

## 现代物理学基础的思考之七——热学与光学问题思考

李学生 (Li Xuesheng)

山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员, 北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员

[xiandaiwulixue@21cn.com](mailto:xiandaiwulixue@21cn.com), [1922538071@qq.com](mailto:1922538071@qq.com)

**摘要 (Abstract):** 物理学是科学的基本学科。本文章分析探讨了现代物理学的重要问题, **热学与光学**, 供参考。

[李学生 (Li Xuesheng). 现代物理学基础的思考之七——热学与光学问题思考. *Academ Arena* 2017;9(14s): 709-721]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 24. doi:[10.7537/marsaaj0914s1724](https://doi.org/10.7537/marsaaj0914s1724).

**关键词 (Keywords):** 质点; 电荷; 引力; 电力; 空间; 方程; 量子力学; **热学; 光学**

## 第一章 关于超光速的争论

### 1、“超光速”的定义

一切物体都是由粒子构成的, 如果我们能够描述粒子在任何时刻的位置, 我们就描述了物体的全部“历史”。想象一个由空间的三维加上时间的一维共同构成的四维空间。由于一个粒子在任何时刻只能处于一个特定的位置, 它的全部“历史”在这个四维空间中是一条连续的曲线, 这就是“世界线”。一个物体的世界线是构成它的所有粒子的世界线的集合。

不光粒子的历史可以构成世界线, 一些人为定义的“东西”的历史也可以构成世界线, 比如说影子和光斑。影子可以用其边界上的点来定义。这些点并不是真正的粒子, 但它们的位置可以移动, 因此它们的“历史”也构成世界线。

四维 space-time 中的一个点表示的是一个“事件”, 即三个空间坐标加上一个时间坐标。任何两个“事件”之间可以定义 space-time 距离, 它是两个事件之间的空间距离的平方减去其时间间隔与光速的乘积的平方再开根号。狭义相对论证明了这种时空距离与坐标系无关, 因此是有物理意义的。

space-time 距离可分三类: 类时距离——空间间隔小于时间间隔与光速的乘积; 类光距离——空间间隔等于时间间隔与光速的乘积; 类空距离——空间间隔大于时间间隔与光速的乘积。一条光滑曲线, “局部”地看, 非常类似一条直线。类似的, 四维 space-time 在局部是平直的, 世界线在局部是类似直线的, 也就是说, 可以用匀速运动来描述, 这个速度就是粒子的瞬时速度。光子的世界线上, 局部地看, 相邻事件之间的距离都是类光的。在这个意义上, 我们可以把光子的世界线说成是类光的。

任何以低于光速的速度运动的粒子的世界线, 局部的看, 相邻事件之间的距离都是类时的。在这个意义上, 我们可以把这种世界线说成是类时的。而以超光速运动的粒子或人为定义的“点”, 它的世界线是类空的。这里说世界线是类空的, 是指局部地看, 相邻事件的 space-time 距离是类空的。

因为有可能存在弯曲的 space-time, 有可能存在这样的世界线: 局部地看, 相邻事件的距离都是类时的, 粒子并没有超光速运动; 但是存在相距很远的两个事件, 其 space-time 距离是类空的。这种情况算不算超光速呢?

这个问题的意义在于说明既可以定义局部的“超光速”, 也可以定义全局的“超光速”。即使局部的超光速不可能, 也不排除全局超光速的可能性。全局超光速也是值得讨论的。

总而言之, “超光速”可以通过类空的世界线来定义, 这种定义的好处是排除了两个物体之间相对于第三观察者以“超光速”运动的情况。

电磁场的运动速度会发生变化, 强引力场附近的引力红移就是一个最明显的例证, 还有转动黑洞周围的拖曳效应导致的星光偏折, 这些都是天文学上观测了很久的东西。

附录: 凤凰科技讯北京时间 2013 年 5 月 3 日消息, 国外媒体报道, 一直以来我们都认为光速是恒定的, 但目前有些科学家正在探索光速会发生改变的可能性, 这种改变或可能是宇宙空间真空性的结果。光速的定义对某些领域来说, 具有更广义的内涵, 例如宇宙学和天文学, 这些领域假定光随着时间是保持恒定速度的。例如, 当测量精细结构常数(阿尔法)时——它定义了电磁力的强度——就会涉及光速。不同的光速将会导致分子键以及核物质本身密度的改变。

光速不恒定意味着我们对宇宙大小的估计可能也是不准确的，但这并不意味着宇宙的速度极限能够超过光速，这是因为某些物理学理论，例如相对论的效应是光速的结果。

这两篇发表在欧洲物理学期刊 D 上的文章试图论证光速起源于空间本身的量子特性。两篇文章提出了略微不同的机制，但核心观点都是基于同一假设，也即基本粒子与辐射会发生相互作用，当这种相互作用发生变化时，光速也会发生改变。两个理论都认宇宙并非空洞的，而是由大量“虚粒子”组成，它们在几分之一秒的时间内会瞬间存在或消失。

### 宇宙真空与光速

第一篇研究是由法国巴黎第十一大学的物理学家马塞尔·乌尔班 (Marcel Urban) 负责的，该研究主要调查了宇宙真空，后者往往被认为是虚空的空间。定义亚原子粒子和所有微小事物的量子物理学定律认为，宇宙的真空其实是由大量例如夸克粒子的基本粒子组成，它们被称为“虚粒子”。这些物质粒子总是与相应的反粒子成对出现，存在瞬间便彼此相碰撞，当物质和反物质粒子相遇时，两者会立即湮灭。

光子在穿越宇宙空间时，会被虚粒子捕捉并重新放射出来。乌尔班和他的同事提出，这些粒子的能量——尤其是它们所携带的电量——会影响光的速度。由于光子撞击粒子时它所携带的能量是随机的，它对光子移动速度的影响也将各不相同。

因此，一定范围内光移动的速度也是不恒定的，尽管这种影响效应可能非常微弱，平均每平方米真空对光速的影响大约为 0.05 飞秒，一飞秒是一千万亿分之一秒。

研究人员表示，为了确定这微小的浮动，他们可以测量光在长距离范围内是如何分散的。有些天文现象，例如伽马射线爆发，从非常远的距离产生了辐射脉冲，因此可以检测到产生的辐射。研究作者还提出，利用激光在相距 91 米的镜子之间来回反射，并利用光束在镜子之间进行多次反射，从而寻找其中的微小变化。

### 粒子种类和光速

第二篇文章提出了另一种不同的机制，但结果大致相似，也即光速并非恒定的。德国埃朗根马克斯普朗克光学物理研究所的物理学家格尔德·勒克斯 (Gerd Leuchs) 和路易斯·L·桑切斯-索托 (Luis L. Sánchez-Soto) 认为，宇宙存在的基本粒子种类的数量可能是影响光速的重要因素。

勒克斯和桑切斯-索托表示，根据他们的计算，宇宙应该存在 100 种带电的粒子种类。目前统治粒子物理学的定律，也即标准模型，只定义了九种粒子：电子、 $\mu$  介子、微介子、六种夸克粒子、光子和玻色子。

所有这些粒子都对标准模型来说都至关重要，因为它们都带电。一种名为阻抗的特性依赖于所有这些带电量之和。阻抗又依赖于真空的介电常数，或者称它抵抗电场的能量，以及磁导率，也即它们支持磁场的能量。光波是由电波和磁波共同组成，因此改变这些特性（介电常数和磁导率）将会改变所测量的光速。

“我们测量了由这些短暂的虚拟不稳定基本粒子所引起的真空的介电常数和磁导率，”桑切斯-索托这样说道。“然而，结果发现，通过这样简单的模型我们可以辨别那些常数包含不同类型的带电粒子-反粒子对的平等分布。”

两篇文章都总结称光与虚拟粒子-反粒子对会发生相互作用。在勒克斯和桑切斯-索托的模型中，真空的阻抗（或可能加快和减慢光速）取决于粒子的密度。阻抗与光的电场与磁场比率有关；每一个光波是由电波和磁波共同组成，测量的数值，以及空间对磁场的介电常数，决定了光速大小。

然而，有些科学家对此表示怀疑。斯坦福直线加速器中心 (SLAC) 国家加速器实验室的粒子物理学家杰·瓦克尔 (Jay Wacker) 表示，他对研究所使用的数学方法并不是很确定，两篇文章中科学家所采用的数学工具似乎并非大多数科学家所常用的。“进行这类研究最合适的工具是费因曼图，”瓦克尔说道。“（光速）的确是个有趣的问题，”他补充说道。但两篇研究所使用的工具似乎并不足以调查这一问题。

另外一个存在的问题便是，是否真的存在大量标准模型以外的粒子？如果事实如此，那么这篇文章需要谨慎的修改。但目前为止这些预测还是被证实是正确的，尤其是希格斯玻色子的发现。但这并不意味着还有其它别的粒子等待发现——如果它们的确存在，那么它们的能量可能远超过粒子加速器目前所能获得的，此外这些粒子将非常重，科学家或可能在别处发现它们的存在。（编译/严炎刘星）

## 2、超光速对于宇宙探索的意义

### (1) 宇宙探索与超光速

2010 年 10 月 1 日我国发射了嫦娥 2 号探月卫星，3 年以后还将发射嫦娥 3 号，将来也会开展对火星和金星的探测。英国行星学家曾经预测，在我们的银河系至少有不少于 3.5% 的星球可能存在生命，而 2010 年 9 月，美国天文学家们的一项新发现似乎证明了他们的这一理论。卡耐基华盛顿研究所和加州大学的科学家们，用凯克-1 光学望远镜——目前世界上最大的光学望远镜，发现距离太阳系 20 光年远的天秤座星群中存在着一个表面覆盖着液态水以及具有引力的天体。科学家给这个天体命名为“581g”，它围绕红矮星葛利斯

(Gliese) 581 公转, 自转周期为 37 天。这是科学家迄今为止发现的最适合生命存在的地外星球。然而, 用现有的技术到达那里至少需要 35 万年之久。不论是从国家长远发展的战略, 还是人类探索地外文明的需要考虑, 进行超光速研究都有非常重要的意义。

2007 年 12 月 26 日宋健院士在写给国防科技大学谭暑生教授的信中有几句话: “说光速不能超过使航天人很不安。有人讲逛遍太阳系后我们无事可做了, 怎么宇航?” 另一位航天专家, 中国运载火箭研究院 12 所的老科学家林金教授在 2010 年 10 月 16 日召开的第三届现代基础科学发展论坛上作学术报告时指出, 传统的相对论理论对航天领域中的有关问题未能给出满意的答复。他用惯性导航理论进行计算证明, 飞船相对于惯性坐标系做加速飞行只要时间够长, 飞船相对于惯性系的速度可以超过光速。

### (2) 类星体的“超光速”

1960 年, 射电天文学家用当时世界上最大的望远镜观测到一个叫 3Cg 和一个叫 3C273 的射电源。结果发现它们都是很暗的蓝色的星, 尽管看起来象恒星, 但又不是通常的恒星。天文学上称它们为类星射电源, 简称类星体。1963 年, 科学家施米特重新研究了 3C273 的光谱, 发现了它有红移现象, 且红移值很大。当一颗恒星背我们而离去时, 从地球上看来, 恒星的光波频率会降低, 波长会变长。这就是红移现象。红移值越大, 则离去速度越大, 与我们距离越远。目前, 人们对类星体的认识主要是: ①类星体距离我们很远。最早发现的类星体 3C273, 红移值仅为 0.158, 而它距我们也有 23 亿光年。②类星体无离速度极大。有一颗类星体 OQ72, 其红移值为 3.53, 速度每秒钟高达 270000 公里。③类星体的亮度极为惊人。如 3C273 亮度为 12.8 星等, 而太阳若放到其位置上, 我们根本就观测不到。此外, 类星体的体积很小, 直径仅有普通星系的  $1/100000 \sim 1/1000000$ 。更令人惊奇的是, 类星体的速度居然超过了光的速度。1972—1974 年美国一些天文学家发现塞佛特星 3C120 自身膨胀的速度达到光速的 4 倍。后来, 天文学家用分辨率极好的长基线射电干涉仪, 又发现了 10 个类星体的两子源分离速度均达到光速的 7 到 8 倍。1977 年以来的发现证实, 还是那颗 3C273, 它的内部有两个辐射源, 并且它们还在相互分离, 分离的速度竟高达每秒 2880000 公里, 是光速的 9.6 倍。不仅如此, 继此之后, 人们还相继发现了几个“超光速”的类星体。简直不可思议! 因为迄今为止地球上的人类普遍认为, 光速是不能超越的, 然而上述发现又是那样的奇特, 不能不让人感到困惑不解。

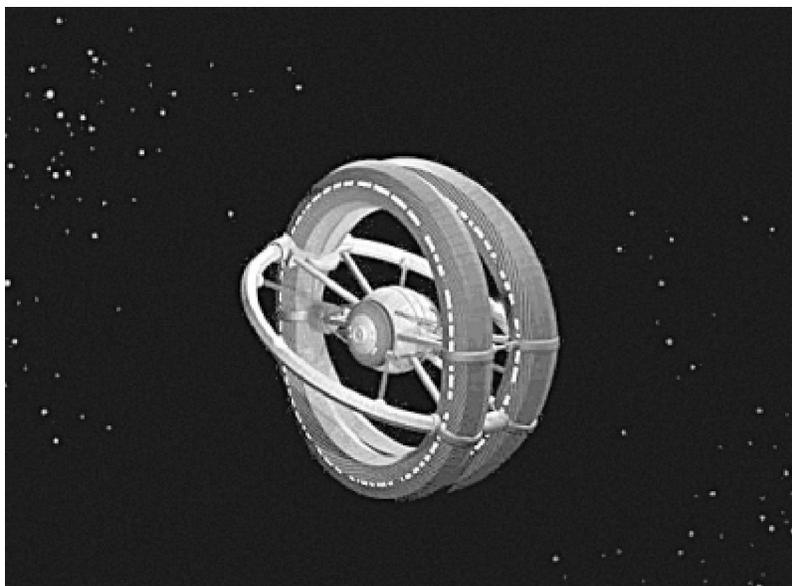
### (3) 哈勃望远镜观测到一个超巨星以超光速膨胀

V838 莫诺色罗蒂斯星体强烈爆发——这组由美国航空航天局哈勃望远镜拍摄的照片显示一个非同寻常的星体爆发产生的光象水波一样在星体附近回荡。该星体名为 V838 莫诺色罗蒂斯(Monocerotis), 离地球两万光年, 位于我们银河系的独角兽(Unicorn)星座, 是一个罕见的正在爆发的超巨星(supergiant)。超巨星是一类大质量, 高亮度的星体, 质量一般是太阳的几百倍以上, 亮度也比太阳大得多。这次的异常爆炸发生在 2002 年 1 月, 在短短的四十多天里, 该星体的亮度增长了一万倍, 成为我们银河系中亮度最大的星体。照片中可以见到从这一奇异星体发出的光正在向四周的空间扩散, 在碰到四周包围着该星体的尘埃后又被反射回来, 构成一副绚丽的、状似牛眼的多色图样。关于这一观测的研究结果刊登在 3 月 27 日的《自然》杂志上, 《科学》杂志在同一天发表了有关评论。照片显示从 2002 年 5 月到 12 月, 星体景象由于星体四周不同部分依次被照亮而发生了显著的变化。天文学家把这种效应称为“光回声”。星云中的不同颜色反映了星体颜色随着星体爆发的改变。在这段爆发过程中, 该星云的直径迅速由 4 光年增加到 7 光年。7 个月内直径增大了 3 光年, 其膨胀速度为 4.3 倍光速。目前科学家们对这次爆发的原因还不清楚, 天文学家称以前从没有观察到过类似的星体。

### 3、量子力学中的超光速现象

英国科学刊物《New Scientist》7 月 3 日说: “美国科学家 S.Lamoreaux 对在西非的核反应堆的实验数据所作分析表明, 在过去 20 亿年中精细结构常数 ( $\alpha$ ) 减小了  $4.5 \times 10^{-8}$ , 故在过去的光速  $c$  比现在略大”。

物理学界都知道, 处于纠缠态的两个光子之间具有超光速相互作用, 测定一个光子的自旋, 远处的另一个光子自旋立即相应改变。爱因斯坦称其为“怪异的超距作用”(spooky action at a distance)。瑞士日内瓦大学的一个研究组在光子纠缠实验中, 测得其速度至少超过光速一万倍。物理学是客观的, 纠缠光子之间具有超光速作用, 因被许多实验证明为客观存在而无法否定。早在 2000 年, Gisin 小组在瑞士的两个村庄(相距 10km)之间进行实验; 他们送出若干对的纠缠态光子, 在大约 5ps 时间间隔完成了测量, 据此算出纠缠态影响的传播速度是  $107c$  量级 ( $c$  是光速)。考虑到纠缠态影响相对于别的参考系(例如大爆炸后的微波残余)会有一固定速度, Gisin 等找出这个超光速速度是  $104c$  以上。



最近十几年来,各国科学家做的一些超光速实验,主要是用了两个原理,一个是反常色散,另一个是消失态。正常色散是指物质的折射率随频率提高而加大,反常色散是指折射率随频率提高而减小。对于波的群速度而言,正常色散时是亚光速,反常色散时则有可能出现超光速。消失场或者消失波的特点是随距离增加衰减很快但相位基本不变,它可能存在于截止波导中,也可能存在于双三棱镜的间隙中。

上世纪80年代中期,有人提出了截止波导的量子理论模型,认为可以把截止波导当作势垒。90年代初德国科隆大学教授尼米兹根据这个思想做成了群速超光速实验。1991年,意大利国家电磁波研究院做了一个实验,他们使一束微波通过波导管。随着波导管的加长,他们发现有一部分微波以超光速穿过了波导管。奥地利维也纳技工大学也做了类似实验,他们用高频大功率激光脉冲实现高精度时间解析后发现,不管势垒有多厚,光子穿越其间的时间都是固定的。1993年美国科学家加州大学赵雷蒙等人做成的一个实验对我们很有启发等人利用一种新发明的、极其巧妙的干涉仪,他们让光子通过一个势垒,使光子的速度在光速的基础上又增加了70%。

1965年,贝尔研究了对两粒子同时测量的各种结果之间可能存在的各种相关性,他用数学不等式的形式表达了寻找到的这类测量结果相关程度的理论限制。贝尔认为,可以想象存在着一个参照系,其中的事物速度比光快。实际上,在EPR实验中包含着,景象的背后有某种东西比光的行进更快。要理解这段话,莫过于把EPR效应称为缠结效应。那么是否可以利用缠结效应使信息的传输速度大于光速呢?由于量子法则的限制,对光子的每次局域测量在孤立地考虑时,产生的结果是完全随机的,因此不能携带来自远处的信息,研究人员从中得知的仅仅是根据远处测量的物体了解那里测量结果的概率是多少。各种超光速实验的情况证实了这一点。例如20世纪90年代超光速的实验此起彼伏,1995年德国人G·Nimtz等宣布做的实验,用音乐对微波源调制后,使音乐以 $4.7c$ 穿过位垒。以上都是测量获得的某个超光速实验的结果,数据表明的多种性,说明超光速仅是一种概率,并且成功率很低。因为,超光速实质是一种“贝尔态测量”。

最近美国科学家在量子力学领域里做的一些实验,也发现了明显的超光速效应,这个发现在全世界引起了轰动。加利福尼亚大学的粒子物理学家亨利·斯塔普,在仔细研究了这些显示超光速效应的实验结果以后,只好说:“量子力学的确好象要求某种超光速联系”。美国物理学家杰克·萨弗蒂为了检验这些使人吃惊的实验,利用数学计算重现了量子力学实验的超光速效应。他最后说,他的数学计算表明,不仅确实存在一个超光速通讯的渠道,而且人类还能利用超光速来获得意想不到的好处。

意大利科学家V.de Sabbata在第242次香山科学会议上曾作了题为“强子物体内的超光速可能性及量子引力问题”的报告。实际上,早在1981年V.de Sabbata和M.Gasperini即在《Lett. al Nuovo Cimento》上发表文章,题为“光速可变性引起的自发对称性破缺”。文章涉及Higgs场、弱相互作用、Yang-Mills方程、弯曲时空等多个领域;但其主要内容却是,在假定光速是一个变量的条件下,引用强引力耦合系数(strong gravity coupling constant)概念进行推导,结果算出在hadron宇宙内“光以 $75c$ 的恒定速度传播”。文章认为,在早期宇宙时光速比 $c$ 大得多;它随时间而变,逐渐降低到现在的值(即 $c$ )。

2000年6月,江兴流教授在《科技导报》上发表文章“电化学异常现象与挠场理论”。在242次香山

科学会议上，他重申“挠场传播是超光速的”。早年，Einstein 曾和 Cartan 一起研究，搞所谓的挠场（Torsion field）理论。这是因为广义相对论在处理时空性质时只考虑了曲率，而未考虑挠率。此外，在引力理论中往往只重视物质的能量，而忽略了物质的自旋。因而，在开始时挠场理论的出现仿佛只是对广义相对论的补充和发展。但在近年来，这方面的研究发挥到别的方面，例如对真空中零点能（zero energy）的提取；因而在新世纪到来时重新引起人们的注意和重视。反映时空挠曲的理论由于对自旋的重视又被称为自旋场（Spin field），它和引力场、电磁场相并列而被看作是物理真空在不同条件下的不同表现。俄罗斯科学界认为，挠场产生于物体的自旋，它对物体的作用也只限于自旋状态的改变。由于任何物质均表现出综合的自旋，故物质均有挠场。这方面的研究工作，中国科学界还是很生疏的。值得注意的是，挠场的传播速度据说是  $V > 109c$ ；这种情况是量子力学中非局域性（Non-locality）的表现之一。

2001 年，焦克芳研究员曾采用磁挠场的观点来解释王力军的超光速实验。他认为，一般情况下铯原子气体是正常色散介质；但在外加磁场诱导下，双原子分子中两个电子将不同（一个与外磁场同向、另一个反向）。这时如用光脉冲通过的方式提供适当能量，将使上述二者发生跃迁而到达高能激发态。由于在单极耦合的反成键态周围存在磁挠场，对有了磁性的粒子产生加速作用。王力军实验成功的关键是维持磁挠场不消失，通过一定方法保持反成键态的连续存在。

附录 1：2007 年 08 月 16 日 14:16 来源：法制晚报

德科学家声称光量子穿越障碍速度快得惊人 违背爱因斯坦“光速无法超越”理论 挑战相对论 光量子超光速

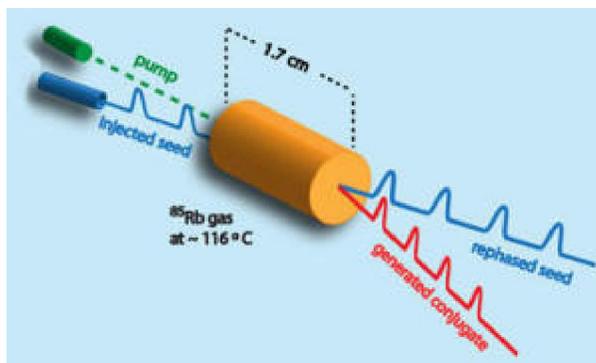
他们通过将光量子在两块间距为一英里的棱镜中来回反射并计算时间加以验证

本报讯（记者王燕）在爱因斯坦的相对论中，光速是一个不可超越的速度。但即将出版的美国《新科学家》杂志刊文指出，两名德国物理学家声称，他们可以使光量子的前进速度超过光速，这对狭义相对论中所说的“没有任何物体在任何环境下可以超越光速”的说法提出直接挑战。据悉，这两名物理学家分别名为 Günter Nimtz 和 Alfons Stahlhofen，他们都是科布伦茨大学的物理学家。他们一直在研究一种叫做“光子隧道”的现象，所谓的“光子隧道”是指一种微粒穿过一个显然不可穿越的障碍的现象。这两名物理学家声称，他们可以让光量子在瞬间穿过很多种大小的物体，从几毫米到几米，从而得出结论：光量子的穿越速度快得惊人，超过光速。为了证明这一理论的正确性，这两名物理学家进行了一系列实验，他们让微波光量子在两块棱镜间瞬间穿过，两块棱镜间的距离约有一英里长。

当把两块棱镜放置在一起时，光量子如预期般笔直地穿过棱镜。当把棱镜分开放置时，大部分光量子从它们遇到的第一块棱镜上被反射出去，然后被探测器捕捉到。但是一部分光量子还是会像穿过“隧道”一样从两块棱镜中的空隙中穿过，就像是把棱镜放置在一起时一样。科学家指出，虽然这些没有被反射的光量子的行进距离要比被反射的长，但它们到达探测器的时间和被反射的光量子到达的时间精确一致，所以科学家认为光量子的行进速度超过了光速。

（责任编辑：张成）

附录 2：科学家研发出超光速脉冲



据外媒消息，美国国家标准和技术研究所的研究人员研发出一种全新方法，可以产生超光速脉冲。相关研究成果发表在国际权威学术期刊《物理评论快报》（PRL）上。

这种称作“四波混频”（four-wave mixing）的方法，有望被用于缩短信号通讯时间和研究量子关联传播。

根据爱因斯坦狭义相对论，光在真空中的传播速度是宇宙速度极限。但是此理论有一个小漏洞：短脉冲光是和钟声一样以对称曲线形式传播的；波曲线的前端速度不会超过光速，但是波峰可以向前或向后倾斜，因此会导致稍早于或晚于波本身到达的时间。

保罗·列特（Paul D. Lett）及其同事在研究中，通过四波混频方法，向加热小室发送 200 纳秒长的种子激光脉冲。该小室充斥原子铷蒸汽；铷蒸汽放大了种子激光脉冲，将其波峰前移，使其变得“超光速”。

与此同时，种子激光脉冲发出的光束与铷蒸汽互作产生第二束脉冲——共轭脉冲；第二束脉冲的波峰也可以比光速稍快或稍慢。

在此实验中，脉冲波峰比真空中光速快了 50 纳秒。

研究人员称该研究最直接的应用是测量量子失谐。通过测量脉冲之间的量子失谐，研究人员希望确定超光速脉冲在传播和处理量子信息中的作用。（科学网 任春晓/编译）

相关方法：四波混频法

完成人：保罗·列特课题组

实验室：美国国家标准和技术研究所 国家标准和技术研究所—马里兰大学联合量子研究所

#### 4、超光速与狭义相对论的关系

《自然杂志》19卷4期的‘探索物理学难题的科学意义’的97个悬而未决的难题：59。超光速佯谬能否解决？60。快子佯谬能否解决？

狭义相对论基于相对性原理及光速不变原理这两个基本前提，旅美华裔物理学家沈志远提出：超光速难道不违反狭义相对论？许多物理学家认为“这并不违反狭义相对论，因为人无法用来传递信息。”人们所感兴趣的超光速，一般是指超光速传递能量或者信息。根据狭义相对论，这种意义下的超光速旅行和超光速通讯一般是不可能的。目前关于超光速的争论，大多数情况是某些东西的速度的确可以超过光速，但是不能用它们传递能量或者信息。但现有的理论并未完全排除真正意义上的超光速的可能性。天文学家在观测河外天体的时候，曾发现有许多双源结构天体其横向分离视运动速度有超光速现象，这种超光速视运动现象实际是一种假象，它是由于天体辐射的光波其波前在空间中传播速度与天体运动状态有关导致的一种视运动速度失真现象。

可是光子确实用来传递信息，否则纠缠光子怎么会“知道”远处的另一个光子自旋改变了呢？纠缠光子之间相互作用速度超过光速，这难道不违反狭义相对论？

美国的物理学家欧列克萨·迈伦·比兰纽克和 E·C·乔治·苏达山在 1962 年，吉拉德·费恩伯格在 1967 年分别提出：超光速运动的粒子不违反相对论物理学的任何基本准则。这样一个假设的粒子可能放出类似于轮船涡流的契伦科夫辐射，因此可能被探测到。超光速粒子的质量可能是假想的，就比如-1 的平方根是假想的一样。

1978 年 R.M. Santilli 创立了强子力学（Hadronic Mechanics, HM）。它与量子力学（QM）不同之处在于，QM 把基本粒子视为点状粒子，互相之间总有一定距离；而 HM 视基本粒子为有一定尺寸的延展性粒子，即波包；粒子间可以有一定距离，但也可以相互重叠和接触。以 Dirac 方程为例，尽管它可以描述例如电子这种单粒子的运动，却无法描述组合在一起的（强子）粒子，例如质子和中子。2005 年 6 月 21 日~23 日在瑞典 Karlstad 大学召开了第 18 届强子力学国际讨论会，在会上 A.O. E. Animalu 教授论述了强子力学的主要特点，并指出“存在着扩展了相对论的情况，即真空中速度超过光速的状况”。

2005 年 6 月 18 日出版的《New Scientist》发表了 M. Buchanan 的文章“Double jeopardy”。该文说，近年来国际科学界针对 Bell 不等式与量子力学的矛盾问题做了新的实验，有瑞士的 N. Gisin 小组，美国的 P. Kwiat 小组和 D. Wineland 小组等。科学家们重申“针对 Bell 不等式的实验有很大的重要性”；并指出实验结果均与不等式相反，无一例外地证明了量子力学（QD）的正确。这是近 20 年来（1985~2005 年）的研究成果，表明相对论对时空的局域实在论描述有缺陷。例如，相对论假定“nothing can travel faster than light”是不妥的。由于一系列实验（其中有的实验艰难而出色，例如 Gisin 小组利用埋在 Geneva 湖的湖水下的光缆，把光子送到 25km 以外）均违反 Bell 不等式，使“超光速信号能在粒子间传送”得到确认。实际上，几年来的实验已证实量子纠缠态的影响以超光速（不是无限大）的速度传送。

#### 附录 1：“超光速实验”引起全球关注 {转载}

2001 年 5 月起，一个消息在大报小报上炸响，至今还在网上延烧，那就是华裔科学家王力军主持的“超光速实验”。如果“超光速”得到验证，那就意味着现代物理学的基础理论爱因斯坦相对论的瓦解，因为相

对论的基础之一是没有任何东西可以超越光速。然而6月份，在美国新泽西州N E C研究所做研究员的王力军站出来澄清了，所谓“超光速”是媒体以讹传讹的报导。他的实验只是利用铯原子气体的反常色散现象，成功地在实验中使激光脉冲群速度达到真空光速的310倍之多。这一现象表明光波群能以“超光速”传播。但凭这种现象并不能“推翻Einstein相对论”。

据报导，王力军和他的研究小组采用一种新方法，用激光将通常为16种量子状态下的铯原子置于仅一种量子状态之下，组建了一个长6厘米的铯原子气室。在气室入口和出口分别放置了探测器，然后将一束持续时间3.7微秒的激光脉冲射向气室。观察到在气室出口的探测器相比于真空状态下提前62纳秒测到了同样形状的光脉冲。这表明，强烈的反常色散使得脉冲顶在进入气室之前就已离开了气室。光脉冲在铯原子气体中的群速度为光速的310倍，脉冲能量及波形在介质传播中无较大改变。

就在王力军将他的研究成果交由《自然》杂志等待发表的期间，该项实验被《纽约时报》于5月30日抢先报道。其报道的用词震惊全球：“华裔科学家王力军和他的同事成功地打破光速极限，在实验室把光的速度提高了300倍。”此后随着各种媒体不断转载转述，标题越来越耸人听闻，描述也越来越与基本事实疏离。如他被描写成“发现超光速”的科学家，其实验“推翻爱因斯坦相对论”。而他发现的“超光速”传输方式，不但可以用来研发“没有时间差距”的电脑运送数据科技，甚至还有可能用来打造“时间飞行器”，进而打破自然界因果规律等等。

看到各种报章报道的王力军感到浑身不自在，6月初，他在美国媒体上公开说出了自己的苦恼，担心自己会因这些报道而成为科学界的笑柄。王力军说，他的“超光速”研究，其实在过去已被证明过，这在光学研究界亦不是破天荒的发现。

王力军在接受新华社记者采访时解释了“超光速实验”到底是怎么回事。他说，虽然观察到的光脉冲波峰速度超过光速，但这并不意味着实现了信号的超光速传播。光波是有长度的，只有波头的传播速度才可以算是信号的传播速度，作为波峰传播速度的群速度不能用于计算信号传播速度。群速度有可能超光速，但波头的速度是始终超不过光速的，因而与狭义相对论是吻合的。王力军说，他的实验表明，在人工特制的透明介质中，光波群速度可以远远超过真空中的光速，这是自然界见不到的现象。传统物理学认为，任何有质量的物体的运动速度不会大于光速。“尽管这一结论依然正确，但以前被错误地应用于光的领域。我们的实验证明，光的群速度并不为它的真空速度所限，‘超光速现象’也可以在透明介质中发生。”不过他认为，这一现象“不违反狭义相对论的基本原则，也不违背因果律，即事件的原因发生在其结果之前。这种现象并不能用于超光速传递信息或超光速旅行。”

现在新泽西州普林斯顿的N E C基础研究所负责量子光学研究项目的王力军是中国旅美学学者。1986年他从中国科技大学现代物理系毕业后，赴美国罗彻斯特大学攻读博士学位。1992年在获得博士学位后，又到北卡罗来纳州的杜克大学做博士后，进行原子物理研究。据报导，1996年间王力军看了加州大学伯克利分校一位赵教授的论文，对“超光速”产生了浓厚兴趣，开始了这方面的探索，曾先后发表了数十篇光学方面的专业论文。除了在新泽西州普林斯顿的N E C基础研究所进行研究工作外，王力军还兼任了美国光学学会权威杂志《光学通信》量子光学与激光光谱方面的专题编辑。

##### 5、快子理论简介

费因伯格和苏达山（上世纪中叶物理学家）认为：狭义相对论并不排斥超光速，只是暗示假如真的存在超光速粒子，那么这种粒子将碰到另一种“光障”——速度永远也不能小于或等于光速。而且这些粒子的行为一定很怪异，如：失去能量时速度会变得更快，当能量接近于零时，速度将会变得无限大，他们称这种粒子为“快子”。

超光速理论工作一般从狭义相对论出发，将其推广，求得既适合于慢子（低于光速的粒子）和光子，又适合于快子的相对论理论。据理论上的推测，快子具有奇异的物理性质。它的质量是虚数，它的速度将随能量的耗散而无限增加，当它的能量趋于零时，则速度趋于无穷大。快子一旦产生，就具有大于光速的速度。要使它的速度减小，必须供给它能量。如要减小到光速，则必须供给它无限大的能量才行，因此其速度不可能减小到光速或低于光速。快子的负能问题是一个复杂的问题。由于负能量的出现，将意味着任何一个物理系统，因为可能无限地释放快子而处于不稳定状态，系统将无限地增加自己的能量，从而导致永动机的出现。而且，更为使人惊异的是，即使无限地产生快子对，也不会破坏能量动量守恒定律，同时也不会改变真空中的总能量。另外，根据洛伦兹变换，快子从一个坐标系转换到另一个坐标系的过程中，可能改变时间的顺序，即时间倒流。这样一来，也许就要出现像打油诗“年青女郎名葆蕾，神行有术光难追，快子理论来指点，今日出昨昨夜归”所描绘的“奇迹”。这两个困难问题虽然可以借助二次说明原理（即应该将一个具有负能量的粒子看作是先被吸收，然后再发射，这样一来，负能量与时间倒流和正能量与时间顺流的物理意义完全一样，

因而变换坐标系后物理定律依然不变)来解释,但它并没有解决不变的因果律的问题。另外,快子有可能以无限大的速度传播,因而假若存在着快子,就可能瞬时传递作用信息,似乎又可能回到“超距作用”论的概念上去。

不过,近 10 多年来,虽说在理论方面和实验方面都作了不少的工作,但至今尚未取得重大突破。要使快子理论与现代物理学理论协调起来,还需要克服相当多的困难。不过,这却有可能迫使人们跳出目前的理论框架,克服早已习惯了观念,从而产生巨大而深远的影响。

### 6、“超光速”的实例分析

1. 切伦科夫效应 媒质中的光速比真空中的光速小。粒子在媒质中的传播速度可能超过媒质中的光速,此时会发生辐射,称为切伦科夫效应,但这不是真正意义上的超光速,真正意义上的超光速是指超过真空中的光速。

2. 第三观察者 如果 A 相对于 C 以  $0.6c$  的速度向东运动, B 相对于 C 以  $0.6c$  的速度向西运动。对于 C 来说, A 和 B 之间的距离以  $1.2c$  的速度增大。这种“速度”--两个运动物体之间相对于第三观察者的速度--可以超过光速。但是两个物体相对于彼此的运动速度并没有超过光速。在这个例子中,在 A 的坐标系中 B 的速度是  $0.88c$ 。在 B 的坐标系中 A 的速度也是  $0.88c$ 。

3. 影子和光斑 在灯下晃动你的手,你会发现影子的速度比手的速度要快。影子与手晃动的速度之比等于它们到灯的距离之比。如果你朝月球晃动手电筒,你很容易就能让落在月球上的光斑的移动速度超过光速。遗憾的是,不能以这种方式超光速地传递信息。

4. 刚体 敲一根棍子的一头,振动会不会立刻传到另一头?这岂不是提供了一种超光速通讯方式?很遗憾,理想的刚体是不存在的,振动在棍子中的传播是以声速进行的,而声速归根结底是电磁作用的结果,因此不可能超过光速。

5. 相速度 光在媒质中的相速度在某些频段可以超过真空中的光速。相速度是指连续的(假定信号已传播了足够长的时间,达到了稳定状态)的正弦波在媒质中传播一段距离后的相位滞后所对应的“传播速度”。很显然,单纯的正弦波是无法传递信息的。要传递信息,需要把变化较慢的波包调制在正弦波上,这种波包的传播速度叫做群速度,群速度是小于光速的。(译者注:索末菲和布里渊关于脉冲在媒质中的传播的研究证明了有起始时间的信号[在某时刻之前为零的信号]在媒质中的传播速度不可能超过光速。)

6. EPR 悖论 1935 年 Einstein, Podolski 和 Rosen 发表了一个思想实验试图表明量子力学的不完全性。他们认为在测量两个分离的处于 entangled state 的粒子时有明显的超距作用。Eberhard 证明了不可能利用这种效应传递任何信息,因此超光速通信不存在。但是关于 EPR 悖论仍有争议。

7. 虚粒子 在量子场论中力是通过虚粒子来传递的。由于海森堡不确定性这些虚粒子可以以超光速传播,但是虚粒子只是数学符号,超光速旅行或通信仍不存在。

### 8. 量子隧道

量子隧道是粒子逃出高于其自身能量的势垒的效应,在经典物理中这种情况不可能发生。计算一下粒子穿过隧道的时间,会发现粒子的速度超过光速。(Ref: T. E. Hartman, J. Appl. Phys. 33, 3427 (1962)) 一群物理学家做了利用量子隧道效应进行超光速通信的实验:他们声称以  $4.7c$  的速度穿过  $11.4\text{cm}$  宽的势垒传输了莫扎特的第 40 交响曲。当然,这引起了很大的争议。大多数物理学家认为,由于海森堡不确定性,不可能利用这种量子效应超光速地传递信息。如果这种效应是真的,就有可能在一个高速运动的坐标系中利用类似装置把信息传递到过去。Terence Tao 认为上述实验不具备说服力。信号以光速通过  $11.4\text{cm}$  的距离用不了  $0.4$  纳秒,但是通过简单的外插就可以预测长达  $1000$  纳秒的声信号。因此需要在更远距离上或者对高频随机信号作超光速通信的实验。

9. 卡西米(Casimir)效应 当两块不带电荷的导体板距离非常接近时,它们之间会有非常微弱但仍可测量的力,这就是卡西米效应。卡西米效应是由真空能(vacuum energy)引起的。Scharnhorst 的计算表明,在两块金属板之间横向运动的光子的速度必须略大于光速(对于一纳米的间隙,这个速度比光速大  $10^{-24}$ 。在特定的宇宙学条件下(比如在宇宙弦[cosmicstring]的附近[假如它们存在的话]),这种效应会显著得多。但进一步的理论研究表明不可能利用这种效应进行超光速通信。

10. 宇宙膨胀 哈勃定理说:距离为  $D$  的星系以  $HD$  的速度分离。 $H$  是与星系无关的常数,称为哈勃常数。距离足够远的星系可能以超过光速的速度彼此分离,但这是相对于第三观察者的分离速度。

11. 月亮以超光速的速度绕着我旋转! 当月亮在地平线上的时候,假定我们以每秒半周的速度转圈儿,因为月亮离我们  $385,000$  公里,月亮相对于我们的旋转速度是每秒  $121$  万公里,大约是光速的四倍多!这听起来相当荒谬,因为实际上是我们自己在旋转,却说是月亮绕着我们转。但是根据广义相对论,包

括旋转坐标系在内的任何坐标系都是可用的，这难道不是月亮以超光速在运动吗？

问题在于，在广义相对论中，不同地点的速度是不可以直接比较的。月亮的速度只能与其局部惯性系中的其他物体相比较。实际上，速度的概念在广义相对论中没多大用处，定义什么是“超光速”在广义相对论中很困难。在广义相对论中，甚至“真空光速不变”都需要解释。爱因斯坦自己在《相对论：狭义与广义理论》第76页说“真空光速不变”并不是始终正确的。当时间和距离没有绝对的定义的时候，如何确定速度并不是那么清楚的。尽管如此，现代物理学认为广义相对论中光速仍然是不变的。当距离和时间单位通过光速联系起来的时候，真空光速不变作为一条不言自明的公理而得到定义。在前面所说的例子中，月亮的速度仍然小于光速，因为在任何时刻，它都位于从它当前位置发出的未来光锥之内。

12. 量子场论 到目前为止，除引力外的所有物理现象都符合粒子物理的标准模型。标准模型是一个相对论量子场论，它可以描述包括电磁相互作用、弱相互作用、强相互作用在内的三种基本相互作用以及所有已观测到的粒子。根据这个理论，任何对应于两个在有类空距离的事件处所作物理观测的算子是对易的(any pair of operators corresponding to physical observables at space-time events which are separated by a space like interval commute)。

原则上讲，这意味着任何作用不可能以超过光速的速度传播。但是，没有人能证明标准模型是自洽的(self-consistent)。很有可能它实际上确实不是自洽的。无论如何，它不能保证将来不会发现它无法描述的粒子或相互作用。也没有人把它推广到包括广义相对论和引力。很多研究量子引力的人怀疑关于因果性和局域性的如此简单的表述能否作这样的推广。总而言之，在将来更完善的理论中，无法保证光速仍然是速度的上限。

13. 虫洞 关于全局超光速旅行的一个著名建议是利用虫洞。虫洞是弯曲 space-time 中连接两个地点的捷径，从 A 地穿过虫洞到达 B 地所需要的时间比光线从 A 地沿正常路径传播到 B 地所需要的时间还要短。虫洞是经典广义相对论的推论，但创造一个虫洞需要改变 space-time 的拓扑结构。这在量子引力论中是可能的。

开一个虫洞需要负能量区域，Misner 和 Thorn 建议在大尺度上利用 Casimir 效应产生负能量区域。Visser 建议使用宇宙弦。这些建议都近乎不切实际的瞎想。具有负能量的怪异物质可能根本就无法以他们所要求的形式存在。

Thorn 发现如果能创造出虫洞，就能利用它在 space-time 中构造闭合的类时世界线，从而实现时间旅行。有人认为对量子力学的多重性(multiverse)解释可以用来消除因果性悖论，即，如果你回到过去，历史就会以与原来不同的方式发生。Hawking 认为虫洞是不稳定的，因而是无用的。但虫洞对于思想实验仍是一个富有成果的区域，可以用来澄清在已知的和建议的物理定律之下，什么是可能的，什么是不可能的。

14. 曲相推进(warp drive) 曲相推进是指以特定的方式让 space-time 弯曲，从而使物体超光速运动。Miguel Alcubierre 因为提出了一种能实现曲相推进的 space-time 几何结构而知名。space-time 的弯曲使得物体能以超光速旅行而同时保持在一条类时世界线上。跟虫洞一样，曲相推进也需要具有负能量密度的怪异物质。即使这种物质存在，也不清楚具体应如何布置这些物质来实现曲相推进。

15、超光速星系 朝我们运动的星系的视速度有可能超过光速。这是一种假象，因为没有修正从星系到我们的时间的减少(?)。

16、相对论火箭 地球上的人看到火箭以  $0.8c$  的速度远离，火箭上的时钟相对于地球上的人变慢，是地球时钟的  $0.6$  倍。如果用火箭移动的距离除以火箭上的时间，将得到一个“速度”是  $4/3 c$ 。因此，火箭上的人是以“相当于”超光速的速度运动。对于火箭上的人来说，时间没有变慢，但是星系之间的距离缩小到原来的  $0.6$  倍，因此他们也感到是以相当于  $4/3 c$  的速度运动。这里问题在于这种用一个坐标系的距离除以另一个坐标系中的时间所得到的数不是真正的速度。

### 7、中微子的“超光速”

欧洲核子研究中心 2011 年 9 月 23 日宣布，他们发现一些粒子可能以快于光速的速度飞行，一旦这一发现被验证为真，将颠覆支撑现代物理学的爱因斯坦相对论。

整个实验工作的第一步始于欧洲核子研究中心内部一个充满氢气的大罐子。科学家们首先剥夺了氢原子的电子，使其成为一颗质子。随后，这些质子被一系列加速器接力加速，最后进入大型强子对撞机(LHC)设备内部运行。随后，一些质子被以  $10$  微秒的脉冲形式射向一个石墨靶标并产生一束介子脉冲。这些介子很快衰变成中微子，并穿越地层抵达格兰萨索的探测器。在这里，OPERA，即采用乳胶径迹装置的(中微子)振荡项目，所采用的乳胶寻迹设备可以感知中微子的抵达。

根据现有理论，在从欧核中心飞抵 OPERA 设备的数毫秒间，其中一部分中微子将发生振荡变形，从  $\mu$

中微子变为  $\tau$  中微子，而 OPERA 实验的“初衷”正是对这种中微子振荡进行研究，试图追寻到  $\tau$  中微子的踪迹。但出人意料的是，科学家们发现，中微子比光“跑”得快。

测量中微子速度的难点在于如何精确地测量距离和时间。在该研究中，距离通过 GPS（全球定位系统）测量得到，误差为 20 厘米；时间通过 GPS 和铯原子钟测量得到，精度是 2.3 纳秒（一秒的 10 亿分之一）。中微子实际传播了 732 公里，“旅行”时间为 0.0024 秒，计算结果表明，中微子的速度是 299798454 米/秒，比真空中的光速 299792458 米/秒快 5996 米/秒。

这一结果震惊了欧核中心的科学家。在仔细考虑了实验中其他各种因素的影响之后，他们认定，实验结果经得起检验，于是决定将其公开，恳请全球同行共同对实验结果进行验证。

其实，在科学史上，这并非科学家们首次观察到“中微子比光跑得快”这一现象。此前，科学家们在 1987 年对 SN1987A 超新星进行的研究、费米实验室进行的 MINOS（主注入式中微子振荡搜寻实验）等都表明，中微子似乎比光跑得快。但因为诸多原因，没有引发如此大的反响。

SN1987A 是科学家们于 1987 年发现的第一颗超新星，距离地球 16.83 万光年。事实上，它是在公元前 16.81 万年左右爆发的，但它的光直到 1987 年才抵达地球。在 SN1987A 爆发的光线来到地球的 3 小时前，世界各地有 3 台中微子探测器同时探测到一股中微子爆发，这似乎表明中微子比光快。

而在 2007 年美国费米实验室进行的 MINOS 高能物理实验中，物理学家们让主注入器产生的中微子束穿过该实验室位于伊利诺伊州的近程探测装置，然后击中位于数百英里外位于明尼苏达州的远程探测装置。该实验当时得出的结论是：记录到中微子的运动速度超过光速。但实验结果的误差范围太大，因此并没有引起多大注意。

#### (1) 相对论称光速最快

当天，欧洲核子研究中心公布了一份研究结果，科研人员在让中微子进行近光速运动时，其到达时间比预计的早了 60 纳秒（1 纳秒等于十亿分之一秒），对此，研究者认为，这可能意味着这些中微子是以比光速快 60 纳秒的速度运行。根据爱因斯坦狭义相对论，光速是宇宙速度的极限，没有任何物质可以超越光速。如果此次研究结果被验证为真，意味着奠定了现代物理学的基础将遭到严重挑战。此次研究的中微子束源自位于日内瓦的欧洲核子研究中心，接收方则是意大利罗马附近的意大利国立核物理研究所。粒子束的发射方和接收方之间有着 730 公里的距离，研究者让粒子束以近光速运行，并通过其最后运行的时间和距离来判断中微子的速度。中微子束在两地之间的地下管道中穿梭。

#### (2) 被观测到 1.6 万次

“这个结果十分令人震惊，”该研究项目发言人艾瑞迪塔托说，“我们在好几个月反复研究核对，并仔细考虑了实验中其他各种因素的影响。”艾瑞迪塔托说，科研人员反复观测到这个现象达 1.6 万次。“这是很令人感兴趣的结果，但它科学上的准确性，还要更多的实验才能来验证。”中科院高能物理研究所所长陈和生对本报记者说。他表示，目前物理学界也出现了一些对该实验结果的不同意见，一是怀疑粒子束飞行距离的准确性，二是粒子束本身长度的准确性。此次实验的研究者之一奥迪瑞说，“尽管我们测量的系统不确定性很低，统计数据准确性也很高，但我们还是希望能与其他实验做对比。”根据研究者的声明，中微子束的发射地到接收地之间的距离，存在着 20 厘米的不确定性。对中微子束飞行时间通过高级 GPS 系统和原子钟等精密设备测量，精确度小于 10 纳秒级别。

#### (3) 新发现潜在影响巨大

欧洲核子研究中心在一份声明中表示，这个结果的潜在影响巨大，急需其他实验的独立测量进行重复实验，接受更广泛、更严谨的考验，这才能最终验证或反驳是否真的存在超光速粒子。目前，研究中心已将此实验论文上传到公开网站上，并对全球物理学界进行在线说明。

“（研究）对科学产生的潜在影响实在太大了，我们无法立刻就给出结论，或做出物理解释。我的第一反应是，中微子实在太神秘，让我们惊喜。”艾瑞迪塔托说。欧洲核子研究中心研究主任贝托鲁奇说，如果这个研究被验证，将改变人类的物理观。

物理学家们认为，一旦这些粒子确实被证实跑过了光速，将彻底改变人类对整个宇宙存在的看法，甚至改变人类存在的模式。有分析人士认为，可能宇宙中的确还存在其他未知维度，中微子抄了其他维度的“近路”，才“跑”得比光快。中科院高能物理研究所所长陈和生说，希望研究方能够提供更多实验细节，也希望能看到其他的重复实验，“现在说爱因斯坦相对论受到挑战还太早。”

附录 1:OPERA 实验 2011 年 11 月 18 日公布了新的测量结果，消除了一个重要的误差来源，得到了与原测量一致的结果。

原来的结果公布后，测量的多个环节被质疑。其中最可能出错的是拟合误差。其发射的中微子束团长 10500 纳秒。当探测到一个中微子的时候，我们并不知道它是束团中的哪一个质子产生的，需要依靠时间结构拟合来确定时间差。为了消除这个误差，OPERA 实验重新进行了实验验证，特地将每个中微子束团缩短到 3 纳秒，相隔 524 纳秒。这样每个探测到的中微子都能找到准确的发射时间。新的实验 11 月 6 日结束，在十几天内共测到 20 个中微子，新的测量结果与原结果一致，即中微子比光快 60 纳秒，误差为 10 纳秒。原来的论文写好后，有 15 个作者拒绝签字。经过新的测量，以及对原来分析的重复检查，大部分人已同意签字。

附录 2: 本报讯 据英国《每日电讯报》2011 年 11 月 21 日报道，来自意大利格兰萨索国家实验室的一个科研小组表示，他们独立地重复了今年 9 月份进行的 OPERA 实验，结果发现中微子在行进的过程中并无能量损失，这表明，OPERA 实验得出的结论——中微子的行进速度比光快是错误的。

9 月 23 日，进行 OPERA 实验的科学家们表示，中微子在从欧洲核子研究中心前往意大利格兰萨索地下实验室的“旅行”中，竟然比光早到了 60 纳秒，实验误差约为 10 纳秒。因此，OPERA 团队的发现一经公布，就在科学界引发广泛关注和讨论。很多科学家质疑其正确性。

11 月 18 日（北京时间），该 OPERA 团队又发布消息称，他们进行了更精确的重复实验，获得了同样的结果，再从确认中微子的运动速度超过了光速。现在，来自意大利格兰萨索国家实验室的另一个科研团队使用同样的中微子束进行了名为 ICARUS 的实验。在实验中，他们不仅测量了中微子从欧核中心“旅行”到格兰萨索国家实验室的时间，还测量了这些中微子到达格兰萨索国家实验室时所拥有的能量。ICARUS 团队研究人员认为，行进速度即使只比光快一点点，都将导致粒子在整个“旅行”过程中失去大部分能量。但其计算结果表明，在“旅行”过程中，这些中微子具有数量准确的以光速运行（一点都不多）的能量粒子，这表明中微子的能量没有损耗且其行进速度不比光速快。

物理学家托马斯·多里格同时在欧洲核子研究中心和美国费米国家实验室担任研究工作，他在一家科学网站上写道，ICARUS 团队的论文“简洁而明确”。他表示：“ICARUS 团队的研究证明，中微子的行进速度和光速之间的差异不可能如 OPERA 小组观察到的那样巨大，这种差异无疑要比 OPERA 小组宣称的数值至少小三个数量级，几乎接近零。”英国萨里大学的教授吉姆·卡利里说：“如果中微子的行进速度超过光速的话，它们会在行进过程中不断失去自己的能量。但最新实验结果表明，中微子的能量没有损耗，因此，可以驳斥中微子超光速这一结论。”

附录 3: 北京时间 2 月 23 日消息，据美国《科学》杂志报道，2011 年 9 月在意大利进行的 OPERA 实验宣称发现中微子速度超过光速。然而，这一“惊人发现”似乎因一个错误导致，罪魁祸首可能是 GPS 装置与电脑之间“接触不良”。实验中，物理学家发现中微子从欧洲核子研究组织(CERN)的实验室飞行到意大利拉奎拉附近格兰萨索国家实验室所用时间比光提前了大约 60 毫微秒。其他很多物理学家认为这一惊人发现因错误所致。爱因斯坦的狭义相对论认为，任何物质的速度都不可能超过光速，如果中微子的速度确实超过光速，狭义相对论便被推翻。几十年来，科学家进行了很多次实验，实验结果均支持狭义相对论。据熟悉此项实验的消息人士透露，提前 60 毫微秒似乎由连接 GPS 接收器(用于校正中微子飞行时间)的光缆与电脑内电子卡之间出现。新华网日内瓦 3 月 16 日电（记者刘洋 杨京德）欧洲核子研究中心 16 日公布最新测量结果显示，去年 9 月“中微子振荡实验”中，中微子运行速度并未超过光速，原测量结果存在误差。欧洲核子研究中心研究项目负责人塞尔吉奥·贝尔托卢奇通过公报向媒体证实，有证据显示，相关实验结果受到了测量误差干扰。贝尔托卢奇表示，欧洲核子研究中心将继续与意大利格兰萨索国家实验室合作，在今年 5 月进行新一轮“中微子振荡实验”，以期给出准确答案。去年 9 月，意大利格兰萨索国家实验室下属的一个名为“OPERA”的实验装置接收了来自欧洲核子研究中心的中微子，两地相距 730 公里，中微子跑过这段距离的时间比光速还快了 60 纳秒（1 纳秒等于 10 亿分之一秒）。消息一出，立刻引起轰动。然而，欧洲核子研究中心 2 月 23 日发布公报称，此前使用的中微子测速方法存在两处问题，可能导致测量结果出现偏差。

#### 附录 4: 吴岳良：研究超光速可能性要从本质入手

诺贝尔物理学奖获得者卡罗·卢比亚在不久前的诺贝尔北京论坛上评论说，中微子振荡实验(OPERA)很重要，令科学家意外发现了中微子可以超越光速，但他认为他们过早地发表了结果，应该进一步研究，考虑各种可能性，更加认真地对待。

欧洲核子中心 OPERA 实验的研究人员自己也表示要继续研究系统误差，这个实验出现的反常很可能是系统误差引起的，不排除用系统误差进行解释。而我要讲的和强调的是：我们所有实验和理论研究都是朝着发现新现象和提出新理论，超越爱因斯坦和前人研究成果这个目标而努力的，爱因斯坦本身就超越了牛顿。

我们知道,所有实验都是在一定条件下做的,当实验条件和环境等改变以后,物理现象也可能就会随之发生变化,这是科学家们在研究时的重要出发点和探索目标。

众所周知,相对论和量子论是上世纪建立的两个奠基性理论。爱因斯坦的贡献除了狭义相对论外还有广义相对论。狭义相对论实际上是纯运动学的理论,广义相对论是动力学理论,回答粒子受力或物质之间有了相互作用以后是怎么加速运动或改变运动状态的。狭义相对论的运动学理论加上量子力学,成功地建立了量子场论,并由此描述所有三种基本相互作用(即电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用)而建立起粒子物理标准模型。参与电磁相互作用而稳定存在的粒子有光子、电子和夸克,只参加弱相互作用而稳定存在的粒子就是中微子,还有一个稳定存在的粒子是由参加强相互作用的夸克而形成的质子。需要一提的是狭义相对论中用到的洛伦兹变换,它本身是一个数学上的坐标变换,虽然其在爱因斯坦之前已经存在,但爱因斯坦的贡献在于解释洛伦兹变换所隐含的物理含义。

爱因斯坦认识到洛伦兹变换不只是数学上的四维坐标变换,当把其中的一维作为时间,其变换就把时间与空间联系起来,同时需引进一个对应于速度的物理量,而当把这个速度物理量看做是与坐标无关的不变常数时,时间与空间之间的变换关系将被唯一确定下来,这时洛伦兹变换就成为一个更基本的时空变换,若要求物理规律在洛伦兹变换下不变,那么,洛伦兹变换意味着时空的基本对称性,这个对称性称为洛伦兹对称性,而不变的速度常数就是大家熟知的光速。由此,爱因斯坦超越了牛顿关于时间与空间无关的绝对时空观。实际上,空间本身的对称性我们早已熟悉,如空间的转动对称性,它导致角动量守恒。事实上,每一个对称性都与一个守恒律相联系,如时间平移不变性与能量守恒联系起来,空间平移不变性与动量守恒联系起来。而洛伦兹变换除了包括空间本身的转动对称性外,还反映了时间与空间之间的对称性。如在一参考系里同时发生而不在同一地点发生的事情,在另一以高速匀速运动的参考系里的观察者看来却不再是同时发生。这就是说,空间与时间之间实际是分不开的,它们是相互关联的。只有当洛伦兹变换的对称性受到破坏,才有可能发生超光速现象。而洛伦兹变换对称性和光速不变成立的条件,是在四维时空和没有相互作用的真空中,物质运动所遵循的规律。大家知道,光在介质中的速度与真空中的速度是不一样的,这是因为光与物质相互作用引起的。从目前认识到的相互作用和基本粒子,其相互作用都是由粒子的内禀规范对称性来支配,并以量子场论作为理论基础来描述,因此物理规律满足洛伦兹变换对称性,其理论预言是不会有超光速现象发生的。

为此,若要研究超光速的可能性,就要从本质上来研究。由目前的相互作用和基本粒子建立的粒子物理标准模型无法解释中微子的超光速现象,那么有没有新的相互作用和新的物态,特别是与中微子之间而不是与其他物质的特殊相互作用,这是需要进一步研究的问题。同时,研究时空的洛伦兹变换对称性的破坏,必须与粒子之间相互作用的内禀对称性一起考虑,只有把它们联系在一起研究,对中微子是否可能有超光速现象的认识才会更深入。我们知道,在粒子物理标准模型中,中微子与带电轻子(电子为其中之一)一起构成一个新的内禀对称性,即所谓的同位旋对称性(类似质子与中子之间的对称性),这样自然就会提出一个新问题,为什么我们没有观察到其他轻子(电子)的超光速现象?这当然不再是一个能简单回答的问题。

在这个意义上,实际上我们所有的研究一直是在挑战能不能超越爱因斯坦、超越现有理论。大家知道,有关暗能量的问题,今年的诺贝尔奖颁给了宇宙加速膨胀的发现,这表明宇宙中存在一种新的物态,这种可能的物态就是所谓的暗能量,它的存在本质上也表明了要超越爱因斯坦。因此,要超越爱因斯坦的狭义相对论,就必须研究超越狭义相对论成立的条件,如超越四维时空,重新认识真空以及引入新的特殊相互作用等,必须有突破性的新想法。(本报记者 张巍巍 整理)

#### 作者 (Author):

李学生 (Li Xuesheng), 男, 山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员、北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员, 中国科学院高能物理所研究员。2002 年撰写的论文《数学归纳法的推广》在《济南教育学院学报》上发表, 2004 年 8 月撰写的理论物理学论文《引力质量与电磁质量之间的关系新探》在北京相对论研究联谊会第三届年会上发表, 得到了与会专家的初步认可; 2005 年 12 月至今我撰写的论文《现代理论物理学的九个问题》、《真空不空》、《以太的发展史》在《香港新科技杂志》上发表。2007 年在《格物》上发表论文《暗物质、暗能量和宇宙常数问题》; 2007 年 12 月在《新科技》(香港)杂志上发表论文《以太的发展史》; 2002 年在《山东师范大学学报(自然科学版)》教学科研上发表《在物理教学中注意培养科学美的观念》; 多篇有关文章在学术争鸣杂志 (Academia Arena, <http://www.sciencepub.net/academia>)上发表。 [xiandaiwulixue@21cn.com](mailto:xiandaiwulixue@21cn.com), [1922538071@qq.com](mailto:1922538071@qq.com)。

**主要深入理解阅读的部分文献:**

1. [日] 浅野四郎 浅野诚一 著 师华译。《狭义相对论的新图示法——space-time 圆图法——》 高等教育出版社 1992 年版。
2. 《介质浮力存在的普遍性》 段灿光著 本文集。
3. 《没有太阳辐射, 大气将静止吗?》 段灿光著 本文集。
4. 《以太浮力论》 段灿光著 本文集。
5. 《再论以太浮力 —— 关于万有引力变化的讨论》 段灿光著 本文集。
6. Baidu. <http://www.baidu.com>. 2016.
7. Google. <http://www.google.com>. 2016.
8. H.C. 瓦尼安, R. 鲁菲尼, 引力与时空, 科学出版社, 北京, 2006, pp150-153.
9. Ma H, Cherng S. Nature of Life. Life Science Journal 2005;2(1):7 - 15.
10. Ma H. The Nature of Time and Space. Nature and science 2003;1(1):1-11. Nature and science 2007;5(1):81-96.
11. National Center for Biotechnology Information, [U.S. National Library of Medicine. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed). 2015.
12. Wikipedia. The free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org>. 2015.
13. 狄拉克。《现代物理学参考资料》第 3 集[C]。科学出版社,1978.38。
14. 王存臻、严春友 著。《宇宙全息统一论》山东人民出版社 1995 年版。
15. 《彗星漫谈》 徐登里编著 32K、P107 1975 年 7 月科学出版社。
16. 《数学在天文学中的运用》 刘步林编著 32K、P316 1979 年 9 月科学出版社。
17. 《中国大百科全书·天文学》 主编: 张钰哲 1980 年 12 月中国大百科全书出版社。
18. 《哈雷彗星今昔》 张钰哲著 32K、P97 1982 年 3 月知识出版社。
19. 《天体力学浅谈》 [苏]尤·阿·里五波夫著, 李五行、陈晓中译 32K、P201 1984 年 11 月科学普及出版社。
20. 《地学基本数据手册》 主编: 张家诚, 副主编: 李文范 16K、P1377 1986 年 3 月海洋出版社。
21. 《彗星十讲》 胡中为、徐登里编著 32K、P158 1986 年 4 月科学出版社。
22. 《中国百科年鉴·1986》 1986 年 10 月中国大百科全书出版社。
23. 《简明天文学词典》 叶叔华主编 32K、P880 1986 年 12 月上海辞书出版社。
24. 《中国百科年鉴·1987》 1987 年 12 月中国大百科全书出版社。
25. 《哈雷彗星及彗星-地球关系》 天地生综合研究论文集 胡中为、阎林山 16K、P471. 1989 年 11 月中国科学技术出版社。
26. 1995 年 6 月 21 日 《中国青年报》。
27. 1997 年 12 月 19 日 《中国科学报》。
28. Einstein 著, 方在庆、韩文博、何维国 译。《Einstein 晚年文集》 海南出版社 2000 年 3 月第 1 版。

5/4/2017