的形式。“一份热”就是“一份”能量，“份”是能量的最小单位。“一份”能量就称为一个“量子”。就是说，能量是这个最小单位的整数倍，所以能量的大小不是连续的，而是跳跃式的，即“量子”化的。

③ 爱因斯坦的研究表明：光也是“一份”、“一份”的。“份”是光的最小单位。“一份”光就称为一个“光子”，只不过不同颜色（即不同频率）的光，这“一份”的大小不同而已。

你看，把“有一份热发一份光”赋予科学的含意，竟会引出热辐射、量子、光子等重要的物理概念。更加有趣的是，也正是由于对“有一份热发一份光”——黑体辐射的研究，才导致了近代物理学大厦的建立。

“炉火纯青”与“紫外灾难”

“有一份热发一份光”，实际上是热辐射问题，即有一定温度的物体的辐射问题。为此，人们在实验和理论上研究了一种理想的情况，即黑体的辐射，简称黑体辐射。

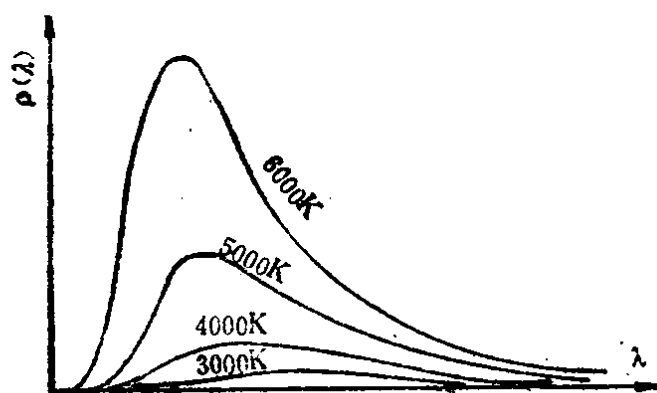
黑体辐射 我们说一个物体是黑的，是什么意思呢？煤、炭、墨、沥青等是黑的，是因为照射到上面的光，全部或绝大部分被它们吸收了，几乎没有光从上面反射。物理学所研究的黑体，就是指这样一种理想的物体，或者说它的“吸收本领”是100%。这种理想化的、绝对的黑体当然是不存在的，但是有些物体或装置却可以近似看成黑体。例如

一个炉子，它的炉膛很大，但侧面有一个很小的孔，当光线从小孔射入炉膛内时，光线在炉膛内壁上发生多次反射，被炉壁吸收，几乎没有机会从小孔跑出来，也就是说，照射到该炉子小孔上的辐射，全部被吸收了。这种炉子就可看成是一个黑体(严格的说是侧面小孔)。它的炉膛称为黑体的腔，炉壁成为腔壁。当这种炉子有一定温度时，腔壁就发射辐射。腔壁的温度就成为黑体的温度。从腔壁的小孔发出的辐射就称为黑体辐射。

炼钢炉、煤炉、灯丝、太阳表面等，具有黑体的一些性质，但还不够黑体的资格。有时把它们称为“灰体”。应当注意，黑体的“黑”字，与平常理解的黑字是有区别的，处于一定温度的黑体——例如炉子的小孔，它不但不黑，而且是亮的，比如观察炉子中的蜂窝煤，其小孔恰恰是最亮的。

从实验上研究黑体辐射性质，主要是研究单位频率范围内的辐射能量密度

$\rho(\lambda)$ 随温度 T 的变化曲线(见图)。在十九世纪末二十世纪初，为了解释这种实验曲线，物理学家们绞尽脑汁，几经周折，终于发现用经典



物理学不可能解释黑体辐射，从而引起了物理学的革命。

“炉火纯青”与维恩定律 观察炼钢炉，你会发现，炉温较高时，炉中颜色是鲜红的，即所谓“炉火正红”。这时辐射的主要成分是红光。当温度进一步升高时，颜色可变

成青色的，即所谓“炉火纯青”，这时辐射的主要成分是青色光。青色光比红色光的波长更短，说明炉的温度越高，辐射的主要成分的波长越短，或者说向短波方向移动。这种现象上升为理论的工作是由德国科学家维恩完成的。

1893年，维恩为了解释科学家们通过实验总结出来的黑体辐射曲线，提出了一个著名的公式——维恩公式，即黑体的

能量密度为
$$\rho(\lambda) = c_1 \frac{1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

由上式可导出 $T\lambda_m = b$ (b 是常量)

该公式表明，黑体的温度越高，辐射的极大值对应的波长 (λ_m) 就越短。这与“炉火正红”和“炉火纯青”的感性认识是一致的。

由维恩公式可以估计太阳表面的温度。太阳光中最强的成分是绿光，其波长 $\lambda_m \approx 5500 \text{ \AA}$ ，据此可以求出太阳表面温度的近似值。人类的眼睛对绿光最灵敏，可能与人类在太阳光的影响下的发展、进化有关。

人体的正常温度是 37°C ，即 $T = 310^\circ\text{K}$ ，

$$\lambda_m = 9.3 \times 10^{-4} \text{ 厘米} \approx 9 \text{ 微米 (红外区)}$$

所以人体辐射的极大值对应的波长是红外线。

当然，维恩定律作为一种解释黑体的理论，毕竟有它的局限性，特别是在辐射的极大值对应的波长较长时，维恩定律就显得无能为力了。

“紫外灾难” 二十世纪初叶的物理学革命是从黑体辐射问题开始的。神秘的黑体辐射曲线牵动了许多科学家的心绪。1900年6月，另一种解释黑体辐射曲线的理论，瑞利—金斯公式发表。如果说维恩定律是从短波“方向”向

黑体辐射曲线发起进攻，那么瑞利—金斯公式便是从长波“方向”发起进攻，各取“半壁江山”。为什么？原来瑞利—金斯理论虽然在“短波”带面临无法跨越的“天堑”，但却非常成功地解决了维恩定律在“长波”带遇到的阻力。你也许以为黑体辐射问题至此已圆满解决了，实际并非如此，瑞利—金斯理论的出现，还曾引起了“全球大恐慌”。按照瑞利—金斯理论，当波长很短、频率很高（ $\nu \rightarrow \infty$ ）时，黑体能量密度 $\rho(\nu) \rightarrow \infty$ 。这还了得！果真如此，人们一打开炉门，炉中辐射出的波长极短（紫外区）的X射线、 γ 射线的能量将足以伤害人类；更严重的是这个理论赖以成立的基础之一是经典物理学，既然它在“短波”带面临“天堑”，无地自容，岂不有损于经典物理学大厦本身的宏伟形象吗？这一切都发生在“紫外区”，所以二十世纪初期，科学界亮出了报警的红灯——“紫外灾难”。

普朗克、爱因斯坦回天有术

1900年10月19日，物理学家普朗克在德国物理学会上做了一个报告，题目是“关于对维恩辐射定律的一点改进”。从形式上看，似乎只是“一点”改进，而且它报告的内容也只是很少的“一点”——书面材料只有二页。但它对于物理学的发展，可谓翻开了新的一页！

我们把维恩公式改写成

$$\rho(\lambda) = c_1 \frac{1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T}}$$

普朗克通过精辟地分析后，把上式修改为

$$\rho(\lambda) = c_1 \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1}$$

这“无损大雅”的一笔——分母上减“1”，却是神来之笔！物理学革命因之而爆发——科学家们用这修改过的公式（称为普朗克黑体辐射公式）与实验比较，符合得妙极了！

普朗克为了解释他的公式的物理意义，在1900年12月14日，又做了一个报告，提出了著名的量子理论。普朗克认为，电磁波这种形式的能量辐射是不连续的，是以一份一份的形式进行辐射，每份的能量是

$$E = h\nu$$

其中 ν 为电磁振动的频率。 $h\nu$ 为能量辐射的最小单位，称为量子。这个假说与经典物理学的能量连续性法则相矛盾，但却初步揭开了黑体辐射之谜。

牛顿之所以伟大，是因为他独居匠心地攀上了伽利略等物理学前辈的肩膀；普朗克之所以英明，是因为他巧妙地站到了维恩、瑞利、金斯等人的肩膀上！

非常遗憾，在向经典物理学堡垒发出最后冲击时，普朗克却功亏一篑——他虽确认电磁波的能量辐射是不连续的，但同时认为光（电磁场）本身是连续的。在这里，我们又不能不敬佩爱因斯坦的伟大，佩服他敢于向传统的物理思想不懈挑战的精神。爱因斯坦在研究光电效应（当光照射到金属表面时，金属中有电子逸出现象，称为光电效应）时发现，不能把光看成只是一种连续波，而必须把光看成是一种粒子（光子），光辐射本身就有粒子性。1905年，爱因斯坦用光子的概念成功地解释了光电效应，拿走了1921年诺贝尔

物理学奖金。

鲁迅说过，悲剧是把有价值的东西撕碎给人看。科学家的悲剧不仅在于把自己辛勤劳动的珍品视为故纸，而且还有可能因此延缓整个科学领域发展的进程。一开始，普朗克就对爱因斯坦的光子理论持“最谨慎的态度”。甚至在他建议选举爱因斯坦为柏林科学院院士，在书面材料中谈到光子时，还请求人们“谅解爱因斯坦在其思辨中有时可能走得太远了”。

只有实验（或观测）才是检验科学理论的试金石。实验不仅证明爱因斯坦的光电效应理论是正确的，而且说明了光子确实是一种客观的物理实体，从而奠定了现代物理学的基础。

原子内部爆发的“革命”

普朗克——爱因斯坦的“量子化”理论在本世纪初叶的物理学界，无疑是一个“大爆炸”理论，统治了科学界几个世纪的经典理论大厦，顷刻间为之震撼。科学家们在震惊之余，开始把猎取知识的触角伸向广阔的微观世界，去探索这种理论的物理实质。可以这样说，至此，掩饰着原子发光秘密的“面纱”，通过几代科学家的努力，已被掀开了一角。

卢瑟福的原子模型 卢瑟福用 α 粒子作为炮弹轰击原子，发现原子内部有一个带正电的很小的原子核。在原子内部很小的距离内，库仑定律还是适用的，因此，卢瑟福提出了如下的原子模型：

① 原子的中心是带正电的很小的原子核，原子中的电