第 30 卷第 1 期
2009 年 1 月

宇 航 学 报
Journal of Astronautics

Vol.30 No.1
January 2009

爱因斯坦相对论诞生之初的失误

华 棣
(美国斯坦福大学)

摘 要：近光速的宇宙航行需要遵循相对论力学。然而,作者发现爱因斯坦 1905 年创立相对论的第一篇论文有误:他的代数运算失误,他运用“光源 - 光线 - 反射镜”模型也有误。正确的运算和运用这个模型得到的应该是普适的同时性。

关键词：爱因斯坦；相对论；同时性；光速不变假设；代数运算

中图分类号：O412.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1328(2009)01-0033-04

DOI:10.3873/j.issn.1000-1328.2009.00.006

0 引言

爱因斯坦在 1905 年发表了《论动体的电动力学》一文。这一年被公认为相对论诞生之年。在这篇论文中,爱因斯坦首次尝试推导洛伦茨变换。我们将证明他的推导有误。为了便于读者参照爱因斯坦的原文,我们采用他原文的数学符号(例如,光速是 V)。

1 爱因斯坦的代数运算错误

爱因斯坦引进了两个时空参照系 $k(\xi, \eta, \zeta, \tau)$ 和 $K(x, y, z, t)$；它们的坐标轴相应地平行,k 系沿 K 系的 X 轴正向以匀速 v 作平移运动。爱因斯坦还设计了一个光线在固定于 K 系原点的光源与随 k 系一起运动的反射镜之间往返的数学模型。利用这个模型,他推导出：

$$\tau = a\left(t - \frac{v}{V^2 - v^2}x'\right)$$

其中 $a = \varphi(v) = 1$

即 $$\tau = t - \frac{v}{V^2 - v^2}x' \tag{1}$$

他写道:“如果我们置 $x' = x - vt$”,则“代入 x' 的值,我们就得到”：

$$\tau = \beta\left(t - \frac{v}{V^2}x\right)$$

其中 $$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/V^2}} \tag{2}$$

事实上,把 $x' = x - vt$ 代入(1)得到的应该是：

$$\begin{aligned}\tau &= t - \frac{v}{V^2 - v^2}(x - vt)\\ &= \left(1 + \frac{v^2}{V^2 - v^2}\right)t - \frac{v}{V^2 - v^2}x\\ &= \frac{V^2}{V^2 - v^2}t - \frac{v}{V^2 - v^2}x\\ &= \frac{V^2}{V^2 - v^2}\left(t - \frac{v}{V^2}x\right)\end{aligned}$$

即 $$\tau = \beta^2\left(t - \frac{v}{V^2}x\right)。$$

爱因斯坦把 β^2 误算成 β！百余年来,物理学界居然未察觉这个简单的代数运算错误！

为了从爱因斯坦的(1)得到他想要的(2),x' 与 x 应该有怎样的关系呢？我们可反推如下:由(1)和(2)得到

$$t - \frac{v}{V^2 - v^2}x' = \beta\left(t - \frac{v}{V^2}x\right)$$

即 $$x' = \frac{1}{\beta}\left[x + \frac{V^2}{v}\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)t\right]$$

这是不合理的关系式！

爱因斯坦还得出坐标变换式 $\xi = \frac{V^2}{V^2 - v^2}x'$。他声称:代入 x' 的值,可得 $\xi = \beta(x - vt)$。事实上,代入 $x' = x - vt$, 得到的是：

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{V^2}{V^2 - v^2}(x - vt)\\ &= \frac{1}{1 - v^2/V^2}(x - vt)\\ &= \beta^2(x - vt)\end{aligned}$$

收稿日期:2008-11-01；　修回日期:2008-12-31

他又把 β^2 **误为** β。为了得到他想要的 $\xi = \beta(x - vt)$, x' 与 x 应该有怎样的关系呢? 我们可反推如下:

令 $$\frac{V^2}{V^2 - v^2}x' = \beta(x - vt)$$

可得 $$x' = \frac{1}{\beta}(x - vt)$$

这又是不合理的关系式!

况且,这个不合理的 $x' = \frac{1}{\beta}(x - vt)$ 不同于那个不合理的 $x' = \frac{1}{\beta}\left[x + \frac{V^2}{v}\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)t\right]$

若同时满足这两个不合理的关系式,则有

$$\frac{1}{\beta}(x - vt) = \frac{1}{\beta}\left[x + \frac{V^2}{v}\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)t\right]$$

即 $$x - vt = x + \frac{V^2}{v}\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)t$$

即 $$\frac{1}{\beta} - 1 = -\frac{v^2}{V^2}$$

即 $\beta^2 = \beta$ 或 $\beta = 1$;也就是说,只有在相对静止($\beta = 1, v = 0$)的无意义情况下,爱因斯坦才能自洽!

2 爱因斯坦用错了他自己的数学模型

更不幸的是,爱因斯坦在运用他的"**光源-光线-反射镜**"模型中也有失误。爱因斯坦设计的模型是:一道光线在固定于 K 系的光源与固定于 k 系的反射镜之间往返; k 系的反射镜沿 K 系的 X 轴正向以匀速 v 背离固定在 K 系原点的光源而运动。在 τ_0 时刻,光线从光源沿 X 轴正向出发;在 τ_1 时刻,光线到达反射镜并**立即**被反射回头;在 τ_2 时刻,反射光回到光源。

按照爱因斯坦的光速不变假设,正向光和反射光的速度都应该是不变的 V。若 τ_0 时刻发出的正向光到达反射镜时,光源(固定在 $x = 0$)与反射镜之间的距离为 x'(即反射镜已运动到 $x = x'$),则正向光到达反射镜的时刻是 $\tau_1 = \tau_0 + \frac{x'}{V}$。光线立即被反射,并以光速 V 通过同一距离 x',在 $\tau_2 = \tau_1 + \frac{x'}{V}$ 时刻回到光源。这样就有 $\tau_2 - \tau_1 = \tau_1 - \tau_0$,即

$$\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1 \tag{3}$$

这是**爱因斯坦模型的基本方程**。

其实,拒绝光速不变假设也可以得出式(3)。从固定在 K 系原点的光源发出的正向光的光速,对于 K 系而言,是 V;但是,对于以速度 v 背离 K 系原点而运动的 k 系反射镜而言,这个正向光的光速是 $V - v$。在 τ_0 时刻发出的正向光到达反射镜时,若光源与反射镜之间的距离为 x',则正向光到达 k 系反射镜的时刻应该是 $\tau_1 = \tau_0 + \frac{x'}{V - v}$。**反射镜是反射光的光源**,反射镜以速度 v 沿 X 轴正向的运动使反射光以 $V - v$ 的速度通过同一距离 x',在 $\tau_2 = \tau_1 + \frac{x'}{V - v}$ 即 $\tau_2 = \tau_0 + \frac{x'}{V - v} + \frac{x'}{V - v}$ 的时刻回到固定在 K 系原点的光源。因此,仍然有 $\tau_2 - \tau_1 = \tau_1 - \tau_0$,即 $\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1$。

爱因斯坦假设光速不变。在 τ_0 时刻,他给出 $\tau(0,0,0,t)$;这表示在初始时刻($\tau_0 = t$),光线尚未从 K 系原点($x = 0$)出发。在 τ_1 时刻,他给出 $\tau\left(x', 0, 0, t + \frac{x'}{V - v}\right)$;这表示正向光到达反射镜时,反射镜在 K 系 X 轴的 x' 处;也就是说,光源与反射镜之间的距离是 x'。按照他的光速不变假设,他应该给出 $\tau_1 = \tau_0 + \frac{x'}{V} = t + \frac{x'}{V}$。然而,他却给出了 $\tau_1 = t + \frac{x'}{V - v}$,也就是说,光速是 $V - v$;**他违反了自己的光速不变假设**。在 τ_2 时刻,他给出 $\tau\left(0, 0, 0, t + \frac{x'}{V - v} + \frac{x'}{V + v}\right)$;这表示反射光回到 K 系原点($x = 0$)的光源处。按照光速不变假设,反射光从 $x = x'$ 回到 $x = 0$ 应该耗时 $\frac{x'}{V}$;他却认为耗时 $\frac{x'}{V + v}$ 而给出 $\tau_2 = \tau_1 + \frac{x'}{V + v} = t + \frac{x'}{V - v} + \frac{x'}{V + v}$。**他不仅又违反了自己的光速不变假设,而且误认为反射光的光速是** $V + v$;**这意味着反射镜(反射光的光源)是以速度** v **朝向(而不是背离)** K **系原点的光源而运动的**。他的这些失误可以用他的基本方程(3)验证。把他的 τ_0, τ_1, τ_2 时刻的表达式代入(3),得到的是:

$$\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \frac{1}{2}\left[t + \left(t + \frac{x'}{V - v} + \frac{x'}{V + v}\right)\right]$$
$$= t + \frac{V}{V^2 - v^2}x'$$

但是,他的 $\tau_1 = t + \frac{x'}{V - v}$,所以 $\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) \neq \tau_1$,不满足他的式(3)。

接着,爱因斯坦把他的 τ_0, τ_1, τ_2 时刻的表达式代入它们不能满足的式(3):

$$\frac{1}{2}\left[\tau(0,0,0,t)+\tau\left(0,0,0,t+\frac{x'}{V-v}+\frac{x'}{V+v}\right)\right]$$
$$=\tau\left(x',0,0,t+\frac{x'}{V-v}\right)$$

并选取 x' 为无限小,他得到:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{V-v}+\frac{1}{V+v}\right)\frac{\partial\tau}{\partial t}=\frac{\partial\tau}{\partial x'}+\frac{1}{V-v}\frac{\partial\tau}{\partial t}$$

即 $$\frac{\partial\tau}{\partial x'}+\frac{v}{V^2-v^2}\frac{\partial\tau}{\partial t}=0$$

解这个偏微分方程,他得到他的式(1):

$$\tau=t-\frac{v}{V^2-v^2}x' \tag{1}$$

若严格遵循他的光速不变假设,则应有:

$$\tau_0=t,\ \tau_1=t+\frac{x'}{V},$$
$$\tau_2=t+\frac{x'}{V}+\frac{x'}{V}$$

它们可以满足他的式(3):

$$\frac{1}{2}(\tau_0+\tau_2)=\frac{1}{2}\left[t+\left(t+\frac{x'}{V}+\frac{x'}{V}\right)\right]$$
$$=t+\frac{x'}{V}=\tau_1$$

把这些 τ_0, τ_1, τ_2 时刻的表达式代入(3):

$$\frac{1}{2}\left[\tau(0,0,0,t)+\tau\left(0,0,0,t+\frac{x'}{V}+\frac{x'}{V}\right)\right]$$
$$=\tau\left(x',0,0,t+\frac{x'}{V}\right)$$

并选取 x' 为无限小,可得:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{V}+\frac{1}{V}\right)\frac{\partial\tau}{\partial t}=\frac{\partial\tau}{\partial x'}+\frac{1}{V}\frac{\partial\tau}{\partial t}$$

或 $\frac{\partial\tau}{\partial x'}=0$ 即 $\tau=$常数。

τ 对于任何 x' 为常数就是时间同步,即**普适的"同时性"**。然而,光速不变和同时性($V=V$和 $\tau=t$)一起,就相当于没有相对运动($v=0$)。以球面光波为例,

$$K\text{系}:\quad x^2+y^2+z^2=V^2t^2$$
$$k\text{系}:\quad \xi^2+\eta^2+\zeta^2=V^2\tau^2$$

$V=V$和 $\tau=t$ **导致无意义的平凡解**:

$$x^2+y^2+z^2\equiv\xi^2+\eta^2+\zeta^2$$

即 $x=\xi,\ y=\eta,\ z=\zeta$;即 K系与 k系相对静止。

若拒绝光速不变假设,则应有:

$$\tau_0=t,\quad \tau_1=t+\frac{x'}{V-v},$$
$$\tau_2=t+\frac{x'}{V-v}+\frac{x'}{V-v}$$

将它们代入式(3),可验证其正确性:

$$\frac{1}{2}(\tau_0+\tau_2)=\frac{1}{2}\left[t+\left(t+\frac{x'}{V-v}+\frac{x'}{V-v}\right)\right]$$
$$=t+\frac{x'}{V-v}=\tau_1$$

把这些 τ_0, τ_1, τ_2 时刻的表达式代入(3):

$$\frac{1}{2}\left[\tau(0,0,0,t)+\tau\left(0,0,0,t+\frac{x'}{V-v}+\frac{x'}{V-v}\right)\right]$$
$$=\tau\left(x',0,0,t+\frac{x'}{V-v}\right)$$

并选取 x' 为无限小,可得:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{V-v}+\frac{1}{V-v}\right)\frac{\partial\tau}{\partial t}=\frac{\partial\tau}{\partial x'}+\frac{1}{V-v}\frac{\partial\tau}{\partial t}$$

或 $\frac{\partial\tau}{\partial x'}=0$ 即 $\tau=$常数。

我们**又得到普适的"同时性"**。

可见,对于两个匀速相对运动的参照系,**正确地运用"光源－光线－反射镜"模型,得到的总是普适的同时性,而光速则必须不是常数,以免得出没有相对运动的无意义的平凡解**。

3　结论

总之,爱因斯坦未能正确运用他的"光源－光线－反射镜"模型,并且代数运算有误。他得出的 $\tau=\beta\left(t-\frac{v}{V^2}x\right)$ 和 $\xi=\beta(x-vt)$ 是可疑的。"同时性"却是普适的。

参考文献:

[1] Einstein A. Üdie Elektrodynamik bewegter Korper, Annalen der Physik, 1905(17): 891－921.

[2] Einstein A.《On the Electrodynamics of Moving Bodies》, The Collected Papers of Albert Einstein, Princeton University, 2005, 2: 140－171.

[3] 范岱年,赵中立,许良英编译.《论动体的电动力学》,爱因斯坦文集,第二卷,第 83－115 页,商务印书馆,1994.

作者简介:华棣(1936－),男,1978 年全国科技大会获奖者,俄罗斯宇航科学院院士,美国斯坦福大学研究员(退休),研究方向为航天科技,理论物理,国际关系和国家战略。

Einstein's Relativity Theory Was Wrong at Its Birth

HUA Di
(STANford University)

Abstract: Cosmonautic voyages with near-light velocity must use the relativistic mechanics developed by Einstein. However, the author reveals mistakes in Einstein's first paper on the relativity theory published in 1905: His alberaic calculation was wrong and he misused his "source-beam-reflector" model. Correct algebraic calculation and correct use of the model leads to the universal simultaneity.

Key words: Einstein; Theory of relativity; Simultaneity; Postulate on the constant speed of light; Algebraic calculus

(上接第 24 页)

Applications of Atom Inertial Technology in Aerospace Engineering

ZHU Chang-xing[1], FENG Yan-ying[1], ZHOU Zhao-ying[1], ZHOU Yong-jia[1], XUE Hong-bo[2], YE Xiong-ying[1]
(1. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Information Engineering Shool, China University of Geosciences, Beijing 100084, China)

Abstract: With the development of atom optics, the potential high precision and super-high sensitivity of atom inertial technology have attracted world-wide attention and research. Recent great technology progress in atom inertial technology was achieved, and the application in engineering is developing. The recent development of atom inertial technology was introduced in the paper, and its applications, especially on high precision inertial navigation, fundamental physics and verification of General Relativity, measurement of the Earth, the Moon, and so on. At last, domestic research situation and development in the future were demonstrated.

Key words: Atom inertial technology; High precision navigation; Verification of General Relativity; Measurement of the Earth and the Moon