

## 现代物理学基础的思考之四——《广义相对论的思考》

李学生 (Li Xuesheng)

山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员, 北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员

[xiandaiwulixue@21cn.com](mailto:xiandaiwulixue@21cn.com), [1922538071@qq.com](mailto:1922538071@qq.com)

**摘要 (Abstract):** 物理学是科学的基本学科。本文章分析探讨了现代物理学的重要问题, 广义相对论, 供参考。

[李学生 (Li Xuesheng). 现代物理学基础的思考之四——《广义相对论的思考》。 *Academ Arena* 2017;9(14s): 346-355]. (ISSN 1553-992X). <http://www.sciencepub.net/academia>. 8. doi:10.7537/marsaaj0914s1708.

**关键词 (Keywords):** 质点; 电荷; 引力; 电力; 空间; 方程; 量子力学; 广义相对论

(作者为中国科学院高能物理所研究员)

## 第五章 广义相对论的困难

## 1、Einstein 场方程的 Schwarzschild 局限

爱因斯坦晚年曾经说过:“我一直在怀疑这个公式仅仅是为了给广义相对性原理提供了一个初步的表述而采取的权宜之计”。理由是他的这一方程只是移植了黎曼几何方程的所谓的引力的时空曲率方程, 它本身不但没能将物质的时空弯曲曲率为什么单单具有椭圆坐标的度规特点, 而不是圆坐标、双曲坐标之度规特点的这样问题解释清楚; 而且它与狭义相对论方程的时空坐标之间也不存在任何可加推导的关联函数关系。

爱因斯坦用他的睿智建立了广义相对论,把引力场几何化(非欧伪黎曼空间),给出时间,空间和物质的统一理论,使物理学达到“完美化”,然而这个理论却把引力作用和其它三种作用:电磁作用,弱作用,强作用作了形式完全不同的表述。并且广义相对论本身还包含了巨大的困难。当把引力场几何化后,它的(引力场)几何方程中,有独立的 10 个时空对称曲率张量方程,一个物态方程。要满足 4 个独立的在坐标条件,4 个比安基恒等式,一个 4-速度条件:。这个欠定问题不能给出确定的时空几何和物质运动。即必须加入人为因素(如谐和参考系,物理参考系...)才能给出一些结果(如被称为严格解的 Schwarzschild 解)。广义相对论,尽管美侔绝伦,但存在多处内在的不协调的问题,这暗示着广义相对论只是一个低能有效理论。譬如:(1)爱因斯坦引力场方程与 Yang-Mills 方程形式太不相同。Yang-Mills 方程支配了四种基本力的三种(强、弱、电),但引力却例外;(2)在 Yang-Mills 理论中,仿射联络与动力学变量是同一个量,都是四维电磁势,但在爱因斯坦引力理论中,仿射联络是 Christoffel 符号,而动力学变量却是度规,两者不是同一个量;(3)在爱因斯坦引力场方程中,描述引力的物理量是曲率,可是这个曲率(局域 Lorentz 群规范场张量)的源却是能量-动量张量(局域时空平移对称性的奈特流),搭配不当。局域时空平移对称性的变量出现了,就是度规,可是其规范场张量(挠率)却不出现。局域 Lorentz 群规范场张量出现了,但其仿射联络(自旋联络)和奈特流(自旋密度张量)却不出现。总之,对称性与守恒流不是一道出现;(4)爱因斯坦引力场方程还有一颗赘瘤,即具有质量量纲为-2 的引力常数,而 Yang-Mills 方程无有量纲的耦合系数出现,后者才令人满意;(5)依据理论,将有巨大的量子真空零点涨落能量密度所导致的引力效应,但实际上测量到的引力效应却比理论预言小 120 个数量级。这些都说明爱因斯坦引力背后还隐藏着一个更基本的理论。

“奇点”的存在:相对论的引力场方程为: 
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

这个方程是高度非线性的,一般不能严格求解。只有在对时空度规附加一些对称性或其他要求下,使方程大大简化,才有可能求出一些严格解。

在引力场球对称的假定下,可以得到方程的史瓦西解:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2MG}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{2MG}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)$$

度规在  $r=2MG/c^2$  和  $r=0$  处奇异(趋于无穷大)。但是,  $r=2MG/c^2$  处的奇异是由于坐标系带来的,可以通过适当的坐标系变换来避免。  $r=0$  处的奇点是本质的。在奇点上,时空曲率和物质密度都趋于无穷大,时空流形达到尽头。不仅在宇宙模型中起始的奇点是这样,在星体中引力坍缩终止的奇点也是这样,无穷大的出现显然是广义相对论的重大缺陷。

另外，对于广义相对论的数学形式复杂性，世界著名物理学家波恩说：“它的形式复杂得可怕”。

广义相对论有三点困难：

1、引力场的量子化至今尚未解决，如使引力场与描述其它相互作用的规范场的统一尚未做到。

2、彭罗斯和霍金提出的奇性定理，产生有奇性困难，如时间有开始与终结。奇性不可避免暗示着，广义相对论存在某些不自洽。难怪著名学者席阿玛(D.w. Sciama)指出：“我们面临着理论物理的危机。或者经典广义相对论要破坏，或者存在着等效的负能密度，或者因果性不再成立。或者在自然界中存在奇性。”伯格曼(P.G. Bergmann)也指出：“膨胀宇宙极早期存在奇性。这是现有理论观念并不适合于极高密度物质的一个讯号。”(《宇宙学作为科学》，1971)

3、相对论与热力学的不协调。如整个物理学、天文学中只有广义相对论中的时空是弯曲的，但它没有考虑时间方向性。量子理论同样也没有考虑时间方向性问题。热力学是物理学中唯一考虑时间方向性的一个分支，认为真实的物理过程不应该处在绝对零度，但它没有考虑时空弯曲的特性。

Einstein 和 D. 希耳伯特几乎同时在 1915 年得到了完整的引力场方程。方程左边是描述引力场的时空几何量，右边是作为引力场源的物质能量动量张量。显然，这个方程反映了 Einstein 的马赫原理的思想。谈到广义相对论时，Einstein 说：“这理论主要吸引人的地方在于逻辑上的完备性。从它推出的许多结论中，只要有一个被证明是错误的，它就必须被抛弃；要对它进行修改而不摧毁其整个结构，那似乎是不可能的。”广义相对论不可能是物理理论的终结，寻求一个包含广义相对论基本特点的更普遍的理论，是一种合乎逻辑和经验的努力。为了描述时空中某点的弯曲，Einstein 的广义相对论需要有 20 个坐标的函数来描写。“在解 Einstein 引力场方程中，存在着数学上的困难。Einstein 的引力度规张量  $g_{\mu\nu}$  所满足的场方程是一组 10 个二阶非线性偏微分方程。除个别例子外，这种非线性偏微分方程的解在满足初始或边界条件之后的唯一性，在数学上还没有得到证明……因此，在物理学中遇到一些非线性偏微分方程只能用实验来检验接的正确性。”另外，“在 Einstein 场方程解中存在着解的不确定性。Einstein 的度规张量  $g_{\mu\nu}$  共有 10 个分量，满足上面提到的 10 个分量场方程。但在这 10 个偏微分方程中存在着 Bianchi 恒等式的 4 个偏微分关系。也就是说， $g_{\mu\nu}$  的 10 个分量只满足 6 个独立的方程，因此它们的解是不确定的。”

Schwarzschild 时空和 Robertson-Walker 时空的度规分别为(设光速  $c=1$ )， $-d\tau^2 = -(1+2\phi)dt^2 + (1+2\phi) - 1dr^2 + r^2d\theta^2 + r^2\sin^2\theta d\varphi^2$  (1)

$$-d\tau^2 = -dr^2 + R^2(t)[dr^2/(1-kr^2) + r^2d\theta^2 + r^2\sin^2\theta d\varphi^2] \quad (2)$$

在 Schwarzschild 时空中只有球心这一个点是球对称的，而 Robertson-Walker 时空的每一个点都是球对称的。那么，诞生于 Schwarzschild 时空的 Einstein 场方程适用于 Robertson-Walker 宇宙吗？先回顾 Einstein 场方程的“推导”过程<sup>[1]</sup>。

非相对论物质  $\rho$  所产生的“弱的定态场”的度规的时时分量近似为  $g_{00} = -(1+2\phi)$ ，(3)，其中牛顿势  $\phi$  决定于 Poisson 方程  $\nabla^2\phi = 4\pi G\rho$ ，而非相对论性物质的能量密度  $\rho \sim T_{00}$ ，于是得到  $\nabla^2 g_{00} = -8\pi G\rho = -8\pi GT_{00}$ ，(4)

这启发人们猜测对于一般的能动张量  $T_{\alpha\beta}$ ，弱场方程取如下形式  $G_{\alpha\beta} = -8\pi GT_{\alpha\beta}$ ，(5)， $G_{\alpha\beta}$  是度规和它的一阶及二阶导数的线性组合，于是由等效原理推得，支配任意强度的引力场的方程即 Einstein 场方程为  $G_{\mu\nu} = -8\pi GT_{\mu\nu}$ ，(6)，其中： $G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}R/2$ ， $R = g^{\lambda\nu}g^{\mu\kappa}R_{\lambda\mu\nu\kappa}$ 。

$G_{\mu\nu}$  有五个性质：1、 $G_{\mu\nu}$  是一个张量；2、 $G_{\mu\nu}$  由总阶数为 2 的度规的导数组成，这样引力场方程才是均匀的；3、 $T_{\mu\nu}$  是对称的  $G_{\mu\nu}$  也是对称的；4、 $T_{\mu\nu}$  是守恒的  $G_{\mu\nu}$  也是守恒的；5、对非相对论物质产生的弱的定态场， $G_{00} \approx \nabla^2 g_{00}$ 。——引进  $\lambda$  后条件 2 和 5 就难以严格满足了， $\lambda$  破坏了场方程的简谐。

在 Robertson-Walker 度规中  $g_{00} = 1$ 、 $\phi = 0$ ，所以有  $\nabla^2 g_{00} = -2\nabla^2\phi = 0$ 。(7)

这就是“宇宙(在理论上)是动态的”的根源。在 Robertson-Walker 宇宙近似有

$$G_{00} = (\partial^2 g^{\mu\nu}/\partial t^2 + \nabla^2 g_{00}) = -8\pi G\rho \quad (8)$$

若不考虑式(7)所表述的 Robertson-Walker 度规的特征，而是在形式上认为根据式(4)可将式(8)的中式的  $\nabla^2 g_{00}$  与右式的  $-8\pi G\rho$  相抵消，则自然得到  $\partial^2 g^{\mu\nu}/\partial t^2 = 0$ ，(9)，即宇宙是静态的。 $\nabla^2 g_{00} = -8\pi G\rho$  是在“推导”Einstein 场方程时不分时空强行要求的，从这一点来看，并不是由 Einstein 场方程推导出 Robertson-Walker 宇宙是动态的，而是在导出 Einstein 场方程之前就已先验“假设”的。

Schwarzschild 时空是二维最大对称的，Robertson-Walker 时空是三维最大对称的，Einstein 宇宙是四维最大对称的。四维最大对称宇宙的能动张量必取四维最大对称形式——常数  $g_{\mu\nu}$ 。Einstein 引入宇宙常数  $\lambda$  之后人们才提出 Schwarzschild、Robertson-Walker 度规形式，所以不能不顾历史条件苛求 Einstein 考虑 Einstein 场方程的 Schwarzschild 局限问题。

## 2、宇宙常数问题的提出

Einstein 曾多次表示, 他的理论绝不是完美无缺的终极理论, 它们将来一定会被其他更完善的理论来代替。当年还是无名小卒的罗素将“理发师悖论”论文寄给德国著名逻辑学家特洛伯。弗理兹, 此时特洛伯。弗理兹已完成他的最重要著作《算法基础》, 自认可以作为整个数学的基础, 准备付印。看完罗素信特洛伯。弗理兹一声长叹, 便在书的最后加上一段话: “一个科学家所遇到的最不合心意的事, 莫过于在他的工作即将结束时发现其基础崩溃了, 我把罗素的来信发表如下……”

1916年, Einstein 在分析宇宙时发现, 根据广义相对论, 宇宙是不平衡的, 它要么是膨胀, 要么是收缩。如果仅仅存在万有引力, 那么星系之间应吸引而相互靠近, 宇宙应是在收缩。为了使宇宙趋于平衡而完美, Einstein 给宇宙方程加了一个常数。

1917年, Einstein 提出, 宇宙间存在一种与万有引力相反的力量, 使所有星系保持一定距离, 这样宇宙才不会因星体间的万有引力而不断收缩。Einstein 认为这种与万有引力相反的力量是恒久不变的, 称之为“宇宙常数”。Einstein 场方程为  $R_{\mu\nu} - 0.5g_{\mu\nu}R + \nu g_{\mu\nu} = -8\pi GT_{\mu\nu}$ ,  $\nu$  称为宇宙常数, 由于增加了  $\nu g_{\mu\nu}$  项, 该方程在稳态、弱场非相对论近似下, 回不到引力方程。因此只有假定  $\nu$  非常小, 在一般 space-time 范围与 Newton 引力势相比可以略去, 上面的场方程才可能成立。故  $\nu g_{\mu\nu}$  项, 只有 space-time 在宇宙级上才有显示。

上世纪中叶人们就试图对 Einstein 场方程进行修正。Brans 和 Dicke 认为标量场和引力场同样起作用, 正确的引力场方程应当是  $R^{\mu\nu} - g^{\mu\nu}R/2 = -8\pi (T^{\mu\nu} + T^{\phi\mu\nu}) / \phi$ , (1),  $\phi \sim 1/G$  是同宇宙的质量密度相联系的标量场,  $T^{\phi\mu\nu}$  是包含  $\phi$  场的能动张量。另一种简洁的方式是把 Einstein 方程等价地写成  $R^{(1)\mu\nu} - \eta_{\mu\nu}R^{(1)\lambda}/2 = -8\pi G (T_{\mu\nu} + t_{\mu\nu})$ , (2)  $t_{\mu\nu} \equiv (R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}R^{\lambda}/2 - R^{(1)\mu\nu} + \eta_{\mu\nu}R^{(1)\lambda}/2)$ ,  $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$

$R^{(1)}$  是 Ricci 张量中与  $h_{\mu\nu}$  成线性的部分, 上式说明场  $h_{\mu\nu}$  是由总的能量和动量的密度和流产生的,  $t_{\mu\nu}$  只是引力场本身的能动张量。

以上修正未考虑不同时空形式下的修正。我们曾试图寻找 Einstein 场方程的一般形式, 它普适于 Schwarzschild 时空、Robertson-Walker 时空和四维最大对称时空, 但后来发现, Einstein 场方程可能是普适的, 问题在于  $\rho$ 。

当代著名的天体物理学家 F. Hoyle 等人强烈主张稳态的宇宙模型, 并作了许多工作。但如不从根本上找到 Newton 万有引力理论和 Einstein 广义相对论本身的缺陷, 则很难建立令人信服的稳态宇宙模型。【1】自从牛顿在《自然哲学的数学原理》中提出万有引力定律以来, 人们应用引力理论取得了许多成就, 也多次试图对该定律进行修正。如: 纽科 (Newcomo) 等人曾提出修正牛顿引力中的平方反比律【3】, Poincare 用推迟时  $t=r/c$  修正牛顿引力的瞬时超距作用【4】, Einstein 则对应提出广义相对论——引力理论, 至今, 许多人还在从事这方面工作, 吕家鸿应用相对论理论直接对牛顿万有引力定律进行修正【5】、【6】, 国外, 也有人试图从测量万有引力常数变化中, 找出第五种基本作用力【7】, [美]R.D. Newman 还通过实验提出系数公式  $G(r) = G_{\infty} (1 + \alpha e^{-r/\lambda})$  【8】。

$$G_{ij} - \Lambda g_{ij} = R_{ij} - \left( \frac{1}{2}R + \Lambda \right) g_{ij} = T_{ij}$$

牛顿理论导致其在宇宙论方面的困难, 按照牛顿的理论, 来自无限远处而终止于质量  $m$  的“力线”的数目与质量  $m$  成正比, 如果平均说来质量密度  $\rho$ , 在整个宇宙中是一个常数, 则体积为  $V$  的球, 即包含平均质量  $\rho V$ 。因此, 穿过球面  $F$  进入球内的力线数目与  $\rho V$  成正比, 对于单位球面积而言, 进入球内的力线就与  $\rho V/F$  或  $\rho R$  成正比, 因此, 随着球半径  $R$  的增长, 球面上的场强最终就变为无限大, 而这是不可能的【9】。Einstein 的广义相对论场方程如下:  $G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}$  (1),  $G_{\mu\nu}$  是描述时空几何特性的 Einstein 张量。  $T_{\mu\nu}$  是物质场的能量-动量张量。  $\Lambda g_{\mu\nu}$  是宇宙学项, 其中  $\Lambda$  被誉为宇宙学常数。  $\Lambda g_{\mu\nu}$  具有排斥力, 它是 Einstein 为了保持我们宇宙中引力和斥力的平衡后来才加进去的。为了便于分析,  $T_{\mu\nu}$  可分为下面三项:  $T_{\mu\nu} = T^1_{\mu\nu} + T^2_{\mu\nu} + T^3_{\mu\nu}$  (2)。

按照当今的较准确的观测和理论计算,  $T^1_{\mu\nu} \approx 4\% T_{\mu\nu}$ ,<sup>[3]</sup>  $T^1_{\mu\nu}$  代表可见的有引力的普通物质, 如星星星际间物质等。根据对许多星系旋转速度分布的观测和理论计算,  $T^2_{\mu\nu} \approx 22\% T_{\mu\nu}$ ,<sup>[3]</sup> i.e.  $T^2_{\mu\nu} \approx (5 \sim 6) T^1_{\mu\nu}$ 。  $T^2_{\mu\nu}$  代表有引力的不可见的暗物质。  $T^3_{\mu\nu} \approx 74\% T_{\mu\nu}$ ,<sup>[3]</sup> 它就是除  $(T^1_{\mu\nu} + T^2_{\mu\nu})$  之外的所谓的暗能量。暗能量与  $(T^1_{\mu\nu} + T^2_{\mu\nu})$  一起的总量必需品能保持我们宇宙的平直性和  $(\Omega \rightarrow 1)$ , 即  $\Omega = \rho_r / \rho_0 \approx 1$ 。因为 Guth 和

Linde 所提出的宇宙暴涨论的预言以及宇宙动力学均要求宇宙的平直性和  $\Omega = \rho_t / \rho_0 \approx 1$ , 也就是要求宇宙的实际密度  $\rho_t$  必须极为接近其临界密  $\rho_0$ 。近来, 许多较准确的观测已证实  $\Omega = 1.02 \pm 0.02$ , 而较好地符合理论的要求。当然, 这里所提到的暗能量是指具有有引力暗能量。

然而, 为了解释新近对遥远的 Ia 型超新星爆发所发现的宇宙的加速膨胀, 许多科学家提出了一些新理论。他们将  $(T^3_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu})$  合并到一起成为  $\Lambda g_{\mu\nu}$ , 认为  $\Lambda g_{\mu\nu}$  是  $(T^3_{\mu\nu} = 74\%T_{\mu\nu})$  而具有排斥力的未知的和神秘的暗能量。新理论最著名的代表是量子场论。在该理论中, 把  $(T^1_{\mu} + T^2_{\mu\nu} = 0)$  当作真空状态, 或者说是最底能量状态或量子场的基本态,<sup>[4]</sup> 也是微观宇宙的零点能。而将宇宙中  $(T^1_{\mu} + T^2_{\mu\nu} \neq 0)$  的宏观能量物质即普通物质作为量子场的激发态。对宇宙真空状态的观测到是非常符合于  $(T^1_{\mu\nu} + T^2_{\mu\nu}) = 0$ , 于是,  $\Lambda g_{\mu\nu}$  正好作为具有排斥力的  $T^3_{\mu\nu}$  的真空能。不幸的是, 按照量子场论所计算的  $\Lambda g_{\mu\nu}$  值比在真空中实际的观测值要大  $10^{120}$  倍。由于这种原因, 用量子场论来解 Einstein 的广义相对论场方程就会遇到无法克服的困难。很显然, 由量子场论所计算出来的如此庞大的真空能量值是无法保持宇宙的平直性和使张量  $G_{\mu\nu}$  在 Einstein 的广义相对论场方程中与实际的观测值相符合。量子场论似乎把真空能量当作“无限的免费午餐”。在宇宙中任何一点究竟储藏有多少真空能量和能被取出来多少? 为什么从真空中出来的负能量不和宇宙中现有的正能量发生湮灭? 如何使 74% 的具有负能的暗能量  $\Lambda g_{\mu\nu}$  保持宇宙的真实平直性? 用量子场论解决上述问题就难免不违反宇宙的根本规律—因果律。由此可见, 任何新理论, 包括量子场论在内, 如要恰当的解释我们宇宙的加速膨胀就必不可违反宇宙的平直性, 而且要使  $\Omega$  比当今的准确的观测值 ( $\Omega = 1.02 \pm 0.02$ ) 还要准确。

尽管希来哲对此困难进行修正, 但这些修正和复杂化, 既无经验根据亦无理论根据。Einstein 广义相对论在宇宙论方面的困难, 根据广义相对论可推出宇宙的空间尺度与宇宙的物质平均密度之间的简单关系为:

$$R^2 = \frac{2}{k\rho}$$

其中, 在 cm.g.s 制中, 得出  $2/k = 1.08 \times 10^{27}$ ;  $\rho$  是物质的平均密度,  $k$  是与牛顿引力常数有关的一个常数【10】。实际的平均宇宙密度, 无论怎么小, 都不可能为零, 因而  $R$  总是有限的, 无论宇宙是准球形, 还是准椭球形, 按此理论, 宇宙总是处于一个有限的空间, 对此, Einstein 曾说“要建立一个既反对‘灭绝论’, 又承认星体的速度很小的边界条件是不可能的”, 按 W. 泡利的说法“宇宙空间是有界的”【2】。

1976 奥哈尼安在他的书中说: “虽然这一项的本质是宇宙学的, 但这一项的起源要到量子理论而不是宇宙学中去寻找。正如我们看到的, 这一项能够被解释为真空的能量密度。【11】2001 年, 剑桥大学的天体物理学家迈克尔·墨菲领导的一个小组分析了几十亿光年外一些类星体的光谱, 发现其中金属元素谱线有微小变化。事实上, 宇宙学第一原理就已经指出, 在零阶近似上, 宇宙是处处相等的, 所以如果没有宇宙学常数, 那么任何地方都没有引力——但注意, 这是零阶近似。宇宙学上, 早期宇宙的微小量子涨落决定了现代宇宙在很大程度上是偏离零阶近似的。这个宇宙学的计算机模拟已经证明了这点。”

#### 参考文献:

- 1、何香涛, 乔戈, “霍伊尔和他的稳恒态宇宙”, 《自然辩证法研究》, Vol. 9, No. 1, 1993.(He Xiangtao, Qiao Ge, “Sir Fred Hoyle and His Theory of Steady State Universe”, Studies in Dialectics of Nature, Vol. 9, No. 1, 1993.)
- 2、W. 泡利, 《相对论》, 凌德洪, 周万生 译, 上海科学技术出版社, 1979。(W. Pauli, THEORY OF RELATIVITY, Pergamon Press, 1958。)
- 3、周培源, “论 Einstein 引力理论中坐标的物理意义及场方程的解”, 中国引力与相对论天体物理讨论会, 1981 年。
- 4、See, W. Deritter, Mon. Not. R. Astro. Soc. 71, 388 (1911)
- 5、吕家鸿, “对牛顿万有引力的一种可能的修正”, 《中国科技大学学报》, No. 1, 1984。
- 6、吕家鸿, “修正牛顿万有引力定律的哲学意义”, 《自然辩证法研究》, Vol. 2, No. 1, 1986。
- 7、A. P. French, 汪培伟译, “宇宙间第五种基本力”, 《世界科学》, No. 3, 1987 年。
- 8、R. D. Newman, Tests of the Gravitational Inverse Square Law on Laboratory Distance Scale, Presented at The third Marcel Grossman Meeting on Recent Development in General Relativity, Shanghai, China, September, 1982.
- 9、W. G. V. 罗瑟, 《相对论导论》, 岳曾元, 关德相 译, 科学出版社, 1980。(W. G. V. Rosser, AN INTRODUCTION TO THE THEORY OF RELATIVITY, Butterworths, London, 1971。)
- 10、A. Einstein, 《狭义与广义相对论浅说》, 杨润殷 译, 上海科技出版社, 1979。(Albert Einstein, RELATIVITY The Special and The General Theory, Methuen & Co. Ltd. London, 1955。)
- 11、Hans C Ohanian. Gravitation and Spacetime (1976) p270

### 3、现代物理学对于宇宙常数的认识

郭汉英先生说：“把可有可无的宇宙常数当作真空零点能密度---理论值比观测值大几十乃至一百二十多个量级，是典型的佯谬表现之一。但我们认为，这并不是 Einstein 的错误，更不是庞加莱的错误，进而是黎曼的错误。这只是人们在运用 Einstein 相对论中发生的错误。惯性原理及其发展存在两条不同的途径，如何更好地实现局域化、建立相应的引力理论，考虑一个以无量纲常数  $g$  表征引力强度的模型是合理的。精确宇宙学已经揭示、并将进一步证实：德西特相对论更好地描述我们的宇宙。”爱因斯坦的相对论是交换信息，德西特的相对论也是交换信息，并不等于我们真实的宇宙。

#### 1、德西特时空与大量子论

原始的德西特相对论或德西特时空，是荷兰天文学家威廉·德西特于 1917 年根据爱因斯坦方程式导出的。所以德西特应是爱因斯坦的学生。

对于全息概念来说，德西特时空比反德西特时空重要，原因就在于它拥有一个位于“无限”处的边界，这一点和我们的日常时空非常相似，也与庞加莱设计的有限而无界的宇宙模型相似。从实现全息性原理的反德西特/共形场理论说，1995 年科学家们引入的 D 膜，亦可称德西特空间；反 D 膜亦可称反德西特空间。全息论指出，我们周围的物理事件都可以完全通过定义在更低维世界的方程来说明。这是因为反德西特空间背景与共形场论的对偶性，在规范理论-引力等价性、规范理论-弦理论等价性、体积-边界面积对应等方面都能应用，也能联系非对易几何蕴涵着一类特殊的指数正规化方案，即导致非对易几何体系的世界熵远远小于通常几何体系的世界熵。

(1) 反德西特空间，即为点、线、面内空间，是可积的，因为点、线、面内空间与点、线、面外空间交接处趋于“超零”或“零点能”零，到这里是一个可积系统，它的任何动力学都可以有一个低一维的场论来实现。也就是说，由于反德西特空间的对称性，点、线、面内空间场论中的对称性，要大于原来点、线、面外空间的洛仑兹对称性，这个比较大一些的对称群叫做共形对称群。当然这能通过改变反德西特空间内部的几何来消除这个对称性，从而使得等价的场论没有共形对称性。这可叫新共形共形。如果把马尔代森那空间看作“点外空间”，一般“点外空间”或“点内空间”也可看作类似球体大量子论空间。反德西特空间，即“点内空间”是场论中的一种特殊的极限。“点内空间”的经典引力与量子涨落效应，其弦论的计算很复杂，计算只能在一个极限下作出。例如类似反德西特空间的宇宙质量轨道圆的暴涨速率，是光速的 8.88 倍，就是在一个极限下作出的。在这类极限下，“点内空间”过渡到一个新的时空，或叫做 pp 波背景，可精确地计算宇宙弦的多个态的谱，反映到对偶的场论中，我们可获得物质族质量谱计算中一些算子的反常标度指数。

(2) 把“点内空间”与“点外空间”的大量子论相对，与 D 膜和反 D 膜的大量子论相对映射，如果再把我们处在的“点外空间”看作是一个环量子膜，“点内空间”自然是一个反环量子膜；把环量子膜和反环量子膜，与 D 膜和反 D 膜的映射，并认为它们是等价的，那么，即使“点内空间”、“线内空间”，也是多维的，并能证明“线内空间”与 D 膜和反 D 膜可垂直。D 膜和反 D 膜充满了我们的三维空间，即“点外空间”，但可能和其余空间垂直，如与“点内空间”或“线内空间”垂直。这把“黎曼切口”连通处的“喉管”拉长，就可类似演示证明。以此为基础，加上宇宙暴胀光锥模型、真空撕裂质量轨道圆的物质族质量谱计算公式，我们生存的宇宙是可以精确计算的。这是把宇宙人择原理转换为宇宙人测原理的双向计算。

#### 2、从德西特大量子论到 D 膜与反 D 膜

因为最近几年引力理论的另一重大进展，是阿卡尼-海姆德等人及兰德尔和森德拉姆分别于 1998 年和 1999 年提出的膜 (brane) 世界绘景。在这一图像里，物理时空是高维的，宇宙是一个嵌入在这个高维时空中的三维膜。标准模型中的物质被禁闭在这一膜上，而引力可以在整个时空中传播。这一膜世界绘景对高能粒子物理、引力理论、宇宙学等具有深刻的影响，也是近几年引力和宇宙学界极其活跃的研究领域。D 膜，D 是 Dirichlet (狄利克雷) 的第一个字母，D 膜是超弦/M 理论组成部分，黏附其上的弦坐标满足垂直膜的狄利克雷边界条件。

D 膜的低能涨落，由超对称规范理论来描述；不稳定是与真空量子场起伏或涨落等价的，这就为刻画“虚质量粒子”的快子出场，打下基础。1982 年，印度物理学家森把广义相对论引力场方程表述成简单而精致的形式。1986 年，A.Ashstekar 研究了森提出的方程，认为该方程已经表述了广义相对论的核心内容。一年后，他给出了广义相对论新的流行形式，从而对于在 Planck 标度的空间时间几何量，可以进行具体计算，并作出精确的数量性预言。同年，T.Jacobson 和 L.Smolin 在此基础上求出 Wilson 圈解。此后，他们又找到了即使在圈相交情况下的更多解。1990 年代以来，基础物理理论和天文观测方面都取得了长足的进步。从 D 膜与反 D 膜到德西特时空与反德西特时空，人们发现引力不同于其他相互作用的最重要本质是它具有全息性。所谓的反德西特时空 (AdS) 就是一类全息原理能成立的具体例子。1997 年马尔代森那提出的反德西特/共形场

理论(AdS/CFT)对偶性,即一种 AdS 空间中的 IIB 型超弦及其边界上的共形场论之间的对偶性假设,这种对偶性对于建立量子场论和超弦/M 理论的统一,起作奠基性的作用,人们称为马尔代森那猜测。这一猜测说,AdS 空间上的弦理论或 M 理论与在此 AdS 空间边界上的共形场论等价。这个猜测对于我们世界的 Randall-Sundrum 膜模型的提出及霍金确立果壳中宇宙的思想,都有不少的启示。时至今日,马尔代森那的文章已成为弦论中引用率最高的文章。其实,马尔代森那猜测中的量子重力,就是弦论。他的猜测基于 1998 年前弦论中的许多重要发展,如 D 膜,用 D 膜构造的黑洞以及矩阵理论。标准模型中的物质被禁闭在这一膜上,而引力可以在整个时空中传播。

郭汉英先生的分析是: 1、对宇宙尺度的物理学,什么是定义物理量和引进物理规律的一致与自洽的基准?其重大发展离不开对这个问题的再认识。在牛顿力学中,惯性定律对于其他力学量和定律的定义及引进起到非常关键的基准作用。这个原理要求,在不同惯性系之间的伽利略变换下,力学规律不变。即伽利略惯性原理起着基准作用。而 Einstein 狭义相对论的基准,是具有庞加莱群——ISO(1,3)不变性的庞加莱惯性原理,具有惯性系的 4 维闵可夫斯基时空是平坦的。即 Einstein 放弃了惯性原理,以广义协变性原理和等效原理作为基本原理。相应的局域对称性是一般线性群 GL(4, R),或等价地,局域齐次洛伦兹群 SO(1,3),一般以它们作为定义物理量、引进物理规律的基准。而在量子力学和量子场论中,惯性原理及其对称性的作用似乎不那么直接和明显。由于庞加莱群和(局域)齐次洛伦兹群不同,Einstein 一直没有意识到,局域平移对称性在广义相对论中的丢失,引力可否忽略的物理基准就不完全相同。2、从原理上解决问题,以陆启铿为首的学者指出,应该存在三种狭义相对论:Einstein 狭义相对论的闵氏时空,宇宙学内涵是平庸的,不能反映宇宙常数所表征的特征。德西特狭义相对论把作为真空的德西特时空的半径 R 与宇宙常数相联系,其宇宙学内涵为具有非引力视界熵的加速膨胀的 3 维球面,曲率极小,为宇宙常数量级。反德西特狭义相对论在常曲率为负的反德西特时空上,同样包含曲率半径,但相应的宇宙常数为负;其宇宙学内涵是震荡的 3 维罗巴切夫斯基空间,没有视界和熵。于是应有三种引力理论,即局域庞加莱、局域德西特与局域反德西特不变的引力理论。这样,惯性原理及其对称性,以及局域惯性原理及其局域对称性,分别作为不存在或存在引力的物理基准,在对称性及其局域化的意义上是一致的。在三种相对论中,即三种狭义相对论及其局域化的引力理论之中,应有一种描述真实宇宙。真实宇宙的宇宙常数为正、具有熵,因而必然选择德西特相对论。观测表明确实如此:宇宙在加速膨胀,宇宙常数对暗能量密度起主导作用;这样,宇宙不仅必然渐近于德西特时空,而且大致是加速膨胀着的 3 维球面,不过半径很大、曲率在宇宙常数的量级。这也不与现有观测事实冲突。

3、从伽利略惯性原理到庞加莱惯性原理是怎么回事呢?郭汉英先生的分析是: 1630 年代伽利略利用著名的伽利略大船主舱内乘客,无法断定大船的静动,驳斥托勒玫学说维护者对哥白尼的非难,对他命名的相对性原理给出了最初的表述。后人总结出伽利略惯性原理,牛顿定律在伽利略变换下不变的基准上建立了体系。这里,我们假定把牛顿定律体系、伽利略变换下不变基准,称为“点外空间”球或德西特时空球,那么法拉第、麦克斯韦电磁学理论中出现的真空光速 c,确定了点外空间球或德西特时空球的一处边界,接近这一处边界就会与伽利略惯性原理冲突。发现这个秘密的起因是,人们以为法拉第、麦克斯韦电磁学理论只对充满“以太”的绝对空间静止的惯性系才严格成立---尽管这会失去惯性原理,但“以太漂移”的零结果挑战了伽利略变换下不变基准。这样,惯性原理仍然是物理学的基准,但对称性必须改变为庞加莱不变性,后者包括真空中光速 c 这一普通常数。郭汉英先生的《我们的宇宙与德西特相对论》是一篇挑战文章,挑战的是爱因斯坦。他认为,1990 年代末以来,人们发现宇宙在加速膨胀;暗能量和暗物质在宇宙演化中起主导作用,于是以爱因斯坦相对论为基础的物理论学和宇宙论,不得不面对越来越精确、丰富的天文观测数据的检验和挑战。精确宇宙学揭示,宇宙尺度的物理学应以极小的正宇宙常数为标志。较之爱因斯坦相对论,德西特相对论,包括德西特狭义相对论和以其局域化为基础的德西特引力,才能更好地反映这一特征。即宇宙并不渐近于闵氏时空,而很可能渐近于宇宙常数为正的 4 维常曲率时空,即德西特时空。郭汉英先生说,跨越爱因斯坦的一条途径是,从伽利略相对性原理到庞加莱相对性原理,发展为常曲率时空的惯性原理,描述引力相互作用,并与宇宙相联系,应考虑惯性原理及其对称性的局域化,这就应该有三种狭义相对论及其局域化。其方法是,应将惯性原理从 10 个参数的庞加莱对称性扩展到同样具有 10 个参数的德西特和反德西特对称性,在德西特与反德西特这两种常曲率时空中建立狭义相对论;除了真空中的光速 c 之外,曲率半径 R 也是普通常数。这三种对称性共同具有齐次洛伦兹群对称性,可以通过惯性运动之间的其他变换相互联系,分别具有不同的“平移”。这里对于德西特和反德西特狭义相对论,如果把曲率半径 R 直接与宇宙常数相联系,正或负的宇宙常数作为基本普通常数,就可在原理的意义上引进。通过改变同时性,从坐标同时性改为固有时同时性,就分别得到它们的宇宙学内涵:宇宙常数为正、具有非引力视界熵的加速膨胀的 3 维球面,半径极大、

曲率极小；或宇宙常数为负、没有视界、没有熵的震荡的3维罗巴切夫斯基空间。同时，宇宙常数的起源问题，就并非在闵氏时空中的真空能密度，而是与牛顿引力常数  $G$ 、光速  $c$  和普朗克常数  $h$  的起源一样，由这些常数可以构成一个无量纲常数  $g$ ，其平方即普朗克尺度的平方与宇宙常数之积，恰恰为 10 的-122 次方。这样，演化的宇宙就不仅渐近于德西特宇宙，以其视界熵为熵界，而且应大致是一个加速膨胀的半径很大的3维球面，曲率在宇宙常数量级。后者不与观测事实冲突。由于真实宇宙的时间箭头趋向于德西特宇宙的宇宙时间轴，后者的方向就确定了；进而，通过变换同时性，将德西特宇宙时换到贝尔特拉米-克莱因坐标时，就可确定德西特时空中贝尔特拉米-克莱因惯性系的时间轴方向，这样，惯性系也就确定了。于是，宇宙的演化就确定了德西特狭义相对论中的惯性系和惯性运动。在这个意义上，演化的宇宙也就成为惯性运动的起源。所有其他具有惯性原理的运动学及其惯性系，都可以看成是德西特惯性系在光速  $c$  和半径  $R$  的不同极限下的退化，因此，作为德西特惯性系的退化情形，所有这些惯性系都可以间接地由宇宙演化所确定，从而也就绕开了所谓的“循环论证”。

郭汉英先生说：“德西特本人、泡利、薛定谔等都曾注意到这类坐标系，但却错过了发现德西特与反德西特惯性原理的机会。”郭汉英先生说，在欧氏几何、黎曼球几何与罗巴切夫斯基伪球几何等这些几何中，都有点、直线、度量，各自在笛卡儿或贝尔特拉米-克莱因坐标系中，度量的测地线就是直线；这些性质在各自变换群的线性变换或分式线性变换下不变。对于4维情形，它们在物理上分别对应于闵氏时空、德西特时空与反德西特时空；其中都有事件、直的世界线、具有物理号差的度量，在相应的闵氏坐标系或贝尔特拉米-克莱因坐标系中，度量的测地线就是直的世界线；同样，这些性质在庞加莱群的线性变换、德西特群与反德西特群的分式线性变换等各自变换群的变换下不变。在爱因斯坦狭义相对论中，沿着直的世界线的运动是惯性运动，相应的坐标系是惯性系。那么，在德西特时空与反德西特时空中，沿着直的世界线的运动也应该是惯性运动，相应的坐标系也应该是惯性系。

如果说闵氏时空、德西特时空与反德西特时空的惯性原理和坐标系的选择有关，欧氏几何、黎曼球几何与罗巴切夫斯基伪球几何的宇宙描述和笛卡儿坐标系、闵氏坐标系或贝尔特拉米-克莱因坐标系的发现密切相关，那么永动的宇宙没有中心、没有静止的全动坐标系，并没有被它们掌握。目前除三旋坐标系外，所有的坐标系都还带有割不断的静止的直线，或静止的点、度量的“尾巴”。轻松跨越爱因斯坦的密码，是否就在无静止的直线，或静止的点、度量“尾巴”的坐标系呢？第三次超弦革命还在风暴的洗礼之中，时间会有评论。

#### 4、广义相对论与宇宙学原理之间的不协调性浅议

根据对 Seeliger 佯谬的讨论我们可以看到，如果宇宙学原理假设成立，宇宙中物质是均匀分布，则在宇宙中任意一个空间点都不应当存在引力场。我们还可以换个角度来讨论这个问题：如果宇宙中引力场不为0，则根据宇宙学原理，引力场至少应当是均匀的。因为引力场是一个矢量场，如果宇宙中存在有均匀的引力场，则宇宙就不可能是各向同性。因为引力场的矢量方向就是一个特殊的方向。因此如果宇宙学原理成立，宇宙中任意一个空间点都不应当存在有强度不为0的引力场。

在没有引力场存在的宇宙空间中，均匀分布物质的运动和演化应当如同理想气体。因此有学者提出，可以把星系看成是这个宇宙理想气体中的分子，以此来说明宇宙学原理的正确性。均匀分布的理想气体的运动和演化主要因素应当是理想气体的温度和压力。然而即使在标准宇宙学模型中，宇宙学家也认为，在宇宙演化的现阶段，宇宙中物质主要是以非辐射的状态存在，宇宙学方程中压力项应当为0。

实际上宇宙中的星系是在星系团的引力场中运动，不像理想气体中的分子运动是随机的，分子运动的变化是由分子之间的随机碰撞引起的，和引力场无关。而宇宙中物质不均匀分布的成团结构是和宇宙空间中的引力场分布联系在一起。和理想气体中物质密度起伏分布的成因完全不是一回事。因此通过把星系看成是理想气体中的分子来说明宇宙学原理的正确性是没有意义，也是不合理的。

要用广义相对论引力理论研究讨论宇宙中不均匀分布物质的运动和演化，就必须抛弃不合理的‘宇宙中物质是均匀分布’的宇宙学原理假设。代之以‘球对称引力场’的假设。因为宇宙中物质的分布存在有不同层次的成团结构，在这些成团结构中物质的分布基本上是球对称的，因此，由这样球对称分布的物质产生的引力场也应当是球对称的。由此可见俞允强教授‘球对称引力场’的假设要比宇宙学原理的均匀分布假设更符合宇宙物质分布的客观实际。要用广义相对论引力理论来研究宇宙中物质的运动和演化，必须采用俞允强教授的‘球对称引力场’假设来代替爱因斯坦不合理的宇宙学原理假设。只有这样才能对宇宙中物质的运动和演化得到符合客观实际的合理结果。

在实际宇宙中，‘球对称引力场’假设只适用于一个有限的区域。对宇宙中不同尺度层次的成团结构，存在有不同尺度的‘球对称引力场’。这种情况并不能说明‘球对称引力场’假设不适合宇宙学研究。正好相反，它符合广义相对论引力理论只能用于局部有限区域的要求。俞允强教授的具体计算结果表明，在一般

情况下，用牛顿力学进行计算可以得到精度极高和广义相对论一致的结果。由此可见，广义相对论引力理论并没有否定牛顿引力理论的正确性。牛顿力学是广义相对论精度极高的近似，这一点理论物理学家李森先生也承认。但是在宇宙学原理假设下，无法直接从广义相对论引力方程得到这个结论。只有在‘球对称引力场’假设下，才能从广义相对论引力方程得到这个结论。

爱因斯坦深受马赫“任何运动都是相对的”观点的影响。为了取消狭义相对论中惯性运动与惯性参考系的特殊地位，他提出广义相对性原理，要求“物理学定律具有对于无论以什么方式运动的参考系都成立的性质”。“普遍的自然规律是由对一切坐标系都有效的方

程来表述的；也就是说，对于无论那种(坐标)代换都是协变的(广义协变)。”(《广义相对论的基础》，1916)其实，自然规律的广义协变与任何运动的相对性是两个不同的概念。具体的运动过程，除了运动规律之外，还要有其他条件。如边界条件、初始条件等。后者往往不可能做到广义协变。因而，即使自然规律具有广义协变性。也并不意味着任何运动之间的相对性。不仅如此，很快就有人指出，自然规律的“广义协变”在数学上并没有什么意义，任何在特殊坐标中的物理定律，都可以在局部写为广义协变、或者与坐标无关的几何形式。嘉当(E.Cartan)指出。牛顿引力理论也可以几何化。后来。爱因斯坦的表述也有所改变，他提出在广义协变形式下的“简单性”要求：“自然定律应该表述为在连续坐标变换群下协变的方程。这个群替代了狭义相对论中的洛伦兹变换群，后者形成前者的一个子群。”“当然。这一要求自身作为导出物理的基本观念的出发点并不充分……广义相对性原理突出的启发式的意义在于它导致我们去寻求在广义协变形式下尽可能简单的方程组”。(《自述》1946。

在几何学中，点是没有大小，而只有位置差别的抽象概念。但一个点的位置只有在与其他点的相互关系中才能体现出来，而不能自己规定自己的位置，通常把一个点放到一个坐标系中而得到点的位置。这就意味着点的外面还有他物与它对立，点具有边界，存在着内与外的对立。无论我们把奇点设想得多么特殊，它只要是一个点，它也同样存在着内与外的截然对立，它具有边界，而这个边界只有通过外在的空间来设定。正如德谟克里特的原子离不开虚空一样，虚空才能为原子设定边界，把一个原子与其他原子隔离开来，没有虚空，原子也不能存在。在大爆炸宇宙模型中，既然认为所有宇宙物质及时空都被包涵在奇点中，那么奇点作为包容一切的整体，在它外面就不存在着与它对立的“他物”，也不存在着虚无的空间来设定它的边界，那么所谓的“奇点”就不是一个“点”，宇宙作为包容一切的整体就不能作为一个“点”而存在。可见，当我们把奇点作为宇宙的开端时，在潜意识中，奇点还是悬置在牛顿的绝对空间中，正是外在的空间才使“奇点”成为一个点。

也有科学家否认奇点的存在，例如温伯格说：“一种可能性是，宇宙从来就没有真正达到过无限大密度状态。宇宙现在的膨胀可能开始于从前的一次收缩的末尾，当时的密度达到了一个非常高的，但仍然是有限的密度。”爱因斯坦认为，奇点的出现是广义相对论无限外推的结果，当宇宙物质的密度达到一定程度时，广义相对论的方程就已经不适用了，所以，奇点根本不存在。霍金在早期证明，只要广义相对论是正确的，奇点的存在就是不可避免的，但后来他把量子力学的不确定原理应用到大爆炸理论中，认为宇宙是从一个量子态自发创生出来的，从而否定了奇点的存在。在爱因斯坦的引力方程中，为了排除方程中无穷散发奇点问题，克鲁斯科提出了一个数学协变，将时空坐标 $(r, t)$ 变换到了一组没有物理意义的抽象坐标 $(u, v)$ ；这种变换不仅把散发奇点赶到别的地方 $(u, v)$ 宇宙的边缘，而且还变出了多重宇宙，变出了白洞和虫洞。紧靠参考系的选择就可以排除时空结构的散发奇点，这是对经典相对性原理的最大违背！

## 5、广义相对论的几个疑难问题

Einstein广义相对论深刻地揭示了时间、空间和运动物质之间内在关系。然而Einstein引力场方程的一些特殊引力场精确解中却存在不能消除的奇点，像具有球对称静态引力场Schwarzschild外部解及匀速转动引力场外部解[2]等。另外，用Einstein引力场方程处理宇宙演化解中，存在与直接观测到的质量密度相矛盾的结论，即质量缺失问题（也就是所谓的暗物质）。Penrose和Hawking认为只要关于物质、能量、以及因果性一些合理物理条件成立，在Einstein广义相对论中就不可避免存在着奇点。在这类奇点处，时空流行达到尽头，象在星体中引力坍缩终止于黑洞中心奇点就是这样的。由于不知道奇点所准循的规律，物理学、包括广义相对论将随着奇点出现而失效。一般认为出现这种运动终止于奇点现象反映了广义相对论引力场理论某种不完善，并不一定是客观世界所固有的。

1. 由于地球观察者与宇宙物质间存在相对运动速度，描述膨胀宇宙必须采用动态能量动量张量，不能采用静态能量动量张量。采用动态能量动量张量后的计算结果表明，爱因斯坦引力场方程不可能用来描述均匀且各向同性膨胀的宇宙，现代标准宇宙学面临基础缺失的危机。

2. 广义相对论：广义相对论在所有尺度上都是正确的吗？

3. 超弦理论最终可能会放弃时间和空间这两个概念。

4. 是否存在额外的时空维度？

对重力真正性质的研究也会带来这样的疑问：空间是否不仅仅限于我们能轻易观察到的四维，要确定这一点，我们可能首先要怀疑自然是否是自相矛盾的：我们是否应该接受这样的观点，即有两种力作用于两个不同的层面——重力作用于星系这个大层面，而其它三种力作用于原子的微小世界？统一场论会说这是一派胡言——肯定有一种方法将原子层面的三种力量与重力连接起来。这就将我们引向了一些线性理论学家对重力的解释，其中就包括其它维的空间，开始的宇宙线性理论模型将重力和其它三种力在复杂的 11 维宙中结合起来，在那个宇宙——也就是我们宇宙中——其中的 7 维隐藏在超乎想象的微小空间中，以至于我们无法觉察到，弄懂这些多维空间的一个办法是，想象一个蛛网的一根丝，用裸眼来看，这根细丝只是一维的，但在高倍放大镜下，它就分解成了一个有相当宽度、广度和深度的物体，线性理论学家说，我们之所以看不见其它维的空间，只是因为缺少能将它们分解的精密仪器。我们可能永远无法直接看到这些多维空间，但有了天文学家和粒子物理学家的仪器，也许可以找到它们存在的证据。在试图引申爱因斯坦理论和了解引力的量子性质时，粒子物理学家们假设存在着超出已知四维时空的高维时空。它们的存在对宇宙的诞生和演化具有隐含，可能会影响基本粒子的相互作用，并改变近距离时的引力。

高能与核物理在弦理论方面的研究表明有额外维。TeV 能级加速器和其他对撞机的实验，通过寻找两个加速的粒子（如 TeV 能级加速器的质子与反质子）在对撞中产生粒子时丢失的能量，来寻找额外维。

5. 什么是引力？

在爱因斯坦改进牛顿的理论时，他扩展了重力的概念，将巨大的重力场和以接近光速运动的物体都计算在内，这一扩展形成了著名的相对论和时空理论，但爱因斯坦的理论没有涉及极小领域的量子力学，因为重力在很小范围内可以忽略不计，而且还没有人对个别少量的重力进行过试验性的观察。然而，自然界也有重力被压迫在小物体之内的极端情况，比如说，在靠近黑洞中央的地方，大量物质被挤在量子大小的空间里，重力就在很小的距离内变得非常强，大爆炸时期混沌的初始宇宙中一定就是这种情况。黑洞在宇宙中普遍存在，可以探讨它们的巨大引力。早期宇宙中的强引力效应具有客观测到的重要性。爱因斯坦理论也应适用于这些情况，正像它适用于太阳系一样。完整的引力理论应该包括量子效应——爱因斯坦引力理论不包括——或不解释为什么它们不相关。高能核物理理论学家研究弦理论和额外维空间的可能性，有助于解释引力的量子方面。像在费米实验室（左图）TeV 能级加速器和 CERN 的 LHC 上开展的实验将能够在未来几年内对一些这样的思想进行检验。弦理论已经导致对黑洞的熵进行计算。

6. 为了能与地球近平直参考系中的实际测量结果进行比较，必须将弯曲时空中对引力问题的计算换算成用平直时空中的标准尺和标准钟（或局部惯性系的标准尺和标准钟）来计量。这在弯曲时空引力理论中被认为是基本原则，但目前广义相对论对具体问题计算的过程中却普遍地忽略了原则。采用标准尺和标准钟计算的结果表明，水星近日点进动是实际观察值的 4.8 倍，而且方向相反，雷达波延迟只是观察值的 53%，这样的结果显然是根本不可能的。因此广义相对论实际上并未得到实验证实，除非爱因斯坦引力场方程描述的已经是平直时空中的结果，不是弯曲时空中的结果，但这与爱因斯坦弯曲时空引力理论的前提相矛盾。

7. 美国宾夕法尼亚州大学的爱德华·吉南和弗兰克·马洛尼两位天文学家发现距我们 2000 光年的 DI 海格立斯双星的运动与相对论完全相悖，它们的质量都很大，分别为 4.5 和 5.2 个太阳质量，公转周期为 10.55 天，轨道偏心率 0.489 左右。据此，按相对论计算，其轨道应该有明显的最近点进动现象。然而事实上，当两星的其中之一运动到另一个星体之前并发生全食时，人们只观测到两次较明显的亮度衰变。天文学家根据时间建立了该双星的亮度曲线，计算出偏全食时间，并据此演绎出双星相应位置。鉴于 DI 海格立斯双星的观测已有 84 年的历史，人们拥有丰富的资料，经对 3000 多轨道进行详细分析，吉南和马洛尼两位天文学家计算出两星最近点进动仅为 0.64 度，而相对论理论推算的结果却是 2.34 度！

#### 作者 (Author):

李学生 (Li Xuesheng), 男, 山东大学副教授, 理论物理教师, 中国管理科学院学术委员会特约研究员、北京相对论研究联谊会会员, 中国民主同盟盟员, 中国科学院高能物理所研究员。2002 年撰写的论文《数学归纳法的拓广》在《济南教育学院学报》上发表, 2004 年 8 月撰写的理论物理学论文《引力质量与电磁质量之间的关系新探》在北京相对论研究联谊会第三届年会上发表, 得到了与会专家的初步认可; 2005 年 12 月至今我撰写的论文《现代理论物理学的九个问题》、《真空不空》、《以太的发展史》在《香港新科技杂志》上发表。2007 年在《格物》上发表论文《暗物质、暗能量和宇宙常数问题》; 2007 年 12 月在《新科技》(香港)杂志上发表论文《以太的发展史》; 2002 年在《山东师范大学学报(自然科学版)》教学

科研上发表《在物理教学中注意培养科学美的观念》；多篇有关文章在学术争鸣杂志 (Academia Arena, <http://www.sciencepub.net/academia>)上发表。 [xiandaiwulixue@21cn.com](mailto:xiandaiwulixue@21cn.com), [1922538071@qq.com](mailto:1922538071@qq.com)。

#### 主要深入理解阅读的部分文献:

1. [日] 浅野四郎 浅野诚一 著 师华译。《狭义相对论的新图示法——space-time 圆图法——》 高等教育出版社 1992 年版。
2. 《介质浮力存在的普遍性》 段灿光著 本文集。
3. 《没有太阳辐射, 大气将静止吗?》 段灿光著 本文集。
4. 《以太浮力论》 段灿光著 本文集。
5. 《再论以太浮力 —— 关于万有引力变化的讨论》 段灿光著 本文集。
6. Baidu. <http://www.baidu.com>. 2016.
7. Google. <http://www.google.com>. 2016.
8. H.C. 瓦尼安, R. 鲁菲尼, 引力与时空, 科学出版社, 北京, 2006, pp150-153。
9. Ma H, Cherng S. Nature of Life. Life Science Journal 2005;2(1):7 - 15.
10. Ma H. The Nature of Time and Space. Nature and science 2003;1(1):1-11. Nature and science 2007;5(1):81-96.
11. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>. 2015.
12. Wikipedia. The free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org>. 2015.
13. 狄拉克。《现代物理学参考资料》第 3 集[C]。科学出版社,1978.38。
14. 王存臻、严春友 著。《宇宙全息统一论》山东人民出版社 1995 年版。
15. 《彗星漫谈》 徐登里编著 32K、P107 1975 年 7 月科学出版社。
16. 《数学在天文学中的运用》 刘步林编著 32K、P316 1979 年 9 月科学出版社。
17. 《中国大百科全书·天文学》 主编: 张钰哲 1980 年 12 月中国大百科全书出版社。
18. 《哈雷彗星今昔》 张钰哲著 32K、P97 1982 年 3 月知识出版社。
19. 《天体力学浅谈》 [苏]尤·阿·里五波夫著, 李五行、陈晓中译 32K、P201 1984 年 11 月科学普及出版社。
20. 《地学基本数据手册》 主编: 张家诚, 副主编: 李文范 16K、P1377 1986 年 3 月海洋出版社。
21. 《彗星十讲》 胡中为、徐登里编著 32K、P158 1986 年 4 月科学出版社。
22. 《中国百科年鉴·1986》 1986 年 10 月中国大百科全书出版社。
23. 《简明天文学词典》 叶叔华主编 32K、P880 1986 年 12 月上海辞书出版社。
24. 《中国百科年鉴·1987》 1987 年 12 月中国大百科全书出版社。
25. 《哈雷彗星及彗星-地球关系》 天地生综合研究论文集 胡中为、阎林山 16K、P471. 1989 年 11 月中国科学技术出版社。
26. 1995 年 6 月 21 日 《中国青年报》。
27. 1997 年 12 月 19 日 《中国科学报》。
28. Einstein 著, 方在庆、韩文博、何维国 译。《Einstein 晚年文集》 海南出版社 2000 年 3 月第 1 版。

5/4/2017