

专题报告

【编者按】狭义相对论是20世纪初诞生的最重要的自然科学理论体系之一，在学术界一直有着巨大而深远的影响。近年来在理论和实验两方面出现的一些新论据和事实与狭义相对论相悖，是狭义相对论无法圆满解释的，成为国内外许多学术会议争论的议题，了解发生争论的动因成为许多读者的要求和愿望。为此，我们邀请中国电子学会电磁波波速专家工作组组长黄志洵教授撰写了“狭义相对论的理论发展和实验检验”一文以飨读者。

论狭义相对论的理论发展和实验检验

黄志洵

(北京广播学院, 北京 100024)

【摘要】狭义相对论(SR)可概括为10个主要方面,即1个变换,2个公设,3个公式,4个推论。目前对狭义相对论的质疑集中在“光速不变公设”和“光速不能超过推论”这两方面。1992年以后的10年间已做成了若干超光速实验,有的在经典领域,有的在量子领域。2001年,有迹象表明在大的宇宙时间尺度上光速缓慢减小,这引起了对光速是否真的恒定不变的质疑,SR似已受到挑战。国际科学界如使新理论成立,将是Einstein提出SR以来的一次科学革命。

【关键词】狭义相对论;光速不变公设;超光速;精细结构常数

【中图分类号】O412 【文献标识码】A 【文章编号】1009-1742(2003)04-0007-12

1 引言

狭义相对论(special relativity, SR)从提出至今已近百年的历史。虽然有人认为它是“不存在任何矛盾的逻辑自治的理论”,但是最近有报道说^[1],由于SR无法圆满解释许多现代物理学问题,美国、德国的一些科学单位正设计各种实验以重新检验SR的正确性,例如几年内将有携带精密仪器(如原子钟、光学谐振腔等)升空的计划,以进行Michelson-Morley型实验和Kennedy-Thorndike型实验,以便对物理规律和宇宙本质做进一步的验证和探索。实际上,许多科学家都了解,从20世纪末到21世纪初,国内外已有许多从表面上看是与相对论不符的科学报告、论文、书籍出版,内容涉及对Lorentz变换的重新审视、超光

速研究、光速可变理论、Finsler时空、宇宙创生理论等等^[2~18]。如何看待在世纪之交时科学界出现的这种现象,这是本文要深入讨论的问题。

20世纪时出现的相对论和量子力学是两大理论体系,影响整个自然科学的发展。但目前对它们仍在分析和讨论,主要集中在以下三个方面:**a.**它们各自有没有不自洽和过去未重视的问题甚至漏洞?该如何不停顿地向前发展?**b.**它们与新出现的实验现象有否矛盾?该如何解释?**c.**它们之间有没有不协调之处,甚至有尖锐的矛盾冲突?笔者认为,这些分析和讨论是完全正常的,因为任何科学理论在某个历史阶段总是同时呈现出它与过去相比较时真理性的方面和面对未来时的局限性方面。现在有许多物理学家喜欢讨论量子力学基础理论,有时被认为是为了修补Copenhagen诠释,也被认

【收稿日期】2002-09-02;修回日期 2003-03-01

【作者简介】黄志洵(1936-),男,北京市人,北京广播学院教授,中国科学院电子学研究所客座研究员

为是正统量子力学出现了某些问题。反过来说, 另外一些科学家喜欢讨论 SR, 评论它并指出其不足之处, 也是可以理解的。

本文的论述主要集中在狭义相对论(SR); 对于广义相对论(*general relativity*, GR)则很少涉及。

2 狭义相对论的 10 个主要方面

如所周知, 意大利科学家 G. Galilei 和英国科学家 I. Newton 是经典力学的创立者。Newton 1687 年阐述了力和关于运动的三大定律, 讨论了引力和天体的运动^[19]; Newton 使用了他发明的微积分, 处理了引力理论中的双体问题和三体问题。经典力学对人类的进步有重大贡献, 但它的绝对时空观及不与高速运动相适应的缺陷在 19 世纪末逐渐暴露出来。

1891 年, G. J. Stoney 最早提出了 *electron* 一词, 用以说明电解液释放自由氢所需的电荷。1897 年, J. J. Thomson 报告了关于带阴电微粒的发现和粒子荷质比 (e/m) 的测量结果, 确认这些微粒就是 Stoney 所说的电子。电子的发现使科学家们第一次面对高速运动的实体。20 世纪初, H. A. Lorentz 研究运动物质的电动力学, 发现按 Galilei 变换实现不同参考系(在它们之中时间相同)之间的坐标变换时, Maxwell 方程出现了明显的变化。他认为这是不合理的, 便埋头研究搞出了新的变换式。但在当时他认为这只是一些数学窍门, 未认识到这些变换式的重要意义。

1905 年 A. Einstein 发表了相对论的第一篇论文“论动体的电动力学”^[20], 刊登在 9 月出版的德文《物理学杂志》(*Annalen der Physik*) 上。稍后(也是在 1905 年)发表了 SR 的另一论文“物体的惯性同它所含能量有关吗”^[21]? 此外, 1907 年 Einstein 又发表了一篇长文“关于相对性原理和由此得出的结论”^[22]; 1922 年在美国出版了他的书《相对论的意义》^[23]。以上这 3 篇文章及 1 本书便是 SR 的原始基本文献和我们讨论的依据。

SR 的基础是两个公设和一个变换; 第一公设说“物理定律在一切惯性系中都相同”, 即在一切惯性系中不但力学定律同样成立, 电磁定律、光学定律、原子定律等也同样成立。第二公设说“光在真空中总有确定的速度, 与观察者或光源的运动无关, 也与光的颜色无关;”这被 Einstein 称为 L 原理。为了消除以上两个公设在表面上的矛盾(运动

的相对性和光传播的绝对性), SR 认定“L 原理对所有惯性系都成立”; 或者说, 不同惯性系之间的坐标变换必须是 Lorentz 变换(LT)。现在, Einstein 认为 LT 不仅赋予 Maxwell 方程以不变性, 而且是理解时间与空间的关键, 即用 LT 把时、空联系起来。SR 还有 4 个推论(运动的尺变短、运动的钟变慢、光子静质量为零、物质不可能以超光速运动)和 3 个关系式(速度合成公式、质量速度公式、质能关系式), 这些便是构成 SR 的主要内容。其中质能关系式在 1905 年是独立发表的, 但 Einstein 明确地说, “前一研究的结果导致一个非常有趣的结论”^[21], 所谓前一研究是指论文“论动体的电动力学”, 因此质能关系式必须列在 SR 之内。

这样, 我们可以把 SR 分解为 10 个主要方面或内容——2 个公设、1 个变换、4 个推论、3 个关系式, 从而在分析和讨论时既具体又方便。

3 对 SR 两个公设的检验与考查

公设的正确性是靠其预言或假设与实际的符合程度来检验的, 它不能直接与实验相矛盾。我们将据此来讨论 SR 的两个公设。先看 Einstein 本人怎样论证第一公设与实际相符的特性, 1921 年 5 月他在美国 Princeton 大学演讲时说: “所有的实验都表明, 相对于作为参考系的地球, 电磁现象和光学现象并没有受到地球平动速度的影响; 这些实验中最著名的就是 Michelson 和 Morley 所做的那些实验”(M—M 实验)^[23]。

既然近年来不是第一公设而是第二公设受到了较多的批评, 必须对它的实践检查和实验检验问题作更广泛深入的讨论。Einstein 在 1921 年的演讲中是这样说的: “Maxwell—Lorentz 方程对运动物体中光学问题的处理也证明了它(指第一公设——笔者注)的正确性。没有其他理论可以令人满意地解释光行差、运动物体中的光传播(Fizeau)和双星现象(de Sitter)。Maxwell—Lorentz 方程的一个推论是: 我们必须认为至少是对于一个确定惯性系 K , 光在真空中以速度 c 传播这一假设已被证实。我们还必须根据狭义相对性原理假定上述原则对其他任意惯性系都成立”。这里 Einstein 是用第一公设帮助确立第二公设, 未正面谈第二公设的实验检验。实际上, 大多数非 Einstein 所写的解释 SR 的书, 都是用 M—M 实验作为第二公设的证明的。

1960年出版的 Chamber's Dictionary of Scientists 中关于 A. A. Michelson 的词条是这样说的：“他曾领导进行著名的光速测量实验，得出结果为 $c = 299860000 \pm 30000$ m/s；又与 Morley 一起完成了著名的确定以太漂移的实验，结果为负，从而引出了相对论理论”^[24]。邓乃平认为，“用经典理论（经典时空、绝对参考系、以太）不能解释 M-M 实验结果……从光速不变原理出发能很自然地解释，亦即 M-M 实验本身就说明了光速的不变性”^[25]。张元仲在《狭义相对论实验基础》书中称“1887年，M-M 以更高的精度重做实验，仍未发现干涉条纹移动”^[26]，即对以太漂移的测试得到零结果；实际上，M-M 类型的实验“其零结果表明，双程光速不变性成立……但它们不是单向光速不变性的实验依据”^[26]。胡宁在该书的“序”指出：“在相对论出现前，Fitzgerald 和 Lorentz 已在以太论的基础上对 Michelson 实验的结果给出了解释。因此，Michelson 实验的零结果既可用以太论解释，也可用相对论解释，就是说它既不否定光速不变也不肯定光速不变。……‘光速不变原理’最初提出时只是一个假设，而不是 Michelson 实验的结论”^[26]。

对比以上几种说法，显然以胡宁所讲最为可靠和正确。长期以来，有些人按照自己的主观愿望和意图任意地解释 M-M 实验，根本不管科学史实，亦不顾 A. Michelson 本人意见。笔者就此问题进行查证，发现与广泛流传的说法（“Michelson 为了否定以太而设计并进行一系列实验”）相反，他对以太似有某种偏爱，对后来出现的 SR 也持有某种保留。1926—1928 年间，70 多岁高龄的 Michelson，在其生涯中第三次寻找以太漂移的实验仍以否定告终。但是，这位老人从未宣布过他完全放弃了以太。

20 世纪末，出现了许多新的思考和动向。首先是著名物理学家 J. S. Bell，他于 1990 年去世，此前他注意到 A. Aspect 的一系列实验，这些实验对量子力学的正确性是一种维护，对 Einstein 的 EPR 思维提供了不利的证据。Bell 说，“量子力学极有成就；……很难相信它是错的”；他认为 EPR 中“包含着某种比光快的东西”，并说他不赞同 Einstein 的世界观，“我想回到以太概念去”^[27]。……这位科学家的思想变化令人吃惊！1999 年，J. Magueijo 等人提出光速可变速论^[5]（varying

speed of light theory, VSL)；2001 年，J. Webb 等发表对类星体观测的结果，通过对精细结构常数的研究认为“光速并非恒定不变”^[28]。……如此等等，似乎都是对 SR 第二公设提出挑战。

近年来，科学界对以太（ether）概念确有复活趋势，而这个问题与对真空的看法有关。长期以来，真空被定义为空无一物（没有物质）的空间，随着科学技术的迅猛发展，此定义越来越站不住脚。1928 年 P. Dirac 提出一个新概念，即真空是一个具有最低可能能量的空间区域。1979 年李政道先生说：“真空是实在的东西，是具有 Lorentz 不变性的一种介质”。后来他多次指出：“真空是有作用的态”，“真空很复杂，是个凝聚态，是有构造的”，“真空有能量的起伏，可看作充满了虚物质”^[29]。当然，认为真空不空而是基态的观点，是典型的量子场论观点，明显与 SR 不同；后者认为真空就是真空，而不是别的什么。近年来，一些学者重新考虑有关以太的问题，例如，张操认为“经典以太说失败的根本原因是以太假定了一些机械性质，而没有把以太当作一种物理场；……所谓以太（或物理真空）是一种特殊的场”^[9]。笔者独立地发表了与张操相似的看法，在文章中是这样说的：“综合 Michelson-Bell 的态度，今天我们是否可以重新考虑以太概念的合理成分？当然，必须在目前的科学水平上考虑，例如结合暗物质和 Higgs 场。这与‘真空不空’的说法一致”^[30]。

与 SR 的第二公设相关的另一个重要问题是，真正有意义的单向（单程）光速测量从未在实验上得到解决。值得注意的是，相对论学者并不否认这一点。文献 [26] 多次提到这个问题，在该书 §1.2 中说，如果找不到更理想的校钟手段，单向光速就不可观测；只有平均双程光速与同时性问题无关。又说，下一章（指该书第二章“光速不变原理实验”）的各种检验光速不变的实验均只证明了回路光速不变，并未证明单向光速不变，故说“光速不变已为实验证明”并不确实。第二章的前言中说，Einstein 光速不变原理所指为单向光速，即光沿任意方向的传播速度；但实验所测并非单向光速的各向同性，而是回路光速的不变性。此外，该书 1994 年重印本中作者加了一个说明，再次强调单向光速不可观测，这是因为“我们并没有先验的同时性定义，而光速的定义又依赖于同时性定义”。2000 年 11 月出版的《Newton 科学世界》杂志发

表了张元仲对该刊的谈话：“Newton 的绝对同时性在现实中无法实现；Einstein 提出光速不变假设，即用光信号对钟；……说是假设，因它不是经验（实验）结果，因为单向光速的各向同性没有（也无法）被实验证明。要测量单向光速就得先校对放在不同地点的两个钟，为此又要先知道单向光速的精确值。这是逻辑循环，因此试图检验单向光速的努力都是徒劳的。”^[31]

如果笔者的理解不错，那么相对论专家也承认第二公设确实没有得到真正的实验验证。现在出现了有趣的情况，一方面认为“狭义相对论是感性（实验）和理性（理论）完美结合的产物，已被许多实验所证明”^[31]；另一方面又说 SR 的两个基础之一（第二公设）根本不可能在严格的意义上用实验证明。出路似乎只有一个，即这个“假设”不需要实验证明；只要用这类思辨式语言说一说，人们就必须加以承认。然而，这只是一种愿望，事实上，目前在国内外对“光速不变”持怀疑态度的确实大有人在。

至此，我们看到对 SR 第一公设的反对意见很少，对第二公设的怀疑和反对意见较多，因此正确的态度是不仅允许公开讨论，还应进一步开展实验研究。著名的理论家 Karl Popper 认为，科学知识之为科学知识，关键之点在于它是否可错？是否可被证伪？是否能积极面对出现的反证？笔者认为这可以作为我们讨论 SR 第二公设时遵循的原则。正如任定成所指出的，可证伪性就是具有用可观察的证据与其比较的性质，即可检验的性质^[32]。对 SR 第二公设而言，就是在陈述中排除光速可变的可能，如同发布一种禁令；目前它还没有排除错误的可能，本文后面还要谈到。

4 关于宇宙学的思考和类星体观测中精细结构常数异常地发现

宇宙学的研究有长久的历史。在 20 世纪，有几个观测宇宙的事实特别令人注意。首先是宇宙在小尺度上的非均匀性和大尺度上的均匀性；其次是处在天空各方向上的星云都有光谱红移，即各方向上的星云都在退走，构成一幅宇宙膨胀的图像（E. P. Hubble 于 1929 年宣布：星系红移即速度与距离呈线性关系）；再次是类星体（quasars）的光谱红移特别大，如按 Hubble 定律推算，它们距离我们可达百亿光年以上，故类星体是已知的最遥远

天体；最后，1965 年由 A. A. Penzias 和 R. W. Wilson 所发现的微波背景辐射（CMB）温度为 2.5~4.5 K。上述这些重要的观测事实为理论工作者提供了研究的基础和想象（假设）的空间。

20 世纪的宇宙学大事首推大爆炸宇宙创生理论的提出。这是上世纪 40 年代时的事，代表人物为 G. Gamov, R. A. Alpher, R. Herman, Y. B. Zeldovich, R. J. Taylor, P. J. E. Peebles 等。这个理论认为，宇宙史就是由热到冷的演化史——早期温度极高，今天的 CMB 温度则是这一过程的余音。大爆炸理论并非仅靠 CMB 作实验上的支持，它对氦丰度问题的解释也是成功的。这个理论把化学元素（核素）的形成演化过程放在宇宙发展中去考察和解释，其和谐自治亦是吸引人们造成许多拥护者的原因之一。然而，大爆炸理论有一些缺陷。假如设想时间倒流，宇宙中物质密度和温度会迅速上升到无限大；这个奇点十分令人困惑——显然，现有的宇宙理论（比如 A. Einstein 引力理论）不适用宇宙创立之时，广义相对论（GR）可作有效描述的时间本身就是一个难以确定的问题。弦（String）理论倒是没有这个困难，因为弦有体积——虽然很小但不是零，时光倒流、宇宙收缩不会达到“零宇宙体积”，奇点也就不会出现。然而，1998—2001 年间国际天文界的观测已充分证实，目前宇宙的膨胀正在加速（越来越快），而加速膨胀的宇宙会被一个边界环绕，在这个也称为“视界”的界限之外无法观测任何物质。这与弦理论中认为观察者能看到和测量无限远处按矩阵排列的粒子的观点相矛盾。也就是说，弦理论或任何在无限远处必有粒子的量子场论，在上述观测结果公布后受到了沉重打击。

回过头来看宇宙的均匀性。几十年来，不论科学家从宇宙的哪个方向哪个角度上测量，CMB 的值都相同。在大爆炸理论模型中在极短时间内（从 $t=0$ 到 $t=t_p$, $t_p=10^{-44}$ s 是 Planck 时间）就完成了宇宙区域密度和温度的均一化过程。这几年，国际科学界的看法是：宇宙诞生时的极大能量、极高温使宇宙急速膨胀、扩张，其速度远大于今天的光速值。如遵守光速不变原理就不可能解释早期宇宙的不同区域为何能迅速地统一和均匀化。不久前 P. Davies 等人的文章甚至认为，大爆炸时光的速度可能是无限大^[17]。虽然目前世界主流科学界没有多少人是彻底地反对 A. Einstein，也没有多少

人坚持说相对论 (SR 和 GR) 完全错了；但在极端条件下发生时空奇异性时，Einstein 理论非常不适用也是极为明显的事实。

在发生大爆炸时期，温度极高，密度极大，引力与强力，粒子与反粒子之间的区别消失。以普通水平 (或说今天的平静的稳态宇宙) 为基础而提出的相对论，根本不可能解释宇宙如何从初始时的极小体积突然膨胀并整合成后来的样子，包括解释为什么空间充满了物质而很少有反物质的踪迹。越来越多的天文学家相信，大爆炸是伴随着比光速还快的时空膨胀开始的。这样，SR 理论中的论断 (光速不变、光速不可超过等) 就都成为说不通的概念了。

量子电动力学 (QED) 中有一个重要的物理常数叫精细结构常数 (FSC)，它的定义式为

$$\alpha = 2\pi \frac{e^2}{hc} \cong \frac{1}{137} \quad (1)$$

式中 e 、 h 、 c 分别为电子电荷、Planck 常数、光速。由于 FSC 在实验技术上具有可观测性，因此这也就成为科学研究的一个分支或研究方向。1998 年国际科技数据委员会 (CODATA) 给出的标准值为 $\alpha^{-1} = 137.03599976$ ，这是一个高精度的常数 [33]。

文献 [28] 是澳大利亚新南 Wales 大学的 J. K. Webb 为首的多国科学家的论文，题为“精细结构常数的宇宙学演变的进一步迹象”。利用设置在美国夏威夷的世界最大的天文望远镜对宇宙深空的多个高亮度类星体作观测，它们距地球 35~130 亿光年，在宇宙诞生初期发生的光现在才到地球，对这些光的观测分析意味着人类对早期宇宙的了解。光通过含有 Mg, Fe, Ni 等原子的星际物质时由于吸收而在光谱上出现暗线，其位置可描述 α 值。科学家们着重研究 α 随时间变化的可能，研究范围覆盖宇宙年龄的 23%~87%，结果认为过去的 α 值较小。结合前人的类似研究，研究组对新闻界公布的 α 减小值 (与现在相比) 是 1%；他们认为光速比 c 发生过改变 (光速可能随宇宙演变而变化)，即宇宙演化初期的光速比 c 大，平均估计值 $v = 1.01c$ 。因此，Webb 等人的实验既是证明光速可变的实验又是超光速实验。

Webb 等的文章称：“应用于宇宙学的统一理论的共同特性是它们允许耦合常数与空间、时间有关。横断遥远类星体视线的气体云的光谱对精细结构常数的变化提供严格的限制。在红移范围观察类

星体的优点是，可以探测宇宙大部分历史中的精细结构常数。……有趣的是，一些独立的研究结果支持我们的 α 变化趋势，最新的宇宙微波背景辐射 (CMB) 数据表示，在过去 α 要小百分之几。VSL 理论也要求过去的 α 较小。我们期望进一步的类星体观测数据对我们结果提供明确的检验。”这里，所谓“一些独立的研究结果”主要指 P. P. Avelino 等于 2000 年在 *Phys. Rev. D* 上发表的文章，和 R. A. Battye 于 2001 年在同一杂志上发表的文章，他们均根据 CMB 的观测认为，在宇宙早期的 α 值比现在小百分之几；但 Webb 小组测试的结果没有那么大。

2002 年 9 月，J. Barrow 在英国 *New Scientist* 上发表了题为“变化之谜”的文章，称：“在过去两年里，我一直是 J. Webb 研究组中的一员。我们对类星体发出的光中途被星尘吸收的情况进行分析，观察化学元素的吸收谱线间隔 (它取决于发生吸收时红移中 α 值的任何微小变化)。光是 50~110 亿年前离开星尘的，把观测到的间隔同现在比较，就能断定在过去 110 亿年中 α 有没有改变。两年中观测了 147 个类星体，证明过去的 α 较小。这大大出乎人们意料”。这位英国剑桥大学的专家认为，所发现的 FSC 异常意义深远，彻底解释这些常数是物理学家面临的巨大挑战。由于事关重大 (光速可变及超光速均涉及狭义相对论的基础)，需要更加慎重，故 Webb 等人打算用智利的另一个大型天文望远镜进行研究，据说要得出结果尚需 1~2 年。

2002 年 8 月，澳大利亚 Macquarie 大学的 P. C. W. Davies 和澳大利亚新南 Wales 大学的 T. M. Davis 及 C. H. Lineweaver 在 *Nature* 上发表了题为“黑洞抑制变化的常数”文章 [17]，认为 Webb 实验表明在宇宙的漫长时间内 α 慢慢变大，这可能是 c 变化造成的。如认为电子电荷 e 在变化就违反了热力学第 2 定律。与此同时，Davies 对两个大通讯社 (路透社和法新社) 发表谈话，却一反他过去一贯拥护和称赞狭义相对论的态度，对 SR 作了尖锐的抨击。他指出，对精细结构常数 (FSC) 异常的唯一可能解释是，在 60~100 亿年前的光速比今天所知之值要快。当 150 亿年前发生大爆炸时，光速或许是无限大，以后随着时间的推移逐渐减慢。这一理论观点非常有助于解释宇宙在大尺度上的均匀性。如果这些观点成立，或许会发

生自 Einstein 以来的一次科学革命。

5 关于 Lorentz 变换

在 SR 的 10 项内容中, 有 2 项的最早提出者是 H. A. Lorentz; 我们指的是 Lorentz 变换 (LT) 和质量速度公式。LT 是发表在 *Proc. Acad. Sci.* (Armstedan) 的第 6 卷 809 页, 文章题为“速度小于光速系统中的电磁现象”, 此文比 SR 的第一篇文章 (即文献 [20]) 早发表 1 年。LT 的诞生是因为 Lorentz 试图处理运动物体的电动力学; 他发现, 如按照 Galilei 变换 (GT)

$$x' = x, y' = y, z' = z - vt, t' = t。$$

(式中 z 是运动方向) 实现不同参考系间的坐标转换时, 电动力学基本方程 (Maxwell 方程) 出现了明显的变化, 他认为不合理。GT 的要点是不同参考系中的时间相同 ($t = t'$), LT 则无此限制。

设惯性系 A (坐标 o, x, y, z) 与 A' (坐标 $o'x'y'z'$) 的轴互相平行, A' 沿 z (z') 向以 v 作匀速运动; 发生于 A 的事件 (z, t) 对应 A' 的 (z', t'); 取线性变换

$$z' = az + ht \quad (2)$$

$$t' = bt + gz \quad (3)$$

式中 a, b, h, g 为待定常数。在 t 时刻, $z = vt$, 对应 $0'$ 位置 ($z' = 0$), 代入 (2) 可得 $h = -av$; 现在待定常数降为 3 个。假定在两个参考系 (或说 $0, 0'$ 这两点) 在瞬间重合时有一个光脉冲发生, 即在 $0, 0'$ 处 (它们现在是一个点) 发出一道闪光, 然后在两个参考系中观察向外扩散的球面波波前的运动。假定在不同参考系中光速相同, 在不同参考系中球面波波前的方程分别为

$$x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2 \quad (4)$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = (ct')^2 \quad (5)$$

式中 c 是光速; 假如我们把 GT 的变换式代入 (5), 可得

$$x^2 + y^2 + (z - vt)^2 = (ct)^2 \quad (6)$$

(6) 式与 (4) 式不同, 产生问题的原因恰恰在于在不同的参考系中速度不同, 或者说光速不是常数 (不是恒量); 而造成这局面的原因又在于 GT 变换之中认定不同参考系中的时间相等。把 $x' = x, y' = y$ 及 (2) 式、(3) 式代入 (5) 式, 并作整理; 然后与 (4) 式比较, 得出由 a, b, g 三者构成的 3 个方程, 解这个联立方程求 a, b, g , 代入 (2) 式和 (3) 式, 并规定 $\beta = v/c$, 可得 LT 常用表达

式:

$$x' = x, y' = y, z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, t' = \frac{t - \beta z/c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (7)$$

显然, 当 $v \ll c$, LT 简化为 GT。

现在仍取惯性系 A、A', 但不要求坐标轴互相平行。仍假设在 $t = t' = 0$ 时从 0 ($0'$) 点发出一道闪光, 并仍假设两系中光速一样均为 c , 则满足 (4) 式的事件必满足 (5) 式。现在引入函数 s

$$s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 \quad (8)$$

由 L 原理可证明 $s'^2 = s^2$, 即 s^2 具有不变性。

现在有

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 \quad (9)$$

上式的平方根 (即 s) 是一个 4D 矢量的模, 它在不同系中保持不变。这一分析称为 4 维时空连续统, 归功于 Minkowski, 又称 Minkowski 时空。由于 $(jct)^2 = -c^2 t^2$, jt 是 Minkowski 虚时间。由于虚时间的引入, 时空的 4D 连续统不变量理论与 3D—Euclid 空间连续统不变量理论相似。然而, Euclid 几何中 $s^2 = x^2 + y^2 + z^2$ 总是正的 ($s^2 > 0$), 故 s 必为实数 ($s > 0$); 现在的 Minkowski 时空中 s^2 却可能为负值。

s 可以是实的也可以是虚的, 4D 矢量根据其是否为实、零、虚而分别称为类空矢 (space-like vector)、零矢 (zero vector)、类时矢 (time-like vector), 亦即

$$\text{类空空间} \quad x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 > 0 \quad (v > c) \quad (10)$$

$$\text{光锥} \quad x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \quad (v = c) \quad (11)$$

$$\text{类时空间} \quad x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 < 0 \quad (v < c) \quad (12)$$

这三者都对 LT 保持不变性。

关于 LT 本身, 笔者认为最近国内有两个文献特别值得注意。首先是陈秉乾等的《电磁学专题研究》认为^[34], 虽然 LT 与 SR 在形式上一致, 但它们分属截然不同的理论; 这是因为 Lorentz 理论以绝对时空及存在以太为出发点, 而 SR 则抛弃这两者并在相对性原理及光速不变的基础上建立起来。其次, 2002 年沈惠川发表一篇短文^[35], 指出一般书的通用 LT 公式只是其张量形式的一个极特殊的简化形式; 此外, 一般的通用 LT 公式只是在两坐

标之间有相对运动的方向上成立。一些文章作者由于不明白（或未注意到）这两点，抨击 LT 时就发生错误。

6 关于 SR 的 3 个关系式

Einstein 1905 年提出 SR 的速度合成公式和质量速度公式^[20]。该文 §5 的标题为“速度的加法定理”。根据 Einstein 的推导，某系统以速度 v 运动时，如系统中某点以速度 u 向同方向运动，以 GT 为基础的经典力学认为质点相对于静系的速度 $w = v + u$ ，但以 LT 为基础的 SR 则认为

$$w = \frac{v + u}{1 + uv/c^2} \quad (13)$$

显然，只有在 $u \ll c$ 、 $v \ll c$ 时，SR 才与经典力学一致。Einstein 还指出，两个小于 c 的速度合成后总比 c 小；而且，光速 c 不会因为同一个小于的速度合成起来而有所改变。

在文献 [20] 的 §10 中，Einstein 讨论了电子的动能，从中可以看出他认可的电子质量在运动时（速度 v ）的值为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (14)$$

这与 Lorentz 在 1904 年得出的结果一致，故上式也称为 Lorentz - Einstein 质速公式（简称 LE 公式）。这公式后来已不限于电子，而被认为适合于一切动体。

笔者没有见过任何直接地检验速度合成公式的报道。至于质速公式，20 世纪中，科学家们进行了一系列实验来检验 LE 公式，结果表明它是正确的。例如早期（1901—1915 年）曾用电子进行实验，检验范围是 $(0.26 \sim 0.94) c$ ^[26]；但几个实验均为测量电子荷质比 e/m 与电子速度 v 的关系，隐含一个前提，即“电子电荷 e 与电子速度 v 无关”。然而，这个前提并无实验上的直接证明。根据笔者的计算，原子中电子绕核运动速度仅为数公里，远小于光速；如 e 与 v 有关， e 的变化也极小。故文献 [26] 以原子整体的电中性而论证电子电荷与电子运动状态无关的结论尚缺乏说服力。

Einstein 的质能关系式为：

$$E = mc^2 \quad (15)$$

这个公式以稍微不同的符号包含在文献 [21] 里面。对此，后人有的说“这是相对论力学中的一个最重要的结论”。1922 年，Einstein 说：“由此可见

质量和能量在本质上是类同的（essentially alike），它们只是同一事物的不同表达形式而已”^[23]。又说，“物体的质量不是一个常数，它随其能量的改变而变化”。Einstein 认为，他的质能关系式所表达的静止质量与静止能量之间的等价性已在许多事例中得到了证实；但是“在放射性衰变中衰变后的质量和总小于未衰变原子的质量，其差异以新生粒子的动能及放出辐射能的形式出现”。1946 年，Einstein 在一篇通俗性文章（题目就是 $E = mc^2$ ）中说：“习惯上，我们用公式 $E = mc^2$ 表示质量和能量的互等性（虽然有点不太确切）；……就是说，每单位质量对应一个巨大的能量；……反过来，可以说能量在数值上每增加 E ，必须伴有质量上的增加 E/c^2 ”^[36]（着重点为笔者所加）。

有一个广泛流传的说法，即质能关系式“导致了原子能发现”，甚至“导致了原子弹的制成”。著名的 W. Heisenberg 对此是这样评论的：“时常有人说，原子爆炸的巨大能量是由于质量直接转化为能量，并且只有根据相对论，人们才能预计这些能量。然而，这是一种误解。原子核中可利用的巨大能量早在 Becquerel、Curie 以及 Rutherford 的放射性衰变实验中就已知晓。……铀裂变的能源主要是原子核分裂而成的两部分间的静电斥力。原子爆炸的能量直接出自这个来源，而不是由质量转换为能量而得到的。静止质量有限的基本粒子数在爆炸时并未减少。”

从 Heisenberg 的论述可知，原子爆炸并不能作为“质能关系式正确性”的一个直接证据。当然，我们并不怀疑很小的质量变化可能导致巨大的能量改变；但为什么恰恰是 $E = mc^2$ ，而不是 $E = mc^k$ ($k > 2$)，或是别的多项式？故必须了解公式的推导过程；我们知道，在 1946 年 Einstein 发表过两篇通俗的解释质能关系式的文章，1 月在纽约的 *Technion Journal* 杂志上，题为“质能互等式的初步推导”；4 月是在 *Science Illustrated* 上，题为“ $E = mc^2$ ”。有人据前者质疑质能公式；但笔者认为该文不是一个好的推导，后者也是这样，都容易受质疑，虽然两文均为 Einstein 本人所写。要检查质能公式的正确性，还是应以 1905 年文章（即文献 [21]）为准。

在文献 [21] 中，假设有一组平面光波，参照于坐标系 (x, y, z) ；设波面法线与 z 轴交角 φ ；而又有另一坐标系 (ξ, η, ζ) 相对于 $(x, y,$

z) 作匀速平行移动, 其坐标原点沿 z 的运动速度为 v 。为考察此系统的能量关系, 设在 (x, y, z) 有一静物, 其能量对 (x, y, z) 为 E_0 , 对 (ξ, η, ζ) 为 H_0 ; 现在假设该物是发光体, 发出平面光波方向与 z 轴交角 φ , 能量为 $L/2$; 该物在反向发出等量的光。同时, 该物对 (x, y, z) 为静止。考虑同一物体参照相对运动的两坐标系的能量的差值 Δ , 对另一坐标系而言 Δ 与物体的动能之间的差别只是一个常数。用 K 表示动能, 他得到

$$K_0 - K_1 = L \left[\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right] \quad (16)$$

略去高阶小量, 得

$$K_0 - K_1 \cong \frac{L}{2c^2} v^2 \quad (17)$$

用现代习惯的符号, 我们可写作

$$\Delta E_k \cong \frac{E}{2c^2} v^2 \quad (17a)$$

这里 E_k 为动能, ΔE_k 为动能变量, E 为物体放出的总能量。现在, Einstein 接着说道: “假如物体以辐射形式放出能量 L (即 E ——笔者注), 那么它的质量就要减少 L/c^2 (即 E/c^2 ——笔者注)”。以上所述即为 $E = mc^2$ 公式的初始来源。

我们现在可以提出一些问题: 首先, Einstein 在 1905 年推导时分明使用了“级数展开并取近似”的数学处理, 并且在 1946 年的文章中又分明说公式“有点不太确切”(或“有点不太精确”); 但张元仲的书 ([26]) 却说, 自从 1932 年有人开始以原子核反应检查 $E = mc^2$ 公式以来, 1968 年证明公式正确实验的精度为 0.12%, 到 1971 年 (Wapstra 实验) 精度竟高达 35×10^{-6} 。笔者认为, 我们必须先确定 $E = mc^2$ 公式本身有多大误差, 然后谈论实验检验的精度才有意义。其次, 物体辐射能量后究竟是温度降低还是质量减少? 抑或二者同时发生? 过去讲相对论的书似未讲过。最后, 根据 P. Davies 的意见 (见前文), 如果光速 c 在宇宙发展演进过程中并不保持常数, 甚至于质能关系式 ($E = mc^2$) 也要重新考虑, 因为该公式是以“光速 c 为绝对常数”的认知作为基础的。总之, 笔者虽未得出“ $E = mc^2$ 公式是错误的”这一结论, 但认为尚有进一步研究探讨的必要。

7 关于 SR 的前 3 个推论

SR 的 4 个推论是: 运动的钟变慢、运动的尺

变短、光子静质量为零、物质和信息不可能以超光速运动。关于“运动的钟变慢”, 一般介绍相对论的文献均举出 1966—1972 年间欧洲核子中心 (CERN) 对飞行的 μ 介子的寿命的研究作为该推论已被证实的例证^[1,26]; 其实国外对此仍在研究中^[1]。问题是, 我们至今未找到关于“运动的尺变短”的实验证据。

Einstein 很早就认为动体在运动方向缩短。文献 [20] 的 §4 中说, 在讨论一个半径为 R 的刚性球 (即在静止时看来是球形的物体) 时, 在运动状态时 (从静系看去) 成为椭球, 这椭球的轴是

$$R \sqrt{1 - (v/c)^2}, R, R \quad (18)$$

在运动方向物体长度好象缩短了 (着重号为笔者所加)。然而, 文献 [34] 第三章 §6 清楚地说明, 长度收缩假设是 H. A. Lorentz 于 1892 年最先提出的, 当时他认为若一尺子静止时长度为 L , 沿纵向运动时就缩短成 $L \left(1 - \frac{v^2}{2c^2}\right)$ 。1895 年, Lorentz

把收缩因子更正为更为准确的 $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$; 1905 年 Einstein 的论述与此一致。1898 年有人指出, 上述效应会导致物体密度因方向 (运动方向与非运动方向) 的不同而不同, 故应有光学双折射性质; 但 1902~1904 年间的实验否定了这一判断。……1904 年 Lorentz 再次发表论文, 使他的著名变换 (LT) 成型。当然, 后人应看到 Lorentz 的长度收缩是实质上的收缩, Einstein 的长度收缩只是空间属性的表现。或许是由于这个差别, SR 诞生后的漫长岁月里, 科学界对这个推论从未作实验检验亦不去计较。尽管如此, 笔者仍然认为任何科学理论均需有可靠的实验来证实, 长度收缩假设亦不例外。

关于“光子具有零静质量”推论。根据 LE 公式, 当 $v=0$ ($\beta=0$), $m = m_0$; 故 m_0 代表物质 (或粒子) 静止质量。在这方面, SR 的观点是众所周知的, 那就是“光子静质量为零”。这其实是 SR 第二公设的推论——如果光在真空中相对于一切惯性系都以不变速度 c 传播, 就不会有光子的静止系, 因此光子静质量必为零^[26]。这意思是说, 对光子而言静质量只是一个参数, 而它的值必须为零。也可以说, 只有静质量为零的粒子才能以光速运动。

笔者认为上述论断尚不能令人信服。首先,

SR 如果是一个普适理论（物理界早就认为是），那么把它用到光子这种普遍、大量存在的物质形态时会有什么结果？当 $v = c$, $\sqrt{1 - \beta^2} = 0$ ，按 SR 推论光子将尺缩到零，即光子为无体积的质点；与此相仿，光子的钟将慢到停，失去时间概念。这些都令人无法接受。如果说“SR 不适用于光子”，那么试问为什么在考虑其静质量时又要使用 SR？就是说，为什么对于光子，SR 有时适用有时不适用？

如所周知，Maxwell 理论认为在真空中电磁波波速 c 由真空介电常数 ϵ_0 和真空导磁率 μ_0 决定，由于 ϵ_0 , μ_0 是常数， c 也是常数，故认为光速可变的观点既违反 SR，又违反 Maxwell 电磁理论。后者同时也暗含光子静质量 $m_0 = 0$ （虽然在 Maxwell 时代尚无光子概念）； $m_0 \neq 0$ 的假定，既与 SR 不符，也与 Maxwell 电磁理论不符。20 世纪 30 年代出现的 Proca 方程组（也叫重电磁场方程组），是迈出了既不同于 Maxwell 电磁理论也不同于 SR 的步伐。文献 [34] 认为 Proca 方程组“其影响是广泛而深远的”；文献 [26] 的作者虽然是相对论学者，但其书亦无一句话指称 Proca 方程是错误的。因此，笔者认为今天似应重新唤起对 Proca 电磁理论的重视，方程组在真空中写出时应为：

$$\left. \begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} - \mu^2 \Phi \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \mu^2 \mathbf{A} \\ \nabla \times \mathbf{E} &= - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

式中 \mathbf{A} 、 Φ 分别为矢位、标位，而 μ 为以波数为单位的光子静质量，它与真实的静质量的换算式为

$$\mu = \frac{m_0 c}{\hbar} \quad (20)$$

显然，如 $m_0 = 0$ （因而 $\mu = 0$ ），Proca 方程组简化为 Maxwell 方程组。因而，如果 Proca 方程组正确（迄今尚无人提出过其推导过程有误），那么它是比 Maxwell 方程组更普遍（或说能包容了 Maxwell 方程组）的电磁场理论。

文献 [26]（在表 6.2）列出了 1936~1975 年间对光子静质量上限所作测量的 19 个数据，处在 $4 \times 10^{-59} \sim 8 \times 10^{-40}$ g 之间。文献 [34] 给出几个光子静质量上限的 4 个数据，处在 $4 \times 10^{-60} \sim 8 \times 10^{-40}$ g 之间。这些 m_0 值虽很小，但却不是零，

对于我们今天估计 SR 的局限性和问题有重要意义。

其实，对任何粒子（电子、光子、中微子……）视其为数学点的观点和理论都令人难以置信；科学史上把粒子视为数学点只是一种分析上的方便，与较大的时空区域比较时有效；一些人却忘记了这是一种不反映物理实在的近似，以为它们真是无内部结构、无体积、无质量的“三无”质点。不仅相对论，量子力学也有这个毛病——它在推导一些方程时甚至视电子为数学点。我们现在知道电子是有体积的球状物，半径 r 约为 10^{-17} cm，这个体积很小却不能忽略。笔者在几年前提出^[30]，光子是能量子，它的体积（线度）应通过能量凝聚的分布半径而体现，光子的体积、静质量和光子的物质性一样均应是客观存在的事实。

如所周知，1956 年 F. Reines 发现了电子中微子，1962 年以后又有人发现了 μ 中微子和 τ 中微子^[38]。1998 年 6 月宣布，多国科学家的联合研究（在日本神冈）确定了 μ 中微子有静止质量，其值约为 10^{-33} g^[39]；2000 年 8 月，Science 杂志刊登 M. Nakahata 的文章说，在日本完成的实验表明，中微子有体积。由于过去一直认为中微子是除光子外唯一的以光速运动的中性粒子，这些事态发展对研究光子很有启发。

8 关于 SR 的“不可能有超光速”推论

Einstein 在文献 [20] 的 §4 中根据因子 $\sqrt{1 - \beta^2}$ 作出两项推论，即运动的物体在运动方向上缩短，以及物体不能以超光速运动。有关的原文为：“球（或任意形状刚体）……在运动方向好像以 1: $\sqrt{1 - (v/c)^2}$ 的比率缩短， v 越大缩短越厉害。当 $v = c$ ，从静系看来一切动体都缩成扁平。对大于光速的速度，我们的讨论就变得毫无意义”。此外，我们还注意到在同一文献（[20]）的 §10 中，在讨论电子动能时说“当 $v = c$ ，电子动能 W 变成无限大；故如同以前的结果一样，超光速的速度没有存在的可能”。

有趣的是，Einstein 不断地用 SR 中的一切论点（包括速度合成公式和 LE 公式）来断言超光速的不可能性。1907 年，在题为“相对性原理及其结论”的论文中说：“从速度加法定理还可以得出一个有意义的结论，即不可能有这样的相互作用，

它可以用来作任意信号传递,其速度大于真空中光速^[22];文章说那样的作用会导致“结果竟比原因先到达”。Einstein认为,虽然单从逻辑上看可以接受,并不包含矛盾,但与人们的全部经验格格不入,因此,超光速的不可能性“看来已充分得到证实”。这些话是导致后人采用“Einstein因果律”(Einstein's causality)一词的最早根据和出处。

因此,对于物质流、能量流、信息流的速度,SR都否认其有超光速的可能。只是对于信号传递的速度不能超光速这一点,Einstein似乎不十分肯定。

在SR提出之前,著名物理学家A. Sommerfeld曾指出,如果粒子以超光速运动,给予能量时它会减速,失去能量时会加速——这规律与人们熟悉的亚光速情况恰好相反。1903年他曾提到Maxwell方程组也适用于超光速运动的客体,但在后来(SR提出以后)的版本中他作了删改^[13]。1914年建立起来的Sommerfeld—Brillouin波速理论^[40],则与SR无矛盾。

自20世纪60年代以后,超光速理论与实验方面的研究逐步活跃。一篇历史性论文是1967年G. Feinberg发表的“超光速粒子的可能性”^[41],给出了无相互作用、无自旋的快子(tachyon)的量子场理论。他取快子静质量为虚数:

$$m_0 = j\mu \quad (\mu > 0)。 \quad (21)$$

在 $v > c$ 时 m_0 的 j 与式(14)分母产生的 j 相消,不存在 m 、 E 为虚数的问题。十余年后,对中微子(neutrino)的研究日益深入,实验中测到的中微子质量平方(m^2)为负值,这个报道最早出现于20世纪80年代上半期,这就使Feinberg快子理论有了实验上的支持。A. Chodos等于1985年发表了“作为快子的中微子”论文^[42],张操于1986年发表论文“自由的快子是否存在?”^[43],大体上在同一时间提出“中微子可能是快子”的观点。2000年,Europe Physics Journal公布了电子中微子、 μ 中微子质量平方为负的数据^[44]:

$$m_e^2 = -2.5 \pm 3.3eV^2 \quad (22)$$

$$m_\mu^2 = -0.016 \pm 0.023MeV^2 \quad (23)$$

这给了物理学家以激励,2001年艾小白^[11]、倪光炯^[12]都研究了描写快子的类Dirac方程,而艾小白导出了虚质量粒子的2分量的Weyl方程;2002年9月,倪光炯、张操的论文也描述了2分量方程背景下的超光速中微子^[45]。总起来讲,从1967年到

2002年的上述论文除了肯定超光速可能性这一点与SR不同外,这些理论完全不含对SR的批评。

电子学家以意外的方式闯入了超光速研究的领域。1985年,笔者的一篇文章把用于微波技术上的宏观器件(波导)与量子隧道效应相联系^[46],从而在理论上奠定了把截止波导用作位(势)垒的基础。G. Nimtz在20世纪90年代用截止波导完成了在微波的群速超光速实验^[2,4]。此外,SKC在光频做成功了“单光子赛跑”的超光速实验^[3];王力军等做成功了用反常色散区域造成的负群速超光速实验^[8];笔者和北京广播学院的同事于最近做成了用同轴光子晶体的超光速实验。

通过笔者在文献[6],[15],[47]中的叙述,可以看到超光速研究所出现的精彩纷呈的局面,SR否定超光速的可能是不对的。问题在于,本文第5节的讨论(关于4D时空连续统等等)都是在亚光速惯性系中进行的;2001年艾小白指出了这一点^[10],曹盛林则明确地说,SR把 s^2 作为不变量,并排斥掉类空可能性是不对的^[13],只适用于亚光速系统;考虑超光速可能性时 s^2 不再是不变量,而是膺不变量。进一步,曹盛林引入一个新的时空不变量 s^4 ,其数学基础是用Finsler空间以建构比Riemann几何更广泛的微分几何。推导结果是,SR中的 $\sqrt{1-\beta^2}$ 项被 $\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}$ 所取代,这时如 $v > c$ ($\beta > 1$)亦不会出现虚数项。因此,采用Finsler时空时不必否定超光速运动存在的可能。

或许有人会说,曹盛林从Finsler空间出发缺乏物理根据。笔者认为这并非关键所在,因为任何物理理论均可由假设(假说)作为起点;正如Einstein所说,任何理论原理均来源于“人类思想的自由发明”,而不是来源于经验。如果囿于旧理论的框架,实际上就无法前进。

早在1967年,Physical Review即发表了G. Feinberg的长篇论文^[41],论述超光速粒子(快子)可能存在;而Physics Today以后也发表类似论文多篇。20世纪90年代,Phys. Rev.发表的超光速研究论文很多,而德国的Annalen der Physik甚至在1998年出了专刊^[4]。2002年,Applied Physics Letters发表了两篇文章报告使用光子晶体原理的超光速实验^[16,18]……。由此可以看出,国外名刊对超光速研究论文持大度、宽容的态度。在国内,除个别刊物外,一般的讨论超光速问题的文章都能发表;一些著名科学家曾致函笔者,表示对

研究工作的关注和支持。例如,2002年10月黄宏嘉院士的信说:“接读您的关于超光速的大著,不胜钦佩,它实为科学界的挑战性课题。您对此领域的研究很深,祝您不断取得新进展”。2002年11月王越院士的信说:“黄教授潜心研究超光速问题多年,有许多新见解,很是佩服,从事艰难探索是科学精神的体现。科学精神离不开问为什么的怀疑和探索。我认为一切事物的存在都有条件和前提,宇宙是不断变化的,绝对的事物是没有的。粗想起来应该是‘超不过光速’是有条件的,‘超光速’也是有条件的;大部分情况(普通情况)下是超不过光速的,但这个‘普通’也是有条件的”。院士们的话不仅是鼓励,更是对探索精神的肯定。

9 结束语

通过对SR的10个方面的分析,笔者的质疑集中在4个问题上:“光速不变性”公设、“运动的尺变短”推论、“光子静质量为零”推论、“不可能有超光速”推论。当前,矛盾更凸显在“光速不变”公设和“光速不能超过”推论这两方面。现在只能说,SR是一个基本正确、适用于亚光速、有自身局限性的理论,需要根据新的情况、新的实验作出改进和发展。

参考文献

- [1] 陈颖健. 与巨人同行——狭义相对论的最新实验验证[J]. 国外科技动态, 2002, (9): 33~35
- [2] Enders A, Nimitz G. On superluminal barrier traversal [J]. J Phys I France, 1992, (2): 1693~1698
- [3] Steinberg A M, Kuwiat P G, Chiao R Y. Measurement of the single photon tunneling time [J]. Phys Rev Lett, 1993, 71(5): 708~711
- [4] Nimitz G. Superluminal signal velocity [J]. Ann Phys (Leipzig), 1998, 7(7,8): 618~624
- [5] Albrecht A, Magueijo J. Time varying speed of light as a solution to cosmological puzzles [J]. Phys Rev D, 1999, 59(4): 1~3
- [6] 黄志洵. 超光速研究——相对论量子力学电子学与信息理论的交汇点[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [7] Wynne K, et al. Tunneling of single cycle terahertz pulses through waveguides [J]. Opt Commun, 2000, 176: 429~435
- [8] Wang L J, Kuzmich A, Dogariu A. Gain-assisted superluminal light propagation [J]. Nature, 2000, 406: 277~279
- [9] 张操. 超光速运动和狭义相对论的局限性[J]. 北京石油化工学院学报, 2002, 10(4): 1~5
- [10] 艾小白. 超光速运动的过去现在和未来[J]. 自然杂志, 2001, 23(6): 311~316
- [11] Ai X B. Unified understanding of neutrino oscillation and negative mass-square of neutrino [J]. Nucl Sci Tech, 2001, 12(4): 276~283
- [12] Ni G J. There might be superluminal particles in nature [J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2001, 29(3): 1~5
- [13] 曹盛林. 芬斯勒时空中的相对论及宇宙论[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001
- [14] 耿天明. 超光速运动的可能性[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2002, 5(1): 33~38
- [15] 黄志洵. 超光速研究新进展[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002
- [16] Hache A, Poirier L. Long range superluminal pulse propagation in a coaxial photonic crystal [J]. Appl Phys Lett, 2002, 80(3): 518~520
- [17] Davies P C W, Davis T M, Lineweaver C H. Cosmology, Black holes constrain varying constants [J]. Nature, 2002, 418: 602~603
- [18] Munday J N, Roberston W M. Negative group velocity pulse tunneling through a coaxial photonic crystal [J]. App Phys Lett, 2002, 81(11): 2127~2129
- [19] Newton I. 自然哲学之数学原理[M]. 王克迪译. 西安: 陕西人民出版社, 2001
- [20] Einstein A. 论动体的电动力学[A]. 范岱年, 赵中立, 许良英译. 爱因斯坦文集[M]. 北京: 商务印书馆, 1983. 83~115
- [21] Einstein A. 物体的惯性同它所含的能量有关吗[A]. 范岱年, 赵中立, 许良英译. 爱因斯坦文集[M]: 第二卷. 北京: 商务印书馆, 1983. 116~118
- [22] Einstein A. 关于相对性原理和由此得出的结论[A]. 范岱年, 赵中立, 许良英译. 爱因斯坦文集[M]: 第二卷. 北京: 商务印书馆, 1983. 150~209
- [23] Einstein A. 相对论的意义[M]. 郝建纲, 刘道军译. 上海: 上海科技教育出版社, 2001
- [24] Howard A V. Chambers's dictionary of scientists [M]. London: Chambers, 1961
- [25] 邓乃平. 空间和时间的故事[M]. 北京: 中国青年出版社, 1965
- [26] 张元仲. 狭义相对论实验基础[M]. 北京: 科学出版社, 1979(初版), 1994(重印)
- [27] 沈惠川, 贝尔定理和贝尔不等式[J]. 自然杂志, 1996, 18(4): 240~244
- [28] Webb J, et al. Further evidence for cosmological evolution of the fine structure constant [J]. Phys Rev

- Lett, 2001, 87(9): 091301, 1~4
- [29] 李政道. 李政道文录[M]. 杭州: 浙江文艺出版社, 1999
- [30] 黄志洵. 波粒二象性理论的成就及存留问题[J]. 北京广播学院学报(自然科学版), 2000, (4): 1~16
- [31] 张兆晋, 唐云江. 相对论是否遭遇真正的挑战[J]. Newton 科学世界, 2000, (11): 28~29
- [32] 任定成. 科学的本质是什么[N]. 科学时报, 2002-09-22
- [33] 刘瑞珉, 等. 基本物理化学常数的 CODATA 最新推荐值[J]. 物理, 2000, 29(10): 602~609
- [34] 陈秉乾, 等. 电磁学专题研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [35] 沈惠川. 关于 Lorentz 变换公式的几种错误理解[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2002, 14(3): 9~14
- [36] Einstein A. 爱因斯坦晚年文集[M]. 方在庆等译, 海口: 海口出版社, 2000
- [37] Heisenberg W. 物理学与哲学[M]. 北京: 科学出版社, 1974
- [38] 孙汉城. 中微子之谜[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 1993
- [39] 周国荣. 中微子的静止质量及其在物理学和宇宙学上的意义[J]. 物理, 1999, 28(5): 290~294
- [40] Brillouin L. Wave propagation and group velocity[M]. New York: Academic Press, 1960
- [41] Feinberg G. Possibility of faster than light particles[J]. Phys Rev, 1967, 159(5): 1089~1105
- [42] Chodos A, et al. The neutrino as a tachyon[J]. Phys Lett, 1985, B150: 431~433
- [43] Chang T. Does a free tachyon exist[A]. Proc of A. Eddington Centenary Symp[C]. 1986, 3: 431~433
- [44] Particle data group. Review of particle physics[J]. Euro Phys J, 2000, c15: 350
- [45] Ni G J, Chang T. Two parameters describing a superluminal neutrino [J]. J Shanxi Normal Univ, 2002, 30(3): 32~39
- [46] 黄志洵. 波导截止现象的量子类比[J]. 电子科学学刊, 1985, 7(3): 232~237
- [47] 黄志洵. 近年来国外的超光速实验[J]. 北京石油化工学院学报, 2002, 10(4): 20~26

Theoretical Developments and Experimental Examinations in Special Relativity

Huang Zhixun

(Beijing Broadcasting Institute, Beijing 100024, China)

[Abstract] In this paper, the special relativity (SR) is resolved in ten elements, i. e. two postulates, one transformation, three equations, and four inferences. After the theoretical and experimental examination, the problems of SR are concentrated on two fields—the light speed constancy postulate, and the inference of light speed can't superluminal.

After 1992, experiments have revealed superluminal velocities, i. e. velocities faster than light, and this behavior has been observed both in the classical and quantum domain. In 2001, there is evidence to suggest that the velocity of light is slowly decreasing over cosmological time scales. This would call into question whether the light speed is truly constant or not. If the new physical theory stands up in the international scientific world, it would be the scientific revolution since Einstein's theory of SR.

[Key words] special relativity; light speed constancy postulate; faster than light (superluminal); fine structure constant