

# 光子学、光子技术、光子工业

钱 学 森

—

如果从一九五八年 Townes 和 Schawlow, Прохоров 和 Басов 等人把受激发射理论推广到光学领域算起, 激光科学技术已有二十年的历史了。但正如一切新事物一样, 人们总是在实践中, 逐步认识事物的本质, 逐步认识其特性。在国外, 因为激光器是从微波受激发射器发展而来的, 所以在开始曾命名这门科学为量子电子学, 好像是电子学的一个分支。现在看来, 这样做是不够妥当的。理由是激光的实质是光量子即光子的运动, 或说是光子的产生、运动和转化。而光子在本质上是不同于电子的粒子, 如光子还没有确切地发现静质量, 而电子有静质量; 光子自旋为  $1h$ , 而电子自旋为  $1/2 h$  等等。所以量子电子学这个词不但冗长, 而且不严密, 应该叫“光子学”。它是一门和电子学平行的科学, 而不是一门在电子学之内的科学。

光子学独立出来, 它就应该把老科学光谱学吸收进来。既然是光, 就从远红外算起, 包括红外、可见光、紫外, 真空紫外、X 光, 直到  $\gamma$  射线。我们的观点与老学科的光谱学也许有些不同的侧重, 光子学的光谱学主要是要研究不同能量, 不同性能光子的发生与转化, 而老光谱学是要通过光谱探索微观物质的结构。老光谱学已经积累了大量重要的数据, 现在该利用微观结构的知识来寻找合适的发生光子的工作物质。另一方面是利用微观结构的知识来研究光子在物质中的转化。这是现在很活跃的激光光谱学。

激光器的理论和探测仪器、装置的理论自然也是光子学的一个组成部分。光子学也包括非线性光学, 这也是一门活跃的学科。

光子和电子的相互作用也是光子学重要研究领域之一, 特别因为自由电子束激光器是很有发展前途的。这种激光器的优点之一就是可以通过调节电子束的能量来连续地调节光子的能量(波长), 尽管它目前还遇到提高发射功率的一些困难, 但这总可以在进一步研究中解决。现在由于现代物理技术、高能物理的需要, 电子束技术已比较成熟, 电子能量从几兆电子伏到十几京电子伏, 脉冲流强在低一点电子能量时可以达到兆安以上。所以这一现有技术完全可以利用。我们也看到这一类激光器, 当电子束能量达到百兆电子伏时, 产生的激光波长  $\lambda$ , 与激光周期结构  $\lambda_0$ 、 $E_e$ (电子伏, 即 0.51098 兆电子伏) 和电子束能量  $E$ (电子伏) 的关系是

$$\lambda \approx \text{常数} \lambda_0 \left( \frac{E_0}{E} \right)^2$$

其中常数随自由电子束激光器构造原理的差异而不同, 但都是数量级为一的常数; 对固定周期性电磁场的自由电子束激光器来说,  $\lambda_0$  就是磁场周长; 对用光对撞电子的自由电

子束激光器来说,  $\lambda_0$  就是入射激光波长。目前用自由电子束贯穿周期磁场已获得了 3.417 微米的激光。我们不难使  $(E_0/E)^2$  这个因子达到  $10^{-6}$  以至  $10^{-8}$ , 所以自由电子束激光器也可能产生 X 光激射和  $\gamma$  射线激射;当然要推进到这样短的波长, 还要做许多工作, 还会遇到不少困难。

有了光子学, 还可以用来帮助许多自然科学和基础科学的研究。例如在遥远的天空, 就发现有些离恒星不远的大规模分子云, 其中出现能级分布的反转, 因此也是天然的大激射器。在不远的将来, 会有一门光子天文学新学科出现。用光子来激发分子, 控制化学过程, 也是大有前途的, 现在已出现激光化学或光子化学的学科。

## 二

建立和发展光子学就要研究其应用, 这就是光子技术。在过去这二十年激光科学的发展是和激光应用的发展是同时并进的, 这又是二十世纪科学和技术的一个特点;从理论到应用几乎是同时的。说到应用, 光子技术, 那就不能是单纯的只用光子学的成果, 不用其它学科的成果。光子技术必须同时运用其它学科和其它技术, 如老的光学和光学技术, 物理学、电子学和电子技术, 化学和化工, 计算机技术, 电工以及机械工程、力学等。但光子技术的中心科学仍然是光子学。

光子技术的方面很多。这里很大一部分的应用是发挥了激光的单一频率、能达到极大的亮度的特点, 即激光的单色亮度\*可以比普通光高二十个数量级。激光还能发出极短的脉冲, 从而达到极高功率。比较发展的有各类激光测量仪器和激光探测仪器等, 这大大提高了测量精度。由此又进一步发展到生产加工用的激光装置, 如焊接、热处理、打孔、切割、划片(薄膜的集成电路制造中)。再一类就是激光全息技术的应用, 这也很广泛, 如科学技术研究、医学、电化教育以及电影。

光子技术的又一个大方面是激光测距和激光雷达, 以及激光制导的武器等军事上的应用。其优点是能提高精度。

光子技术中比较成熟和肯定会发展很快的是光导纤维通信, 以及大气激光通信和将来天上航天飞行器之间的通信。这是利用了激光的高频, 极大地提高信息率, 通信容量。例如普通电话线最多或只能同时传几十路电话, 而光导纤维能同时传十万路以上的电话。此外光导纤维通信还有不受干扰、抗核辐射等优点。为此我们还要大力研究光子通信的理论。

光子技术之一又很有希望的发展是利用激光频率的单纯和稳定度, 用合适的激光去激发某一选定的分子、原子, 而不激发混合物中其他的分子、原子, 被激发了的分子、原子能进一步参与化学过程。这样我们就能做到分离出我们选定的原子, 或进行以前不能进行的化学反应。前者是同位素分离技术, 后者是新的化工流程\*\*。同位素分离技术与核技术有关, 好处是激光同位素分离比其他同位素分离技术能做到大大降低成本, 提高效率这一方面的技术可以称为光子化工或激光化工。

\* 单色亮度是指单位截面、单位立体角、单位时间, 在单位频宽内发出的光功率。

\*\* 参见 G.M.Groff: 美国《Chemical Week》1977年121卷22期, 43~45页

光子技术的一个肯定要推进的方面是光子计算机。现在已经开始了一些集成光路的基础工作,将来可能是继电子计算机之后,超过电子计算机的光子计算机。从原理上估计,光子计算机的运算能力可以为电子计算机的百倍、千倍以至万倍。

光子技术中一个长期努力的项目是所谓“死光”,即强激光武器。根据目前研制情况,是否能成为作战的武器,仍然没有定论。但强激光的工作产生了突破能源技术的希望,也就是使用激光的惯性约束氘氚聚变的可能性是存在的,也许到本世纪末就能实现。当然实现聚变还有其他途径,惯性约束也可以不用强激光,而用电子束,或更好地用高能离子束。也可以用磁场约束,而这方面的工作进行的时间长,五十年代初就开始了,现在离实现似乎更近一些。

光子技术的历史还很短,现在看到的也只是其全貌的一小部分,也不可能看得很准。历史会逐步讲清这个问题,但它必须是一个范围广泛、内容极为丰富的一门技术。

### 三

既然光子技术有着非常广阔的前途,其发展必然会带起一个新的工业,光子工业。光子工业尽管现在还很幼小,远远比不上电子工业;但在五十多年前,电子技术的早期,谁能想到电子工业会有今天的规模和重要性呢?我们是社会主义国家的科学技术工作者,我们是社会主义国家的科学技术组织者,要为加速实现四个现代化提出我们的有创造性的意见。提出光子学、光子技术、光子工业作为激光革命的产物,不一定准确,但我认为值得大家讨论。不能说这只不过是几个词,因为词代表概念,而概念是实践经验的总结反过来成为指导实践的原则。例如,如果计为光子学、光子技术、光子工业的说法是对的,那为什么不组织光子学会这个专门学会来推动这方面的学术交流呢?

最后,我以为传统学科光学和旧有的光学技术、光学工业当然还要发展,正如电子学、电子技术和电子工业的发展并没有影响电工学、电工技术和电力工业发展。