

# 关于宇宙学常数问题的知识要点和几点思考

章德海 孙成一

大爆炸宇宙学告诉我们,宇宙正在膨胀。如果我们的宇宙主要包含的是基本粒子型物质,那么宇宙将是减速膨胀。但是,对于今天我们观测到的宇宙来说,发现它在最近过去的几十亿年间却在加速膨胀!这预示着,宇宙中的主要能量形态不是基本粒子型物质,而是某种新的能量形态。对这种“新的”能量形态,其实科学家早有察觉和分析。它的最简单的可能性就是宇宙学常数。然而宇宙学常数的物理本质和内容却并不简单。这篇短文,就是主要介绍了宇宙学常数的|些基本知识和我们对它的|些思考。

爱因斯坦方程中最自然出现的一项是宇宙学常数(简称  $\Lambda$ )项, $\Lambda$  的值任意。

$\Lambda$  的值设定了一个尺度。这个尺度与宇宙学常数平方根成反比。宇宙的可视尺度不可能比这个尺度大,它设置了宇宙的视界。尽管宇宙的不可观测部分也许比视界更大得多。

因为可视宇宙已经很大,所以宇宙学常数必然很小。

此值其实一度怀疑为零,但是没有任何物理原理保证它为零。如果像特霍夫特(Gerardus 't Hooft)建议的那样,度规反号是爱因斯坦场方程的一个对称性的话,它固然可以使  $\Lambda$  为零,但也使一切势能和真空破缺能为零,这肯定是不真实的。

相反,现有实验观测,例如远距离超新星比预期黯淡和宇宙微波背景显示出宇宙的平直性,都已确切表明,宇宙学常数的确不为零。但是以自然单位(普朗克能标)量度它却是非常之小,而且其数值正好与当今宇宙物质密度同量级(两倍左右)。也就是说,我们今天看得见的宇宙尺度正好就在  $\Lambda$  决定的尺度上。

爱因斯坦方程中的另一项,能量动量张量项,其量子平均(称为“真空能”)自然贡献了同爱因斯坦方程中宇宙学常数  $\Lambda$ (称为“裸  $\Lambda$ ”)一样的一项。

量子真空能是真切的,不是虚构的,例如兰姆位移的能级差,它同样通过质能转换成为引力质量。卡西米尔效应(Casimir effect)也是真空能显现的强有力例证。用这些实验上已证实的真空能去估算能量动量张量项的量子平均贡献,数值将极为巨大,远远超过宇宙学观测实验值。虚粒子也有引力质量(即费米思考)。那么这个引力质量到哪里去了呢?

实际观测到的  $\Lambda$  只是裸  $\Lambda$  与量子真空能之和,即“有效  $\Lambda$ ”。因此必然在裸  $\Lambda$  和真空能之间有强烈抵消,使有效  $\Lambda$  很小。

量子真空能的来源多种多样,真空也会发生多次破缺(例如弱电破缺、QCD 手征破缺),因此抵消项的来源具有多样性,其抵消具有极大随机性,理论上难以找到使多种因素通过某种强烈抵消机制而最终达到精细调节的理由。

以上思考构成宇宙学常数问题,即为什么  $\Lambda$  那么小(why not zero 问题)?为什么  $\Lambda$ (它不变)正好与当今物质密度(它一直在迅速变小)同量级(why now 问题)?这是广义相对论和量子理论框架内必然遇到的固有问题。这不是一个人为制造的问题。

但是一种新提法,“暗能量”问题,却有一定人为成分。例如,金字塔是古埃及人建造的,但是有人却希望把问题扩大化,要千方百计考证它是否是由外星人建造的?

因此“宇宙学常数问题”和“暗能量问题”的提法在含义上有很大区别。一个确认既有理论的不可回避的问题,另一个扩大了问题,假想了一些相当奇妙的新对象。

“暗能量”主要假设一种(当然也可多种)标量场在宇宙时间尺度上缓慢变化。从所有现今所做的数据拟合来看,它们都必须假设无限将来有效宇宙学常数为零,否则拟合参数过多、范围太广,给不出任何有意义的数据来。

但这样做在实验上根本排除不了无限将来有效宇宙学常数仍不为零的可能,例如真实的有效  $\Lambda$  比现有人们认可值小几个量级。于是问题的本质是,既然将来有效宇宙学常数并不一定为零,这同样需要加以解释,那么还不如相信现在的有效宇宙学常数不为零来得逻辑简单。

暗能量假设了一些标量场在全宇宙是均匀不变的,在宇宙时间尺度上变化是缓慢的,多半要求极小的粒子质量(或等效质量),极易导致等价原理的破坏和第五种力的存在。而等价原理是被高精度实验

# 对称与不对称, 哪个更根本

耿 建

## 一、物理学中的对称及启示

对称就是指物体相同部分有规律的重复。对称变换亦称对称操作, 是指使对称物体(或图形)中的各个相同部分, 作有规律重复的变换动作。德国女数学家艾米·诺特(Emmy Noether, 1882~1935)指出: 如果运动规律在某一变换下具有不变性, 必然存在一个对应的守恒定律。

爱因斯坦建立狭义相对论的开创

性论文《论动体的电动力学》开头是这样写的: 大家知道, 麦克斯韦电动力学(像现在通常为人们所理解的那样)在用于运动物体时, 就要引起一些不对称, 而这种不对称似乎不是现象所固有的。他这里所说的不对称, 指的是闭合导体(如螺线管)相对磁体运动时, 若磁体运动螺线管不动, 则螺线管中产生的感



应电流是涡旋电场作用的结果; 若磁体不动、螺线管运动, 则螺线管中的产生感应电流是洛伦兹力作用的结果。前者是感生电动势、后者是动生电动势, 从经典电动力学的观点来看, 二者的产生机制完全不同。而从相对运动角度来看, 又是不应该的。正是基于这种考虑, 爱因斯坦力图彻底改造整个经典物理学的框架结构, 导致狭义相对论这一经典物理学宏

伟蓝图上的最后一章成为经典物理的集大成之作。显然, 对称性考虑在爱因斯坦建立狭义相对论的道路上是一个重要突破点和路标。这也可看作诺特定理的典型例证。

## 二、对称性与守恒定律

物理规律对称性指的是某一变换下物理规律保

验证了的, 目前没有第五种长程力的任何证据。极小质量粒子在空间中是容易激发的, 至少可能造成像引力波辐射那样的能量辐射, 但在脉冲双星引力辐射中似乎没有发现额外损失。暗能量的假设长期忽视了小质量标量场在空间尺度上会发生变化可能造成的影响。既然它是个极小质量的场, 总是假定它在全空间均匀而不会振荡传播, 这在理论上并不成立。

“暗能量”方式解释当今宇宙加速膨胀, 几乎也无法避免使用精细调节参数手段的问题。同样无法解释 why now 问题。比起 cc 面临的问题, 它没有丝毫改进。

一种看法认为, 只要确切测出暗能量在时间上有变化, 那么它一定不是宇宙学常数, 必是新的标量场缓变行为。其实就是真空能也不一定绝对不变。例如, 四次偶势的自发破缺真空能量可被表达为粒子耦合常数和质量这两个参数的组合。既然粒子耦合常数和质量都可以跑动, 那么真空能也是可以跑动的, 也许只是很缓慢的对数跑动。宇宙膨胀和标量跑动之间肯定有着某种关联, 但是它们之间的关系目前尚不清楚。宇宙的特征能标是什么? 因此,

即使确切测出暗能量在时间上有细微变化(或者说, 态方程不绝对为  $-1$ ), 也不能排除有效 cc 的可能性。

弦理论的确导出极大数量的真空, 这些真空总体的能级间距极为密集, 但又被较高较厚的壁垒相互隔开(以致具有极长寿命), 这就是 Landscape 概念, 为有效 cc 的人择奠定了相当合理的理论基础。今天我们观测到的有效 cc 之所以小且与物质密度同量级, 是人择原因。

要想在弦理论中把众多因数合成的有效 cc 设为零, 并找到极小质量的标量粒子去解释“暗能量”, 反而是件非常困难的事情。

因此, 我们应该采用奥卡姆剃刀原理(即能用简单原理解释的现象, 就不要用复杂假设去解释它)删繁就简, 在没有彻底否定不为零有效宇宙学常数方案之前, 可以不必太费心思地去考虑那些过于离奇的假设。

(章德海, 北京市中国科学院研究生院 100049; 孙成一, 陕西省西安市西北大学现代物理研究所 710069)