

# 惯性原理及其宇宙起源(下)

郭汉英

## 四、常曲率空时惯性原理

### 及其宇宙学意义

常曲率空时相对性原理和德西特不变的相对论如何面对暗宇宙的尖锐挑战?为什么我们的宇宙在加速膨胀,一定不渐近平坦,而很可能具有一个正的极小宇宙常数,渐近于德西特空时?而按照通常的处理,德西特空时却带来一系列疑难;极小而又为正的宇宙常数也带来极大困惑。

通行的看法是把宇宙常数等同于量子理论中“真空”的能量。可是,这样得到的宇宙常数值比观测值大了一百二十几个量级;考虑种种可能修正,包括超对称等等,也还要大几十个量级。理论与观测之间如此大的差别,前所未有。根本问题出在哪里?

通常的作法是考虑种种动力学模型、修改引力场方程,甚至借助量子引力等等。著名弦论学家威滕就认为,“宇宙常数或者真空能密度问题——为什么按粒子物理标准它为零或者极其小——其实仅在引力时才出现问题,因为没有引力我们并不在意真空能量。而且,它主要是一个有关量子引力的问题,因为在经典的意义上,如爱因斯坦那样,我们不喜欢宇宙常数,它多少可以自然地取为零。”显然,威滕完全没有考虑到如果出现宇宙常数,与空时密切相关的运动学的基本对称性都应有所改变,动力学就必须重新建立;更不用说引力理论及其量子化了。

陆启铿建议的核心,就是应该把惯性运动和惯性系的观念以及相对性原理推广到常曲率的德西特和反德西特空时。事实上,惯性运动和惯性系的观念以及相对性原理,完全可以而且应该推广到这些最大对称空时;与具有庞加莱不变性的相对论相应,可以建立在德西特群或反德西特群变换下不变的相对论。和光速  $c$ 、普朗克常数  $\hbar$  和牛顿引力常数  $G$  一样,应该把这些常曲率空时的曲率半径  $R$  或者与之联系的宇宙常数  $\Lambda$ ,作为自然界的一个基本常数。

为什么在非零常曲率空时中,会存在惯性运动、惯性系和相对性原理呢?



我们不妨回到经典几何学。与欧氏几何基本平权的,还有黎曼几何和罗巴切夫斯基几何。在这三种几何中,都存在点、线和面,存在直线;不同之处在于关于平行线的第五公设。几何源于测量,因此物理测量中的“刚尺”以及标准钟的固有时,既可能服从欧氏几何,也可能服从黎氏或罗

氏几何。在庞加莱和爱因斯坦的相对性原理中,假定了前者。如果放弃这一假定,要求通过实验和观测来确定“刚尺”和标准钟的固有时服从的几何,那么就可能存在与这三种基本平权的几何相对应的三种相对性原理。

其实,4维欧氏、黎氏和罗氏几何,分别是零、正和负的常曲率空间的几何;它们分别在变换群  $ISO(4)$ 、 $SO(5)$  和  $SO(1,4)$  的相应变换下不变。类似在欧氏几何中的笛卡尔坐标系,在黎氏和罗氏几何中,存在一类特殊的坐标系,称为贝特拉米系统。这类坐标系统的作用与笛卡尔坐标系在欧氏几何中的作用完全类似:在贝特拉米系统中,贝特拉米度量对应的测地线方程为线性方程,亦即测地线为直线;点、线等几何对象在相应的变换群  $SO(5)$  和  $SO(1,4)$  具有共同分母的分式线性变换下,各自彼此变换,而贝特拉米度量不变。

在场论中,往往采用维克转动,把闵氏度量“转”为欧氏。现在,通过维克转动的逆转动,就可把上述三种空间分别“转”为曲率为零、正和负的闵氏、德西特和反德西特空时,它们分别在变换群  $ISO(1,3)$ 、 $SO(1,4)$  和  $SO(2,3)$ ,即庞加莱群、德西特群和反德西特群相应的变换下不变。同时,4维几何中的点和直线,分别对应于这些空时中的事件和直的世界线。在闵氏空时中,世界线为直线的运动恰恰是匀速直线运动,即惯性运动;那么,在德西特和反德西特空时中,沿这类贝特拉米系统中直的世界线的运动,是否也是匀速直线运动呢?

答案应该是肯定的。因此,在德西特和反德西特空时中存在惯性运动,相应的贝特拉米参考系是

惯性系;它们在相应的德西特群和反德西特群具有共同分母的分式线性变换下彼此变换,而具有物理号差的贝特拉米度量不变。于是,在后二者中就应该存在相对性原理。比起闵氏空时中的狭义相对论,这里除了光速  $c$  这一普通常数外,还应该增加一个普通常数,即这些常曲率空时的曲率半径  $R$ 。

陆启铿首先指出并强调了这一点,提出在这些最大对称空时中的相对性原理:在非零常曲率空时中存在惯性系,物理定律在这些惯性系之间的(德西特群或反德西特群具有共同分母的分式线性)变换下不变。我们称之为常曲率空时相对性原理。事实上,以相对性原理和普通常数原理为基本原理,可以在这两种常曲率空时中,建立相对论。普通常数原理要求,光速  $c$  和曲率半径  $R$  为普通常数。

爱因斯坦体系却难以容纳这一基本事实:按照广义相对论,空时一旦弯曲就出现引力,就只存在局部惯性运动和局部惯性系;不再存在惯性运动和惯性系。可是,德西特和反德西特空时又是爱因斯坦方程的解,即贝特拉米度规满足爱因斯坦方程;而所有的测地线仅仅在贝特拉米系统中都是直的世界线。怎么解释贝特拉米系统的这一特点呢?

1917年,德西特在爱因斯坦引进宇宙项之后,很快就发现以他名字命名的德西特空时是带有宇宙项的爱因斯坦方程的解。这一结果立即受到爱因斯坦的怀疑。在同年与爱因斯坦的辩论中,德西特就曾经用过贝特拉米系统。他们之间的辩论,引起包括大数学家克莱茵以及外尔等的关注。然而,当时的注意力主要集中在德西特空间是否有奇异性、“相对惯性”等问题上。几年后,年轻的泡利在他关于相对论的著名综述中,也明确给出黎曼球的贝特拉米度量,或许是意在探讨相应的物理意义。后来,德西特空时的贝特拉米系统,或者与其等价的非齐次投影坐标系,在物理文献中也不时出现过。乌莫夫、外尔和福克曾经研究过惯性运动和惯性系统最一般的变换形式,并得到与贝特拉米系统的变换形式相同的结论。

但是,在陆启铿之前,一直没有人认真注意贝特拉米系统实质上是惯性系统,德西特空时中存在惯性运动这一重要性质。

相对性原理与宇宙学原理的联系、惯性系统的宇宙学起源 在广义相对论中,德西特空时本来就满足宇宙学原理,当然此时这个原理具有德西特不

变性。如果在德西特空时中又存在相对性原理,那么这两个原理之间就应该存在一定的关系,不会不协调。事实上,按照德西特不变的相对论,这两个原理之间的确协调,反而具有重要的内在联系。这样,具有宇宙常数的德西特宇宙背景,就在一定的意义上表现为贝特拉米系统中惯性运动和惯性系起源的作用;也就是说,贝特拉米惯性系统可以通过德西特宇宙背景加以确定。

在德西特不变的相对论中有两种同时性——与贝特拉米时间坐标相同的同时性和惯性观测者的标准钟固有时相同的同时性,二者之间可以相互变换。贝特拉米坐标同时性描述惯性运动和惯性系,以满足相对性原理的要求。固有时同时性则有另外的特点:如果取这类钟的固有时为新的时间坐标,后者就恰恰与宇宙学原理的要求一致,度量变为弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特型;其同时的类空3维空间是一个加速膨胀的闭合3维球面。这样,这两种时间和同时性的关系,就给出相对性原理和宇宙学原理之间的内在联系。

换言之,两种同时性和相应的测量表明,在德西特空时中存在一类惯性-共动观测者。他们具有两种非欧时标的计时器和两种非欧“刚尺”;可以进行两类相互区别而又关联的观测和测量。形象地说,这类观测者具有刻有两种时间标度的计时器,一种是惯性系的贝特拉米坐标时,另一种是标准钟的固有时。进行局部实验时,他们只记贝特拉米坐标时,采用贝特拉米“刚尺”;因而所有规律都与相对性原理的要求相吻合;他们是惯性观测者。把远方天体或者除了宇宙常数之外的宇观现象作为检验“粒子”或者“对象”进行宇宙学观测时,他们则只记标准钟的固有时,采用与此相应的“刚尺”;这样,他们就从惯性观测者变为相对于这些“检验对象”的共动观测者。因此,对于这类惯性-共动观测者,既可“闭舟行”,亦可“向外看”,或者进行与“外界”关联的试验;只要约定“向外看”时,采用的同时性、钟和尺与在“闭舟”进行试验时不同,二者具有一定的联系即可。

正是由于德西特空时具有最大对称性,既存在相对性原理,又存在宇宙学原理,而且,相互之间存在内在联系;这样,宇宙学原理或者具有宇宙常数的宇宙背景,才表现为惯性运动的起源或者其存在的保证。当然,在没有与宇宙学的观测相联系之前,这仅仅是一类模型。

对于反德西特空时的相对论,也有类似性质。

既然观测宇宙在加速膨胀,不会趋向于平坦的闵氏空时,而很可能趋向德西特空时;自然可以认为观测宇宙应趋向于弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特型空时。这样,观测宇宙就会在一定意义上“挑选”出德西特不变的相对论作为描述大尺度物理的候选者。当然,可以把这一点看成是基于暗宇宙观测事实的一个假定。不过,由此却可以得出一些有意义的结果。

按照这个假定,暗宇宙的时标或者3维宇宙背景应该渐近于一类弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特型空时的宇宙时标或者它的加速膨胀的3维球面。即在与德西特不变的相对论相联系的所有弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特型空时中,观测宇宙的宇宙时标或者宇宙背景会挑选出一类来,使它们的宇宙时标的方向与观测宇宙的演化方向一致,加速膨胀的3维球面作为观测宇宙背景的渐近行为。重要的是,这时再回到贝特拉米系统,就确定了满足相对性原理的德西特空时中一类惯性系统中坐标轴的方向,而这类惯性系统的时间坐标轴和空间坐标轴,是与宇宙演化时标和背景空间“渐近”一致的。

在这个意义上,观测宇宙的渐近行为就可把一类贝特拉米惯性系的方向确定下来。不仅如此,这类惯性系统在一定意义上是相对“优越的”,即相对于观测宇宙背景没有“漂移”。于是一方面,贝特拉米惯性系统可以通过真实宇宙的渐近行为加以确定,因而观测宇宙背景表现为惯性系统的起源,并予以确定;另一方面,在观测宇宙背景确定惯性系统的同时,也确定了存在一类相对“优越的”惯性系统,它们相对于观测宇宙背景空间的渐近行为是“静止”的。

当然,这里的相对“优越性”,是相对于宇宙背景而言的。只要考虑与宇宙背景直接或者间接有关的实验或观测,这种“优越性”就会体现出来。而对于其他试验或观测,这种“优越性”很可能无关紧要。

也许有人会问,通过真实宇宙渐近行为确定的惯性系统会不会受到真实宇宙具有引力,以及宇宙常数的具体确定的影响呢?

答案是不会。这是因为到此为止,除了观测宇宙是暗的、在加速膨胀与爱因斯坦引力有关之外,观测宇宙的时间演化方向和宇宙背景空间大尺度上的均匀各向同性,与是否存在引力没有直接关系。也就是说,除了加速膨胀趋向于德西特空时外,我们只

利用了观测宇宙满足宇宙学原理的对称性性质。事实上,贝特拉米惯性系统的确定,只依赖于观测宇宙的时间方向或3维宇宙背景的均匀各向同性,与其中是否有引力无关。这个时间方向或宇宙背景渐近地确定了弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特型度规的时间方向或者加速膨胀的3维球面。其实,贝特拉米惯性系统的确定直接依赖于贝特拉米坐标时与后者的时间变量之间的关系,贝特拉米空间坐标就是后者的空间坐标,自然与观测宇宙中的引力无关。

贝特拉米系统中有两个普通常数,光速 $c$ 和曲率半径 $R$ 。是否需要确定这两个参数的具体数值呢?事实上,就惯性运动和惯性系统的存在而言,只需要这两个参数的量纲,并不需要其具体数值。尽管宇宙常数的具体确定会影响到德西特曲率半径的确定,但是却与贝特拉米惯性系统的确定无关。其实,对于不同曲率半径的贝特拉米惯性系统来说,它们之间存在着共形不变性;这会导致德西特相对论的共形扩充。然而,对于这些惯性系统而言,系统空时坐标轴的方向一旦确定,系统的基本特征也就确定了。

总之,真实宇宙的渐近行为,通过德西特相对论或者常曲率空时相对性原理的宇宙学意义,以一种有趣的方式解决了惯性运动和惯性系统的起源和如何确定的问题;从而不再存在爱因斯坦所担心的“循环论证”的问题。当然,任何物理原理、物理概念和物理规律,都是对某些自然现象及其本质的近似模写;德西特惯性原理当然也不例外。

不过,这些都已经超出爱因斯坦体系。相应的引力理论和宇宙论也有待进一步建立。

可能的运动学和惯性原理的起源 由于闵氏空时可以作为德西特或者反德西特空时在曲率半径 $R$ 趋于无限时的退化情形,因而洛伦兹和庞加莱的理论,以及爱因斯坦相对论的重要内容应该包含在这两种相对论中,作为 $R$ 趋于无限时的退化情形。进而再取 $c$ 趋于无限,就回到牛顿理论及其绝对空间和绝对时间。

还可以考虑与相对论的牛顿极限( $c$ 趋于无限)相对应的牛顿-胡克极限—— $c$ 与 $R$ 同时趋于无限;而二者的比值,牛顿-胡克常数 $v = c/R$ 固定。此时空间和时间同样分离,但是相应的牛顿-胡克空间-时间并不是牛顿的绝对空间和绝对时间,变换群也不是伽利略变换群,而是牛顿-胡克群。这里仍然存在惯性运动、惯性系和惯性定律,存在牛

顿-胡克相对性原理,具有坐标同时性与固有时同时性这两种同时性。并且与德西特空时类似,前者与牛顿-胡克相对性原理的要求一致,后者与牛顿-胡克宇宙学原理一致。同样,最大对称性保证惯性运动以及这两个原理的存在;在此基础上,以牛顿-胡克常数  $\nu$  为特征的宇宙背景,同样表现为牛顿-胡克惯性运动的起源。也可以假定讯号速度  $c$  趋于零,这也有相应的“静止”极限;等等。

这样,由常曲率空时相对性原理,或者德西特或反德西特相对论出发,取不同的极限,就可以得到具有不同对称性的所有可能的相对性原理和运动学。在这个意义上,对于3维空间和1维时间而言,具有10个参数变换群的最大对称空时或者空间-时间,都可以由非零常曲率空时及其退化得到,相应的惯性原理是常曲率空时惯性原理及其退化情形。当然,如果仅仅考虑零质量和光讯号的情形,还可以把惯性原理推广到具有15个参数的共形不变性。在通过暗宇宙的渐近行为确定德西特空时中的贝特拉米惯性系统时,与德西特空时的共形不变性有一定的联系;而一旦考虑具有质量的情形,共形不变性就“破缺”到德西特对称性。

在  $R$  趋于无限的平坦极限下,贝特拉米度量和弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特型度量,都变为闵氏度量,必须“记住”此时惯性系来源于德西特空时中的贝特拉米系统,惯性原理的起源来自暗宇宙的渐近行为;换言之,惯性系统的起源与确定,可以在收缩过程中“传递”下去。否则,在收缩之后,再将远方天体或宇宙学效应作为检验客体进行描述,就变得毫无意义。事实上,在爱因斯坦体系中,尽管可以建立宇宙图景,但由于相对性原理和宇宙学之间的不协调,不得不“闭舟行”。在牛顿极限下也有类似的情形:惯性原理的起源也可以在收缩过程中“继承”下来。否则,牛顿体系连简单的宇宙图景也无法建立,当然不得不“闭舟行”。对于这两种情形,爱因斯坦所说的“循环论证”也就随之而来。

总之,爱因斯坦所说的惯性原理“循环论证”,其实是一个佯谬。只要把惯性原理推广到德西特空时,暗宇宙的渐近行为就有可能确定德西特惯性系统。因此,对于德西特惯性原理而言,就不再有“循环论证”。在德西特惯性原理相应收缩的意义下,无论是伽利略惯性原理,还是庞加莱惯性原理,都不再有“循环论证”。否则,如果把原来的惯性原理孤立

起来,除了牛顿-胡克惯性原理之外,就必然会回到“循环论证”。

德西特相对论的实验检验 德西特相对论是否正确,应该经受实验与观测的检验。由于与爱因斯坦相对论的区别很小,德西特相对论完全可以解释所有检验爱因斯坦相对论的实验与观测。问题是能否找到有所区别的检验。其实,我们已经提及了一些有关的检验。

首先,把德西特空时的曲率半径与观测的宇宙常数相联系,即取  $R \approx (3/\Lambda)^{1/2}$ 。于是,可以再把远方天体和宇宙常数之外的宇观现象作为检验客体进行共动观测,并给出近似描述。那么,德西特相对论就应该是描述不考虑引力的大尺度物理的出发点。由于弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特度量满足宇宙学原理,因此再把远方天体以及除宇宙常数之外的宇宙学现象当作检验客体时,可以近似地描述这些现象;同时,贝特拉米惯性系统也就可以确定下来。这与爱因斯坦的狭义相对论完全不同。不过,由于尚未考虑引力,又存在广义相对论及其宇宙学,这些难以成为对于德西特相对论的重要检验。

不过,弗里德曼-罗伯孙-沃克-德西特度量作为我们宇宙的渐近行为,在一定意义上对于我们的宇宙仍然具有重要限制。根据这个度量,我们的宇宙应渐近于一个加速膨胀的3维球面,其半径很大,与德西特空时的曲率半径  $R$  同一量级。如果观测宇宙在其演化过程中不改变其渐近行为,这就导致一个重要的可以通过观测来检验的预言:3维观测宇宙本身应该是一个随宇宙时标演化而加速膨胀的3维球面,其偏离平坦的程度非常小,仅仅为宇宙常数的量级。这一点与广义相对论的“标准”宇宙模型不同。不过,这一预言不仅可以解释为什么暗宇宙在加速膨胀,而且暗宇宙是一个闭合3维球面这一点,也与2003年美国发射的威尔金森微波各向异性探测器(WMAP)的最新数据并不冲突。

一类重要的检验与是否存在相对于宇宙背景静止的“优越”惯性参考系的考察有关。

我们一再强调,一旦与暗宇宙的观测相联系,暗宇宙的演化方向就在所有可能的德西特宇宙时中,挑选出一个“优越”的时间方向。这样,就在确定一类贝特拉米惯性系统的同时,也挑选出这一类相对于宇宙背景静止的惯性系作为“优越”的系统。如果此时再取  $R$  趋于无限,即宇宙常数趋于零时的极

限,回到闵氏空时;那么就仍然存在这类相对“优越”的惯性系,从而回到没有“以太”却具有“优越”惯性系的理论,既不是洛伦兹-庞加莱的理论,也不完全是爱因斯坦狭义相对论。当然,这并不意味着回到牛顿的绝对空间和绝对时间,也不意味着回到洛伦兹-庞加莱的“光以太说”;尺缩钟慢仍然是运动学效应,而不是动力学效应。

总之,区分是否存在这类相对“优越”惯性参考系的任何实验和观测,都是对德西特相对论的重要检验,对德西特相对论都至关重要。前面提及,历来对于在相对性原理成立的前提下是否仍然存在某种“优越”参考系,一直有不同的观点;对于这类参考系存在与否,能否通过实验与观测加以检验,也有不同的观点,并没有完全解决。这些都值得认真研究。

其实地球上测量微波背景辐射,在扣除地球相对于满足宇宙学原理的共动参考系的“漂移”之后,才得到大体上是黑体辐射的结果。按照广义相对论,地球参考系是局域洛伦兹惯性系;因而,与相对地球参考系运动的其他局域惯性系之间的同时性是相对的,没有相对优越的局域洛伦兹系。但是,一旦扣除了相对于微波背景辐射的“漂移”,就相当于把局域惯性系的时间轴取为共动系时间轴的取向,即宇宙演化的时间方向一致。于是,在这些与地球系相差局域齐次洛伦兹变换的局域惯性系之间,就存在与共动系时间方向是否一致的区别。由于共动系反映宇宙背景及其演化,因而在这个意义上,就存在对于演化的宇宙背景相对优越的局域惯性系;从宇宙演化的角度来看,这些相差局域齐次洛伦兹变换的局域惯性系之间的同时性,就不是完全相对的。到底同时性是相对的,还是不完全相对的?

对于爱因斯坦相对论来说,这就涉及相对性原理和宇宙学原理的关系问题。从爱因斯坦相对论下的实际操作来看,这里实际上涉及一些重要的工作假定,能否在实验和观测的意义上检验这些工作假定,与这里提及的问题有密切关系。然而,对于德西特相对论及其局域化而言,这样做是很自然的。

### 五、引力与相对性原理的局域化

按照广义相对论,空时一旦弯曲,就具有引力;因而不可能存在德西特或反德西特不变的相对论。然而,按照陆启铿提出的相对性原理,德西特或反德西特空时中并没有引力。那么,该如何描述引力呢?

爱因斯坦提出等效原理和广义相对性原理作为

广义相对论的基本原理,推广以惯性运动为基础的相对性原理和狭义相对论;并得到引力场方程。进而,他又提出马赫原理作为广义相对论的基本原理。广义相对论无疑取得了伟大的成功,引起空间时间认识的巨大变革;但是也存在着一些潜在的问题,是一个没有完成的伟大体系。

我们曾经参照并综合一些著名学者的分析指出,等效原理没有要求完整的庞加莱对称性的局域化,仅仅具有齐次洛伦兹对称性的局域化,而没有平移对称性的局域化。广义相对性原理既没有真正具有物理意义的实际内容,也没有实现任意运动之间的“广义相对性”。以爱因斯坦引力场方程和具有自转的检验粒子的运动方程为代表的动力学,尽管建立了几何量与物理量之间的联系,但是可能存在潜在的“戈尔迪结”,而且几何量与物理量之间的联系也不完全:忽略了空时几何与局域平移不变性相关的几何量的存在,也忽略了引力源与局域齐次洛伦兹不变性有关的物理量,即自转流对于空时的作用。爱因斯坦的马赫原理与广义相对论并没有实际的联系,他最终也放弃了这个原理。

那么,为什么广义相对论又能够取得伟大的成功呢?

其实,爱因斯坦广义相对论的核心,应该是狭义相对论及其对称性的局域化;其成功的关键是局域化了齐次洛伦兹不变性,空时弯曲了。潜在的问题则很可能与没有局域化平移不变性,以及几何量与物理量的联系不完全等因素相关。换言之,推广相对性原理、建立更为合理的引力理论的正确途径,应该是在相对性原理的局域化或惯性原理局域化的基础上,探讨相应的空间时间和引力的动力学。也就是说,对于具有引力的空时中的每一空时点的惯性观测者,都应该局域地具有相应的惯性原理;因而,这些观测者也就成为局域惯性观测者,相对性原理的对称性也应同时局域化。这样,对于这类局域惯性观测者来说,相对性原理作为引进物理量与物理规律的基准仍然局域存在。进而,不同空时点的局域惯性观测者之间,通过引力相互作用进行联系;于是,引力相互作用也应该满足与局域相对性原理的局域对称性相一致的动力学。

尽管与爱因斯坦从狭义相对论到广义相对论的途径不完全一样,但这应该是继承爱因斯坦的伟大变革,并将他的光辉思想的合理因素进一步贯彻和

实现的合理途径。

## 结语

20 世纪的物理学经历了一系列伟大变革。不过,作为描述自然界和宇宙基本规律的基础物理理论,却仍存在许多问题:一方面,一些基本的实验和观测事实在理论上无法解释,已经建立起来的模型或理论包含的自由参数太多;另一方面,种种基本物理理论作为逻辑体系,都没有完成;甚至存在内在的种种不协调。

有关我们宇宙的观测结果,使得以量子论和相对论为基础的物理学的整个理论框架面临挑战;这是实验和观测对于物理学基础空前严峻的挑战。

不久前,著名物理学家格罗斯针对物理学面临的挑战说过:“知识最重要的产品是无知。”其实,知识还有权威、自封“权威”和偏见等副产品;偏见比无知离真理更远,权威性的偏见则会导致谬误和压制,自封“权威”们造成的局面甚至会更加糟糕。有人以为,这种说法“颠覆了人类的自信”。其实不然,承认无知是求知之始。孔子说:“知之之为知之,不知为不知,是知也。”(《论语·为政》)就含有这个意思。

以为“物理学应该没有多少发展”“世界已经在我们的掌握之中”是对物理学的误解。建立在这种误解基础上的所谓“人类的自信”,或许是来自某些权威、甚至自认“权威”们的偏见。物理学的发展过程,也是不断“颠覆”这类出于权威偏见的所谓“自信”的过程。

如何对待权威,爱因斯坦是我们的榜样。爱因斯坦盛赞伽利略的英雄人格和科学成就,极其赞赏伽利略所代表的主导思想:“竭力反对任何根据权威而产生的教条”,只承认“经验和周密的思考才是真理的标准”。事实上,这也恰恰是爱因斯坦创造奇迹、取得成功的重要原因之一。“作为对我蔑视权威的惩罚,命运竟然使我自己也成了权威。”如此自嘲的爱因斯坦,当然不会希望他的理论成为“根据权威而产生的教条”。

爱因斯坦认为,“物理学构成一种处在不断进化过程中的思想逻辑体系。”已经成为上个世纪最伟大学者的爱因斯坦,在晚年写道:“大家都认为,当我回顾自己一生的工作时,会感到坦然和满意。但事实恰恰相反,在我提出的概念中,没有一个我确信能坚如磐石,我也没有把握自己总体上是否处于正确的轨道。”爱因斯坦的这种不断反思、不断进取的精神,

非常值得汲取。事实上,爱因斯坦相对论体系建立和发展的过程表明,物理学理论并不完备,总是处在不断追求完备的过程之中。那么,向哪里进化?向哪里追求?可能正确的途径是什么?

对称性、对称性的局域化,以及对称性的破缺,在上个世纪物理学的发展中起着极其重要的作用。对于空间时间、引力和宇宙理论的进一步发展,这一重要线索是值得借鉴的。

惯性原理及其相关的对称性在物理学中一直起着极其重要的作用:定义物理量、引进物理规律的基准,说到底都离不开相对性原理及其对称性。在牛顿力学中,伽利略相对性原理和伽利略不变性是定义力学量、引进力学规律的基准。麦克斯韦电磁理论不具有伽利略不变性,与伽利略相对性原理冲突;坚持相对性原理,把伽利略不变性代之以庞加莱不变性,与电磁现象有关的物理量和物理规律才重新具有对称性的基准。同时,以伽利略不变性为依据的牛顿力学的力学量和力学规律也必须代之以庞加莱不变性为依据的狭义相对论的力学量和力学规律。

现在,观测宇宙在加速膨胀、渐近于德西特时空。这一渐近行为使得以庞加莱不变性为依据的物理量和物理规律在大尺度上失去对称性的依据;同时,在爱因斯坦相对论体系中,德西特时空又带来一系列疑难。失去基准,其实就是物理学所面临困境的实质。

陆启铿提出的相对性原理和具有德西特不变性的(狭义)相对论,使得我们在大尺度上重新具有定义物理量、引进物理规律的基准和对称性依据。

事实上,常曲率时空惯性原理的提出、以及这个原理的局域化,为我们展示了一条具有历史渊源和发展前景的途径:借鉴“舟行不觉”的天才思想,继承近代科学由哥白尼、伽利略开创的传统,汲取洛伦兹、庞加莱,特别是爱因斯坦思想的精髓,并进一步发展和深化。这是一条以最大对称空间-时间中的惯性运动、相对性原理及其局域化为主线的途径。

作者感谢陆启铿、常哲、戴念祖、杜孟利、黄超光、范岱年、马建平、田雨、王垂林、王世坤、吴可、吴小宁、徐湛、赵维勤、周彬、朱传界和邹振隆等教授、博士的有意义的讨论和有价值的合作。本工作得到国家自然科学基金项目(10375087 和 90503002)的部分资助。

(中国科学院理论物理研究所 100080)

现代物理知识