

基于光速不变原理的时间延缓与时间提前效应计算研究

王国义

中电建成都建设投资有限公司 四川省 成都市 610212

摘要: 基于光速不变原理, 推导出爱因斯坦狭义相对论中的时间延缓效应计算公式。当相对高速运动坐标系 s' 下光在不同的运动方向到达同等距离条件所用时间都为 t' 条件下, 推导出来的相对静止坐标系 s 下观察 s' 发生事件(光行进距离)所用时间 t 值不同, 基于光速不变原理推导出来的事件发生时间即有时间不变效应、时间延缓效应也有时间提前效应。爱因斯坦提出狭义相对论的基础是基于光速不变原理(绝对速度), 但推导出来的时间效应公式有无数个解, 因此光速不变原理可能是不正确的。笔者分析了迈克尔逊-莫雷实验, 根据实验过程分析得出, 该实验可以证明光在地球上无论哪个行进方向光速都是不变的, 但不能证明光速不变原理。光速不变原理是个假设, 无准确的证明。希望能对物理学的发展有一定的推动作用。

关键词: 光速不变原理; 狭义相对论; 时间不变; 时间延缓; 时间提前; 不正确; 假设

Based on the principle of invariant speed of light Calculation of time delay and time advance effect

Guoyi Wang

PowerChina Chengdu Construction Investment Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610212

Abstract: Based on the principle of constant speed of light, the calculation formula of the time delay effect in Einstein's special theory of relativity is deduced. When the time taken for the light to reach the same distance in different moving directions in the relative high-speed moving coordinate system s' is t' , the time t value for observing the event (light travel distance) in s' in the relative static coordinate system s is different. The event occurrence time deduced based on the principle of constant speed of light has a time-invariant effect. Time delay effect also has a time advance effect. Einstein's special theory of relativity is based on the principle of constant speed of light (absolute speed), but the derived time effect formula has countless solutions, so the principle of constant speed of light may be incorrect. According to the principle of Michelson's experiment, the author proves that the speed of light on the earth is unchanged, but the author can't prove that the speed of light is on the basis of Michelson's experiment. The principle of constant speed of light is a hypothesis without accurate proof. I hope it can promote the development of physics.

Key words: the principle of constant speed of light; special relativity; time does not change; time delay; time advance; incorrect; hypothesis

引言

阿尔伯特·爱因斯坦 1905 年创立狭义相对论, 1915 年创立广义相对论, 是现代物理学家。爱因斯坦开创了现代科学技术新纪元, 被公认为是继伽利略、牛顿之后

最伟大的物理学家, 也是批判学派科学哲学思想之集大成者和发扬光大者。狭义相对论预言了牛顿经典物理学所没有的一些新效应(相对论效应), 如时间延缓、长度收缩、横向多普勒效应、质速关系、质能关系等。对于光速不变原理有的学者赞成, 也有一些学者提出质疑。王雯宇等 [1] 在等效原理的基础上, 重点说明了广义光速不变原理的理解, 坐标系和固有时、固有距离的关系等内容。朱孟正等 [2] 提出在低速时相对论速度相加退化为经典的速度相加原理, 高速时选相对论速度相加定理, 真空中光速与

惯性系的选择无关。廖伟迅 [3] 提出光速不变原理本身就是一个矛盾命题, 最后尝试定义光速。韩锋 [4] 解释了迈克尔逊-莫雷实验, 并承认此实验对狭义相对论的决定性作用。叶波 [5] 对迈克尔逊-莫雷实验进行了新解释, 认为该实验不是否定了“以太”, 而是证明了“以太”是一种有惯性的物质。田国瑞 [6] 认为迈克尔逊-莫雷实验不能测出相对绝对静止参考系的相对运动速度, 提出了一种测量相对运动速度方法。以上学者针对光速不变原理提出了自己的看法, 但对于基于光速不变原理下的相对论效应(如时间延缓)详细推导未进行过研究。

笔者基于光速不变原理, 通过洛伦兹转换坐标系光在不同行进方向条件下对时间效应进行详细推导, 得出有时间不变效应、时间延缓效应和时间提前效应, 进而证明光

速不变原理可能是不正确的。

一、时间延缓效应

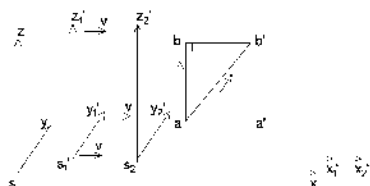
狭义相对论是爱因斯坦在 1905 年发表的题为《论动体的电动力学》一文中提出的区别于牛顿时空观的新的平直时空理论。这个理论的出发点是两条基本假设：狭义相对性原理和光速不变原理。狭义相对论已经成为现代物理理论的基础之一：一切微观物理理论（如基本粒子理论）和宏观引力理论（如广义相对论）都满足狭义相对论的要求。狭义相对论中的时间延缓效应是基于光速不变原理推导出来的，现对其进行详细推导。

如图 1，相对静止坐标系 $s(x, y, z$ 轴)，相对高速运动坐标系 $(x', y', z'$ 轴)，坐标系中轴相对坐标系 s 中 x 轴以速度 v 匀速运动，当时间 t 为 0 时，两个坐标系重合（为便于观察，坐标系 s 和坐标系有一定距离，实际上 x 轴和 x' 轴是重合的）。同时假定无论哪个坐标系下单位时间必须是相同的，也就是说时钟不会因坐标系的不同单位时间不同。

设坐标系 s' 下光从 a 点到 b 点，当光在 a 点时，坐标系 s' 原点为 s_1' ，当光到达 b 点时，坐标系 s' 原点为 s_2' ，光从 a 点到 b 点所用时间为 t' 。坐标系 s' 下 a 点与 a' 点重合， b 点与 b' 点重合。坐标系 s 上看到光的行进轨迹是从 a 点到 b' 点，观察光从 a 点到 b' 点所用时间为 t 。设 ab 距离为 l_{ab} ， $a b'$ 距离为 $l_{ab'}$ ， $b b'$ 距离为 $l_{bb'}$ ，设光速为 c 。

根据光速不变原理和三角形公式可知：

图 1 光垂直 x 轴正向行进轨迹示意图



$$l_{ab} = ct' \quad (1)$$

$$l_{bb'} = vt \quad (2)$$

$$l_{ab'} = ct \quad (3)$$

$$l_{ab}^2 + l_{bb'}^2 = l_{ab'}^2 \quad (4)$$

由式 (1 ~ 4) 可知：

$$(ct')^2 + (vt)^2 = (ct)^2 \quad (5)$$

由式 (5) 可计算出时间延缓公式：

$$t = t' / \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (6)$$

式 (6) 是狭义相对论推导出来的时间延缓效应公式，在相对静止坐标系 s 下观察相对高速运动坐标系 s' 下发生事件时间要慢。如果将地球认为是相对静止坐标系 s ，“天庭”是相对高速运动坐标系 s' ，当速度 v 为 $0.999996247c$ 时可达到“天上一天，地上一年的时间

延缓效应。

同样推导，当光垂直于 x 轴负向行进时，时间延缓与式 (6) 相同。

二、光不同行进方向下的时间效应

光速不变原理在狭义相对论中，指的是无论在何种惯性系中观察，光在真空中的传播速度都是一个常数，不随光源和观察者在参考系的相对运动而改变。时间延缓效应只分析了光行进方向垂直于 x 轴，现分析光在不同行进方向上的时间效应。

1. 光行进平行于 x 轴并且行进方向为 x 轴正向

如图 2，与图 1 假设一样，但光行进方向平行于 x 轴并且与坐标系 s' 速度方向一致。

图 2 光平行于 x 轴并且正向行进轨迹示意图

设坐标系 s' 下光从 a 点到 b 点，当光在 a 点时，坐标系 s' 原点为 s_1' ，当光到达 b 点时，坐标系 s' 原点为 s_2' ，光从 a 点到 b 点所用时间为 t' 。坐标系 s' 下 a 点与 a' 点重合， b 点与 b' 点重合。坐标系 s 上看到光的行进轨迹是从 a 点到 b' 点，观察光从 a 点到 b' 点所用时间为 t 。设 ab 距离为 l_{ab} ， $a b'$ 距离为 $l_{ab'}$ ， $b b'$ 距离为 $l_{bb'}$ 。

根据光速不变原理和坐标系 s, s' 可知：

$$l_{ab} = l_{a'b'} = ct' \quad (7)$$

$$l_{aa'} = vt \quad (8)$$

$$l_{ab'} = ct \quad (9)$$

$$l_{a'b'} + l_{aa'} = l_{ab'} \quad (10)$$

由式 (7 ~ 10) 可知：

$$ct' + vt = ct \quad (11)$$

由式 (11) 可计算出时间延缓公式：

$$t = t' / (1 - v/c) \quad (12)$$

式 (12) 也是时间延缓效应公式，但与式 (6) 不同。

2. 光行进平行于 x 轴并且行进方向为 x 轴负向

如图 3，与图 1 假设一样，但光行进方向平行于 x 轴并且与坐标系 s' 速度方向相反。

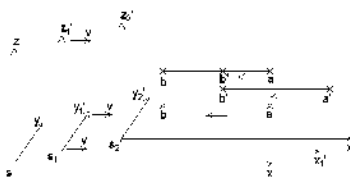


图 3 光平行于 x 轴并且负向行进轨迹示意图

设坐标系 s' 下光从 a 点到 b 点，当光在 a 点时，坐标系 s' 原点为 s_1' ，当光到达 b 点时，坐标系 s' 原点为 s_2' ，光从 a 点到 b 点所用时间为 t' 。坐标系 s' 下 a 点与 a' 点重合， b 点与 b' 点重合。坐标系 s 上看到光的行进轨迹是从 a 点到 b' 点，观察光从 a 点到 b' 点所用时间为 t 。设 ab 距离为 l_{ab} ， $a b'$ 距离为 $l_{ab'}$ ， $b b'$ 距离为 $l_{bb'}$ 。

根据光速不变原理和坐标系 s 、 s' 可知：

$$l_{ab}=l_{a'b'}=ct' \quad (13)$$

$$l_{bb'}=vt \quad (14)$$

$$l_{ab'}=ct \quad (15)$$

$$l_{ab'}+l_{bb'}=l_{ab} \quad (16)$$

由式 (13 ~ 16) 可知：

$$ct + vt = vt' \quad (17)$$

由式 (17) 可计算出时间提前公式：

$$t = t'/(1 + v/c) \quad (18)$$

式 (18) 是时间提前效应公式，与式 (6)、式 (12) 时间延缓公式明显不同。

3. 光行进方向处于 x 轴负向与 z 轴正向之间

由式 (6) 和式 (18) 可知，即有时间延缓效应又有时间提前效应，那么在此之前应该存在时间不变效应，现推导时间不变效应时的条件。如图 4，与图 1 假设一样，但光行进方向处于 x 轴负向与 z 轴正向之间，水行进方向与 x 轴夹角为 A 。

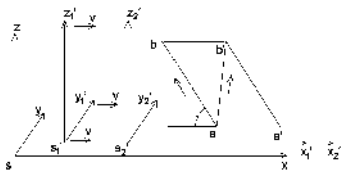


图 4 光处于 x 轴负向与垂直 x 轴之间行进轨迹示意图

设坐标系 s' 下光从 a 点到 b 点，当光在 a 点时，坐标系 s' 原点为 s_1' ，当光到达 b 点时，坐标系 s' 原点为 s_2' ，光从 a 点到 b 点所用时间为 t' 。坐标系 s' 下 a 点与 a' 点重合， b 点与 b' 点重合。坐标系 s 上看到光的行进轨迹是从 a 点到 b' 点，观察光从 a 点到 b' 点所用时间为 t 。设 ab 距离为 l_{ab} ， $a b'$ 距离为 $l_{ab'}$ ， bb' 距离为 $l_{bb'}$ 。

$$l_{ab}=l_{a'b'}=ct' \quad (19)$$

$$l_{bb'}=vt \quad (20)$$

$$l_{ab'}=ct \quad (21)$$

$$\cos(A) = (l_{ab}^2 + l_{bb'}^2 - l_{ab'}^2) / (2 \times l_{ab} \times l_{bb'}) \quad (22)$$

当 $t=t'$ ，将式 (19 ~ 21) 代入式 (22) 中可得：

$$\cos A = v/(2 \times c) \quad (23)$$

当速度 v 为定值，可计算出角度 A 。当光行进轨迹沿角度 A 行进时，就是时间不变效应。速度 v 不同，时间不变效应时光行进角度 A 不同，并且为一固定值。当速度 v 为定值，角度 A 不同，时间效应公式就不可。基于光速不变原理推导出来的时间效应有无数个解（即无数个时间效应公式）。

同样推导，当光行进方向处于 x 轴负向与 z 轴负向之间，速度 v 为定值，可计算出角度 A 。当光行进轨迹沿角度 A 行进时，就是时间不变效应。

4. 时间效应分析

从上述分析计算可知，基于光速不变原理，光在相对高速运动坐标系 s' 不同行进方向相同距离所用时间 t' 相同前提下，推导出来的相对静止坐标系 s 上观察光轨迹所用时间 t 不同，有时间延缓效应、时间不变效应和时间提前效应。基于光速不变原理，推导出来的时间效应有无数个解。因此，光速不变原理很可能是不正确的，导致推导出来的时间效应不正确。

三、光速不变原理验证分析

有的学者提出迈克尔逊 - 莫雷实验验证了光速不变原理，这种说法是不正确的。迈克尔逊 - 莫雷实验是 1887 年迈克尔逊和莫雷在美国克利夫兰做的用迈克尔逊干涉仪测量两垂直光的光速差值的一项著名的物理实验。该实验只能证明光速在地球参考系下不同方向上数值是相等的，无法证明是否存在“以太”，更无法证明在不同惯性下光速不变。

洛伦兹方程组是推导出来的作相对匀速运动的惯性参考系 (s 和 s') 之间的坐标系变换。此方程组在推导过程中的基础是，但推导出来的结果是，这就是长度收缩效应。因此，洛伦兹方程组本身推导是存在一定问题的，是无法证明光速不变的。

任意恒星光行差都长期保持不变，所有恒星的光行差都为 20.5 “角距”，只能说明恒星发出的光经空间到达地球绕太阳旋转的参考系中光速是不变的，但不能证明不同惯性参考系下光速是不变的。

查询大量资料，笔者认为还无准确实验能证明光速不变原理，光速不变原理只是一个假设。

四、时间不变效应分析

通过光速不变原理可推导出无数个时间效应公式。现采用现有理论分析时间效应。

如图 5，与图 1 假设一样，设坐标系 s' 下一个事件在 a 点完成时间为 t' 。坐标系 s' 下 a 点与 a' 点重合。坐标系 s 上看到事件是从 a 点到 a' 点，所用时间为 t (即坐标系 s' 相对坐标系 s 的相对运动时间)。按常规判断坐标系 s' 相对坐标系 s 的相对运动时间 t 与坐标系 s' 内发生事件所用时间 t' 应该相等，那么就是时间不变效应。

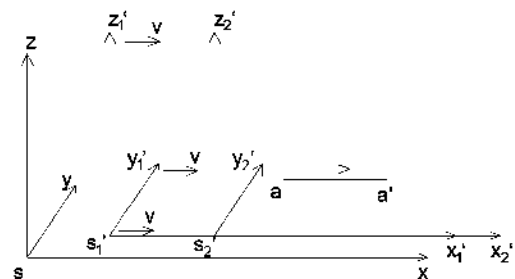


图 5 相对运动坐标系同一点发生事件示意图

五、结论

1) 基于光速不变原理, 推导出爱因斯坦狭义相对论时间延缓效应公式。

2) 基于光速不变原理, 也可推导出时间不变效应和时间提前效应公式。

3) 基于光速不变原理, 可推导出无数个时间效应解。因此可得出光速不变原理可能是不正确的结论。

4) 光速不变原理只是一个假设, 无实验证明其正确。

参考文献:

[1] 王雯宇, 许洋. 光和引力波专题 1- 广义相对性原理、光速不变原理及引力论 [J]. 物理与工程, 2019,29(1): 53 ~ 73.

[2] 朱孟正, 赵春然, 公丕锋, 等. 速度相加定理与光速不变原理相容性探析 [J]. 牡丹江师范学院学报 (自

然科学版), 2020, (2): 22 ~ 25.

[3] 廖伟迅. 试析迈克尔逊-莫雷和光速不变原理 [J]. 韶关学院学报 (自然科学), 2015, 36 (10): 30 ~ 35.

[4] 韩锋. 迈克尔逊-莫雷实验与狭义相对论 [J]. 河池学院学报, 2013, 33 (2): 53 ~ 58.

[5] 叶波. 对迈克尔逊-莫雷实验的新解释 [J]. 科学中国人, 2011, (18): 76 ~ 77.

[6] 田国瑞. 对迈克尔逊-莫雷实验的思考 [J]. 新乡学院学报 (自然科学版), 2009, 26 (1): 25 ~ 27.

作者简介: 王国义 (1974-), 男, 辽宁葫芦岛人, 工程硕士, 正高级工程师, 现从事盾构技术与管理工作并研究感兴趣的专业。E-mail: 1163812615@qq.com。