

工程科学领域的发展与现代物理学

宋文森

(中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

[摘要] 从工程科学发展的角度探讨了相对论、量子理论和宏观物理学之间的关系, 它们之间的矛盾和共同点, 以及如何在共同的发展中寻找建立更加深刻的物理理论的可能途经。

[关键词] 相对论; 量子理论; 工程科学; 波函数空间; 波粒二象性

[中图分类号] O41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)09-0014-06

1 引言

长期以来与工程科学相联系的一些学科领域被认为是与人们直接经验相联系的宏观理论, 而现代物理学是研究微观或宇观世界的科学, 并把宏观理论看成不是微观就是宇观理论的近似形式, 因而工程科学也就被认为只是现代物理学在宏观条件下的近似形式。近年来, 大量研究发现, 在传统的宏观物理学的领域内, 存在着与相对论、与量子理论的物理概念和数学方法相通的问题。这些研究结果似乎告诉人们, 从物质多样性和相互作用的观念, 尽管宏观、微观和宇观有各自特殊关心的问题, 更有共同的物理本质问题, 研究这些共性也许是现代物理学发展的重要方向之一。

爱因斯坦在评价自己的相对论时曾经说过:“(它)肯定会让位给另外的理论, 虽然其具体理由我们目前尚无法臆测, 我相信深化理论的进程是没有止境的。”^[1]上一世纪末国际上出现了超光速研究的热潮, 我国科学工作者也于1996年10月, 召开了第一次关于“电磁波波速与超光速问题座谈会”。这以后, 几乎每年都召开有关超光速、相对论和现代物理创新的学术讨论会。开始时以电磁理论工作者为主, 还有光学和理论物理的学者参与, 以后流体力学与气体动力学领域的科学家也越来越多地参与了这一理论物理的创新研讨。从研讨的内

容来说, 也对超光速现象与相对论逻辑的研讨, 逐步深入到对波科学与相对论的物理实质问题探讨。看来我们正在一步一步向着深化理论的正确方向前进^[2]。

科学发展到19世纪与20世纪之交的时候, 大量物理学的新发现与牛顿所建立的经典概念发生了矛盾, 物理学晴朗天空出现了一片“乌云”, 于是相对论和量子理论这两个20世纪最重要的科学理论出现了。正如爱因斯坦所说:“牛顿啊, 请原谅我, 你所发现的道路在你那个时代, 是一位具有最高思维能力和创造力的人所能发现的唯一的道路, 你所创造的概念, 甚至今天仍然指导着我们的物理学思想, 虽然我们不知道, 如果要更深入地理解各种联系, 那就必须用另外一些离直接经验较远点的概念来代替这些概念。”^[1]但是20世纪所创立的这两个最重要的理论却存在着矛盾, 整个20世纪人们都在讨论着这一问题。但是整个20世纪都无法臆测能够把这两个最重要的理论统一起来的另外的理论会是些什么。自然, 这就成为新世纪之交时人们最关心的科学问题。

很多人早已看出, 相对论与量子理论之间所存在的不协调的主要原因, 就在于我们现在还没有关于“波粒二象性”的合理的物理图景。而在波粒二象性中, 对于粒子性的物理图景和逻辑观念, 在牛顿的经典数学和物理模型基础上, 不但已经为人们

[收稿日期] 2003-08-11; **修回日期** 2004-05-21

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(60071007)

[作者简介] 宋文森(1938-), 男, 浙江宁波市人, 中国科学院电子学研究所研究员

所普遍接受，而且曾在一个相当长的历史时期内被看成是物质运动的普遍图景；而对于波，至今还没有一个完满的物理图景和数学方法。因此我们以为抓住了波科学的研究，就是抓住了打开深化理论的一把钥匙。因为只有对于波和粒子都建立了比较完善的概念以后，才有可能建立把这两者结合起来的波粒二象性的合理的物理图景，从而为解决存在于相对论与量子力学的矛盾创造条件。而波本来就是经典物理学的一个重要组成部分，国内的一些学者，近年来从流体力学^[3]、气体动力学^[4]和宏观电磁场理论^[5]这些传统的工程科学领域出发，深入研究了波理论，从波理论来探究相对论的物理实质，这对于发展理论无疑是非常有意义的。

波理论的重要性实际上也是由爱因斯坦提示给我们的。在牛顿的时代，物质的存在形式是单一的，这就是“有质量的物质”（也许我们以后应该把它称为实物，以便把物质这个已经为人们所习惯了的哲学概念赋予更广的含义）。能量总是附属与实物，总是与实物的各种状态相联系：与实物的整体运动状态相联系的是动能，与实物之间的相对位置相联系的是位能，与组成实物整体的内部粒子的运动状态（当然这种运动仍按照牛顿的运动规律）相联系的是实物的内能，包括热能。离开了实物就谈不上能量。而爱因斯坦却提出了能质关系，即 $E = mc^2$ 。虽然对于这一关系的理解，至今仍是一个需要讨论的问题，但是至少可以使我们想到有可能是存在独立于实物的能量，这种能量也是物质的一种存在形式，它可以与实物的质量之间进行相互转换。我们现在可以说这种物质就是波。爱因斯坦对于波有一段论述^[2]：

“按照光的麦克斯韦理论（或者更一般地说，按照任何波动理论），从一个点光源发出的光能，是在一个不断增大的体积中连续地分布的。

“用连续空间函数来运算的光的波动理论，在描述纯粹的光学现象时，已被证明是十分卓越的，似乎很难用别的理论来代替，但不应忘记，光学观测都同时间平均值有关，而非同瞬时值有关，尽管衍射、反射、折射、色散等理论完全由实验所证实，但仍可以设想，当人们把用连续空间函数进行运算的光理论应用到光的产生和转化现象上，仍会导致与经验相矛盾。

“在我看来，关于黑体辐射、光致发光、紫外光产生的阴极射线，以及其他一些有关光的产生和

转化现象的观察，如用光的能量在空间中不是连续分布这种假设来解释，似乎更好理解。按照我们的设想，从电光源发出来的光束能量在传播时不是分布在越来越大的空间中，而是由有限个数的、局限在空间各点的能量子所组成，这些能量子能够运动，但不能再分割，而只能整个地被吸收或产生出来。”^[2]

这段话，对光（或波）的本质作了在当时条件下最深刻而合理的描述。首先他指出了波是在不断增大的体积中连续分布的；其次指出了经典的光学实验都符合波的理论；最后指出，对于光的另外一些现象（当光与其他物质相互作用时），用光是由有限个数的、局限在空间各点的能量子所组成，更能得到合理的解释。爱因斯坦最终选择了光的粒子理论作为发展他理论的基础，在当时的历史条件下，这是理所当然的事，否则他就不是爱因斯坦，而是玻尔或其他人了。科学的发展需要从两个方面去发展牛顿的理论，爱因斯坦就是从粒子性的方向上发展牛顿理论的代表。而现在已经到了把两者统一起来的时候了。科学发展的历史中有一个非常有趣的现象：研究从经典观念看应该是波（光）的人，首先发现了这个波的不连续现象，从而选择了粒子性作为深化牛顿理论的基础；而研究在经典情况下是粒子（电子）的人，首先发现了这个粒子的空间连续性，发现了无法精确确定其空间的位置，从而以波动性作为深化牛顿理论的前提。它们之间的持续一个世纪的争论是科学发展的最光辉的篇章，也是人类抽象思维发展的最艰辛的里程。

2 量子力学的数学方法——波函数空间理论的数学逻辑和物理内涵

量子理论更侧重于波理论的发展。因为直到现在，物质的粒子性和与粒子性相联的速度，加速度和轨迹这样一些物理运动图景，似乎已经成为与人们的直接经验相联系的物质运动的唯一图景。那种没有轨迹，没有加速度，在不断增大的体积中连续分布的另一种物质运动——波运动图景，直到现在并不为人们所理解。牛顿的物理图景与他的经典数学浑然一体，把波运动的物理图景、数学规律和哲学逻辑体系都淹没在其中了。所以同样作为宏观物理世界支柱的波理论，在经典物理学中被认为只是牛顿力学的一部分，它的基本的物理特性和数学方法一直没有发展起来；反而是量子理论的发展促使

了宏观波理论的发展。量子力学的发展过程中最让人困惑的就是它特有的数学方法和与此相联系的完全不同于质点动力学的物理图景。正像有的书中所说的：“量子力学的主要问题是物理概念体系，而不是数学逻辑体系，它的理论的重要方面是为人们提供了打破经典物理学对物质世界认识的传统观念^[6]。”如果把这句话理解成物理概念体系与数学逻辑体系是对立的，那就错了。但是如果我们把那句话理解成只是量子力学的数学方法与牛顿质点动力学的物理观念是不相容的，那就完全合理了。也就是说在经典物理学中，本来就应该有一种关于波的物理图景，它与质点动力学的物理图景同样是认识世界的另一类物质运动形式的物理图景。当然量子理论比经典的波理论还有一些深入的概念需要研究，但是在理解了经典世界中的波运动的数学方法和物理图景后，就有可能不再把量子力学物理观念与经典物理观念对立起来，而是把量子力学的物理图景看作是经典物理学中关于粒子运动图景和波运动图景的某种结合和深化。

波理论的核心就是波函数空间的理论，这是一种与牛顿的时空概念不完全相同的概念。牛顿的时空概念本质上是粒子物理的概念，爱因斯坦的时空模型虽然有了时空的收缩，膨胀和弯曲，但是本质上还是牛顿的概念，即它是适合于不连续粒子运动的模型。在连续函数空间的数学模型中，只有在这一空间中建立“元素”（波函数或基函数）的过程中，才直接与欧氏空间的坐标发生关系，而这些基函数都是连续可导的“好函数”。此后的所有运算不是在欧氏空间的元素（点集）上，而是在波函数空间的元素（基函数系）上，不是按照欧氏空间的运算规则，而是按照波函数空间的运算规则进行的。虽然牛顿的经典数学理论中也解决了连续的概念问题，但在欧氏空间中只是欧氏空间或复空间或三维矢量空间中的点集是连续的，而在经典分析中允许函数及其导数存在不连续，或者说，在一般情况下，欧氏空间中的运算常会出现各种因函数及其导数的不连续所造成的“奇性”。而波函数空间中不可能有任何“奇性”出现，因为在波函数空间中所有的分析都是在具有无穷阶连续可导的“好函数”的波函数空间内进行的，欧氏空间中的点不再是一个有直接意义的量，所以对于空间点的奇性也变得没有意义。这是波函数空间的一个自然的又是非常重要的属性。它不仅是一个抽象的数学属性，

同时也与波的基本物理属性联系在一起。在那里，所有的物理量都与波函数空间的量度规则联系在一起，这就导致了所有与欧氏空间上点相对应的牛顿力学中的物理量都失去了直接的意义。即经典理论中所有我们所习惯了的物理量，如质量、空间位置、速度和加速度等等都失去了直接的意义。代替原来物理量的是建立在波函数空间的元素和量度相联系的物理量，如频率，波长（这是基函数中所固有的量），以及与波函数空间量度规则相联系的间接物理量。这一点实际上也是很直观的，波的速度与粒子的速度实际上是两种完全不同的物理概念：粒子的速度是与欧氏空间中每一点相联系的矢量，而波的速度只是在均匀介质区域内波的整体速度，与欧氏空间上的位置没有关系，波是没有加速度的，也不是矢量。但是由于牛顿的物质世界的单一化的粒子图景，又为爱因斯坦所继承，这两个跨越了近5个世纪的科学巨人的影响，使得直到现在，物质世界的多样性，或者说物质世界中存在着波与粒子，存在有质量的物质和独立于有质量物质的能量（波），存在着“连续”与“不连续”的多样性的物质运动图景总是难以为多数科学工作者所理解。对于这些人来说，没有质点，质量，加速度和运动轨迹的物质运动实在是不可思议的。但是对于能量与质量，连续与不连续这样一些概念首先是爱因斯坦以最明确的语言表达出来的，只是在以后的深入的理论发展中，他选择了其中一个模型，粒子模型。当然，他从来也没有说过这一模型是不可改变的，相反，他总是相信，它肯定会让位给另外的理论。

3 宏观的但不是经典的电磁场理论——电磁场的算子理论

工程科学工作者接受函数空间和算子理论，首先只是把它作为一种数值计算的工具而不是描述物理图景的方法，所以当第一本关于电磁场的算子理论的著作^[8]出版过程中曾受到各种质疑。但是十多年后，美国也出版了类似的著作^[9]。它们都以函数空间理论作为电磁场理论的解析工具，同样都消除了经典场论中不能避免的奇异性问题。电磁场的算子理论的核心就是建立宏观世界中波的数学物理模型。从笔者的两部著作^[5,7]中可以看到，这实际上是描述宏观世界中纯粹的波，就像牛顿的质点是纯粹的粒子，它的运动规律与经典数学分析保持

了精确的一致性。电磁场的算子理论中的电磁波就是纯粹的波，它与矢量偏微分算子的数学模型同样保持了精确的一致性。现代电磁场理论与量子力学中的波函数空间理论的唯一差别是，在量子力学中函数空间是标量的，它无法直接与欧氏空间下的力建立精确的逻辑联系。量子光学中，光子的两种“态”只能用符号来表示，这种“算符”没有欧氏空间中的数学表达形式，因而现在的量子光学还没有找到它的宏观机制。在电磁场的算子理论中光子的两种态是以电磁波的二维性来表示，即在算子理论中，首先找到欧氏空间中的三维矢量函数与矢量偏微分算子的两类子空间的和集——旋量场和无旋量场的逻辑等价关系。在算子空间中分离出纯的旋量场，即是电磁波的场，它可以由两个独立的标量函数来表示，这就是电磁波的二维性的含义。在物理上应该与量子光学中的两种态相对应，但是由于它没有考虑光的那种不连续性——量子性，所以可以得到这两种态在欧氏空间中的数学表达式。以后的工作就像牛顿质点动力学在经典数学中的表达那样，我们得到了电磁波在旋量场空间上的表达，这就是“电磁波基本方程组”。电磁波基本方程组就是电磁波在真空中的精确的数学形式。我们相信它应该和经典数学对于质点动力学精确性一样。

电磁场的算子理论是对于波的精确的数学理论，它不仅有着严格的数学逻辑，同样有着清晰的完整的物理图景。正是因为这些物理量不再与特定的空间点相联系，才真实地反映了与波相联系的那些物理量的客观特性，它的客观实在性最充分地反映在计量科学的发展上。例如，以前用原器作为长度的计量标准，虽然它很直观，但是要受物理环境的影响，精度差。现在国际的长度计量标准改为通过特定条件下的激光或微波的波长来定义，直观性差了，但是精度却大大提高了。现在几乎所有国际计量标准都从基于欧氏空间概念的经典直观量，变成了基于波函数空间概念的电磁量来代替了。这样，波函数空间的抽象数学概念也就慢慢地不抽象了，不仅成为有了的物理内容而且也已经紧密地与人类的生产和生活联系在一起了。所以把波运动看作与牛顿的力学运动同样重要的一种物质运动形式，把波函数空间的数学理论看作与微积分一样的、能够实实在在地描述物质运动的数学工具是一件非常重要的工作，这一点现在并不存在很多物理概念或数学逻辑上的困难。也许真正的困难在于教育，在于大

学教育的滞后。人类的直接经验不仅靠科学家的探索和创新，同样靠教育把已经证明可靠的科学理论变为人类的直接经验的一部分。

4 波理论是宏观物理学中的普遍问题

工程科学家认识算子理论不是首先在数学分析或物理概念上，而是在数值方法上。但是数值方法实际上与数学分析和物理概念是紧密地联系在一起。爱因斯坦前面所提出的连续与不连续，有限和无限的两种物质模型之间的争论，在工程科学中没有涉及任何哲学或逻辑上的争论，而以自己特有的方法解决了。这就是两种完全不同的数值方法：对于场与波，都必须用算子理论和函数空间的方法；而粒子运动，则还是用欧氏空间中的经典数学方法。有限和无限，连续和不连续都被粒子和波两类物质模型和两类不同空间下的数值方法所解决了。在函数空间为基础的数值方法中，物理量是连续地充满整个空间的，这里找不到任何有运动轨迹的物理量，即找不到任何服从欧氏空间中的守恒定律的物理量。而在粒子运动中的数值计算，如电子光学的计算中，都是以欧氏空间为基础的，我们计算的只是粒子在有限空间内的运动轨迹，各种相关的物理量在欧氏空间上保持着严格的守恒性。有限和无限，连续和不连续这样一些在物理理论上和哲学上永无休止争论的问题，在数值理论上以一种简单而实际的方法解决了。在无限空间上连续分布的波，却可以在不连续的离散的数值模型下进行运算，而保留了它的各种特性。有限个数的不连续的粒子，在数值计算的离散化的处理中成了无限小的空间位置，即欧氏空间的点上有确定值的“粒子”模型，这一“粒子”也不是物理上的粒子，而是大量物理粒子“集合”的抽象表示。理解数值方法本身所蕴含的物理本质不仅有利于数值方法本身的发展，也使数值方法和抽象的现代物理理论建立起联系。

特别值得指出的是这种以算子理论为基础的数值方法，不仅应用在电磁场理论中，同样应用于工程科学的几乎所用的领域，不用说像声学，流体力学这样一些与波理论有关的学科，同样应用到如岩土力学，材料力学等纯工程科学上，这说明波理论是整个宏观物理学中一个普遍而极为重要的问题。这里更可以看出，所谓连续和不连续的物质模型不是绝对的，在那些像空气、岩土那样的介质中，同样传播着具有空间连续特性的波。在这里计算方法

-数学-物理学被有机地联系在一起了。

在19世纪末期,人们从电磁现象的力学类比中发现了电磁波的运动规律,电磁波的出现造成了牛顿经典物理学的危机,产生了20世纪相对论和量子理论两大科学理论;而20世纪的末期,人们反过来致力于力学现象的电磁学类比,从这一类比中人们将重新审视宏观、微观和宇观的理论分野,并从中寻找更本质的物理联系。本文开始,笔者引用了爱因斯坦的一句话:“如果要更深入地理解各种联系,那就必须用另外一些离直接经验较远点的概念来代替这些概念。”从这些类比中我们也许能够找到与人们的直接经验较近点的概念来代替爱因斯坦的那些概念。当然我们这里所说的人们的直接经验已是不是爱因斯坦时代的人类的直接经验,而是一个世纪以后的人类的直接经验了。

在过去一直被看作宏观范畴,因而也是经典范畴的机械波中,也出现了与光波中类似的与相对论有关的问题^[3,4],这是一种非常有趣的现象。在气体动力学中,把“力”类比为电场,它是三维的矢量场,除了旋量场还有无旋场;“涡”类比为磁场,是纯旋量场。力的旋度等于涡的时间导数,涡的旋度等于力的时间导数并加上一个激励函数,因而这样就得到了与电磁场几乎完全类比的数学形式。实际上这是很自然的事,在岩土力学,材料力学这样一些比声学 and 流体力学离现代物理学更远的工程科学中,用算子理论来计算力场和本征问题已经有好几十年的历史了。长期以来,经典物理中把波与振动联系在一起,而振动又与单摆的摆动联系在一起。单摆的摆动完全服从牛顿力学规律,因而也把波归属于牛顿力学的范畴。但是显然,任何与场和波相联系的现象都是牛顿力学体系所不能包容的。所有以算子理论为基础的计算都是与牛顿理论相悖的,因为在那里不可能找到具有牛顿力学中质点特性的物理量。此外,服从牛顿力学规律的粒子系的运动应该服从伽利略相对性原理;波不满足伽利略相对性原理,而服从洛仑茨相对性原理。我们强调电磁波是纯粹的波,它有很大的局限性。而“机械波”就不同了,它的复杂性是真空中电磁波所不能比拟的。在那里,波的速度不再是光速,但是洛仑茨相对性原理依然满足,因而也可以从洛仑茨变换推导出类似的相对论关系;介质的运动速度不再总是远远小于波速,还可以大于波速;这就给相对论的时空观带来了很大的麻烦。

5 工程科学对现代物理观产生的影响

在讨论了波与粒子的两类物质概念后,就不能不面对波粒二象性的问题。这也许是一个还需要通过几代人去探索的问题。但是我们认为用单一的粒子模型去解决所有的物质运动也许只是一种误导,粒子与波是组成物质世界不可缺少的两类不同物质,我们有必要先分别深化对于波和粒子运动的认识。特别是对于波运动的认识,然后再来探讨波粒二象性的问题。关于波粒二象性的问题是否可能也存在同样的一种误导,即认为实体物质如电子的量子现象和光的量子现象有一个基本上相同的物理图景。可不可能是这样的情况呢?光(波)就是连续的,只是在与其它实物的相互作用过程中表现出它的量子性,能量交换不是连续的而是有最小的份额,这就是说波本身是空间连续的,但是波的运动状态的改变是不连续的。爱因斯坦也只是说在光的产生和转换现象中光表现出不连续性,毕竟到现在为止,还没有能够从实验得到单个光子。一些科学家在研究单光子的形态,并没有看到具体的结果,也许我们只能在相互作用过程中去理解单光子,单纯谈单光子的形态也许是没有意义的。不把光与其它物质作用联系在一起,它就以 c 传播,根本抓不住它;而光一旦与其它物质作用在一起,光的形态就会随着环境而改变。而对于有质量的实体物质,在理想的力平衡状态下似乎可以有静止的状态存在,当然这种静止也只是相对的,准静止的,或者说它是它的动量为零的状态。它的波动性是与它的定向运动相联系的。研究两类物质运动形态在两种数学空间中的相互变换和作用,从时空关系中,有相同性质的物理量在不同空间中的逻辑对应关系,或许是一条寻找我们所希望的能量与速度关系和能质关系的一条可能的通道。

最后要说的就是波的量子性并不是光所特有的,机械波在与其它物体相互作用过程中也存在着不连续性,声子就是描述声波在相互作用过程中能量状态的不连续性。但是能否找到作为粒子的单声子呢?爱因斯坦在对光特性阐述中用了能量子这个名词,虽是继承了布朗克的思想,但这确实是很有意思的。显然,在爱因斯坦的心目中,光的这种能量子的特性,是为实验所证明了的,而把它看作是与其它有质量的实体物质相同的粒子,是与它建立相对论的公设时,必然联系在一起的假设,所以这

并不能否定以量子命名的光（或其他的波）可能是与具有质量的实体物质具有不同性质的一类物质。从一些传统观念上属于宏观范畴的气体动力学中，首先注意到并深入讨论了与相对论有关的洛伦兹变换的物理含义不仅是一件有意义的事，而且一定程度上是一种必然的事。因为在气体动力学中，物质与波运动都是那么的复杂，介质存在着可压缩性，波运动与介质运动不仅联系在一起，而且物质运动可以超过波的运动速度，这就比研究单纯在真空中的电磁波，会得到更多的物质运动的信息。因而这一工作的意义不仅在于有可能把相对论那样的基础理论应用到工程科学中，同样可以看出工程科学中的复杂性同样蕴含着物质运动的最深刻规律。对遥远空间的研究曾是人类很多科学领域发展的摇篮，但是人类的生产实践永远是发展科学技术的最大推动力。从上一世纪末和本世纪初开始形成并不断完善的全局性的三大技术系统：实物的运输系统，能量的传输系统和信息的传播系统，不仅极大地改变了人类生产方式和生活面貌，也在不断改变人类赖以生存的地球环境，同样也对基础的理论科学提出了数不清的问题。而这些问题本质将仍是物质多样性和物质相互作用的基本规律问题，实物、能量（波）和信息将是物理学必须面对的三类物质的基本形态或三种物质的不同属性。当然，这样说丝毫也没有否认或贬低在理论物理的主流方向上、在基本粒子物理和宇宙学研究上所做的先导性研究的意义。正是这种先导性的理论研究给人类提供了各种新的物理概念、思维逻辑和数学方法，这些都是科学赖以发展的基本营养。如果不是先有了相对论和量子理论，我们怎么能够发现并讨论在传统的、经典的技术科学领域中也存在经典理论所不能包容的物理现象呢？但是在最前沿的物理的、数

学的、思维逻辑的理论探索中，验证这些理论的，有一些是思维实验，也有一些是物理的观测和实验，但是这些观察和实验一般不是常规条件下可反复进行的，因而总会有相当的不确定性。科学理论一旦与技术相结合，就会受到成年累月的和千百万人的检验。它的实验和观察的可靠性是确实的，但它的真理性也是有局限性的，如果没有基础理论的引导，往往会停留在直观的、近似的、粗糙的阶段。最前沿的理论物理研究，尽可能地与工程科学相结合，应该是新世纪牢牢抓住的不断深化理论的方向。

参考文献

- [1] 黄志洵. 论狭义相对论的理论发展和实验检验[J]. 中国工程科学, 2003, 5(5): 7~18
- [2] 黄志洵. 超光速研究新进展[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [3] 杨本洛. 流体运动经典分析[M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [4] 杨铁新. 超光速现象理论基础探讨[C]. 第二届超光速会议论文, 北京, 2002
- [5] 宋文森. 现代电磁场理论的数学基础——矢量偏微分算子[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [6] 陈亚孚. 量子电动力学导论——光子学导引[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991
- [7] 宋文森, 张晓娟, 徐 诚. 现代电磁场理论的工程应用基础——电磁波基本方程组[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [8] 宋文森, 并矢格林函数和电磁场的算子理论[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 1991
- [9] Hanson G W, Yakolev A B. Operator Theory for Electromagnetics[M]. New York: Springer-Verlag, 2002

Development in Engineering Science and the Prospect of Contemporary Physics

Song Wenmiao

(Institute of Electronic, Chinese Academy of Science)

[Abstract] The relationship among the relativity quantum theory and macroscopic physics are investigated based on the viewpoint of historical development of sciences; their contradictory, their common ground and how to get the new fundamental theory through the common development.

[Key words] relativity; quantum theory; engineering science; wave function space; wave-particle duality