

相对论中的时空观念

兰 群

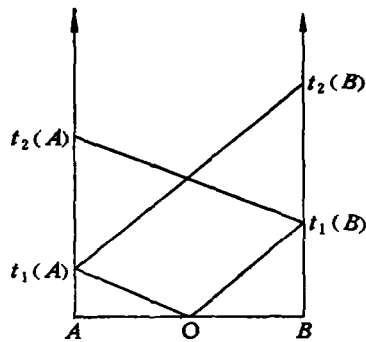
(兰州大学)

“客观过程的发展是充满着矛盾和斗争的发展,人的认识运动的发展也是充满着矛盾和斗争的发展。”¹⁾十九世纪末,廿世纪初,物理学面临着理论与实践的尖锐矛盾。矛盾的一个重要方面,就是牛顿的时空概念和时空理论不能解释光学和电磁学实验。牛顿时空理论实质上是建立在“尺不变”、“钟不变”以及“瞬时对钟讯号”这些假定的基础之上的。从这些假定出发,不同惯性系之间的时空坐标的联系就是伽利略变换。但迈克耳逊-莫雷实验,光源的多普勒效应等一系列的实验动摇了牛顿时空理论的基础。当时摆在人们面前的迫切任务,就是根据光学、电磁学的最新实验事实,改造牛顿的时空理论,建立一个更好地反映客观实际的新的时空理论。

认识来自实践。物理规律以及由此而产生的物理的时空理论,归根结底来自生产斗争和科学实验的实践。人们在测量时空的生产和科学实践中,总是要依赖具有一定稳定性的物质系统——物理的尺和物理的钟——去进行空间间隔和时间间隔的测量。除此而外,还必须校准在不同地点的钟的起点,即需要有一种物理的对钟手段。这是测量一切单程速度都会遇到的问题。在现阶段的实践上,人们是用光讯号作为对钟手段的。例如测量声速时,由于光讯号传播所需的时间对于测量声速来说,可忽略不计,将光讯号看成“瞬时讯号”(即具有无穷大速度的讯号)。当然,如果所要测量的单程速度和光速可相比拟时,则必须考虑光速是以有限速度传播的这一事实。特别是对光速本身的测量,在还没有掌握用新的超光速讯号对钟以前,无法测量单程光速,而只能测量沿封闭迴路的平均光速,例如双程光速。因为这种测量只需要用到一个钟。如果认为双程光速值等于单程光速值,实质上等于假定了光速是各向同性传播的。实际上,人们正是用光速各向同性的假定对钟的。但是要验证光速是否各向同性,又必须首先校对两个不同地点的钟,这就出现了困难。这一困难反映出人们在一定阶段上的认识的有限性与客观事物发展的无限性之间的矛盾。对待这一矛

盾,人们通常采取的办法是:先假定光速各向同性去对钟,而把对于这一假定的验证留待将来的实践。但是,我们要问:为什么在这样的假定下对钟没有和实验发生矛盾呢?或者说,在什么条件下,用光速各向同性的假定校对钟才不会出现矛盾呢?我们来进一步分析这些问题。

我们设想“客观上”光速与方向有关,设为 $c(l)$ 。从 AB 中点 O 发出的光讯号到达 A 和 B 的时刻分别为 $t_1(A)$ 和 $t_1(B)$ 。 $O t_1(A)$ 对 $t(A)$ 轴, $O t_1(B)$ 对 $t(B)$ 轴的斜率分别表示光沿 A 方向和 B 方向传播的速度,爱因斯坦认为,光讯号到达 A, B 的时刻 $t_1(A), t_1(B)$ 是同时的。这就是他所谓的“约定时间”,亦即是我们实际上所采用的时间。用被这样校准的钟,测量 AB 方向和 BA 方向的光速分别为 $\frac{2l}{t_2(B) - t_1(B)}$, $\frac{2l}{t_2(A) - t_1(A)}$ ($2l = AB$)。从图很容易看到有 $t_2(A) - t_1(A) = t_2(B) - t_1(B)$, 所以用“约定时间”测得沿 AB 方向和 BA 方向光速相同,即观测不到光速的各向异性现象。同时我们也注意到,用“约定”方法来对钟,钟“客观上”并没有被校准,而有一时差 $\Delta t = \frac{l}{c} - \frac{l}{c(l)}$ 。



1) 毛泽东,《毛泽东选集》(一卷本),人民出版社(1966), 272.

爱因斯坦“假定这个同步性的定义是没有矛盾的,并且能用到无论多少个点上”,他又进一步假定:“如果A处的钟同在B处和C处的钟同步,则在B处的钟同在C处的钟也是相互同步的”。对这一假定是需要认真审查的。这一假定实质上是要求沿任意封闭回路逐段校对钟,最后回到原点时,产生的对时总差数为0,即有

$$\sum_i \left[\frac{l_i}{c} - \frac{l_i}{c(l_i)} \right] = 0$$

所以

$$c = \frac{\sum_i l_i}{\sum_i \frac{l_i}{c(l_i)}}$$

这就是说,按光速各向同性假定对钟而不发生矛盾,要求光通过任意封闭回路的平均光速是常数 c 。光速是否满足这一条件是可以由实验检验的。迈克尔逊-莫雷实验指出了双程平均光速(特殊回路)与方向无关,由迈克尔逊-莫雷等实验,以及用光速各向同性假定对钟从未发现矛盾这一事实,可以认为这一条件是得到实验证实的。

人们对于客观事物的认识,是不可能一下子完成的。对于作为对钟讯号的光速的研究在一定阶段的实践上是存在着局限性的。目前,我们认为在某一惯性系中光速等于定值 c ,一方面是基于双程平均光速与方向无关等于定值 c 这样一个实验事实,另一方面又是对于光讯号未能完全认识,从而假定单程光速与传播方向无关而得到的结果。在爱因斯坦相对论中,关于同时性的概念,事实上就是在这样的基本前提下提出的。这一基本前提并未为现阶段的实践所检验,但完全可能为未来的实践所突破。在那时,关于同时性的概念以及建立在这一概念上的时空理论就要进一步地发展。

现在我们再考虑与这一惯性系相对地作匀速直线运动的另一惯性系中的光速问题。在每一瞬间地球参考系是一个近似的惯性系,一年中不同季节的地球参考系,近似地就是一系列不同的作匀速直线运动的惯性系。在一年的不同季节,即在不同的作匀速直线运动的惯性系中,研究光讯号的传播速度时,我们都面临着上述的困难,而且我们也都以同样的办法处理了这个困难,即认为在这些惯性系中,单程光速各向同性等于定值。这里又出现了一个新的问题,即是否等于同一定值的问题。实践证明,在应用同样物质结构的尺和钟进行测量的条件下,在一年的不同季节中,双程平均光速等于同一定值 c 。因此,在单程光速各向同性假定下,单程光速也都等于同一定值 c 。这就是爱因斯坦相对论中“相对地作匀速运动的不同惯性系中光速不变原理”。

不同惯性系中的时空坐标间的变换为线性变换。保持光速不变的线性变换就是洛伦兹变换。洛伦兹变

换指出,任何运动速度以光速 c 为上限。对这个“光速不可超越”的结论,应当如何对待,存在不同的看法,引起不少的争论。根据以上分析可以看到,洛伦兹变换及其所引出的“光速不可超越”的结论,是与人们在现阶段的认识上的局限性紧密地联系着的。在现阶段实践上既认为光速不变,也就认为光速是传播速度的上限,由此前提出发,只能得出“光速不可超越”的理论结果。作为理论的前提的实践上的局限性,必然要反映为理论结果的局限性;表明实践局限性的“上限”,反映到理论中就表现为理论局限性的“极限”。否认一定阶段的实践上的局限性,片面地把由此前提所引出的“光速不可超越”的理论结果绝对化,是完全错误的。“社会实践中的发生、发展和消灭的过程是无穷的,人的认识的发生、发展和消灭的过程也是无穷的。”¹⁾我们相信,随着对自然界认识的深入,将不断揭示出物质世界中蕴藏着的尚未被认识到的内部矛盾与运动,从而更丰富人类对时空的认识。

我们在前面已强调指出,一个自然科学的时空理论,必定依赖于物理的尺、物理的钟以及物理的对钟手段。因此,自然科学的时空理论,必然要依赖于这种物质系统以及描述它们运动规律的动力学方程。时空理论怎样和动力学方程联系在一起呢?

物理的尺、钟和对钟手段是由一定的物质系统所组成的。它们的结构以及随运动而变化的性质,必须由测量得到的相应的物质系统的动力学方程组给出。在某个惯性系中是如此,在与之相对地作匀速直线运动的其它惯性系中也是如此。拿这种运动着的尺、钟和对钟手段去量度同样地运动着的,遵循同一动力学规律的物质系统的运动,就会由于变化的一致性而出现所得到的动力学方程的协变性。正像人们拿铁尺去量度铁轨,在它们受到同样的温度变化时,不会发现这种温度变化的影响,而只会表现出表征协变关系的那种不变的测量结果。

“真理的标准只能是社会的实践。”²⁾在地球上一年中不同时刻进行的物理实验而得出的规律,可以看作在不同惯性系中得出的规律。而所得到的动力学方程的确具有同样的形式,所以动力学方程的协变性是具有一定的实践基础的。

不同惯性系中动力学方程的协变性,对时空变换提出了特定的要求。与包括麦克斯威方程在内的电动力学方程组的协变性相应的,是洛伦兹变换。所以由洛伦兹变换来表明的时空理论,乃是依赖于遵循电动力学规律的物质系统的时空理论。正因为如此,无论用光讯号或者把时钟移动作为对钟手段,由于它们都

1) 毛泽东,《毛泽东选集》(一卷本),人民出版社(1966), 272。

2) 同上, 261页。

是电动力学规律决定的,它们必然得到相同的结果。

一定物质系统的动力学方程的这种协变性,就是爱因斯坦相对论中所谓的相对性原理,在时空理论中具有极为重要的意义。对此,我们“**必须从客观的实际运动所包含的具体的条件,去看出这些现象中的具体的矛盾、矛盾各方面的具体的地位以及矛盾的具体的相互关系,**”¹⁾去进一步分析协变性所反映的客观事物内部矛盾运动对立统一的性质。

协变关系是一个正确的动力学方程组所必须具有的性质。但是具有这样性质的方程组不一定是反映客观事物的物理规律。

在牛顿力学中,尺和钟被认为是不随运动而变化的。这样的尺和钟可以设想是具有万有引力的物质点所构成,其性质由牛顿运动方程及万有引力定律所给出。但当深入研究电磁现象和高速物体的运动时,尺和钟的电磁结构以及它们随运动而变化的性质被揭示出来了。这要求尺和钟的变化性质应该由质点运动方程和电磁场的麦克斯威方程给出,而且作为一个完整的理论,动力学方程组必须对反映尺和钟变化性质的坐标变换保持协变关系。牛顿运动方程不能和麦克斯威方程一起保持协变关系,表明牛顿运动方程并没有确切地反映出客观实际,必须对它作适当的修改,这就是相对论力学方程,而前者作为一个特例被包含在后者之中。如果进一步计及引力场对于尺和钟的电磁结构的影响时,则时空度规张量就将是时空坐标的函数,尺和钟将显示出它们对时空的不均匀性。这时候不仅质点运动方程和电磁场的麦克斯威方程应包括时空度规张量在内,而且运动方程组中还应包括确定时空度规张量的时空变化的方程,即引力场方程。这个引力场方程也必须满足协变性要求,这就是广义相对论的协变关系。

一般说来,确定尺和钟的内部结构和运动变化的性质,除电磁作用、引力作用外,还有强作用、弱作用等。我们目前在实验上所采用的是原子尺度的尺和钟,相比之下引力很弱可略去,强作用、弱作用为基本粒子作用尺度,所以也可忽略不计,因此尺和钟主要呈现出电磁结构的性质,因而不同惯性系时空坐标的关系即为洛仑兹变换。如果在某种条件下,其它作用的因素不能忽略时,则它们就要影响尺和钟的电磁结构,并改变洛仑兹变换关系,例如引力对尺和钟的结构的影响,以上已讨论了。同样,强作用、弱作用也会对电磁结构的尺和钟有某种影响,因而在实验上应能观测到这种效应。如果在这种情况下观测不到这种效应,则说明电磁作用和强作用、弱作用可能具有某种内在的一致性。

总之,动力学方程的协变性即所谓的相对性原理,是一定的物质系统构成的尺和钟的性质同这个物质系统的运动规律的方程相互制约的结果。协变性是相对这样一个封闭系统而言的。但世界上的事物并不是孤立的,所谓封闭系统,就是在某种条件下,为了突出事物的主要矛盾,人们忽略掉一些次要的因素而作出的对事物的一种抽象、一种近似。因此协变性本身是有条件的、相对的、近似的。世界上不存在绝对的封闭系统,也不存在最终的协变性。因此,把某种物质系统的动力学方程所具有的特殊的协变性,看作是无条件的、绝对的,则是错误的。

(转载自《兰州大学学报》1974年第一期,
转载时作了删节)

1) 毛泽东,《毛泽东选集》(一卷本),人民出版社(1966),
294。