

论文已正式发表，请引用：

Zeng TH, Zeng JQ. The optical measurement speed of moving bodies and the observer's position effect. *Physics Essays*, 2023, 36(1):94-99

在线链接：

<http://physicsessays.org/browse-journal-2/product/2005-13-tianhe-zeng-and-jiqing-zeng-the-optical-measurement-speed-of.html>

DOI:<http://dx.doi.org/10.4006/0836-1398-36.1.94>

欢迎与作者联系获取英文版全文。

物体运动的光测速度与观测者位置效应

曾天和¹, 曾纪晴²

1 暨南大学环境学院, 广州 511443

2 中国科学院华南植物园, 广州 510650

摘要: 从古代直至牛顿力学体系中, 人们都默认光的速度为无穷大。人们通常借助于光或电子设备对物体的运动速度进行直接测量, 把测量所得的速度当做物体的实际运动速度。实际上光速是有限的, 当物体高速运动时, 我们必须对所测的物体运动速度进行修正。然而, 目前人们仅仅采用爱因斯坦相对论来处理物体高速运动的情况, 尚没有对物体高速运动条件下所测的运动速度进行修正的理论。这里, 我们报道了物体运动的光测速度受观测者位置效应的影响, 同时得到了物体运动的光测速度与实际速度关系式。在此基础上, 本文解释了牛顿经典力学适合物体低速运动情形而在高速运动条件下光测速度与实际速度产生较大偏差的原因。本文还解释了高能粒子速度极限以及超光速、负速度现象, 分析了微观粒子运动的观测问题。本文提供了一种解释和研究物体高速运动的理论, 具有重大的科学意义。

关键词: 光测速度; 观察者位置效应; 超光速; 负速度; 对称性破缺; 同时性的相对性; 测量误差

The optical measurement speed of moving bodies and the observer's position effect

Tianhe Zeng¹, Jiqing Zeng^{2*}

1 School of Environment, Jinan University, Guangzhou 511443, China

2 South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China.

* Corresponding author: zengjq@scib.ac.cn

Abstract: From ancient times to the Newtonian mechanics system, people defaulted to the speed of light as infinity. People usually measure the speed of a moving object directly with the help of optical or electronic equipment, and take the measured speed as the actual speed of the object. In fact, the speed of light is limited. When an object moves at high speed, we must correct the measured speed of the object. However, at present, people only use Einstein's special theory of relativity to deal with the high-speed motion of objects, and there is no theory to correct the measured speed of objects under the condition of high-speed motion. Here, we report that the optical measurement speed of an object is affected by the observer's position effect, and obtain the relationship between the optical measurement speed and the actual speed. On this basis, this paper explains the reason why Newton's classical mechanics is suitable for the case of low-speed motion, and there is a large deviation between the optical measurement speed and the actual speed under the condition of high-speed motion. This paper also explains the velocity limit of high-energy particles and the phenomena of superluminal and negative velocity, and analyzes the observation of micro particle motion. This paper provides a theory to explain and deal with the high-speed motion of objects, which is of great scientific significance.

Keywords: optical measurement speed; observer's position effect; superluminal velocity; negative velocity; symmetry breaking; relativity of simultaneity; measurement error

1 引言

古希腊科学家亚里斯多德等人认为，光速是无限大的。这一观念影响深远，乃至在牛顿力学体系中，对物体运动速度的观测没有考虑光速的大小，默认其为无穷大。但实际上，光速是有限的，光在真空中的速度大约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ，光在不同介质中的传播速度也是一定的。由于光速的有限性，人类借助于光（或者电子设备）观测物体的运动时，必然会导致人眼或仪器设备接收携带物体运动信息的光信号的延迟。物体的运动速度通常都是基于光（或者电子设备）的观测速度，我们称之为“光测速度”。显然，物体运动的光测速度与实际速度之间可能存在误差。然而，关于这种速度误差的研究迄今未见研究报道。由于光速极大，而物体的运动速度一般不大，因此通常情况下人们采用牛顿力学进行处理完全可以满足精度要求。而在高速运动条件下，人们直接采用爱因斯坦相对论来处理，并认为这是相对论效应。实际上，爱因斯坦的相对论并没有研究物体运动的测量速度与实际速度之间的转换关系，研究的仅仅是基于两个基本假设的不同坐标系之间的变换关系。因此，采用相对论来处理高速运动问题并没有解决测量速度与实际速度之间的误差问题。可见，我们有必要研究物体运动的观测速度与实际速度的误差问题，同时提出一个替代相对论处理物体高速运动条件下的新理论。

2 物体运动的光测速度与观测位置效应

首先，我们假设物体在地球惯性系 S' 中运动，光（电磁波）在空气介质中运动。根据我们前文的分析，光在空气介质中的运动速度 c' 是相对于地球惯性系 S' 不变的，且各向同性^[1]。假设物体从 A 点匀速直线运动到 B 点，观测者在 C 处观测该物体的运动速度，C 与 A、B 两点的距离分别为 S_1 和 S_2 （图 1a）。

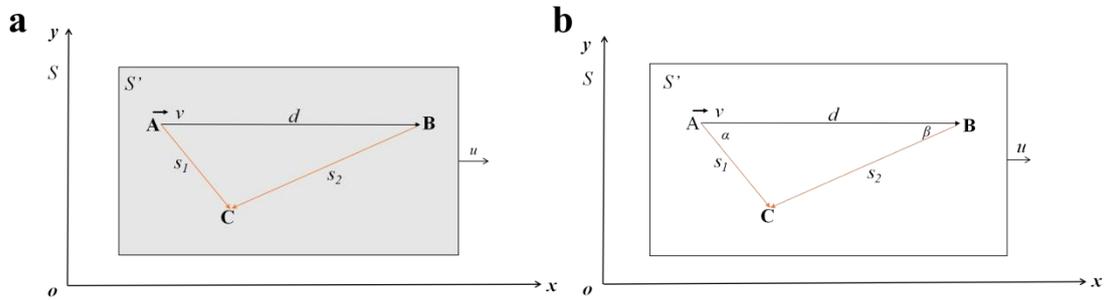


图 1. 物体运动的观测示意图

Fig.1 Schematic diagram of observation of object motion

设物体从 A 点出发的**实际时刻**为 T'_a ，由于 A 点到观测点 C 距离为 S_1 ， T'_a 时刻发出的光，必须经过 S_1/c' 时间才能到达观测点 C，因此在 C 点观测物体离开 A 点的时刻应为： $T_a = T'_a + S_1/c'$ 。同理，物体到达 B 点的**实际时刻**为 T'_b ，而观测到的物体到达 B 点的时刻为 $T_b = T'_b + S_2/c'$ 。物体从 A 点运动到 B 点所需的**实际时间**为 $\Delta T' = T'_b - T'_a$ ，而在 C 点观测到的时间为：

$$\Delta T = T_b - T_a = \Delta T' + (S_2 - S_1)/c'$$

则物体运动的**测量速度 v** （我们称之为**光测速度**）为：

$$v = d / \Delta T = d / [\Delta T' + (S_2 - S_1)/c'] \quad (1)$$

物体运动的实际速度为 $v' = d / \Delta T'$ ，则实际时间为 $\Delta T' = d / v'$ ，代入 (1) 式，得

$$v = v' / [1 + (v' / c')(S_2 - S_1) / d] \quad (2)$$

设 $k = (S_2 - S_1) / d$ ，得

$$v = v' / [1 + k(v' / c')] \quad (3)$$

变换可得：

$$v' = v / [1 - k(v / c')] \quad (4)$$

光测速度与实际速度之间的误差为：

$$\Delta v = v' - v = kv^2(c' - kv) \quad (5)$$

我们把 (3) (4) 式称为物体运动的光测速度与实际速度关系式，(5) 式为光测速度与实际速度误差公式（简称速度误差公式）。式中 k 称为位置效应因子，它与我们观测物体运动的位置有关，取值范围是 $-1 \leq k \leq 1$ 。当 $k=1$ 时，观测者位于物体运动的出发点 A 处进行观测，我们称之为“始点侧观测”；当 $k=-1$ 时，观测者位于物体到达目的地 B 处进行观测，我们称之为“终点侧观测”；当 $k=0$ 时，观测者位于物体出发点 A 与目的地 B 距离相等处，我们称之为“居中观测”。当 $k>0$ 时，我们称之为“近始点观测”；当 $k<0$ 时，我们称之为“近终点观测”。

当 $k=1$ 时，物体光测速度、实际速度及速度误差公式简化为：

$$v = v' / (1 + v' / c') \quad (6)$$

$$v' = v / (1 - v / c') \quad (7)$$

$$\Delta v = v^2 / (c' - v) \quad (8)$$

当 $k=-1$ 时，物体光测速度、实际速度及速度误差公式简化为：

$$v = v' / (1 - v' / c') \quad (9)$$

$$v' = v / (1 + v / c') \quad (10)$$

$$\Delta v = -v^2 / (c' + v) \quad (11)$$

由 (6) (9) 式可知，当物体实际运动速度 v' 很小的时候， v'/c' 接近于零，因此物体的光测速度 v 与物体的实际速度 v' 几乎相等。从 (8) (11) 式可知，当物体低速运动时，速度误差 Δv 很小，可以忽略不计。但当物体运动速度很大时，光测速度与实际速度的误差就非常大。所以，当物体在低速运动状态下时，我们无论始点侧观测还是终点侧观测，光测速度与实际速度的误差都很小，可以忽略不计。这就可以解释为什么牛顿经典力学在物体低速运动条件下适用，而在高速运动条件下会产生较大误差。

当我们采取始点侧观测时，从式 (6) 可知，物体的观测速度 v 始终小于实际速度 v' 。无论物体实际速度多大，即使超过光速的 n 倍，其光测速度始终小于光速 c 。当我们采取终点侧观测时，由 (9) 式可知，物体的观测速度 v 始终大于实际速度 v' 。当物体实际速度超光速时 ($v' > c$)，我们观测到它的运动速度是负数 ($v < 0$)。可见，如果采取了始点侧观测手段则难以观测到物体超光速现象，而采取终点侧观测则容易发现超光速现象，或者出现负速度的现象。

当 $k>0$ 时，或 $k<0$ 时，所得结论类似，不做详细讨论。

当 $k=0$ 时, 则 $v=v'$ 。可见, 采取居中观测所测量的物体运动速度等于物体运动的实际速度。我们也可以根据 (7) (10) 式通过物体运动的光测速度推算出物体运动的实际速度。

如果物体是在真空中运动, 比如在月球惯性系 S' (相对于绝对参考系 S 运动速度为 u) (图 1b), 那么物体从 A 点发出的光信号相对于 C 点的观测者来说速度为 $c_1 = \sqrt{c^2 - 2cucos\alpha + u^2}$, 从 B 点发出的光信号相对于 C 点的观测者来说速度为 $c_2 = \sqrt{c^2 + 2cucos\beta + u^2}$ (参看参考文献[1])。物体相对于 S' 系的实际运动速度为 v' , 测量速度为 v 。则

$$v = \frac{v'}{1 + \frac{v' \cdot c_1 s_2 - c_2 s_1}{c_1 c_2}} \quad (12)$$

我们仅分析始点侧观测与终点侧观测两种情况。当始点侧观测时, 可得

$$v = v' / [1 + v' / (c + u)] \quad (13)$$

$$v' = v / [1 - v / (c + u)] \quad (14)$$

$$\Delta v = v^2 / (c + u - v) \quad (15)$$

当终点侧观测时, 可得

$$v = v' / [1 - v' / (c - u)] \quad (16)$$

$$v' = v / [1 + v / (c - u)] \quad (17)$$

$$\Delta v = v^2 / (c + u + v) \quad (18)$$

显然, 物体在真空中运动的光测速度需要考虑观测者所在惯性系的绝对运动速度 u , 而在空气 (介质) 中运动的光测速度则不需要, 当 u 很小时, 两者近似相等。

3 利用光波多普勒效应观测物体运动速度

对物体运动速度的观测, 除了上述根据速度定义进行测量的方法之外, 对于天体运动还可以采用光波多普勒效应进行测量。设光源相对观测者 O 以速度 u 从 A 向 B 运动, 光源的光波固有频率为 f_0 , 观测者 O 接收到的光波频率为 f 。假设 t 时刻光源在 A 处发出一光信号, 经传播, 在 t_1 时刻被观测者 O 所接收; t' 时刻光源在 B 处再次发出光信号, 经传播, 在 t_2 时刻被观测者 O 所接收 (图 2)。可知, $t_1 = t + r_1/c$, $t_2 = t' + r_2/c$, 则 $\Delta t = t_2 - t_1 = t' - t + (r_2 - r_1)/c$

设 $\Delta t' = t' - t$, 则

$$\Delta t = \Delta t' + (r_2 - r_1)/c \quad (19)$$

设光源在 A、B 两点连续发出光信号的时间间隔 $\Delta t'$ 为一个极小的周期 T , 观测者 O 所接收到的光信号的时间间隔 Δt 周期为 T' 。由于 T 很短, 光源运动速度 u 很小, $r_2 - r_1$ 为一很小的量, 有如下近似关系

$$r_2 - r_1 = Tucos\theta \quad (20)$$

将其代入(19)式, 得:

$$T' = T + (Tu/c)cos\theta = T(1 + (u/c)cos\theta) \quad (21)$$

我们假设 $T=1/f_0$, 即 T 为光波电磁震荡一次的时间, 那么观察者所接收的光的频率为 $f=1/T'$, 则:

$$f = f_0 c / (c + ucos\theta) \quad (22)$$

这就是光波多普勒效应的表达式。

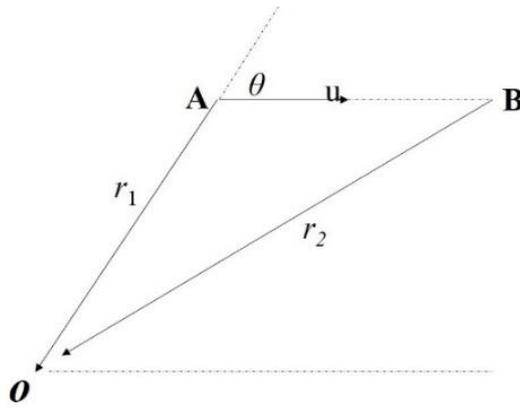


图 2. 光波多普勒效应
Fig.2 Doppler effect of light wave

由(22)式可知, 在观察者不动而光源运动时, 若 $0 \leq \theta < \pi/2$, 则 $f < f_0$, 将观察到**红移现象**。若 $\pi/2 < \theta \leq \pi$, 则 $f > f_0$, 将观察到**蓝移现象**。若 $\theta = \pi/2$, 则 $f = f_0$, 不会出现有红移或蓝移现象。

由(20)式可知, $\cos\theta$ 就是位置效应因子 k 。显然, 红移或蓝移现象是物体运动速度的观测位置效应的体现。

由(22)式可得

$$u = \frac{f_0 - f}{f \cos\theta} c = (Z / \cos\theta) c \quad (23)$$

式中 $Z = (f_0 - f) / f$ 。据此可测量天体运动的速度 u 。

4 对高能粒子速度极限以及超光速、负速度现象的解释

人们根据爱因斯坦相对论的质速度关系式 $m = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$, 认为物体的运动速度 v 的极限是 c , 即不可能达到或超过光速 c 。对高能粒子速度的观测似乎都表明, 它们的速度尽管可以很接近光速, 但似乎并没有达到或超过光速。这一事实似乎在证明相对论的正确性。但实际上并非如此。显然, 只要粒子的速度大于 $0.5c$, 根据速度的相对性, 两个相向而行的粒子相对于彼此的速度就大于 c 。而现在粒子加速器很容易把粒子加速到 $0.99c$ 。那么, 为何目前没有测量到达到或超过光速的粒子呢? 除了可能粒子的速度的确没有达到光速之外, 可能还与测量方法有关。由(3)可知, 当采取始点侧观测或近始点观测时 ($0 < k \leq 1$), 无论粒子实际运动速度 v' 有多大, 粒子运动的光测速度 v 都无法达到光速 c 。而如果采取居中观测, 或者终点侧观测或近终点观测 ($-1 \leq k \leq 0$), 则高能粒子的光测速度就可能达到光速, 或超过光速, 甚至将出现负速度。比如, 观测者终点侧观测时 ($k = -1$), 只要粒子的实际运动速度大于等于 **0.5 倍光速**, 粒子的光测速度就可以达到或超过光速。而粒子的实际运动速度 v' 大于光速 c 时, 粒子的光测速度就变成了负速度, 也就是说负速度才是真正的超光速事件。由于人们的观测习惯往往是始点侧观测 (观测者在物体运动起始点一侧开始计时, 然后记录达到终点的时间), 因此观测的高能粒子速度都不可能达到光速 c 。另一方面, 由于人们深信相对论, 只要观察到超光速现象都会怀疑观测结果, 必然会反复进行检查, 重新进行实验和观测, 直到观测速度小于光速 c 为止。欧洲核子研究中心 (CERN) 的 OPERA 实验项目 2011 年 9 月 23 日宣布了中微子超光速的实验结果, 立即遭受到科学界的强烈质疑, 后来不得不承认是出现了光缆松动故障造成的, 项目负责人被迫辞职^[2]。

5 微观粒子运动速度的观测

宏观物体的运动速度一般都较低，因此光测速度与实际运动速度的误差很小。而微观粒子的运动速度则很大，因此其光测速度与实际运动速度的误差不能忽略。假设粒子 A 的实际运动速度为 v' ，其镜像粒子为 A'（图 3）。由于粒子 A 与其镜像粒子 A' 运动方向相反，用相同方式对粒子进行观测，则粒子 A 的光测速度 $v_L = v'/(1+v'/c)$ ，其镜像粒子 A' 的光测速度为 $v_R = v'/(1-v'/c)$ 。显然， $v_L < v_R$ ，也就是说，粒子 A 与其镜像粒子 A' 的光测速度不相同，表现为对称性的破缺。这种所谓的对称性破缺是由于观测误差造成的。

根据观测速度误差公式（5），如果粒子以光测速度 v 运动，则该粒子将会产生速度误差 $\Delta v = kv^2/(c - kv)$ 。由于位置效应因子 $k = (S_2 - S_1)/d = \Delta S/d$ ，而微观粒子极小，则 ΔS 极小；从宏观距离去观察分子或原子或亚原子中的微观粒子，显然 d 也极小，因此可取极限得 $k=1$ 或 $k=-1$ 。所以粒子运动的速度误差为 $\Delta v = v^2/(c - v)$ 或 $\Delta v = -v^2/(c + v)$ 。

如果粒子以光测速度 v 运动，那么在 Δt 时间内确定该粒子的位置，将因速度误差而产生位置误差：

$$\Delta x = v^2 \Delta t / (c - v) \text{ 或 } \Delta x = -v^2 \Delta t / (c + v) \quad (26)$$

若该粒子的质量为 m ，则其动量误差为：

$$\Delta p = mv^2 / (c - v) \text{ 或 } \Delta p = -mv^2 / (c + v) \quad (27)$$

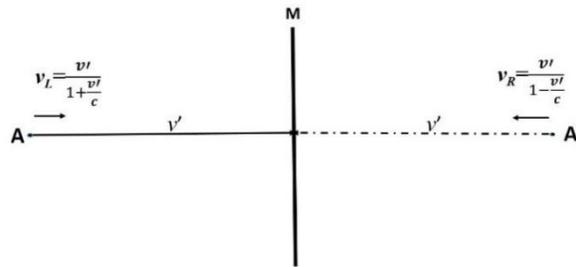


图 3. 镜像粒子运动速度的观测

Fig. 3. Observation of motion speed of mirror particles

6 关于同时性问题

假设 A、B 两地（距离为 S ）同时对开两列火车，速度均为 v' 。如果观察者在 A 处，根据物体运动光测速度公式可知，他会发现从 B 开往 A 的列车速度为 $v_1 = v'/(1 - v'/c)$ ，而从 A 开往 B 的列车速度为 $v_2 = v'/(1 + v'/c)$ 。因此在 A 处的观察者会觉得从 B 开往 A 的列车比从 A 开往 B 的列车更快到达，到达时间分别是 $S(c - v')/cv'$ 和 $S(c + v')/cv'$ ，两者的时间差为 $2S/c$ 。同理，在 B 处的观察者会发现从 A 开往 B 的列车比从 B 开往 A 的列车更快到达。但实际上，两列火车应该是同时到达的，时间是 S/v' 。这种实际同时发生，但在不同观察者看来却是不同时发生的事件，被称作所谓的“同时性的相对性”现象，显然它是由观察者的位置效应造成的。同理可证，由于存在观察者位置效应，实际不同时发生的事件，在不同位置上的观察者看来却是同时发生的。

7 讨论与结论

基于光速有限性影响物体运动速度的观测的认识,本文提出了物体运动的光测速度的概念,同时报道了物体运动的光测速度受观测者位置效应的影响,得到了物体运动的光测速度与实际速度关系式。基于这些重要发现,我们解释了牛顿经典力学适合物体低速运动情形而在高速运动条件下光测速度与实际速度产生较大偏差的原因。

人们普遍认为,物体在高速运动条件下会产生相对论效应,所以当物体高速运动时不能适用牛顿经典力学而必须采用相对论。本文的研究结果表明,当物体高速运动时牛顿力学理论产生一定的偏差,根本原因不是因为存在相对论效应,而是因为存在位置效应对物体光测速度的影响。人们通常以高能粒子加速器无法把粒子加速到超光速解释为相对论效应,但相对论不能解释超光速和负速度现象,而本文对这些现象都做了合理解释。这些解释打破了人们通常认为牛顿力学只适用于物体低速运动而物体高速运动时则需要考虑相对论效应的观念,为研究物体在高速运动条件下的物理规律提供了新的视角。

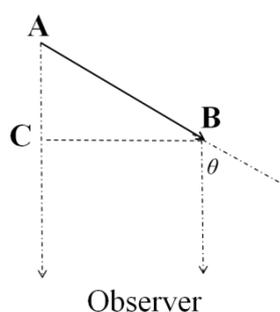


图 4. 观察者观察类星体喷流上某质点运动的示意图。

类星体喷流中某质点以速度 v 从 A 运动到 B, 历时 Δt 。由于类星体喷流距离地球观察者十分遥远, 从 A 和 B 点到达观察者的两束光近似于平行。喷流与视线方向的夹角为 θ 。质点在 A 点发出光信号的时刻为 t_A , 观察者接收到信号的时刻为 t'_A 。质点在 B 点发出光信号的时刻为 t_B , 观察者接收到信号的时刻为 t'_B 。CB 为 AB 的横向投影。 $\Delta t' = \Delta t(1 - v \cos \theta / c)$ 。

狭义相对论认为, 光速是宇宙中的极限速度, 任何物体的运动速度不能超光速。基于对狭义相对论的信仰, 一些超光速现象的观测结果被认为是实验错误^[2]或者被认为是“视超光速”^[3-9]。我们应该明白, 科学质疑应当是基于科学原理、基本事实与基本逻辑。狭义相对论并不是科学原理, 而是基于两个似是而非的假设得到的推论, 至今仍然不断接受各种质疑和检验。此外, 理论是否正确需要通过实验和观察事实来检验, 而不能基于理论去质疑实验和观察结果。显然, 我们可以质疑超光速的实验和观察结果, 但我们的质疑不能基于狭义相对论, 否则将犯下错误。例如, 天体物理学家们无法接受目前所观察到的类星体超光速现象, 因此把这种现象称为视超光速运动, 即被认为是一种视觉上的错觉。而在观测到类星体喷流中视超光速运动之前, Rees 就于 1966 年从理论上提出了相对论射电源的速度将会放大为 γv 的模型 (γ 为洛伦兹因子)^[10], 于是该理论就成为普遍接受的解释视超光速运动的理论。该理论认为 (如图 4 所示), 类星体喷流的视速度为

$$V_{vs} = \frac{CB}{\Delta t'} = \frac{v \sin \theta}{1 - (v/c) \cos \theta} \quad (26)$$

当类星体喷流与观察者视线夹角 $\theta = \arcsin(1/\gamma)$ 时视速度有**最大值**

$$V_{vsmax} = \frac{v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma v \quad (27)$$

然而, Rees 把喷流从 A 点运动到 B 点的视速度计算为 $CB/\Delta t'$ 是完全错误的, 因为 $\Delta t'$ 并非观察到看到喷流从 C 点到 B 点的时间, 而是从 A 点到 B 点的时间。因此, 喷流的视速度实

际上应为 $AB/\Delta t'$

$$V_{vs} = \frac{AB}{\Delta t'} = \frac{v\Delta t}{\Delta t(1-v\cos\theta/c)} = \frac{v}{1-(v/c)\cos\theta} \quad (28)$$

对比(3)式可知,位置效应因子 $k=-\cos\theta$ 。当类星体喷流与观察者视线夹角 θ 为0度时, $k=-1$, 观察者采用终点侧观测,光测速度(视速度)为最大值。如果喷流实际速度大于 $0.5c$,光测速度(视速度)即可超光速。

此外,我们可以根据光测速度 V_{vs} 和喷流与观察者视线夹角 θ 得到喷流的实际速度

$$v = \frac{V_{vs}}{1+(V_{vs}/c)\cos\theta} \quad (29)$$

由(29)式可知,当 $V_{vs} \geq c(1-\cos\theta)$ 时, $v \geq c$ 。比如说,当 $\theta=\pi/6$ 时,喷流的光测速度大于 7.5 倍光速 c , 其实际速度 v 就超光速。而当 $\theta=\pi/2$ 时,所测喷流速度即为其实际运动速度,如果所测速度超光速即为超光速。可见,Rees 模型只讨论类星体喷流与观察者视线夹角 θ 极小时的视超光速,而忽视夹角为其它任何值的情形,从而把所有超光速现象归为视超光速,显然是错误的。

为了确认类星体喷流速度是否超光速,也可以采用本文提出的利用光波多普勒效应观测物体运动速度的方法。目前,已经发现大量红移值 Z 大于 1 的类星体^[1-14],由(23)式计算的实际运动速度已超光速。物体运动速度是否超光速,不能以狭义相对论为依据进行先验性的否定性判断,而必须如实观测记录并计算。一旦发现物体的实际运动速度超光速,即应认为狭义相对论被证伪。近年来,有一些关于负速度的研究报道^[15],也证明了超光速现象的存在。

实际上,我们之前的文章已经证明狭义相对论是错误的^[1]。由于研究物体低速运动不需要狭义相对论,它通常被认为适用于研究物体的高速运动。然而,本文所提出的新理论完全可以解释和研究物体高速运动现象,因此狭义相对论在被证明是错误的理论后,在物体高速运动领域也被新的理论所替代。显然,本文的研究对于纠正相对论的错误和扭曲的时空观,终结其在学术界的错误影响具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Zeng JQ. The motion of massless "object" and the physical essence and motion law of light. Physics Essays , Under review (2022).
- [2] Robert Garisto. Light's speed limit is safe for now. New Scientist. 2012,2/22. <https://www.newscientist.com/article/dn21515-lights-speed-limit-is-safe-for-now/>
- [3] Alfonso León Guillen Gómez. Are superluminal the neutrinos?[J]. Journal of Applied Physical Science International,2016,6(3).
- [4] Hubing Xiao,Junhui Fan, Riccardo Rando,Jingtian Zhu,Liangjun Hu. Further evidence of superluminal active galactic nuclei as γ -ray sources[J]. Astronomische Nachrichten,2020,341(4).
- [5] Mooley KP,Deller A T,Gottlieb O,Nakar E,Hallinan G,Bourke S,Frail D A,Horesh A,Corsi A,Hotokezaka K. Superluminal motion of a relativistic jet in the neutron-star merger GW170817.[J]. Nature,2018,561(7723).
- [6] Hirata K. Observation of a neutrino burst from the Supernova SN1987A[J].Phys Rev Lett, 1987, 58 (14) :1490-1493.
- [7] Longo MJ.Tests of relativity from SN1987A[J].Phys Rev D, 1987, 36 (10) :3276-3277.
- [8]E. Ros,M. Kadler,M. Perucho,B. Boccardi,H. M. Cao,M. Giroletti,F. Krauß,R. Ojha. Apparent superluminal core expansion and limb brightening in the candidate neutrino blazar TXS 0506+056[J]. Astronomy & Astrophysics, 2020,633.
- [9] Blandford R D , McKee C F & Rees MJ. Super-luminal expansion in extragalactic radio sources. Nature, 1977, 267: 211-216

- [10] Rees MJ. Appearance of relativistically expanding radio sources[J].Nature, 1966, 211: 468-470.
- [11] Cheung, C. C. , Stawarz, L. , & Siemiginowska, A. .Confronting x-ray emission models with the highest-redshift kiloparsec-scale jets: the $z=3.89$ jet in quasar 1745+624. Astrophysical Journal, 2008 , 650(2), 679-692.
- [12] Yuan, W. , Fabian, A. C. , Celotti, A. , & Jonker, P. G. .Extended x-ray emission in the high redshift quasar gb 1508+5714 at $z=4.3$. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2010, (1), L7-L10.
- [13] Cheung, C. C. , Stawarz, L. , Siemiginowska, A. , Gobeille, D. , & Schwartz, D. A. . Discovery of a kiloparsec scale x-ray/radio jet in the $z=4.72$ quasar gb 1428+4217. The Astrophysical Journal Letters, 2012, 756(1): L20 (5pp)
- [14] Lyke, BW (Lyke, Brad W.) [1] ; Higley, AN (Higley, Alexandra N.) [1] ; McLane, JN , et al. The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog: Sixteenth Data Release. The Astrophysical Journal Supplement Series, 2020, 250:8 (24pp)
- [15] Wang LJ, Kuzmich A, Dogariu A. Gain-assisted superluminal light propagation[J]. Nature, 2000, 406(6793):277-279.