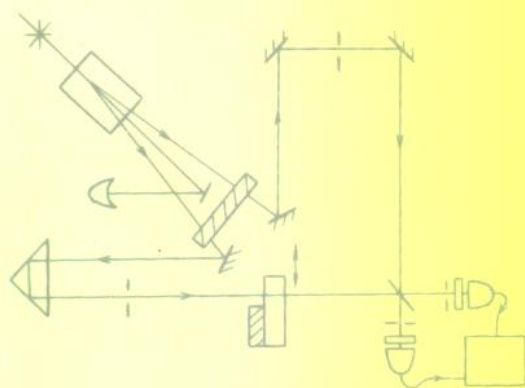


黄志洵 著

超光速研究

▼ 相对论、量子力学、电子学与信息理论的交汇点



科学出版社

中国科学院电子学研究所
高功率微波与电磁辐射开放研究实验室文集

超 光 速 研 究

相对论、量子力学、电子学与信息理论的交汇点

黄志洵 著

科 学 出 版 社

1999



内 容 简 介

本书是一本全面论述超光速问题的论文集,全书共三部分,15篇论文。第一部分5篇文章,介绍截止波导、消失模以及电磁理论研究新方向等与超光速问题有关的基本知识;第二部分5篇文章,综述波导量子隧道效应、超光速问题研究与实验等超光速研究的历史及目前的进展;第三部分5篇文章,讨论量子噪声、原子时标、光孤子、量子芯片与量子计算机、量子引力理论等量子电子学问题。书中主要研究超光速问题,也顺便讨论了量子电子学的新趋势和电磁理论的新发展。

本书可供广大科研人员、工程技术人员、大专院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

超光速研究:相对论、量子力学、电子学与信息理论的交汇点/
黄志洵著. -北京:科学出版社,1999.9

ISBN 7-03-007333-9

I. 超… II. 黄… III. 相对论-光速-研究

IV. O412.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 04866 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

科 地 亚 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999年9月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1999年9月第一次印刷 印张:8

印数:1-1300 字数:198 000

定 价: 18.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

序 一

《超光速研究——相对论、量子力学、电子学与信息理论的交汇点》一书由北京广播学院教授、中国科学院电子学研究所客座研究员黄志洵著,内容丰富而又饶有趣味.1996年秋,中国电子学会曾邀集部分在北京工作的物理学家和电子学家在学会总部举行“电磁波波速与微波超光速问题座谈会”;会议由我主持,与会者本着百家争鸣的精神充分发表了意见,而黄教授曾较详细地介绍了国内外研究的情况,也谈了他本人的一些想法.早在1985年黄志洵曾发表一篇论文“波导截止现象的量子类比”,其中谈到对微波也要关注其粒子性(微波量子或微波光子);而波导这种微波传输线或微波元件,可以从量子力学隧道效应的角度来观察和研究.1991年至1993年,欧洲科学家用截止波导作为位垒,进行了微波超光速实验;在选择位垒构成方法这一点上,恰恰符合黄教授于1985年提出的科学思想.这就是说,中国学者也是很聪明的,在这个问题上约早于欧洲人6—8年就独立地提出来了.这是我要谈的第一点.

作为20世纪的人,我们亲历了科学技术在本世纪的巨大发展.电子学的诞生,最早是从物理学脱胎而来;器件、元件、整机、系统均蓬勃发展,极大地影响和改变了人类生活.以器件为例,它走过了电子管→晶体管→集成电路→大规模集成电路→超大规模集成电路这样的发展过程.最近有报道说,美国某公司已开发出了更精细的芯片制造技术,能在指甲大小的芯片上集成4亿个晶体管,线宽低达 $0.1\mu\text{m}$!……由此可看出电子科学技术的发展情况和所面临的挑战.这种挑战既有生产工艺方面的困难,也有基础研究、基础理论方面的问题.下个世纪的电子学会是怎样?微波科学技术又将怎样发展?器件的开关时间能缩短到何种水平?……这些事

情大家都很关心.黄志洵教授的这部新作,虽然不可能系统地一一作出回答;但书中内容的一些预见性、超前性是显而易见的.这是我要说的第二点.

黄志洵教授是一位思维活跃、视野广阔的学者.他曾潜心研究导波理论、电磁兼容学、量子电子学、微波技术等领域内的科学技术问题,在国内外发表学术论文百余篇.他的专著《截止波导理论导论》曾获全国优秀科技图书奖.1999年6月7日,中国工程院公布了当年“有效院士候选人”名单,黄教授是信息与电子工程学部的134位候选人之一.我希望他继续努力,也希望我国的中青年科技人员努力,在迎接新世纪之时为祖国的强盛和人类进步作出更大贡献!

中国电子学会原理事长

中国工程院资深院士

孙俊人

序二 21 世纪的科学

1995 年 3 月,在美国犹他州 Snowbird 市举行的一个学术讨论会上,德国科隆大学(Univ. of Cologne)的 Nimtz 教授报告了他的研究小组关于“微波超光速传播”的实验结果.实验可简单描述如下:把 Mozart 的音乐调制在 S 波段的微波载频上,然后把载有音乐信号的微波分成两路:一路上接有一个长度为 12cm 的截止波导,而另一路作为比较的是等长的以光速 c 传播的传输线电路;精确测定接收到的两种音乐信号的时间差,就可以计算出音乐信号在截止波导中的传播速度:显然如果插入有截止波导的那路音乐信号先于比较电路上的音乐信号而到达,就说明在截止波导上音乐信号的传播速度快于光速 c ,并可计算出其传播速度. Nimtz 教授的实验表明,在该实验中音乐信号在截止波导中的传播速度为 $4.7c$.

这是人类历史上第一次直接的测出了一种超过光速的现象的实验报告.虽然与会者对此还有各种不同的看法,但是这一结果,理所当然的引起了全世界各国科学家的关注.自从相对论问世以来,是否存在超光速的现象一直是科学界关注的一个问题.相对论认为光速 c 是我们所已知的任何具有静止质量的实体物质的极限速度,对于这种实体物质当它的速度达到光速时,质量就达到无限大;只有静止质量为零的光量子(亦即电磁波)的传播速度才为 c .当速度超过 c 时,按相对论,其运动质量就为虚数,或者说为了保持其运动质量为实数,其静止质量就必须为虚数.这样一种虚的质量,到目前为止还只是一种纯数学的概念,尚无法找到其对应的物理内容.量子力学的出现,从理论上产生了超光速的问题:因为量子力学所遵循的不再是“确定性”的因果律而是“几率性”的因果律,假定某一在 t_1 时刻位于空间 P_1 点的粒子,它在 t_2 时刻的位置

P_2 不是确定的,而是以几率分布的.这样从理论上来说如果 t_1 和 t_2 的时间间隔足够的短,而 P_1 和 P_2 的空间间距又是足够的长,就可能存在某一几率使得粒子从 P_1 到 P_2 的速度超过光速.为了证实这样一种设想,科学家自然的想到通过隧道效应来测量粒子通过隧道的的时间,从而测定粒子通过隧道的速度.对于电子来说似乎没有希望测到超光速现象的可能性,因为把电子加速到非常接近光速本身就是很困难的.科学家对于光量子穿透隧道的速度做了大量的理论和实验研究.研究表明:为了能够有效地测量穿透隧道的光量子速度,要求隧道的厚度为波长的数量级,否则由于粒子出现的几率太小而无法测到稳定的结果;这样对于两路传输时间差的测量要求极高,在目前的技术下一般只能通过一些间接的办法来测量.而微波的波长比光波大了 5—6 个数量级,因而很自然的首先在微波波段内实现了直接测量超光速现象的实验.但是微波在传统的观念上是属于宏观物理学的范畴,这样超光速问题的研究把传统概念上属于宇观的相对论、微观的量子理论和宏观的电磁场理论联系在一起了.

Nimtz 的实验引起了世界上科学家的广泛的兴趣和争论.当然没有人会认为这一实验会动摇 Einstein 狭义相对论中那些已经为大量实践所证明的结论.从这一实验也还不能说我们已经找到了大于光速运动的物质.这是因为由量子力学中对于粒子时空分布的几率函数所得到的“速度”与经典物理和相对论意义上的速度可能不是一个概念,我们也许只能把电磁波在位垒中的时空分布理解为一种量子现象下的“态函数”,它是否具有经典意义上的速度的性质,是一个值得研究的问题.从电磁场理论的角度,我们可以看到,微波(或称为微波量子)在进入截止波导前的传输线的出口处和通过截止波导重新进入传输线的入口处,其速度都为 c ,即在截止波导中并没有任何微波量子被“加速”.但是从 Nimtz 的实验中,我们又不能不承认 Mozart 的乐曲在截止波导中比在传输线中传输的更快,亦即其传输速度超过了光速.这里就产生了一个重要的问题,就是如何认识“信息”的问题.虽然几乎人人都在说,现

代的社会是信息社会.但是到底什么是“信息”我们还了解得很少,对于信息的数学属性我们已经有了初步的了解,但是信息是否具有物理学的属性,如果有的话,它的物理学的属性到底应如何描述仍是一个尚未涉及的领域.反过来说,在经典物理中,或者说在宏观世界中,Newton 告诉我们物质的基本属性只有三个,即时间、空间和惯性质量;即从具有一定惯性质量的物体在绝对的欧氏空间-时间框架中的运动,就可以描述所有“物质世界”的运动规律;物质的任何其他属性都可以由这三个基本属性来描述.在相对论的世界中已经不再存在 Newton 的绝对时-空框架,而且把能量才是物质的基本属性,而质量则是一种由能量所衍生出来的物理量,这一点对于电磁量子(光量子)可以看得更清楚;在微观世界中,物质的波-粒二象性已经使得微观粒子的运动特性很难在 Newton 的欧氏空间-时间框架下进行描述,而在波函数空间中却可以得到很方便的描述.也就是说,在“不同的世界”中我们要用不同的方法来描述物质的物理学属性.当我们企图用一种更普遍的方法来描述宏观、微观和宇观世界的共同属性时,是否需要一些新的概念来描述物质的物理学的属性,譬如说“信息”是否是物质的一个基本的属性.尽管对于这个问题我们现在尚提不出更多的见解.但是在超光速问题的讨论中,关于“信息”和“信息的传播速度”始终是一个最为关心的核心问题.

从上面的讨论可以看到超光速现象的讨论把传统意义上完全属于不同“范畴”的概念:应用于宇观世界的相对论、宏观世界的微波理论、微观世界的量子效应和原来只是一种技术科学范畴的“信息”都不可分割地交织在一起了.这就是本书所要讨论的基本内容.

中国科学院电子学研究所高功率微波与电磁辐射开放研究实验室的客座研究员、北京广播学院的黄志洵教授和他的学生在本书中不但回顾了关于超光速问题争论的历史背景,综述了目前所取得的突破性进展,并展望了未来这一领域的研究发展前景;同时还详细地介绍了与此相关的一些基本知识,特别是我们前面所提

到的关于狭义相对论、量子力学特别是量子电子学、微波理论特别是关于截止波导中的电波传播问题以及与信息传播相联系的电磁波传播过程中的各种不同“速度”的定义；这里既有对这一广泛领域的科学发展史的简述，有对近期在超光速现象研究的详细的综述和展望，更有他自己在与此相关领域上特别是在截止波导理论上的具有创造性的研究工作：早在 Nimtz 把截止波导作为微波量子隧道的实验前十多年，他就提出了把截止波导作为微波的量子隧道的理论。我们相信本书的出版一定会引起我国这一领域的科学工作者和科学爱好者的广泛兴趣。

最后我们以本书中所引用的著名的美国电子学家、教育家 F. E. Terman 所说的“Wireless engineers are go back to science(无线电工程师应该回到科学——物理学中来)”的观点作为本文的结束。现代物理学——狭义相对论和量子理论的发展都与电磁场理论的发现有着最为紧密的关系，我们相信电磁场理论重新回到物理学中来，对于现代物理学的发展同样会起到非常重要的作用。

中国科学院电子学研究所
高功率微波与电磁辐射开放
研究实验室主任、研究员

宋文秋

前 言

一、

本书所反映的研究工作是在中国科学院电子学研究所高功率微波与电磁辐射开放研究实验室支持下进行的,出版此书意在探讨本世纪末到下世纪初(即世纪交替时)电子学发展中的某些基础性科学问题.正如大家所知,从上世纪末到本世纪初,科学界曾发生过重大的转折.例如,1897年 J. J. Thomson 发现了电子;1898年 M. Curie 和 P. Curie 发现新元素钋和镭;1901年 M. Planck 发表了量子论方面的首篇论文;1905年 A. Einstein 发表了3篇重要的科学论著,即“论动体的电动力学”,“关于光的产生和转化的一个启发性观点”和“物体的惯性是否与它所含能量有关”.……此外,上世纪末还有一些别的重要科学工作.它们奠定了本世纪科学和技术向前发展的基础,使“原子时代”、“电子时代”、“信息社会”的出现和建立成为可能.

与此同时,必须指出在世纪之交常常出现一些令人困惑的科学问题.众所周知,D. Hilbert 于1900年在巴黎国际数学家会议上作过报告,他提出了23个有待解决的数学问题.今天来看,他提出的问题有20个已完全解决或基本解决.因此,必须承认他在世纪之交的论述大大促进了数学在20世纪的发展.Hilbert说:“每个时代(科学)都有自己的问题.它们或者得到解决,或因无益而被抛弃,并代之以新的问题.”……1998年5月1日,《中国科学报》重新发表化学家黄子卿(中国科学院原学部委员、北京大学教授)于1962年对学生和青年研究人员作的题为“怎样作科学研究工作”的讲话,其中一开始就说:“提出问题、解决问题,提出问题是重要的.研究成果的大小,要看提的问题如何;而提出的问题一定要

是新的。”……事实上,无论外国还是我国,科学家的看法总是相同的。

处于 20 世纪末的我们,很自然地会怀念伟大的科学家 A. Einstein(1879~1955);如果没有他,人们还会在黑暗中摸索很久,才能看到光明。

尽管 Einstein 的大名人所共知、家喻户晓,但许多人并不清楚他与量子理论(包括早期量子论和量子力学)的因缘纠葛。不久前,一位雷达专家写信给笔者说:“近日因查阅资料,偶一段对 Einstein 的介绍,其中提到他在量子理论方面的贡献。但您却多次述及‘Einstein 对量子力学持怀疑态度’;为什么?!”……这封信使笔者认识到,电子学家也可能对科学史实感到陌生,从而促使笔者在本书的第二部分中收入一篇文章(“量子力学创立前后的 A. Einstein”);它既介绍了 Einstein 创立相对论的情况,又说明了他对早期量子论的贡献。然而,这并未妨碍他在量子力学创立(1925~1926 年)之后,采取持续 30 年的怀疑和反对态度。……例如,1935 年他与 Podolsky、Rosen 合写的文章(后人称为“EPR 思维”),那是对量子力学(Copenhagen 学派)的挑战。有证据表明,他的态度直到去世前都未改变。……鉴于本书所收的论文中各处均有对 Einstein 思想的评论内容,这里不再多说。

1904 年 H. A. Lorentz 的论文,1905 年 A. Einstein 的论文,确立了光速 c 的不可逾越性。然而,1904 年 A. Sommerfeld 却提出了“超光速粒子”的概念,并认为这种粒子在失去能量时加速,在获得能量时减速。这就是说,在狭义相对论刚刚提出时,就有另外一种不同的学术观点出现了。……人们习惯于传颂 A. Einstein 的伟大,但笔者却认为 A. Sommerfeld 教授是同样的伟大,其贡献遍及电磁理论、原子与量子理论等领域。就说 1995 年在美国犹他(Utah)州 Snowbird 市召开的国际学术会议吧,德国科隆大学(Univ. of Cologne)的 G. Nimtz 表演了微波被音乐调频并以 $4.7c$ (c 是光速)通过截止波导之后,科学家们就该音乐算不算“信号”争论不休。然而,与会者没有一人指出,早在 1914 年 A. Sommer-

feld 和他的学生 L. Brillouin 就已用数学分析详细讨论了电磁波速度问题,并对什么是信号、信号建立过程等作了非常精辟的分析。……本书的部分内容将弥补这种“当代的知识空白”。

A. Sommerfeld(1868~1951)出生在德国 Königsberg,1906 年任慕尼黑大学(Univ. of Munich)数学物理学教授,并主持该校的理论物理研究所。1959 年,已是著名物理学家的 Lèon Brillouin 回忆说:

“1911 年在布鲁塞尔召开了第一次 Solvay 会议,A. Sommerfeld 在会上发表了一篇很出色的论文,提出了作用量子(quantum of action)的概念,说这才是 Planck 常数 h 的意义。……1913 年,N. Bohr 关于原子的论文发表时,Sommerfeld 立即看出了其重要性。那天我正好在他的办公室,他拿着刚送来的《Philosophical Magazine》对我说:‘这里有一篇最重要的论文,是 N. Bohr 写的,它将开辟理论物理的新时代。’……1913 年,他对在色散介质中的信号速度问题感兴趣,并建议我参加研究——结果导致 1914 年我们各发表了一篇文章。”

Sommerfeld 的另一位学生是 W. K. Heisenberg;1920 年,前者带年仅 19 岁的后者远道去听 Bohr 关于原子的讲座。……正如大家所知,1924 年 Heisenberg 到 Bohr 教授身边任助手,次年独立提出矩阵力学,以后又提出测不准原理。这些东西与 1926 年 E. Schrödinger 提出的偏微分方程一起,构成了量子力学的基本内容。它对我们 20 世纪的科学发展和人们的思维方式产生了重大影响。那么,相对论与量子力学这二者究竟是互相配合以解释我们这个世界和指导科研,还是互相矛盾、无法相容?从 20 世纪的物理学、电子学发展史来看,两种情形都出现了。先举出前者的例子:在电子回旋 MASER 研究中,早在 70 年代后期,美国即利用近于光速 c 的电子及高密度电子束做了基础性实验。电子速度近于 c 时称为相对论速度。相对论速度电子与电磁波相互作用,必有受激吸收与受激发射的存在,这是 Einstein 理论的要点。同时,也可用量子力学的观点来说明——电子在静磁场中的能级与 Landau 简谐

振子一样,能量本征值的两条相邻能级能量差为 hf_0 (f_0 是 Larmor 频率);但在相对论情形下,能级越高电子质量越大,故 Landau 能级图是非均匀状。

然而,我们必须看到,自量子力学诞生之日起, Einstein 就持抗拒、反对态度。时至今日,即 20 世纪与 21 世纪之交,情况仍然是:相对论与量子力学不可协调! 本书的内容显示,在现在这个世纪交替的时候,关于超光速问题的理论和实验进展,无疑加深了相对论与量子力学这两大体系的矛盾。……这是不幸的,但却是现实。科学的发展常常出人意料,而这才正是自然科学研究的最吸引人的地方。

二、

迄今为止的微波技术主要指以 Maxwell 场理论为基础的对宏观现象进行规律探索和应用推广的学科。……然而,笔者于 1985 年发表的一篇题为“波导截止现象的量子类比”的论文,建议用量子隧道效应的方法论去研究本属宏观器件的波导,从而把两个领域有机地联系起来。鉴于该文的思想具有重要性,它已被收入《中国科学技术文库》(1997 年)。在本书中,也收入了该文。有趣的是,欧洲人在 90 年代初所作的微波超光速 (Faster Than Light, 即 FTL) 实验,正是使用截止波导做成一个位垒,与笔者 1985 年提出的思想一致。

广义的量子电子学概念,当然是以微观量子效应为依据,其特点是低的能量子 (hf) 和高的精确性,其中充塞着能级分裂、跃迁、自旋等内容。量子电子学的理论基础,包括早期量子论和量子力学。正如大家所知,在这个领域里许多实用器件已被设计出来。从原理到实践,这个学科已被授予了好几个 Nobel 奖。……这种情况当然会深刻影响 21 世纪电子学的发展。

一般认为,量子电子学的奠基者是 3 个美国人 (C. H. Townes, A. L. Schawlow, T. H. Maiman) 和 2 个俄国人 (Н. Г. Басов, А.

М. Прохоров). Townes 的贡献包括:1951 年最先提出用受激辐射原理制造微波量子放大器(MASER);1954 年领导制成氨分子振荡器(同年,苏联 Лебедев 研究所的 Басов 和 Прохоров 取得同样成果);1958 年最先建议把量子放大器从微波推广到光频(MASER $\rightarrow$ LASER). 1964 年的 Nobel 物理学奖,授给了 Townes、Басов、Прохоров 三人. ……至于 Schawlow,他是 Townes 的妹夫;1958 年他与 Townes 共同发表论文“红外与可见光量子放大器”,文中首次建议用两个平行的平面镜作为开放的光学谐振腔(Open Resonator),从而为设计实用的激光器指出了道路. Schawlow 由于在量子电子学方面的诸多贡献而获得 1981 年 Nobel 物理学奖. ……最后是 Maiman,众所周知他在 1960 年制成了世界上第一台光量子振荡器——使用红宝石作工作物质的固体激光器.

1973 年的 Nobel 物理奖授予 3 位科学家——美籍挪威人 I. Giaever(超导隧道效应的成功实验),日本人江崎(Leo Esaki;发明隧道二极管),英国人 B. D. Josephson(发现超导结现象). 这些工作是量子电子学早期发展的重大成就. ……量子电子学的中期发展主要以高电子迁移率晶体管(HEMT)和量子阱激光器为标志,它们是 80 年代的新科技.

今天,我们正值世纪之末,不能不看到一个极为重要的趋势,即量子微电子学(quantum micro-electronics)的崛起. 大家知道,晶体管是 1947 年岁末发明的,第一块集成电路(IC)硅芯片诞生于 1958 年. 而现在,微电子学的制作水平正向下述目标进军:每块芯片上集成约 10^9 个晶体管,电路线宽 $< 0.1 \mu\text{m}$. 这是难以置信的工艺水平,即使一粒微小的尘埃落到芯片上,也会盖住(压死)数以万计的晶体管! ……这种形势使人们认识到,到公元 2010 年左右,半导体芯片制造业将遇到新的障碍——不是由于技术水平,而是由于量子物理法则. 科学家们一直在思考如何跨越“量子障碍”(quantum barrier)的问题. ……自 80 年代后期,就已开始研究所谓“隧穿晶体管”(tunnelling transistor),但至今仍未能投产. 然而,必须看到目前已有几个发达国家竞相利用量子学原理开发晶体

管.可以毫不夸张地说,在不久的将来,不懂量子物理学的人可能无法再称自己为电子学家.

当前的一个重要的科学前沿领域是量子信息学,它包含量子通信和量子计算这样两个主要学科.关于量子通信,早在1970年就由Wiesner提出了量子密码通信原理,近年来仍受到信息安全方面的专家的注意,据说1995年已将通信距离扩展到110km;另据《中国科学报》报道,大约在1998年4月我国留学奥地利的博士研究生潘建伟已与别的学者一起以实验实现了未知量子态的远程输送,从而完成了量子信息学方面的重大突破.……本书突出论述了量子电子学的发展,其角度与我国已出版的量子电子学书籍的角度不同.

三、

本书所收入的15篇文章,三分之一写(或发表)于80年代;其余均写(或发表)于近几年,即1997—1999年.这些文章既展示了国际科学界的研究情况与进展,又反映了笔者的有关工作和观点.如果说,这本小书从一些侧面描绘了科学前沿问题,反映了科学家在世纪之交的某些困惑,那就达到我出版本书的目的了.

本书共分为三个部分.第一部分包括5篇文章,其中3篇关于截止波导和消失模方面的论文,除其自身的意义外,也是为读者了解微波超光速实验作些准备;此外,还有两篇文章讨论经典电磁理论与量子理论相结合的问题,探讨电磁理论研究的新方向,突出了电磁场与电磁波粒子性方面的研究的意义.第二部分共5篇文章,多数是研究FTL问题的;这些文章用大量事实说明,FTL的研究历史与相对论的提出和应用的历史一样长久,并且已发展为一个严肃的研究领域和独立的学科分支.该研究有深刻的理论背景,处在相对论、量子力学、电子学三者的汇合处,并动用了一些先进的科技实验手段.文章显示,从不同角度进行的研究都是独立的存在,触及了自然科学的基础.第三部分有5篇文章,涉及量子电子

学的若干方面——量子噪声、原子时标、光孤子、量子芯片与量子计算机、量子引力理论等。总的说来，本书突出研究 FTL 问题，也连带地讨论了量子电子学的新趋势和电磁理论的新发展。

应当说明，笔者只是电子学家（专业为电磁场与微波技术），不搞理论物理，亦非相对论专家。然而，电子学本身就是从物理学脱胎而来。电子学家必须关注理论物理学以及实验物理学的最新进展。实际上我们关心的是，21 世纪的电子科技和电子工业向理论提出了什么问题或要求？！……我希望能展开讨论并得知读了本书的人们的意见，因为自然科学只有经过既大胆又严谨的讨论和实验才能得到发展。

在本书即将出版时，我要向与本书出版有关的人士表示感激之情。第二部分的第二篇文章（“比光速还快”）是由北京广播学院讲师郭燕编写的，她对国外研究进展的准确把握和描述给人以深刻的印象。孙俊人院士在百忙中为本书写序；宋文森研究员一直关怀笔者的研究、写作，并审读了全部文稿，提出了修改意见；这些支持使作者深为感动。中国科学技术大学沈惠川教授所惠赠的他的文章大大促进了我的思考；此外，与沈教授的多次通信也使笔者受益良多。……对以上各位先生，我在此表示衷心的感谢。另外，我的夫人李瑛女士和女儿晓薇无私地给了我许多具体帮助，研究生徐诚在查找科学文献方面多所协助，于此一并致谢！

黄志洵

1998 年 10 月于北京育新花园

目 录

序一

序二 21 世纪的科学

前言

第一部分

截止波导理论进展概述.....	1
波在电离气体中的截止现象和消失场特性	31
波导截止现象的量子类比	39
电磁理论研究的新方向	49
电磁场的量子化及有关科学问题	64

第二部分

量子力学创立前后的 A. Einstein	79
比光速更快	96
波导量子隧道效应与超光速微波的研究.....	105
微波超光速研究的实验方法.....	129
FTL 问题——世纪末的科学疑谜	142
附录 I. 光速 c 的测量值	152
I. 中国电子学会于 1996 年 10 月在北京召开的“电磁 波波速与超光速问题座谈会”纪要	153
II. FTL 研究的有关名词及重要文献索引	156

第三部分

量子噪声理论若干问题.....	158
按受激辐射原理工作的微波原子时标.....	172

• xv •