

## 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): 701-708]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 23. doi:[10.7537/marsaaj0914s1723](https://doi.org/10.7537/marsaaj0914s1723).

**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 光速不变性原理

### 1、真空光速不变性原理解释

问题导引: 为什么光速  $c$  刚好是  $299792458\text{m/s}$ ?

史蒂文·温伯格曾经说过:“我对基础物理学的进步的想法是,能带领我们更接近一种能够以自然的和统一的方式解释所有物理现象的简单理论。”英国科学哲学家波普尔主张,任何科学理论都是试探性的、暂时的、猜测的,它们是不能够被证明的,但是可以被证伪的。按照霍金的理解就是:如果理论只是假设意义上讲,任何物理理论总是临时性的,你永远不可能讲它证明……一个好的理论的特征:它能够给出许多原则上可以被观测所否定或所证伪的语言。

#### (一) 爱因斯坦对于光速不变性原理解释

爱因斯坦在给达文波特的信中说:“在我本人的思想发展中,迈克尔孙的结果并没有引起很大的反响。”爱因斯坦认为:真空中光的传播定律必须由一个能与相对性原理一致的较为复杂的原则取代;这是因为相对性原理自然而简单并且在人们的思想中具有很大的说服力;但是,理论物理学的发展说明了我们不该遵循这一途径。他认为新的理论应该与电动力学的理论协调起来。于是,他较深入的分析了时间和空间的物理概念,让人们看到相对性原理和光的传播定律(真空中光速恒定定律)没有丝毫的抵触之处。这样他完成了他的狭义相对论,光也就有了新的参考原则。爱因斯坦在他的《狭义与广义相对论浅说》中说:“在物理学中几乎没有比真空中光的传播定律更简单的定律了。学校里的每个儿童都知道,或者相信他知道,光在真空中沿直线以速度 千米每秒传播。无论如何我们非常精确地知道,这个速度对于所有各色光线都是一样的。因为如果不是这样,则当一颗恒星为其邻近的黑暗星体所掩食时,其各色光线的最小发射值就不会同时被看到。荷兰天文学家德西特根据对双星的观察,也以相似的理由指出,光的传播速度不能依赖于发光物体的运动速度。”爱因斯坦在 1952 年第十五版本的《狭义和广义相对论浅说》中仍然如是说,“我们可以假定关于光(在真空中)的速度  $c$  是恒定的,这一简单的定律已有充分的理由为学校里的儿童所确信。谁会想到这个简单的定律竟会使思想周密的物理学家陷入智力上的极大困难呢?”

二十世纪末,在天文和微观的实验中都发现了一些现象,光速不变原理的经典解释遇到困难,关于此问题的理论探讨也很活跃,我国科学家在这个问题上也一直进行着摸索,物理学可以使用假设,并在假设的基础上建立理论,然而用实验检验其非假设成果的正确性,进而间接验证假设的正确性。之所以这样做,是因为在假设时代,该现象还得不到合理的解释,这说明假设的现象比当时物理能解释的东西更基本。因此,如能在以后对假设作出科学的解释,就是对物理学的重大突破。自从相对论发表以来,对它的争议就没有停止过。但相对论以其完美的数学表达形式和广泛的实验论证,已经被许多人接受。攻击相对论的人只能找到一些相对论不能解释的物理现象来证明它的局限性,而不能从根本上否定它。叫喊声一直不停的主要原因,是光速恒定的公设。没有人能够从理论上找到光速不变的原因,但对这一实测的结果心存不甘,因为它是伟大的相对论的基础条件。

他在 1922 年就真空光速不变原理写道:“相对论常遭指责,说它未加论证就把光的传播放在中心理论的地位,以光的传播定律作为时间概念的基础。然而情形大致如下:为丁赋予时间概念以物理意义,需要某种能建立不同地点之间的关系的过。为这样的时间定义,究竟选择哪一种过程是无关重要的。可是为了理论只选用那种已有某些肯定解的过程是有好处的。由于麦克斯韦与洛伦兹的研究之赐,和任何其他考虑的过

程相比, 我们对于光在真空中的传播是了解得更清楚的”。爱因斯坦 著《相对论》47 页“1、7 光的传播定律与相对性原理的表面抵触”, “在此种抵触下, 似乎除了放弃相对性原理或真空中光的传播的简单定律外, 我们别无他法。但保留相对性原理是仔细阅读上述论述的读者几乎一致的意见。这是因为如此自然而简单的相对性原理给予人们很大的说服力, 因而真空中光的传播定律就必须由一个能与相对论原理一致的比较复杂的定律所取代。然而, 理论物理学的发展使我们不必继续这个进程。经典电子论的创立者、具有划时代意义的 H-A-洛伦兹对于与运动物体相关的电动力学领域中无可争辩的经验产生出关于电磁现象的一个理论, 而又有该理论必然推出了真空中光速恒定定律理论。因此, 尽管没有任何实验数据表明有与相对性原理相抵触之处, 但许多著名的理论物理学家对相对性原理还是比较倾向于舍弃的观点。相对论就是在这个关头出现的。由于以时间和空间物理概念的分析, 相对性原理因而就与光的传播定律没有丝毫的抵触之处。”如果麦克斯韦方程正确, 而且满足相对性原理, 那么可以证明光速不变是正确的, 但在爱因斯坦提出狭义相对论的时候还不知道麦克斯韦方程是否正确, 于是才把光速不变作为基本假设。

## (二)、现代物理学对于光速不变性原理解释

在量子力学中可以看到, 如果光子的静止质量为零那么光速不变是正确的, 前面已经分析了光子只具有电磁质量, 没有引力质量, 因此光速不变性原理也是正确的。

厄瓦耳(Ewald1912)和俄辛(Oseen1915)的消光定理(Extinction theorem)认为: “不管光离开其光源时速率多大, 由于媒质的介入, 一个新的扰动来替代他, 这个扰动的频率与光源光频率相同, 但却以媒质的特征相速度来传播。这时, 对媒质的光学性质进行修正以后, 相对于媒质静止的观测者测得的光速都将等于这种媒质中的光速, 使得源的运动和光相对于源的速率无关。”张元仲先生在《狭义相对论实验基础》一书中对各种检验光速不变性的实验进行了分析, 结论是: “在实验中依靠光信号较钟, 将会把可能的光速方向性效应抵消掉, ……各种检验光速不变性的实验都只证明了回路光速的不变性, 并没有证明单向光速的不变性。因此, 通常所说的‘光速不变原理已为实验所证实’是不确切的。”

水中光速  $c/n$ 、雷达波延迟、GPS、Sagnac……, 越来越多的实验证明: 真空中引力场与光速的关系密切。光的速度与光源运动无关, 不能认为运动的物体带动周围的 ether。Galileo 相对性原理和经典 transformation 可以应用于力学现象, 但是不能用于光电现象的原因在于它们是奠定在绝对 space-time 观的基础上研究引力质量问题的, 光子与中微子没有相互作用, ether 不影响光速, 光子与引力场没有相互作用。狭义相对论的假设是正确的。实物运动时, 能且只能带动属于它自身的万有引力场和电磁场。这一情况, 同有关的实验结果是一致的。光行差现象显示, 以太未被地球拖曳。这是因为, 传播遥远恒星的引力场, 主要是恒星间的引力场, 地球的运行, 对于绝对时空的影响微不足道; 斐索实验的结果是以太要部分地被水流曳行。其实质是, 水在流动时会带动属于它自身的场, 而不会带动地球的引力场。

近百年来, 人们对麦克耳逊——Moley 实验、Maxwell 方程以及群论上的公理证明对真空光速不变性原理进行质疑, 但是都没有取得实际的实验结果, 说明了真空光速不变性原理的正确, 也说明光只具有电磁质量。

广义相对论和狭义相对论的最大不同, 在于对于真空绝对速度  $C$  (真空绝对速度和一般所言的“电磁波真空波速”不是一个概念, 只不过后者在数学上恰好等于前者而已) 只能在局部观测者上定义。也就是说, 狭义相对论可以定义一个全局观测者, 而在广义相对论中只能使用局部观测者, 而参照系的选择就体现了观测者的选择(两者还不完全相同)。在广义相对论中, 从始至终所说的是: 在局部观测者自己看来, 自己所在位置的电磁波的真空光速等于真空绝对速度  $C$ , 这才是广义相对论中对于光速所说的全部内容, 不要将狭义相对论和广义相对论混淆。在非本地观测者看来, 自己所在位置以外的别的地方的光速完全可以不是光速, 这是广义相对论的一个很常见的结果。

由于光子只具有电磁质量, 它在度量空间(相对空间)里运动电磁质量不变, 引力质量与电磁质量之间没有相互作用, 频率与波长不变, 所以光速为定值。由于光子的引力质量为 0, 因此引力场与 electromagnetic field 的速度相同。如果认为引力场的传播速度是由激发它的物体的引力质量决定, 那么根据伽利略对于两个铁球同时落地的推理可以得出引力场的传播速度是定值, 因此物理学中的真空光速不变性原理是指在仅有引力场的条件下, 是有引力场的运动速度决定的, 而在电磁场中光速是可变的, 例如在介质中光速小于  $C$ , 这也符合相对绝对论的观点。

1902-1904 年, 密勒和莫雷在地表用更精密的仪器做迈克尔逊-莫雷实验, 实验结果比 1887 年迈克尔逊和莫雷所得更接近于零。后来, 密勒超出了地表空间, 得到了不同寻常的结果。到了 1921 年, 密勒把迈克尔逊-莫雷实验装置安在威尔逊山上进行, 所用方法和以前一样, 但实验发现有 10Km/s 的正效应, 也就是说光相对于地球在以 10Km/s 的速度做漂移运动。为了证实这一点, 他采取了多种措施, 包括撤换铁磁材料, 用

水泥座代替钢架，用铜、铝代替钢铁；将光源隔开，以防温度变化；并采用不同的光源；甚至故意用电炉加热以试验温度的影响等等……密勒还是得出确切的结论——光相对于地球在以 10Km/s 的速度做漂移运动。——摘自《著名经典物理实验》郭奕玲、沈慧君，北京科学技术出版社。密勒——担任过美国全国物理学学会的主席，是美国科学院院士。但是，他自己不能很好地解释着个实验，后来很多人在地表又做迈克尔逊-莫雷实验进一步得到的都是零结果，不同的实验结果空间高度不同。笔者认为这是由于地磁场的存在影响的结果。



迈克尔逊干涉仪

有人假设光波和声波一样，需要介质传播（如以太）。那么，设光线的频率为  $K$ ，光源相对介质的速度为  $V$ ，观测者相对介质的速度为  $U$ ，则有： $K' = K[(1-U/C) / (1-V/C)]$ ，对上式的  $1/(1-V)$  用二项式展开得： $K' = K(1-U/C)(1+V/C+V^2/C^2+V^3/C^3+\dots)$ ，设  $M = V^2/C^2+V^3/C^3+\dots$ ，对上式整理如下： $K' = K(1-U/C)(1+V/C+M) = K(1-U/C)(1+V/C) + KM = K[1-(U-V)/C] - K[UV/C^2 + M]$ ，通过上面的数学推导，我们得到光多普勒效应公式为： $K' = K[1-(U-V)/C] + K[-UV/C^2 + V^2/C^2 + V^3/C^3 + \dots]$ ，分析如下：由设顶的条件我们可知， $(U-V)$  是我们相对光源的速度，是我们可知的。因此，在上面公式中，前面的频移部分  $K[1-(U-V)/C]$ ，与  $V$  和  $U$  是无关的。后面的频移部分  $K[-UV/C^2 + V^2/C^2 + V^3/C^3 + \dots]$ ，是与  $U$ 、 $V$  有关的。这样我们通过不同的相对速度实验，就应该得到的频移，检验出  $U$ 、 $V$  的存在。实际情况是：实验结果的频移是一致的。当然，由于后面的频移部分是值很小的  $1/C$  高次项，对实验的精度要求很高。所以，实验结果的一致，并不完全可信。但随着实验精度的提高，这个问题是可以解决的。光的多普勒效应结果，已经经过无数次的天体观测和地面实验，没有发现任何与光源相对介质的速度、观测者相对介质的速度有关的数据。光速与介电系数及磁导率有关，声速与介质密度与弹性系数有关，光速与声速两者的确有可比性，因此这个“用声速代替光速”论难已经被无数人提出过。理由有三：

1) 声波波动方程满足 Galileo 不变性，但电磁波波动方程不满足 Galileo 不变性，所以两者不具有完全可比性。既然声波波动方程满足 Galileo 不变性，所以从逻辑上讲，不存在提出“声速不变原理”的必要性；2) 作为潜在的研究，可以允许你去提出“声速不变原理”及以此为基础的“声速相对论”，但基于“声速不变原理”所提出的动力学理论结果明显与实验违背；3) “光速不变原理”尽管在相对论发展历史上具有重要意义，但其实它是完全不必要的。几十年来，已经有很多人指出（见下面的文献），“光速不变原理”应该是相对性原理的一个推论，而不是出发点（基本假定）。这里，“光速不变原理”以一个推论“必然存在一个不变速度，它在时空变换下不变”的面貌出现。

波的传播速度决定于媒质的特性，对于弹性波来说，波的速度决定于媒质的惯性和弹性。液体和气体只有容变弹性，在液体和气体内部只能传播与容变有关的弹性纵波。现有理论证明在液体和气体中纵波的传播速度为  $C = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ （纵波），式中  $B$  是媒质的容变弹性模量， $\rho$  是媒质的密度。固体中能够产生切变、

容变、长变等各种弹性形变，所以固体中既能传播与切变有关的横波，又能传播与容变或长变有关的纵波。在固体中，横波速度  $C = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ ，纵波速度  $C = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$ ，式中 G 和 Y 分别为媒质的切变弹性模量和杨氏弹性模量。

附录 1：科学家首次成功地将一个光脉冲“冻住”了足足 1 秒钟的时间，这是以前最好成绩的 1000 倍。将冻住光束的时间大大延长，意味着可能据此找到实用方法，来制造光计算机或量子计算机用的存储设备。要使光停住脚步，需要一种特殊的陷阱，其中的原子温度极低，几乎静止，以至于每个原子都有着同样的量子态。通常情况下，这样一团冻结的原子是不透明的，但仔细校准后的激光能够在其中“切割”出一条通道，使得一个光脉冲从另一方向传播过来时，陷阱相对于它来说是透明的。一旦切断激光，陷阱立刻又变得不透明，光脉冲就被困在陷阱里了。恢复激光照射，光脉冲将继续传播。陷阱的秘密在于，它并不是普通陷阱困住物体那样困住光线，而是通过建立“量子冲突”(quantum conflict)来保存住光脉冲的信息。激光和光脉冲对原子的作用是相反的，导致原子发生“纠缠”，处于两种量子态的混合状态。切断激光时，原子吸收光脉冲，但光脉冲并没有丢失，原子仍然纠缠在不同量子态中，光脉冲的信息给它们留下了印记。只要原子不移动或改变，就能完全保有光脉冲的信息。以前的光陷阱只能坚持约 1 毫秒，随后就由于原子的移动而崩溃了。澳大利亚国立大学的物理学家 Jevon Longdell 及其同事利用掺有稀土元素镨的硅酸盐晶体，制造出一个“超级光陷阱”。由于晶体是固态的，而镨的磁稳定性非常好，这个陷阱保留光脉冲信息的时间比气体陷阱或不够稳定的晶体陷阱要长得得多。科学家在 8 月 5 日的《物理评论通报》(PRL)上报告了这一成果。

附录 2：中国科学家获得引力场以光速传播首个观测证据

2012 年 12 月 26 日下午，“引力场以光速传播的观测证据”新闻发布会在京举行。中国科学家在发布会上宣布，获得了“引力场以光速传播的第一个观测证据”。

由中国科学院地质与地球物理研究所汤克云研究员领导，中国地震局和中国科学院大学有关人员参加的科学团组，经过十多年的持续探索，在实施了多次日食期间的固体潮观测后，发现现行地球固体潮公式实际上暗含着引力场以光速传播的假定，从而提出了用固体潮测量引力传播速度的方法。“Observational evidences for the speed of the gravity based on the Earth tide”一文报道了利用西藏和新疆高质量地球固体潮数据测定引力传播速度的结果，即将发表于《科学通报》英文版。

近年来，中国科学院地质与地球物理研究所汤克云研究员及其团组先后实施了 1997 年漠河日全食观测、2001 年赞比亚日全食观测、2002 年澳大利亚日全食观测、2008 年嘉峪关日全食观测、2009 年上海-杭州-湖州日全食观测和 2010 年云南大理日环食观测，主要是重力固体潮观测。在多次的“日全食期间的重力观测”后该团组发现：“现今固体潮理论公式中隐含着引力场以光速传播的假定”，进而导出了引力传播速度方程，找到了求解引力场速度的有效方法；选择远离太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋的西藏狮泉河站和新疆乌什站的固体潮数据作粘弹性滞后校正后，代入引力传播速度方程，获得了“引力场以光速传播的第一个观测证据”。历年来这项研究分别得到了国家科技部、国家基金委、中国科学院、中国地震局的支持。该项原始创新成果，对于引力场的理论和实验研究具有重要意义。

## 2、非惯性系中的真空光速不变性原理

真空光速不变包括两层含义，首先在同一参考系中，光速具有各向同性和均匀性；其次，在具有相同的 space-time 单位的参考系中，光速的数值相同，与参考系相对光源的运动状态无关。描述惯性系的空间是闵可夫斯基空间，其线元形式是  $dS^2 = \eta_{ab} d\xi^a d\xi^b$ ，其中  $d\xi^a$  是闵可夫斯基空间 space-time 仿射坐标改变元，是全微分量。惯性系之间变换的 space-time 几何要求是，space-time 线元长度在变换中不变，即  $dS^2 = \eta_{ab} d\xi^a d\xi^b = \eta_{ab} d\xi'^a d\xi'^b$ ，其中两惯性系的 space-time 坐标均是全微分，它体现了两惯性系 space-time 坐标之间存在 1—1 映射。对惯性系 space-time 坐标的物理要求是能描述真空光速不变。在所有惯性系中取相同的 space-time 单位，即相对静止时的钟和尺是相同的前提下，真空光速不变意味着光速的数值相同，因而惯性系的度规相同，space-time 线元的形式完全一样。

现代宇宙学的基础就是广义相对论，所以现代宇宙学的一个基本观念就是真空极限速度只在局部测量是光速，在 A 测量远处的 B 点的光速，则完全可以不是 A 点的光速，这是现代宇宙学的共识。现代宇宙学的另一个共识，就是除了没有物质没有宇宙常数的理论上的假想空间，真实宇宙不存在全局观测者。非惯性系即使有同一的 space-time 单位，也没有全时间、全空间统一的钟和尺。因此测量光通过非惯性系某 space-time 点的速度，只能用当地、当时的钟和尺。故测量只能在该点足够小的 space-time 邻域中进行，否则毫无意义。光速变与不变也只能在这个条件下判断，如果真空光速不变也适用于非惯性系，意味着光传播速度与非惯性系中的 space-time 点无关，与传播方向无关，与非惯性系相对光源的运动状态无关，而且其数值与惯性系相

同。由实验检验真空光速不变原理适用于非惯性系几乎不可能。因为按理论的要求，测量只能在光通过 space-time 点的无限小的邻域中进行。其次，惯性系运动的状态只有一种，而非惯性系千变万化，即使同一非惯性系的每一个 space-time 点也不相同，无法通过实验去验证每一种非惯性系的每一个 space-time 点上的真空光速不变。然而可以依据理论自恰原则给予判断，把真空光速不变原理推广到非惯性系是自然的。详细证明过程请参阅【1】。

参考文献：

【1】王仁川 著 《广义相对论引论》49——57 页。

### 3、真空光速不变性原理与相对性原理的关系

在相对论中，狭义相对性原理是大前提，而真空光速不变原理是小前提。在狭义相对性原理的前提下，所有惯性系之间的时空变换只有两个解：一是伽利略变换；二是具有公共正值的  $hh$ -洛伦兹变换。至此，真空光速不变原理在相对论中的作用已十分清楚，它仅是能够把这些变换群中的某个群分离出来，与相对性原理相协调、但与伽利略变换群不协调，并且它还具有定量性质的一种现象。“能量具有质量”这句话与伽利略变换群不协调，决定了同时性的相对性，但不具有定量的性质，因而它只决定了所有惯性系之间必定是以公共正值的  $hh$ -洛伦兹变换相联系。相对论早期用相对论质增或是质能公式、或是速度最大定理取代真空光速不变原理来建立洛伦兹变换的文献很多，Einstein 光速恒定原理：在“静止”坐标系统中，光线无论从静止物体还是从运动物体上发射出来，都以确定的速度  $c$  运动。

这条原理是我们认识自然界的基础，由光速恒定原理，我们将推导出洛伦兹变换，而“相对性原理”则是光速恒定原理的自然推论。通常认为相对论具有两条基本原理，这是不正确的。关于这个问题我国著名数学家华罗庚教授早就指出：“1946 年作者研究矩阵几何学时，用了一个方法，这方法可以用来处理  $n$  维球空间的基本定理，也就是用球相切性可以推出球几何学的基本定理，也就是不必用变换的解析性，甚至连续性，就可以推导出其变换群是球几何学的 Lie 群，L o g u e r r e 群。这儿只讲三维空间的球几何学，其原因是一方面比较具体，易于接受，另一方面企图使这一成果能为一些物理工作者注意。实质上三维的球几何学就是狭义相对论的另一表达方式，而这点往往未被认识。例如 1961 年，В•А•Ф•О•К写的《Т е о р и я п р о с е м р а н с м в а , в р е м е н а л ю б и т е р о м е н и я》一书（有中译本，1965 年，科学出版社），书中仍旧用的是 R i e m a n n 几何、解析群论的老路子，而中、英、德等文的译本中也都未注意到这一点，而加以应有的注记。

对狭义相对论来说，原有两个假设：（A）、相对性原理中要求匀速直线运动还是匀速直线运动。（B）、真空光速不变原理是假设光以常速  $c$  作直线运动。

我们现在的处理方法是有了真空光速不变原理，就可以推出 L o r e n t z 群了，就是相对性原理中要求匀速直线运动还是匀速直线运动是推论而不是假设。这给我们提供了方便，如果要验证或推翻上述两点，只要用实验来检验真空光速不变性就够了”【1】。

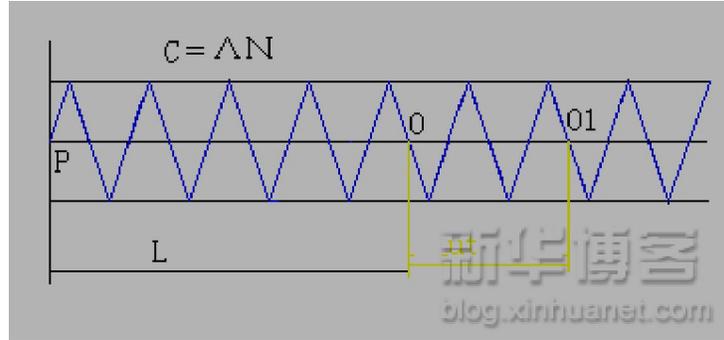
参考文献：

【1】 华罗庚，《从单位圆谈起》，第 103 页，科学出版社，1977 年。

### 4、根据真空光速不变原理推导多普勒效应公式

下面是梁显进先生的研究-----据《光粒子说》：实际光速  $C$  相对并决定于光源；根据《光波说》：实际光速  $C$  相对并决定于以太。据此设：光源和以太相对静止，则实际光速  $C$  相对并决定于光源或以太；光的实际频率为  $N$ ，实际波长为  $\Lambda$ ， $C = \Lambda N$ 。

根据真空光速不变原理，设：光速  $c$  相对并决定于观测者，与光源和以太都无关；光频率为  $\nu$ ，光波长为  $\lambda$ ， $c = \lambda \nu$ ，如图，设：光源静止于  $P$  点，观测者以速度  $u$  远离光源，则  $C = c + u$ ；零时刻光从  $P$  点发出，观测者在  $O$  点， $PO = L$ ； $t$  时刻观测者运动到  $O1$  点，光传播到  $O1$  点。因为  $PO1 = L + ut = Ct = (c + u)t$ ，所以  $\Lambda N = \lambda \nu + u$ ，整理得： $\lambda \nu = \Lambda N - u$ .....①，在  $t$  时间内，观测者越过（减少）的波长数为  $ut / \Lambda$ ，减少的频率数为  $ut / \Lambda$ ，所以单位时间内减少的频率数为  $u / \Lambda = (C - c) / \Lambda = N - \nu$ ，所以  $\nu = N - u / \Lambda$ .....②，当观测者远离光源时， $u = C - c > 0$ ， $N - \nu > 0$ ，产生红移。当观测者靠近光源时， $u = C - c < 0$ ， $N - \nu < 0$ ，产生紫移。



### 5、相速度与群速度

奥地利物理学家哈斯认为，光速是粒子机械运动速度的极限，但是机械波的传播速度可以超过光速，其描述公式为  $V_u = c^2/u$ ，式中  $c$  为光速， $V$  为机械速度， $u$  为与机械速度相伴产生的波动速度。在量子力学中，由于进入原子因的波包前端早已触发了原子的跃迁，群速度超过光速就不足为奇了。1932 年，贝尔实验室发现“光子在穿越势垒时不需要任何时间”。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。奥地利维也纳理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。美国加州大学赵雷蒙等人利用一种新发明的、极其巧妙的干涉仪，准确地测量出光在一种势垒中的速度是真空光速的 1.7 倍。

因为波粒二重性不仅光子有，而且任何微观粒子都具有波粒二重性，任何一个微观粒子都具有质量  $m$ ，

$$m = \frac{hf}{c^2}, \quad (1.1)$$

光子的电磁质量

上式(1.1)中  $h$  为普朗克常数， $f$  为光子的频率， $c$  为光速。实验表明上式(1.1)也适用于任何一个微观粒

$$f = \frac{mc^2}{h}, \quad (1.2)$$

子，由式(1.1)可推出任何一个微观粒子表现的波特性的频率为

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}, \quad (1.3)$$

也表明任何一个微观粒子表现的波特性的波长为

上式(1.3)中  $P$  为粒子的动量， $v$  为粒子的运动速度。那么这种表现出粒子波动特性的波（德布罗意波）

$$V = f\lambda = \frac{c^2}{v}, \quad (1.4)$$

的波速为  $V = \frac{c^2}{v}$ ，因为粒子的运动速度  $v$  是低于或等于光速  $c$  的，所以  $c^2/v \geq c$ ，即粒子的德布罗意波的波速是可超光速的。其实，这是群速度。对于微观粒子

$$\omega = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (2.1)$$

的德布罗意波的波的时间频率

运动速度， $c$  光速。）德布罗意波的波的空间角频率

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{V} = \frac{\omega}{V} = \frac{v\omega_0}{c^2\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (2.2)$$

从式 (2.1) 与 (2.2) 可求得德布罗意波的波速

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\frac{c\omega_0}{\sqrt{1-\beta^2}}}{\frac{v\omega_0}{c^2\sqrt{1-\beta^2}}} = \frac{c^2}{v} \geq v, \quad (2.3)$$

。因为从(2.1)与(2.2)式知  $\omega$  与  $k$  都是  $v$  或  $\beta$  的函数，现在我们来分析一下德布罗意波的波的波速变化的动态情况，对(2.1)式与(2.2)式求微商（导数）得

$$\frac{d\omega}{d\beta} = \frac{d \frac{c\omega_0}{\sqrt{1-\beta^2}}}{d\beta} = \frac{\beta c\omega_0}{(1-\beta^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (2.4)$$

$$\frac{dk}{d\beta} = \frac{d \frac{v\omega_0}{c^2\sqrt{1-\beta^2}}}{d\beta} = \frac{\omega_0}{c(1-\beta^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (2.5)$$

那么从式(2.4)与(2.5)得，时间角频率  $\omega$  相对于空间角频率  $k$  的瞬时变化速率应为

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{\frac{d\omega}{d\beta}}{\frac{dk}{d\beta}} = c\beta = c \frac{v}{c} = v, \quad (2.6)$$

德布罗意发现德布罗意波是他一项伟大的贡献，他预期要找出德布罗意波与粒子运动速度的关系，他通过复杂的数学推导找到了式(2.6)，他把德布罗意波的波速  $V$  称为“相速度”，把德布罗意波的波的时间角频率  $\omega$  相对于空间角频率  $k$  的瞬时变化速率  $d\omega/dk$  称为“群速度”。

光速极限，简单说来就是信息的传递速度不得大于时空的极限速度——光速，而量子力学的非定域性是不能用来传递信息的，这是量子力学的一个基本原理。

## 6、“玻色-爱因斯坦”凝聚态简介

现在国际上最热门的物理实验领域是对“玻色-爱因斯坦”凝聚态的研究。这里简要描述一下实验现象：……

当原子冷却到极低的温度时，会发生不可思议的变化。原子的尺寸会增大几千倍，原来像镜面一样清晰的表面变得模糊不清了，彼此可以像幽灵一样一穿而过，而不发生任何偏转。成千上万个原子可以重叠成一个较大的球体，该凝聚体有很多奇特的性质，如超流动性等等……科学家们让光穿过这种凝聚体，发现光在这种凝聚体中的传播速度只有十几米每秒，几乎和自行车的速度相仿……

**笔者认为，上述实验说明了光的电磁本质，光与原子电磁作用导致光速减慢。**

**附录：**中新网 2015 年 1 月 27 日电 据外媒 26 日报道，根据爱因斯坦的相对论，在任何参照系中，光在真空中的传播速度都是一个常数。但是科学家最近却成功让光在自由空间（free space，完美真空）中的速度降了下来。英国格拉斯哥大学和赫瑞瓦特大学的研究人员进行了一项实验。在实验中，科学家安装了一个特殊“隔层”，单个光子在通过这一装置时，形态会发生改变，而且速度出现了下降。奇妙的是，在通过这一特殊“隔层”之后，即便重新回到自由空间，光子仍会以较低的速度前行。这一实验说明，光的构造可能比人类知道的更为复杂。根据爱因斯坦的理论，光在自由空间中的速度约合每秒 30 万公里。在经过水、玻璃等介质时，光速会出现下降，但只要再次返回自由空间，光速就会回归正常。研究人员称，“降低光速”的方法可以被用于更多的物理学实验中，人类或能解开更多的自然界之谜。

**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《数学归纳法的拓广》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, Cheng 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