

宇宙大爆炸理论

李学生

山东大学副教授，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

摘要：本文首先回顾了 Big Bang Cosmology 的起源，介绍了 Big Bang Cosmology 能够解释的实验现象，然后分析了 Big Bang Cosmology 理论的困难。[Academia Arena, 2010;2(2):1-22]. (ISSN 1553-992X).

关键词：微波背景辐射、频率红移、Big Bang Cosmology、暗物质、宇宙常数

一、Big Bang Cosmology 浅析

(一)、Big Bang Cosmology 的起源

人类社会发展的历史表明，科学发展的道路，从来都不是一帆风顺的，会碰到各式各样的困难和阻力。但是人类社会总要前进，我们从来都是在大风大浪中前进的，过去是这样，现在是这样，将来一定还是这样！

科学家试图用纯物理理论来解释宇宙起源，依赖于三个假设：用数学语言表达的自然定律可以解释一切现象；这些定律适用于一切时间、地点；基本的自然定律是简单的。

1543年哥白尼发表了《天体运行论》，认为太阳是宇宙中心，而地球只是一颗普通的行星，这样恒星的东升西落，行星的打圆圈的视运动都能解释了。他对宇宙分成若干天层；太阳静止于中心，挨着是水星天、金星天、带月亮的地球天、火星天、木星天、土星天和恒星天等。开普勒在弟谷观察的资料基础上，于1609年发表了《新天文学》一书，叙述了行星运动的两条定律。第一条定律提出所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上运行，太阳位于椭圆的一个焦点上。第二条定律指出每一颗行星的向径在相同时间里扫过的面积相等。后来又在《宇宙谐和论》中补充了第三定律，行星绕太阳公转的恒星周期平方和行星轨道半长径的立方成正比。为牛顿发现万有引力定律铺平了道路。牛顿从苹果落地事实启示联想到一个人站在山崖上，把一块石头轻轻地放开，石头会直落到地面，如果他用力把石头抛向远处，石头就会向前跑一段再成一个弧形落到地上。如果他用力更大，落下更远。若力足够大时，这就不会再落到地面上，而围绕地球公转起来。地球没有引力，该石头就会朝着他抛出的方向照直飞去。引力就像一头拿在小孩手中，一头拴着小石头的绳子一样，从小孩手中牵引着小石头转圈。这样只要证明地球对月球的吸引力确实就是月球绕地球运行所需的向心力。经过十几年的努力，终于找到计算引力的公式，后来跟力学三定律一起发表于《自然哲学的数学原理》一书中。牛顿

提出：物体的每个分子吸引其它分子，这个引力强度与其质量成正比和被吸引的分子之间的距离平方成反比。但牛顿无法解释星体为何一开始就作如此运动。因此，就把上帝作为第一推动者。天体为什么会按哥白尼体系运动，笛卡尔曾提出过以太旋涡理论。后来为康德与拉普拉斯吸收了牛顿引力理论构成旋涡星云演变说。1900年美国的钱伯林提出星子说，认为有一颗恒星运行到太阳附近，在太阳的正面和背面掀起两股巨大的潮，从太阳喷出的物质逐渐汇合成围绕太阳的气盘，并逐渐凝聚成行星和卫星。1916年英国金斯提出“潮汐说”，认为一恒星接近太阳，从太阳表面引出潮汐隆出物，这雪茄烟形长条逐渐脱离太阳并形成行星。杰弗里认为恒星与太阳相撞，撞出物形成行星系。1944年苏联施密特认为太阳通过暗星云时俘获物质，形成绕太阳旋转的星云盘，逐渐形成行星和卫星。同年德国魏扎克认为绕太阳旋转的气体尘埃盘中出现规则排列的旋涡，在次级旋涡中形成行星。

稳恒态宇宙学认为宇宙在时间和空间上都是无限的。它主张宇宙从未有过开始，或者更确切地说，宇宙乃是处于连续的创造过程之中。当宇宙膨胀之时，总密度减少，但密度存在一个下限值，宇宙不会在密度低于此值的情况下存在。当宇宙接近这个下限值时，便会创造出更多的物质来使密度再度升高。因此当宇宙不断地膨胀时，新的物质便连续地在星体中创造出来以填补空隙。新形成的物质就是构成星系的氢。每个新星系团将随着宇宙的不断膨胀而逐渐衰老以致死亡，但又形成新的星系团。新星系形成，老星系死亡，但宇宙的总密度不变。并且总是存在有各种不同年龄的星系。因此，宇宙在任何时期检验都是一样的。尽管个别星系团有所变化，但总体图象是始终如一的。稳态宇宙学提出以后，曾得到了几方面的支持，其一是大爆炸宇宙学难以解释的星系产生问题，在这里可以顺理成章地得到说明。因为只要在稳态宇宙方程中，物质的产生和宇宙的膨胀不是正好地得到补偿，就可能出现稳恒态附近的起伏解，解中恰好呈

现了物质分布的局域不均匀性。在稳态宇宙学中，不出现高温、高密度的初态，避开了难以摆脱的“奇点”困扰。像一切其它宇宙模型一样，稳态宇宙模型也有一些先天不利的因素。它引出了一个物质不断创生的假设，这是现今物理学无法解释与理解的。此外，近年来的一些观测结果也给它增加了诸多不利的因素，例如对河外射电源计数结果与它的预言数不一致。更重要的是 3K 宇宙微波背景辐射的发现表明，宇宙的早期确实呈高热状态，稳态宇宙学对 3K 的解释却是牵强和不自然的。此外，它还不能对现今宇宙中氦元素的形成与丰度做出解释。真正使现代科学家们感觉到我们的这个世界是有限的物理理论，应该是热力学的第二定律。热力学第二定律的思想萌生于法国物理学家卡诺，他对此做出了不朽的建树。1850 年，德国物理学家克劳修斯从能量守恒所提供的新的角度描述了卡诺循环。热力学第二定律有克劳修斯说法及开尔文说法，虽然描述的是两类不同的现象，表述亦很不相同，但二者都强调了热事物的本质——不可逆过程：克劳修斯说法实质上是热传递过程的不可逆；开尔文说法是做功转变为热的过程不可逆。这两种说法是完全等价的。它们都可称为热力学第二定律。如果我们的宇宙在时间上是无限的，根据热力学第二定律：功或热的转化过程的不可逆性。那么，我们的宇宙早就应该是一个恒热的、不再有任何变化的世界了。但是，我们的宇宙现在还是生气勃勃，并没有“热寂”问题的显现，这是为什么呢？这个疑问已经困扰人类一个半世纪了，在这科学技术快速发展的一个半世纪里，人们为它苦苦地探寻着各种出路。如果宇宙开始于一点，它也是解决以上热寂问题的办法之一。但是，这种解决问题办法并不是十分完美的办法。面对如此多的难题，这一宇宙模型不如大爆炸宇宙那样得到较多的公认。

1964 年，美国贝尔电话实验室的两位工程师彭齐亚斯 (Penzias, A. A.) 和威尔逊 (Wilson, R. W.) 为了改进卫星通讯，建立了高灵敏度的接收天线系统。他们安装了一架卫星通讯用的喇叭形天线。这架天线有很强的方向性，即喇叭口对向天空中某方向时，地面及空中其它方向电磁波干扰都很微小。为了检验这台天线的低噪声性能，他们避开噪声源而将天线指向天空进行测量，在波长 7.35 厘米处所作的测量已经表明，无论天线指向什么天区，总会接收到一定的微波噪声。这种噪声相当显著，并且与方向无关。他们日复一日，月复一月地进行测量，结果都是一样。它既没有周日变化，也没有季节变化。与地球的自转和公转运动也没有明显关系。起先，他们怀疑这种噪声来自天线系统本身。1965 年初，他们又对天线进行了彻底检查。他们拆卸了天线的喉部，发现有个鸽子窝，他们又把鸽子窝清除掉。虽然做了种种努力，仍无法把噪声降下来。从而排除了这种噪声来自天线

系统本身的可能性。就是说，这种噪声应当是来自空间的一种辐射。这种辐射相当于绝对温度在 2.5—4.5K 之间的黑体辐射，通常称之为 3K 宇宙微波背景辐射。由于天顶方向和地平方向的大气厚度明显不同，彭齐亚斯和威尔逊测得的这种辐射与方向无关，排除了地球大气层起源的可能性。由于银河系物质分布不均匀，因而也排除了银河系起源的可能性。微波背景辐射只可能来自广阔的宇宙。更精确地说，微波背景辐射是高度各向同性的温度约为 2.7K 的黑体辐射，这是一种充满宇宙各处的均匀辐射。彭齐亚斯和威尔逊在进行这项重要工作时，只是为了测试他们的天线的性能。作为工程师，在完成这项工作后以《在 4080 兆赫上额外天线温度的测量》为标题在《天体物理杂志》上发表他们的结果，意思是说，他们在频率 4080 兆赫（即波长 7.35 厘米）处对天线噪声测得的有效温度比预期值高 2.5—4.5 度。1965 年他们又将其修正为 3K，并将这一发现公布，为此获得了 1978 年的诺贝尔物理学奖。宇宙微波背景辐射是无处不在的 3K 热(黑体)辐射，因其峰值在微波区而得名。那问题就来了，这个背景辐射只是一个 3K 的低温热辐射而已，而我们周围可是有一层厚厚的大气，温度在 300K 左右。根据黑体辐射公式，大气的热辐射在微波区要比 3K 的背景辐射强得多，我们怎么可能观测得到这个背景辐射呢？哪里才是解释的关键呢？因为地球大气的辐射 95% 以上的能量集中在 3~120 微米内，只要测量远大于 120 微米波长的辐射，可以认为不受大气辐射的影响。但波长大于 1 米，会受到银河系高频辐射的影响。从那以后，已经有许多人对微波背景辐射作了详细的研究，在相当宽的波长范围内得到了支持黑体辐射谱的结果。也证明了高度各向同性。1989 年 11 月宇宙背景探索卫星 (COBE) 升空，获得了丰富的数据，证明实测的微波背景辐射谱非常精确地符合温度为 $2.726 \pm 0.010\text{K}$ 的黑体辐射谱，观测数据与黑体辐射理论曲线的符合情况极好，卫星同时证明，这种辐射具有高度各向同性。1965 年初，彭齐斯和威尔逊与狄克小组进行了互访，最后共同确认这个相当于 3K 的宇宙背景辐射就是“原始火球”的残余辐射。这是对大爆炸理论的强有力支持，从此，大爆炸理论又获得了新生。这一发现终于被狄克、皮伯斯、劳尔和威金森等人作为宇宙大爆炸理论的证据。也就是说，宇宙大爆炸后约 200 亿年的今天，在宇宙间还残留着 3K 左右的辐射。

实际上，宇宙大爆炸说真正的思想起源可以追溯到更远的时期。对于大爆炸学说的思想起源，霍金在《时间简史》中写道：当然，宇宙开端的问题在这之前很久就被讨论过。根据一些早先的宇宙论和犹太人 / 基督教 / 穆斯林传统，宇宙开端于有限的、并且不是非常远的过去的某一时刻。对这样一个开端，有一种议论是感到必须有“第一原因”来解释宇宙的存在。

(见《时间简史》第 17 页) 现代宇宙系中最有影响的一种学说, 又称 Big Bang Cosmology 宇宙学, 与其他宇宙模型相比, 它能说明较多的观测事实。它的主要观点是认为我们的宇宙曾有一段从热到冷的演化史。在这个时期里, 宇宙体系并不是静止的, 而是在不断地膨胀, 使物质密度从密到稀地演化。这一从热到冷、从密到稀的过程如同一次规模巨大的爆发。真正使现代科学家们感觉到我们的这个世界是有限的物理理论, 应该是热力学的第二定律。热力学第二定律的思想萌生于法国物理学家卡诺, 他对此做出了不朽的建树。1850 年, 德国物理学家克劳修斯从能量守恒所提供的新的角度描述了卡诺循环。热力学第二定律有克劳修斯说法及开尔文说法, 虽然描述的是两类不同的现象, 表述亦很不相同, 但二者都强调了热事物的本质—不可逆过程: 克劳修斯说法实质上是热传递过程的不可逆; 开尔文说法是做功转变为热的过程不可逆。这两种说法是完全等价的。它们都可称为热力学第二定律。如果我们的宇宙在时间上是无限的, 根据热力学第二定律: 功或热的转化过程的不可逆性。那么, 我们的宇宙早就应该是一个恒热的、不再有任何变化的世界了。但是, 我们的宇宙现在还是生气勃勃, 并没有“热寂”问题的显现, 这是为什么呢? 这个疑问已经困扰人类一个半世纪了, 在这科学技术快速发展的一个半世纪里, 人们为它苦苦地探寻着各种出路。如果宇宙开始于一点, 它也是解决以上热寂问题的办法之一。霍金曾经花了很长一段时间去研究宇宙大挤压(反演), 爱因斯坦的宇宙学公式曾预言也许有这么一个演化阶段存在。那是一个逆演着的时空过程, 物理理论几乎全部翻了过来。得出的结论也太荒谬。最后, 霍金也不得不放弃他的这个研究。

根据 Big Bang Cosmology 宇宙学的观点, Big Bang Cosmology 的整个过程是: 在宇宙的早期, 温度极高, 在 100 亿度以上。物质密度也相当大, 整个宇宙体系达到平衡。宇宙间只有中子、质子、电子、光子和中微子等一些基本粒子形态的物质。但是因为整个体系在不断膨胀, 结果温度很快下降。当温度降到 10 亿度左右时, 中子开始失去自由存在的条件, 它要么发生衰变, 要么与质子结合成重氢、氦等元素; 化学元素就是从这一时期开始形成的。温度进一步下降到 100 万度后, 早期形成化学元素的过程结束(见元素合成理论)。宇宙间的物质主要是质子、电子、光子和一些比较轻的原子核。当温度降到几千度时, 辐射减退, 宇宙间主要是气态物质, 气体逐渐凝聚成气云, 再进一步形成各种各样的恒星体系, 成为我们今天看到的宇宙。“初始状态可能对于宇宙特征有过根本的影响, 也许甚至影响到基本粒子和力的性质。”

【1】

(二) 大爆炸理论实验根据

Big Bang Cosmology 模型能统一地说明以下几

个观测事实:

Big Bang Cosmology 理论主张所有恒星都是在温度下降后产生的, 因而任何天体的年龄都应比自温度下降至今天这一段时间为短, 即应小于 200 亿年。各种天体年龄的测量证明了这一点。

在各种不同天体上, 氦丰度相当大, 而且大都是 30%。用恒星核反应机制不足以说明为什么有如此多的氦。而根据 Big Bang Cosmology 理论, 早期温度很高, 产生氦的效率也很高, 则可以说明这一事实。

根据宇宙膨胀速度以及氦丰度等, 可以具体计算宇宙每一历史时期的温度。Big Bang Cosmology 理论的创始人之一伽莫夫曾预言, 今天的宇宙已经很冷, 只有绝对温度几度。根据大爆学说, 宇宙因膨胀而冷却, 先进的宇宙中仍然应该存在着当时的辐射余烬, 1965 年, 果然在微波波段上探测到具有热辐射谱的微波背景辐射, 温度约为 3K。Big Bang Cosmology 理论认为宇宙最初的状态并不均匀, 所以才有现在的宇宙和现在星系和星团的产生。科学家们在分析了宇宙中一个遥远的气体云在数十亿年前从一个类星体中吸收的光线后发现, 其温度确实比现在的温度要高。澳门发现, 背景温度约为-263.89 摄氏度, 比现在测量的-273.89 摄氏度的宇宙温度要高。

早在 1912 年, 施里弗(Slipher)就得到了“星云”的光谱, 结果表明许多光谱都具有多普勒(Doppler)红移, 这些“星云”在朝远离我们的方向运动。如果运用多普勒效应来解释, 那么红移就是宇宙膨胀的反映。随后人们知道, 这些“星云”实际上是类似银河系一样的星系。1929 年哈勃(Edwin Hubble)对河外星系的视向速度与距离的关系进行了研究。当时只有 46 个河外星系的视向速度可以利用, 而其中仅有 24 个有推算出的距离, 哈勃得出了视向速度与距离之间大致的线性正比关系。现代精确观测已证实这种线性正比关系 $v = H_0 \times d$, 其中 v 为退行速度, d 为星系距离, H_0 为比例常数, 称为哈勃常数。这就是著名的哈勃定律。哈勃定律揭示出宇宙是在不断膨胀的。这种膨胀是一种全空间的均匀膨胀。因此, 在任何一点的观测者都会看到完全一样的膨胀, 从任何一个星系来看, 一切星系都以它为中心向四面散开, 越远的星系间彼此散开的速度越大。

在 1998 年, 由美国加利福尼亚大学的劳伦斯伯克莱国家实验室的 Saul Perlmutter 教授和澳大利亚国立大学的 Brian Schmidt 所分别领导的两个小组通过对 Ia 型超新星爆炸的观测发现了我们宇宙的加速膨胀, 他们指出那些遥远的星系正在加速地离开我们。【2】

为了完善宇宙 Big Bang Cosmology 理论, 1980 年科学家引入了暴胀宇宙的概念。它是说宇宙在较早的时期膨胀得较快。这一概念解决了一对矛盾: 如果我们回溯今日可见的宇宙膨胀历史, 当宇宙的年龄为 10^{-35} 秒的时候, 宇宙将被压缩到一个半径 3 毫米的

区域中。但是从宇宙膨胀开始到那时,光能行进的距离只有 3×10^{-25} 厘米。这是任何信号能传播的距离。根据暴胀理论的推算,宇宙的平均密度应为 2×10^{-29} 克/厘米³。但人们观测到的宇宙中发光物质密度至多为这一密度的 0.1。就是说,宇宙中有 90% 以上的物质我们至今几乎一无所知。科学家把它们称作暗物质。

暗物质存在的一个重要证据是,天文学家观测到一些恒星的运动速度比理论上计算的要快得多,显然有许多看不见的暗物质在吸引着这些恒星。如果暗物质也是由原子或分子组成的话,它们在宇宙早期就会参加核反应,从而使这些元素的丰富程度低于今天的观测值。它不和这些粒子发生任何作用。科学家把它起名为“WIMP”,它的中文意思是“弱相互作用重粒子”。有许多实验的结果已与 Big Bang Cosmology 的预言相符。比如早在 1948 年,科学家预言 Big Bang Cosmology 后散落的残余辐射因为宇宙的膨胀而冷却,如今它的温度应为绝对零度以上 5 度。而在 1965 年,美国两位无线电工程师意外地发现了无线电接收器中无法阐明原因的噪声,后来知道它就是宇宙微波背景辐射,它的温度是绝对温度以上 2.7 度,与 1948 年的预言差不多。两位工程师因此获得了诺贝尔物理奖。拟用超导超级对撞机“模拟宇宙 Big Bang Cosmology 的 space-time 和物质状态”,为的是“验证”由相对论衍生出来的宇宙爆炸理论。

洛弗尔指出:“人们常认为 Big Bang Cosmology 理论中的单子是宇宙一致性假说产生的数学难题。”标准的 Big Bang Cosmology 宇宙模型有极好的数学对称性,一些物理学家认为这就是以数学方程解析 Big Bang Cosmology 初始零点时会出现单子的原因。为了修正这个理论,有人就在模型中引入了和观测到的宇宙类似的不规则性,希望这能使起始状态有足够的非线性而不至于一切都缩致一个点。然而霍金和埃利斯指出,根据他们计算,在已观测到的范围内,物质分布具有不均匀性的 Big Bang Cosmology 理论在起点处仍会有单子。为了回避整个关于宇宙起源的问题,一些科学家提出了所谓达到“无限脉动宇宙模型”,即宇宙不断膨胀,收缩至单子,再膨胀,再收缩至单子,永远进行下去。然而物理学家温伯格在《最初的三分钟》里指出,随着每一次连续脉动,宇宙必产生某种递进的变化,因此必须有个起点,而不是可以无限回归,物质世界一直存在着,仍然面对着宇宙起源问题。

奇点物质是能级无限大的物质。根据相对论理论的宇宙能量方程 $V+U=-K/2$,当物质半径 $R \rightarrow 0$ 时,曲率 $K \rightarrow \infty$,能量 $V+U \rightarrow -\infty$,其中动能 $V \rightarrow 0$,势能 $U \rightarrow -\infty$ 。 $R \rightarrow 0$ 时的物质状态就是没有质点(没有大小)的奇点。据英国《星期日泰晤士报》报道,霍金与其合作者、英国剑桥大学数学物理教授图罗克最

新提出的“开放暴胀”理论认为,宇宙最初的模样像一个豌豆的物体,悬浮于一片没有时间的真空,“豌豆”状的宇宙存在的时间与“大爆炸”相隔一个极短瞬间。该理论认为,“豌豆”状的宇宙在“大爆炸”前的瞬间内经历了被称为“暴胀”的极其快速的膨胀过程。宇宙在大爆炸后不到 1 秒的时间里膨胀了大约 10^{30} 倍,大约和橘子一般大小,然后开始以较稳定的速率膨胀,直到现在,大约 150 亿年,成为目前的样子。另外,霍金和图罗克还根据“开放暴胀”理论推断,宇宙最终将无限地膨胀下去,而不是像一些天文学家所认为的,膨胀到一定程度后会在引力作用下收缩。在这个过程中,物质“疙瘩”逐步形成了星系、恒星以及生命。这个模型暴胀期的长短是个关键。若稍短,物质为充分散开,原生宇宙就有重新坍塌为起点;若稍长,原生宇宙的物质则过于分散,形不成星系和恒星,自然也就不会出现生命和人类。1987 年霍金进一步提出了“婴儿宇宙”模型,两个大宇宙通过一个细“管子”连接起来,这个细管子称为“虫洞”,大宇宙为母宇宙,可能存在着从母宇宙分岔出去的另一端是自由的虫洞,这样的管子成为子宇宙、婴儿宇宙。就是说除了我们生存的宇宙之外还可能存在着众多的由虫洞连接起来的其他宇宙。

1992 年,萨莫林在前人基础上提出了宇宙自然选择学说。母宇宙是空间闭合的,犹如一个黑洞,该黑洞在生存了一段时间后坍塌为一个奇点,奇点又会反弹爆炸膨胀为新的下一代宇宙。这个学说的要点是,子宇宙中的物理常数较之母宇宙的物理常数会有小的、或强或弱的随机变异,新生的婴儿宇宙在再次坍塌成奇点前能膨胀到几倍普克郎长度大小,随机变异的物理常数有可能允许小小的暴胀,子宇宙可变的较大,当它足够大时,可分隔为两个或更多的不同区域,每个区域又坍塌为一个新的奇点,新奇点又触发下一代的子宇宙,如此时代相传,有的小宇宙重又坍塌,有的具有某些基本常数值值的宇宙能更有效的产生许多黑洞,从而较具有其他某些基本常数值值的宇宙留下更多的后代,借用生物进化论的术语,它们是被“自然选择”下来的,经“选择”作用,产生越来越多的黑洞,也就形成了更多的宇宙。如果宇宙确是由以前的宇宙世代经过这种“自然选择”而产生的话,那么应该预期我们生存在其中的宇宙会具有所观测到的样子并正好具有目前测知的基本常数值。这个学说的另一要点是关于恒星的存在。在许多情况下,恒星是黑洞的前身。在气体和尘埃云中,恒星仍在形成。在碳尘埃微粒表面进行着的化学反应使气体冷却并促使气云坍塌。但碳尘埃粒子是从那里来的呢?斯莫林指出,碳元素是由核聚变反应产生的这一情况只有在质子的质量稍大于中子的质量时才会发生,如果两者质量之差比氦核的结合能大的多,则质子和中子不可能粘在一起形成氦核。没有氦,聚变反应链在第一阶段

便终止了，根本形不成更重的元素，从而使恒星将少得多，自然也不会有多少黑洞，因此在任何一个宇宙中，若其中质子与中子的质量相差较大，将只能产生很少的宇宙，也就没有什么“选择”的余地了。

下面是 science 上关于宇宙形状的近期报道：时空结构将宇宙微波背景（CMB）和宇宙的重要结构连在了一起。但是究竟时空结构是什么，而 CMB 的测量又能告诉我们什么呢？在爱因斯坦的广义相对论中，空间和时间被连接在一个有弹性的“簇拓扑空间”——一个数学对象中，这个拓扑空间的每个小片粗看象一个四维的橡胶片。光线沿拓扑空间的轮廓前进，这个轮廓被叫做测地线。在一个平坦的平面上，从一个远距离对象发出的平行光将保持和它们接近一个观测者时同样远近的分隔。但是在一个有正曲率的表面，如一个球，接近的光线将移动更远的间隔，使得远处的物体看起来比正常物体更大。在一个有负曲率的表面，如一个马鞍，平行光束将更紧密的结合在一起，使得物体看起来更小。因为弯曲的簇拓扑空间对光的扭曲不同于扁平的簇拓扑空间，所以弯曲的簇拓扑空间也应该产生不同类型的 CMB。用微波探测器（叫做 BOOMERANG）观察到的 1-degree-wide 波正好是理论预言的扁平宇宙所应该有的，对于这个结论大部分物理学家至少希望用微波各向异性探针的（MAP'S）图象证实。一些研究者希望 MAP 将给出关于宇宙大小和形状的更多详细而精确的信息。“当我们看微波背景的时候，我们基本上留意到了球的表面，”普林斯顿大学的一个天体物理学家和 MAP 科学队的一个成员 David Spergel 解释道。如果宇宙是有限的，那么“最后散射的表面”将不能给出关于它的形状的线索。但是如果宇宙是有限的，那么时空和安置在时空当中的散射表面必需使它们自身向后弯。一个足够巨大的球将会把自己相交贯穿至少形成一个圆周，正如一个围绕着销子搭接起来的圆盘一样。实际上，Spergel 说，因为光能通过不止一个路径穿过弯曲的时空，所以天文学家将看到一个交叉点不是一次而是两次，与一对圆周在天空的不同部分描绘出冷点和热点的方式相同。在美国的 Spergel 组和巴黎天文台由 Jean-Pierre Luminet 领导的组正在研制一些运算法则以搜索在 MAP 数据中的这种信号。其间，数学家 Jeff Weeks，一个纽约州的自由记者已经写了一个把一对圆周转化为宇宙模式的计算机运算法则。Weeks 说，对形象化最容易的是一个“曲面（toroidal）”宇宙比最后散射的表面小。他指出，在包围着一个圆环面的两维宇宙中，天文学家看起来将在假想出的空间的盒子的相对的两个壁上看到同样的点。相似的，在三维曲面（toroidal）宇宙中，天文学家将在相对的方向看到三对圆周。toroidality 仅仅是对扁平的有限宇宙来说 10 个不同 toroidality 之中最简单的一个。如果宇宙被证实是弯曲的——这一点

在当前还不是事实——那么对 Weeks 的运算法则来说将会有无限多的可能性去尝试。“我们将开始尽可能快的关注任何可用的数据，”Weeks 说。如果宇宙合作，他们可以不用等太长时间，Spergel 说：“两年后，我们就能知道我们住在一个有限的宇宙中。” 注解：CMB 是从各个方向袭击地球的持续的电磁声波。这些遥远的声音是大爆炸之后的遗留辐射。CMB 也叫做宇宙背景辐射和微波宇宙背景

霍金和图罗克的新理论在科学界引起了不同的反应。“暴胀”理论权威之一、俄罗斯物理学家林德对霍金等的理论提出了批评。林德称，宇宙自始至终存在，试图发现一个起点和所谓的终点是没有意义的。而英国的一些著名天文学家则出言谨慎。他们指出，霍金的新理论完全是按照物理学定律纯理论推算的结果，它是否揭示了宇宙的本质还有待于实际观测的考验。据悉，美国将于两年后发射一颗卫星来测量宇宙大爆炸遗留的微波辐射，这很可能为霍金的理论提供检验。

（三）大爆炸理论的广义相对论基础

大家知道，广义相对论中的场方程（即 Einstein 场方程）： $R_{\mu\nu} - (1/2)g_{\mu\nu}R = 8\pi GT_{\mu\nu}$ ，是一组有关时空度规的二阶非线性偏微分方程，求解这样的方程组是极其困难的。在二十世纪六十年代初以前，物理学家们对 Einstein 场方程的很大一类研究局限于在各种简化条件（比如特定的对称性）下求解场方程。在这方面最著名的成果是 K. Schwarzschild (1873-1916) 于 1916 年得到的 Schwarzschild 解，其度规为（m 为质量参数）：

$$ds^2 = (1-2m/r)dt^2 - (1-2m/r)^{-1}dr^2 - r^2d\Omega^2$$

以及 A. Friedmann (1888-1925) 于 1922 年得到的 Friedmann 解，其度规为（R 为标度因子，取值为 0、-1 或 1，分别对应于平直、负常曲率及正常曲率空间）：

$$ds^2 = dt^2 - R^2(t) [dr^2/(1-kr^2) + r^2d\Omega^2]$$

这两个度规分别是广义相对论在天体物理及宇宙学上应用最为广泛的度规。但这两个解的发现也带来了一个共同的问题，那就是它们所对应的度规均具有奇异性。Schwarzschild 度规是一个静态度规，它的奇异性（由上面的表达式中很容易地看到）出现在 $r=0$ 及 $r=2m$ 处。这其中 $r=2m$ 处的奇异性（一度被称为 Schwarzschild 奇点）后来被证明只是坐标选择所导致的表观奇异性，可以通过坐标变换予以消除；而 $r=0$ 处的奇异性则是真正的物理奇点，时空曲率在趋近这一点时趋于发散。这个奇点被称为曲率奇点。

Robertson-Walker 度规由于是一个动态度规，其情形稍微复杂些。当 $k=1$ （即空间具有正曲率）时这一度规在 $r=1$ 处似乎具有奇异性，但这也是坐标选择所导致的表观奇异性。除去这一表观奇异性，从

形式上看 Robertson-Walker 度规似乎没有其它显而易见的奇异性。但把这一度规代入到场方程中，研究它的动力学演化就会发现，对于我们观测到的膨胀宇宙来说，只要宇宙当前的物质分布满足一个很宽泛的条件，Robertson-Walker 度规中的标度因子 $R(t)$ 在过去某个有限时刻就必定等于零。在那个时刻（通常定义为 $t=0$ ）宇宙的空间线度为零，物质密度则发散，因此那是一个物理奇点，被称为宇宙学奇点，或大爆炸 (The Big Bang)。

很明显，这些奇点的出现是物理学家们所不乐见的，因为物理世界中并不存在真正意义上的无穷大。对于一个物理理论来说，出现无穷大往往意味着它的失效。因此奇点的出现对广义相对论是一种危机。不过当时物理学家们所知道的 Einstein 场方程的解十分有限，而且这些解大都具有很高的对称性（因为只有这种情形下的场方程才容易求解），比如 Schwarzschild 解具有球对称性，Friedmann 解则是均匀及各向同性的。这就给物理学家们提出了这样一个问题：由这几个特殊解所引发的危机究竟有多大的普遍性？或者说奇点会不会只是那几个解所具有的特殊对称性导致的特殊效应（如果是的话那危机就不算太严重，因为那些对称性在现实世界里是不可能绝对严格实现的）？在二十世纪六十年代，物理学家们对这一问题有两种不同的看法。一种看法认为奇点的出现只是对称性所导致的特殊效应，如果考虑一般（即没有严格对称性）的情形，奇点将不会出现。持这种观点的代表人物是前苏联的 E. Lifshitz (1915-1985)、I. M. Khalatnikov、V. A. Belinsky 等。与之相反的一种看法则认为奇点在广义相对论中的出现是具有普遍性的。持这种观点的代表人物是英国的 R. Penrose (1931-) 与 S. W. Hawking (1942-) 等。

这两组物理学家在奇点问题上不仅观点迥异，而且研究中所用的具体方法也很不相同。Lifshitz 等人主要把精力放在求解一般情形（即没有严格对称性）下的场方程，以便探讨在这种情形下理论是否不存在奇点；而 Penrose 与 Hawking 等人则大量运用微分几何手段，通过所谓的全局方法 (Global Techniques)，在不直接求解场方程的情况下对奇点及奇点产生的条件进行系统分析。如果说 Lifshitz 等人的方法是正面强攻，那么 Penrose 与 Hawking 等人的方法则属于旁敲侧击。结果 Lifshitz 等人的正面强攻收效不大。Einstein 场方程委实太过复杂，虽然 Lifshitz 等人的胃口并不贪婪，他们只研究宇宙学奇点 $t=0$ 附近的解而非全局性解，同时不奢望精确求解而采用近似手段，但在不具有对称性的情况下，他们的努力依然遭到了巨大的困难。另一方面，Penrose 与 Hawking 等人的旁敲侧击却获得了极大的成功，他们证明了一系列著名的奇点定理，

成为经典广义相对论中登峰造极的成就之一。

不过 Penrose 与 Hawking 等人的方法虽然不需要直接求解场方程，但它与描述物质分布的能量动量张量的性质仍有着密切的关系。这一点从物理上讲是显而易见的，因为正是物质的分布决定了时空的结构。Einstein 曾经把他的场方程比喻为一座建筑，这座建筑的一半是用精美的大理石砌成的，另一半却是用劣质的木材建造的。用精美的大理石砌成的一半是方程的左端： $R_{\mu\nu} - (1/2)g_{\mu\nu}R$ ，那是一个描述时空结构的优美的几何量，被称为 Einstein 张量。而用劣质木材建造的一半则是方程的右端，也就是描述物质分布的能量动量张量： $8\pi GT_{\mu\nu}$ 。为什么说这部分是用劣质木材建造的呢？因为自然界的物质分布种类繁多，物态方程千差万别，找不到一个普适的能量动量张量来描述所有已知的物质分布。不仅如此，在广义相对论所涉及的许多极端条件（比如某些星体内部的超高温、超高压、超高密度，宇宙演化的早期，以及引力坍缩的后期等条件）下还可能大量未知的物质形态与分布。而且所有这些物质分布还可能在空间及时间上相互混合。

二、大爆炸理论的困难

《自然杂志》19卷4期的‘探索物理学难题的科学意义’的97个悬而未决的难题：6.2. 奥伯斯佯谬能否解决？ 宇宙空间是有限的还是无限的，这是古今中外思想家科学家都极为关心极为感兴趣的一个问题。文献【1】表达了一种普遍共识：相对论宇宙学“认为宇宙有限，这是对20世纪以前宇宙观念的极大改观。”【1】事实上，古希腊的亚里士多德就是一位宇宙有限论者，无限的空间和时间带来了许多佯谬，首先一个佯谬是所谓光度佯谬，德国天文学家奥尔勃斯在1826年提出了这样一个天文学命题。他假设：宇宙无限；宇宙中充满物质，星数无限；恒星的密度不变，平均光度也不变；星光照度与距离平方成反比。则会导致：黑夜和白天一样亮。这就是著名的勃斯佯谬问题。他的证明如下： $E = \int 2\pi K \rho dr = 2\pi K \rho \int dr = \infty$ 。这里的 ρ 为恒星数密度， E 为亮度。

这一佯谬其实是人们没有考虑到辐射能可以转变为其它能，如果考虑到辐射能可转变为暗物质的自由能，光度佯谬就不会发生。刘原生先生认为：奥尔勃斯佯谬的数学表达，是对无限空间的发光体的积分。它的初始条件和推导基于以下宇宙学的观点：A、宇宙中恒星（发光体）的分布是均匀的。不过，在1823年我们还不知道有星系的概念。现代天文学告诉我们：恒星的分布是成团的。B、宇宙中恒星之间应该没有遮光物质。现代宇宙学认为：遮光物质的存在并不会影响光线的传播。但是，就是在这些最基本、最简单的问题上，由于古老观念在作祟，使我们屡犯固执的错误。上世纪三十年代，天文学家在探讨银河系

时，就是因为忽略了遮光物质，使我们把太阳系当成了银河系的中心。现在，21 厘米波基本给出银河系的图像，如果没有遮光物质，我们看银河系中心，那里应该是个大火球。C、宇宙中恒星的光线，无论传播多远都不会改变其性质。这个问题我们放到后面去讨论。以上三点是奥尔伯斯佯谬成立的必要条件，缺一不可。但是现在可以看出：其中任何一条都不可能完全确立。所以奥尔伯斯佯谬在揭示宇宙是有限的实际意义不大。

1894 年德国的另一位天文学家西利格尔指出：如果星球无限多而且均匀分布，那么宇宙中任一有限区域的物质(质量有限)将被区域外的物质(质量总和为无限大)所吸引，有限区域内的物质无法依靠自身的引力收缩成星体；然而实际情况并不是这样。这就是所谓的“引力佯谬”。笔者认为在宇宙中除了考虑万有引力外，还应当考虑它的反作用力，应当重新进行分析。能量守恒定律认为能量是不可创造，质量守恒定律认为质量是不可创造，大爆炸理论认为能量、物质(质量)、空间、时间已经被一个无限小的点爆炸创造，并且是在四大皆空发生的。

四川的李雪鹏认为：如果宇宙起源于大爆炸，那么宇宙的边缘部分的星体密度应该比靠中心的部分更为稀疏，这好比烟花爆炸一样，可为什么我们测量到的宇宙在大尺度下是如此均匀？如果宇宙存在一个开端，那么这个开端便是时间坐标轴的原点，如何确定这个坐标原点呢？那我们不得不采用绝对时间概念，但是，如果采用绝对时空观念，那样由相对论等高等物理理论推导而来的大爆炸理论岂不成了废纸一张？对于宇宙的历史，相对论者在写论文的时候都采用了绝对时空观，如大爆炸后的最初一秒钟，大爆炸后的两万年……这些可是相对时空观念不允许的。对于宇宙的年龄，人们没有必要通过研究某个古老陨石所携带的某种放射性同位素的半衰期来测定它。由广义相对论，我们可以得知，每个星体由于其速度及引力场的不同，会导致时间的快慢程度不同，也许有个星球上的智慧生物认为宇宙的存在只有 15 亿年，也许另一个星球上的生物认为宇宙已有 1500 亿年了。因此，我们永远也不知道宇宙的年龄。今天，我们人类认为宇宙有 150 亿岁了(这个时间一直在修改当中)，可是早在 46 亿年前，地球还没形成！那时，引力场和物质的运动速度都跟现在完全不一样，因此，我们现在没人能够理解当时的那种时间概念。所以，在大爆炸理论中，时间是整个理论的误点之一，因为它与自己的理论基础的不能融洽结合。

在相对论体系中，存在着一些带有根本性的困惑。例如在弯曲时空中如何测量质量、能量、角动量和自旋等物理量？事实上，在广义相对论中，这些物理量的测量和定义依赖于狭义相对论，特别是依赖于狭义相对论闵氏空时的平移。然而在广义相对论的局部

闵氏空时中却并不存在这种平移。当然，如果引力效应很弱，局部实验室可以在一定的近似下忽略引力近似具有闵氏空时的平移。但是一个局部实验室与宇宙尺度的现象有关的实验和观测，比如观测星系红移、测试与微波背景辐射的作用，那么局部实验室得到的有关数据，就必然与狭义相对性原理冲突。狭义相对论的平移力不再严格成立。

2004 年 2 月，美国和法国天文学家先后报告发现了距离地球最遥远的星系。美国天文学家宣布发现的那个星系距离地球 130 亿光年，大约形成于宇宙大爆炸后 7.5 亿年。法国发现的星系距离地球 132 亿光年大约形成于大爆炸后 4.6 亿年左右，是迄今发现的宇宙中形成时间最早的一个星系。Abell 1835 星系群处在地球和该星系之间。当地球上的观测点与该星系和 Abell 1835 三者形成一条直线时，Abell 1835 的质量将该星系的光线折射并放大到其本身亮度的 25 至 100 倍，天文学家才能看到这个星系。法国天文学家将该星系命名为 Abell 1835 IR1916。

类似的这种发现与相对论的光速是宇宙最高运动速度有所冲突。按照目前为大多数人所接受的宇宙大爆炸起源理论，我们目前所处的宇宙来源于大约 140—150 亿年前的一个“奇点”的爆炸。美国和法国科学家发现的星系距我们都在 130 亿光年之外，也就是说，这些星系在大爆炸约 10—20 亿年后就已经在现在的位置上了。迄今为止，科学家观察到的宇宙都是各向同性，没有任何迹象显示任何星系是位于宇宙的一侧边缘，因而在地球与 Abell 1835 IR1916 星系相对的另一侧也应该有距离在 130 多亿光年甚至更远的星系。也就是说，在大爆炸发生后 10—20 亿年左右，宇宙中竟然产生了相距超过 260 亿光年的星系！

虽然 Big Bang Cosmology 宇宙模型可以解释众多的观测现象，却存在许多疑难，如视界疑难、准平坦性疑难、结构起源疑难、宇宙常数疑难等。因此人们在宇宙甚早期引入暴胀(inflation)阶段——宇宙以指数形式快速膨胀，暴胀模型可以解决上述一些疑难，但宇宙常数问题依然存在。1998 年以前，物理学家和天文学家一般都认为宇宙学常数等于 0 或很小可忽略，而且粒子物理学家认为，宇宙学常数可以看作宇宙真空能量密度的一种量度。但最近几年来，天文学家用各种观测方法和手段，例如超新星、宇宙微波背景和引力透镜等遥远天体的观测、宇宙物质密度的测量和真空能量密度的测量，获得了比较精确的数据表明宇宙学常数不仅存在，而且其能量密度与物质成分在同一量级，还稍大一点。当我们将真空能与引力耦合在一起时，场方程中宇宙学常数项便产生了。按照现代物理学家的观点，宇宙学常数是量子涨落的结果，等效于真空能量密度。宇宙学常数 Λ 导

致的能量——动量张量的能量密度 $\rho_{\Lambda} = \Lambda / (8\pi G)$ 和压强 $p_{\Lambda} = -\rho_{\Lambda}$ 。由于压强与能量密度正好大小相同而符号相反，因此宇宙学常数在 Einstein 场方程中起一个“反引力”的效果。现在一般引进有效宇宙学常数 $\Lambda_{\text{eff}} = 8\pi G \rho_{\Lambda} + \Lambda_0$ ， Λ_0 是裸的宇宙学常数。根据大爆炸宇宙学说，星系、星系团等超大尺度结构应该是早期等离子体的不均匀性增长演化而成，而这种早期等离子体的不均匀性，应该在微波背景辐射的小角度 ($1'' \sim 1^\circ$) 各向异性上有所反映，而宇宙整体的不均匀性应表现在微波背景大角度上的各向异性。多年来，不少观测宇宙学家和天文学家都在致力于探测这种各向异性，迄今为止，还没有得到所期望的结果。道尔哥夫和泽尔多维奇称这一尚未解决的问题为“现代宇宙学中的一朵乌云”。

2004 年 1 月 5 日，在美国天文学会的一次国际会议上，美国乔治亚州立大学的一个天文学家小组宣布首次捕获到从蚀星 SS433 发出的光线。观察到 SS433 天体所发光线既有红移又有蓝移。人们发现，同一类星体有不不同的红移谱线，这明显与速度红移理论相矛盾，因为同一个类星体不可能以几种不同速度远离我们而去。另外，有些类星体的红移量相当大，用哈勃红移理论解释，这些类星体应处在极遥远的地方，且有几乎趋近光速的退行速度。这说明星系红移是不能完全用多普勒效应来解释，必然还有另外因素影响波长的红移，但到目前为止，还没有人提出可令人信服的物理机制对星系红移现象作出圆满说明，星系红移现象已向整个物理学提出严峻的挑战。

根据宇宙学原理，在宇宙任何处观测，都应得到同样的远方星系的退行规律——宇宙在膨胀。地球是非常普通的一颗行星，它可能正好处在而且一直处在宇宙爆炸的中心吗？显然不会。那么，与地球反向运动的恒星相对于地球的速度较大，在地球上观测这些恒星的谱线红移会非常明显，与地球同向运动的恒星相对于地球的速度较小，在地球上观测这些恒星的谱线红移会很弱；也就是说，在地球上观测宇宙中各恒星的谱线红移会有明显的方向性。然而事实并非如此，谱线红移没有方向性，在各个方向上都是等价的，它与恒星到地球的距离是成正比的。

相对性原理认为运动都是相对的，没有什么东西能够作为参考系来判断宇宙是处在什么状态之中，可是现代物理学从频率红移现象得出宇宙在膨胀，进一步发展为 Big Bang Cosmology 理论。如果宇宙本来就是无限的，则爆炸发生在空间的每一点。如果宇宙是有限的，则 Big Bang Cosmology 的宇宙范围比现在小得多。兰茨伯格提出，如果把宇宙的膨胀作为时间箭头，则宇宙的收缩就会使观察者有时间倒流的感觉，但如果宇宙、观察者本人和用来量度的尺都同时发生收缩，由于缺乏一个参照系，观察者就无法知道宇宙是否在收缩。美国物理研究所的唐·路博维希等

科学家在新一期英国《自然》杂志上报告说，他们研究了距银河系中心仅 32 光年的射手座星云的光谱，结果发现氘的丰度比按照 Big Bang Cosmology 理论标准模型计算出的结果高出约 10 万倍。如果宇宙 Big Bang Cosmology 假说是正确的，那么宇宙中所有的星系必定在以某一个中心为起点向外膨胀，星系之间彼此互相分离。目前我们观测到近处的星系并没有相互分离的趋势，并且也没有证据表明近处的星系在以某一个中心为起点向外膨胀。倘若我们不是在宇宙的中心而是处于偏离宇宙中心的任一点处，因为在我们周围的星系都没有相互分离的趋势，也没有以某一个中心为起点向外膨胀，这样一来，倘若宇宙中任一点处的星系都没有相互分离的趋势，那么整个宇宙也不可能在膨胀，即宇宙 Big Bang Cosmology 假说是错误的。现代宇宙学认为，在宇观范围内，存在着“宇宙标准坐标系”，它是优越的空间坐标系，典型星系对于这个坐标系均匀和各向同性；可以测量地球相对于这个坐标系的运动速度。1965 年，美国彭齐斯和威尔逊发现了 2.7K 宇宙背景辐射。后来进一步的研究证实，背景辐射严格地各向同性的情况只存在于一个惯性系中，在相对于这个惯性系运动的任何其它惯性系中显示出辐射温度的方向变化。可以认为，宇宙背景辐射是宇宙标准坐标系的最好的物质体现。测量从各个方向到达地球的背景辐射温度的微小偏离(其最大值指向狮子座 ζ 星方向)，得到地球穿过这个“宇宙背景”的绝对运动速度大约为 400 公里/秒。

大爆炸宇宙学的研究越来越追溯到更早期的宇宙。特别是 80 年代以来，根据大统一理论发展起来的暴涨宇宙学，开始研究宇宙年龄约为 10—36 秒或更早期的情况。当宇宙年龄小于 10—36 秒时，宇宙间不仅没有星球，没有化学元素，甚至连任何基本粒子也没有，有的只是时间、空间和物理的真空。继续追溯这种非常单纯、非常对称的状态，便会得出时空创生于无(当然也就是说宇宙创生于无)的结论。其实，空间和时间的非永恒性，在相对论和量子论中已有强烈的暗示。按照相对论，不同的运动观测者将测得不同的时间值。最有趣的例子就是双生子佯谬，它描述的是两个观察者开始在一起，最终又在一起，但由于中间的运动情况各不相同，则二者所测得的历时是不一样的。因此，原则上讲，要精确地测量时间，就必须精确地知道测量者的运动轨迹。然而，量子论中的测不准原理告诉我们，不可能精确地了解任何一个物体在时间中的运动轨迹，从而也就原则上否认了精确测定时间的可能性。这个精度的限制是 $l_p \sim (hG/c^3)^{1/2} \sim 10^{-33}$ 厘米， $t_p \sim (hG/c^3)^{1/2} \sim 10^{-43}$ 秒，其中 h 是普朗克常数， G 是万有引力常数， c 是光速。 l_p 和 t_p 分别叫做普朗克长度和普朗克时间。它们的意义是：我们无法造出一种“尺”和“钟”，用来测定小于 l_p 的长度和小于 t_p 的时间。一个量在

原则上不能测量,就不会有物理意义。这表明,在小于 l_p 和 t_p 的范围内,空间、时间概念就失效了。1983 年以来,霍金就致力于发展一种宇宙的自足理论。1984 年初,他和他的合作者得到了第一个完整的宇宙自足解。该理论的第一个要点是建立非时间的理论,这种新的“时”空,实际上是一种欧几里得空间,其中不再含有时间坐标。该理论的第二个要点是给出上述欧氏空间的创生幅度,即宇宙创生于无的幅度。霍金只就简单的情况作了计算,还不能看作是真实宇宙的解,而不过是玩具式的模型而已,但它无疑向人们提出了一个值得深思的问题:我们关于时空和宇宙的传统观念是否一贯正确?这当然是向现代物理学和哲学的挑战。

三、宇宙无限论的再生

摘要: 本文首先从引力场的 space-time 本质出发阐述了微波背景辐射问题,根据 space-time 平权理论阐述了频率红移现象,使 Big Bang Cosmology 失去了实验基础,否定了 Big Bang Cosmology。

关键词: 微波背景辐射、频率红移、引力场的 space-time 本质、Big Bang Cosmology、pace-time 平权

克琼:“因此,十几年前,类星体的发现构成了对近代物理学和代天文学的挑战;今天,这个挑战仍然在继续。可以肯定,战这种挑战,更深刻地认识类星体的本质,将意味着人类对自然认识的一次巨大飞跃。”《天文学的新进展》1983

香涛,沈小峰:“红移争论”是近代天体物理学中最热门的讨论题之一。《自然辩证法通讯》1983.1

晓卿:“一定能揭示红移现象所蕴含着极为丰富的物理内容,使我们认识达到一次飞跃。”《天文学报》1976.2

宗伟,肖兴华:“总之,类星体发现以来 30 年中,红移的原因直争论不休的问题,解决之日也是颁奖之时,盼望这一天早日来。”《普通天体物理学》p569, 高等教育出版社 1992

毓麟:“所以,类星体的本质,迄今仍是个未解之谜。”《宇之迷》p50

又元:“类星体是 60 年代四大天文发现之一,因其争论不休的奇性质,而被号之为谜。”《天体物理、电路分析、脉冲分析》

(一) 宇宙无限论的实验基础

摘自《自然杂志》19 卷 4 期的‘探索物理学难题的科学意义’的 9 7 个悬而未决的难题: 94. 宇宙会一直膨胀下去吗? 9 5. 宇宙大爆炸的量子起源是什么? 9 6. 大爆炸之前可能存在什么? 9 7. 我们的宇宙是否有兄弟姐妹?

Einstein: 球面宇宙是有限的,又是无界的。

注:“球面宇宙”的球面,即其对外的界面,硬说其无界,硬称此体积有限大的东西为宇宙,这就是 Einstein 宇宙理论的立足点。

Einstein: 如果宇宙无限大,宇宙物质密度必为 0,如果宇宙物质密度不为 0,宇宙必然是有限的【5】。

注:宇宙有多大,只与不动的立方厘米量有

关,与物质毫无关系,与密度毫无关系。

谭天荣:只有对于“有限宇宙”,才能给出一个物质密度【6】。

简明不列颠百科全书: Einstein 对宇宙认识的贡献是无与匹敌的。

中国大百科全书: Einstein 以科学论据推论宇宙有限无界:这是宇宙观一次革命,它为宇宙膨胀理论和爆炸宇宙学奠定了基础。

德西特:宇宙象一个正在长大的气泡,不断膨胀。

勒梅特:反推时间可知,所有星系所有物质被挤进宇宙蛋,一场大爆炸把它炸开,几十亿年后,留下现在的膨胀宇宙【4】。

注:任何膨胀体,都只能是在无限大空间中的一个空间区膨胀着的一细物,都只能是在无限多个上级配件中膨胀着的一个下级配件。

丁肇中:科学家相信,宇宙从爆炸来,爆炸以前,没有时间和空间。

注:任何爆炸,都只能是结构性配件的下级配件,在一定的运动持续过程或时间,在一定的空间区高速离散的现象。

伊壁鸠鲁:宇宙过去和现在一样,将来也永远如此:它的空间无限大,它的有形体无限多。

霍金在《时间简史》中也说过:“我认为大爆炸有着明显的宗教意蕴。”宇宙学是建立在观测事实的基础上,它必须对观测事实进行数学处理,建立理论模型;理论模型必须给出可供观测的预言。例如,宇宙能否作为一系统并被进行整体研究,在宇宙学中并不是显而易见的:(1)宇宙必须表现出可观测的大尺度统一特征;(2)宇宙各部分之间必须存在物理上的联系机制(不能是抽象的“普遍联系”);(3)在地球这个局部所发现的自然规律可以适当外推到整个宇宙。大尺度红移现象的发现为第一点提供了观测证据,引力理论的发展(广义相对论)为第二点提供了物理理论根据,第三点虽然无法得到证据,但对这个问题(也是一切自然科学甚至一切科学面临的问题),科学家都持一种经验主义的谨慎的态度。正是这三点都有一种科学上能容忍的答案,现代宇宙学才敢于把宇宙作为一个整体(Universe as a whole)来进行科学的研究。

薛定谔认为:“一个只有剔除了一个人格化因素才能得到的宇宙模型不会为人格化的上帝所造。由此我们可知,科学家们并不是从经验事实出发否定了上帝的存在,或限制了上帝的作用,而是他们采取的方法一开始就排除了上帝。”

世界上许多著名的物理学家评论了宇宙背景辐射发现的物理意义。伯格曼认为,在宇宙尺度上,相对性原理被破坏了;宇宙背景辐射只在一个独一无二的参考系中各向同性,在这个意义上,那个参考系代表“静止”。韦斯科夫认为,无论如何,观察到的 2.7K 辐射决定了一个各向同性的绝对坐标系;迈克尔逊和

莫雷的梦想变成了现实,即找到了我们太阳系的绝对运动,不过不是相对于以太,而是相对于光子气。斯塔普认为,2.7K背景辐射定义了一个优越的参考系,利用它可以决定事件发生的绝对顺序。哈肯也认为,狭义相对论否定了特殊参考系的存在,但是宇宙背景辐射却成了一个绝对参考系。罗森甚至认为,宇宙学的最新发现要求回到绝对空间的观念。胡宁认为,在迈克尔逊实验的零结果和以太模型之间没有出现任何矛盾;在某种意义上,上述400公里/秒的速度可以看作是迈克尔逊所要测量的地球相对以太运动的速度,他认为,宇宙背景辐射的各向同性分布所决定的坐标系,可以看作是真空的静止坐标系;相对性原理的适用范围应有一定的限度。在1979年美国普林斯顿纪念Einstein诞生一百周年大会的报告中,狄拉克也对此作了评述。他说:“这样就有一个优惠的观察者,对他来说,微波辐射是对称的。可以说,这个优惠的观察者在某种绝对的意义上是静止的,也许他就对以太静止。这恰恰与Einstein的观点相矛盾。”“在某种意义上说,洛伦兹是正确的而Einstein是错误的,因为Einstein说过的一切,就是根源于当时的物理学不可能显示出绝对零速度。”

哥白尼的宇宙边界是太阳系,随着人们观测水平不断地提高,视界在不断地扩大。实际上,望远镜可以越造越大,视野越伸越远,总可以观察到以前没有观察到的空间,自然而然地形成无限无边的宇宙概念。自伽利略和牛顿之后,人们普遍接受了时空的无限性。特别有了空间坐标系以后,可以很直观地把宇宙的体积看成是无限的,无论沿宇宙空间中任何一点的任何一个方向看过去,都不能找到它的边界,宇宙空间是欧几里德几何中的三维的无边和无限的空间。无限、无边的观点之所以被普遍承认,除了天文观测事实以外,若承认宇宙是有边界的,或有限无边的,都有会碰到这样一个无法解答的问题:界限的外面又是什么?无限、无边的宇宙观和牛顿的无限的时空相吻合。牛顿力学为无限、无边的宇宙观点提供了依据。因为按万有引力的规律,一个有边界的宇宙将不能保持稳定,在边界上的星球将处于特殊位置,星际间的万有引力将它拉向中心。于是,一个无限无边的宇宙模型又从牛顿力学找到了根据。

在观测中,宇宙是高度均匀的。物质的物理性质和分布都是均匀的。无限数目的星在体上以均匀的密度分布在宇宙空间中,无论哪个天体,哪处时空和哪个方向都不居于特殊地位,它说明宇宙的结构是如此一致,我们有可能以一种极为简单的方式建立全宇宙的模式。

(二) 宇宙无限论的理论基础

如果宇宙是在膨胀,宇宙常数就不该有。但是直到目前为止,也还没有一个人能找出一个理论上的论

据来证明这一项不该有。这一困难,即“宇宙常数问题”,是今日物理学中最深刻的未被解决的问题之一(笔者注:按照前面的观点宇宙常数的实质是引力的反作用力——弱相互作用的表现形式)。1998年以前,物理学家和天文学家一般都认为宇宙学常数等于0或很小可忽略,而且粒子物理学家认为,宇宙学常数可以看作宇宙真空能量密度的一种量度。但近几年来,越来越多的观测证据表明,宇宙正处于加速膨胀的阶段,一个正的宇宙学常数对所观测到的数据有最好的拟和结果,几乎所有的宇宙学家都相信宇宙学常数的存在,并期待在宇宙学上有更多的观测效应如果宇宙在膨胀,宇宙不存在中心,距离观察者越远膨胀速度越大的原因为何, Big Bang Cosmology 的起点在何处?按照 Big Bang Cosmology 理论,地球与太阳之间的距离应当越来越大,太阳的辐射频率应当越来越小。在宇宙的 Big Bang Cosmology 过程中,温度和密度随着时间的流逝而下降。在 Big Bang Cosmology 早期,温度太高,原子和分子均无法存在,自然力的强度随环境温度的变化而变化,现代物理学认为分子的平均动能 $E=1.5kT$,那么温度的实质是何?

根据场的 space-time 本质的观点,能量是物质与 space-time 的相互作用,如果认为引力质量具有正的能量,那么必须认为引力场具有负能量,自然界不存在负引力质量的物体,物理学家预言宇宙中存在负引力质量,但是没有发现由负引力质量形成的物质原因在于此。引力定律确保了宇宙中所有质量之间的(负的)引力位能,必定永远和每个质量 m 相关联的(正的)能量 mc^2 的总和大小相等、符号相反。因此总的结果准确的等于0。现代物理学认为物质的引力场的质量是静止质量的 10^{-37} 倍,原因在于它只是计算的其 space-time 量子形式。整个宇宙的电磁质量之和为0,物理学中的反物质是电磁质量不同,引力质量相同。现代天文学测得宇宙的扩张速度正在加快,像有一股普遍的推动力持续将 space-time 结构向外推,原因在于正负引力质量间相互排斥,不至于把宇宙卷曲到无限小的尺度,所以宇宙不存在起源问题。

相对论甚至不能对径向多普勒效应做出合理的解释。多普勒现象是:光源远离观察者时光谱红移,迎向时则蓝移。相对速度愈大频移愈甚。频率红移应当是观察者测得的现象,根据 space-time 平权理论,距离的增加相当于时间的延缓,因此频率减小。因此红移量与距离成正比,光源越远,它远离我们的速度也越快,即 $V=H \times R$,哈勃的发现验证了这个问题。Big Bang Cosmology 是 space-time 量子现象,随着时间量子的流逝,空间逐渐增大,而非标准 space-time,标准 space-time 本身不变,微波背景辐射的温度朝不同方向看如此一致,说明 space-time 的本质是场,它是零点振动的表现形式,应当重新分

析这些实验。类星体是射电天文学观测的结果。它的特点是红移特别巨大。根据哈普定理：红移越大，相对地球退行的速度也越大，离地球也就越遥远。这样，类星体就被解释成一个远离地球、且相对地球高速退行的天体。从而引发了远距离与大能量的矛盾。

热的本质如果归结为量子的碰撞（宏观上或微观上），那么就可以理解微波背景辐射的温度，自然力的强度随温度的变化而变化。热辐射的本质其实是由于电磁质量能级的变化而辐射 **electromagnetic field**，温度的本质应该解释为 **electric field** 与引力场的强度，可以运用实验证明这个观点，因此热质说有其正确的一面。物体在碰撞过程中能量的损失的过程应当是机械能——电磁能——内能——电磁能之间的相互转化，由中子组成的物体之间的碰撞不会发生这一过程。传导与辐射本质上是一样的。空间增大时，时间缩短，容易理解 **Minkowski 方程** $s^2=(ct)^2-(x^2+y^2+z^2)$ ，也进一步验证了广义相对论的正确。

Roger Penrose 证明，如果宇宙中物质施加的引力总是表现为吸引，并且宇宙中存在着足够的物质，那么这些物质的引力效应就使人们不可能无限地沿着时间往回追踪所有的光线。某些（也可能是所有的）光线必定会达到一个终点——“奇点”，即光线在其轨迹的尽头达到了 **space-time** 的边缘。如果我们把宇宙的整个历史——所有的空间和所有的时间——想象成伸展在我们面前的一张硕大无比的纸，那么我们就有可能在某些特殊的地方发现一种密度和温度无限大的“奇点”。【1】根据奇点定理，在具有合理物质源的广义相对论的经典理论中，引力坍塌情形中的空间——时间奇性是不可避免的。利用时间方向的反演可以得到相应的初始的空间——时间奇性是不可避免的。物质与 **space-time** 在初始奇点创生，在终极奇点消灭，这两种奇点也许存在一个准确的时间对称。如果 **Euclid** 空间——时间延伸到无限的虚时间，或者在一个虚时间的奇点处开始，就有了和经典理论中指定宇宙初态的问题，但是我们提不出任何特别的原因，认为它应当以这种而不是那种方式开始。在经典广义相对论中，因为所有已知的科学定律在 **Big Bang Cosmology** 奇点处失效，人们不能预言宇宙是如何开始的。引力似乎存在不同于粗粒化产生的内禀引力熵的出现，宇宙可以从一个非常光滑和有序的状态开始。霍金说：“广义相对论导致了自身的失效：它预言它不能预言宇宙。”

另一方面，**Einstein** 认为：自然界的真实定律不可能是线性的，也不可能从这种线性定律推导出来。**Maxwell** 方程组表现的几何定理就是：“边界的边界是不存在的。”当空间——时间曲率变大，量子引力效应明显，经典广义相对论没有把量子力学不确定性原理合并在里面，人们必须用量子引力论去理解宇宙是如何开始的。量子引力论开辟了另一种新的可能

性，在这儿空间——时间没有边界，所以没有必要指定边界上的行为，没有使科学定律失效的奇点，不存在在该处必须祈求某些新的定律给空间——时间设定边界条件的空间——时间边缘。因为整个宇宙的正引力质量为无穷大，空间和时间可能会共同形成一个在尺度上有限而没有任何边界或边缘的面，所以绝对空间弯曲为一个半径为无穷大的封闭的球形空间，而封闭的球形空间对光线有一种独特的聚焦作用，使得物体向远处运动时在一定距离上越来越大。由于绝对空间的运动速率为光速，整个宇宙是一个四维 **space-time** 连续统，不存在时间量子，只有在相对 **space-time** 中才有时间量子，因此不存在宇宙起源问题。人们可以说：“宇宙的边界条件是它没有边界。”宇宙是完全自足的，而不被任何外在于它的东西所影响，它既不能被创生，也不能被消灭，它就是存在。因此宇宙不存在起源问题，宇宙应当是时间上无始无终、空间上无边无缘，造物主无所事事的宇宙，这也符合唯物辩证法的基本观点——**space-time** 在本质上是无限的【3】。

现代物理学认为宇宙始终以接近于（其实相等）区分收缩和永远膨胀模型的临界膨胀率的速率膨胀，说明宇宙无始无终。物理学在时间的大门口（**Big Bang Cosmology**、大坍塌）走到了尽头；但另一方面，尽管有那么多表面上的变化，物理学在人们心目中始终走它的永恒之路。在物理学的描述中，“时间”不是一个原始范畴，在使用时间已临近“时间的大门口”这一观念是错误的。亚里士多德认为时间既是事物运动的尺度也是事物静止的尺度，实质上已得出了时间是物质持续性的量度，时间既不是运动，又不能脱离运动，它依赖于物质的运动而客观存在着。时间是无限制的，既时间在量上是无限的，又是无限可分的。宇宙既不生成，也不可能消灭，是单一的和永恒的，它的整个时期既无开端也无终结，在自身包含着无限的时间。【2】对整个宇宙来说，宇宙既没有来，也没有去。关于大爆炸理论，它可以是宇宙存在过程中的一个环节，而决不可能是宇宙的起源。如果说是起源也只能说是某个阶段的起源，宇宙是不存在一个绝对开始的那种“起源”的。

四、黑洞的存在性问题

（一）黑洞问题的提出

1795年，法国的拉普拉斯（**P·S·Laplace**，1749～1827）首次提出了“黑洞”的概念，他认为，地球的逃逸速度是11.186公里/秒，如果地球的半径 r 缩小到几厘米，其密度将非常大，地球表面物体的逃逸速度将超过光速 3×10^8 的5次方公里/秒，这时，外部的光可以射到地球上，但地球上的光却无法逃逸到太空中去，太空外部的人看不到地球云层反射的光，地球就成了宇宙中的一只“黑洞”。同理，如果宇宙中有某些天体的密度特别

大, 也就会变成宇宙中的“黑洞”。

Einstein 在广义相对论中所建立的引力场方程为:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

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:

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

显然, 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。在奇点处, “一切科学预见都失去了效果”, 没有时间, 也没有空间。无穷大的出现显然是广义相对论的重大缺陷。20 世纪初, Einstein 认为“黑洞”的成因是引力造成了空间弯曲, 故光子无法逃到这种至密天体的引力场外。后来, 施瓦西 (Karl Schwarzschild, 1873~1916) 为 Einstein 的“相对论”黑洞确立了一个“视界”, 光子只能被禁闭在“视界”之内, “视界”之外的空间仍然是平直的欧几里德空间, 光子仍然遵守地球空间中的一切物理定律。广义相对论预言, 当大质量的恒星达到极高密度时, 就在空间形成了一只很深的“引力陷阱”, 最终把空间弯曲到这样一个程度, 以致附近的任何物体, 包括光线在内被其吞灭, 就好像一个无底洞, 这样的天体称为黑洞。在黑洞的中心是一个奇点, 那里所有的物质都被无限压缩, 时空被无限弯曲。按照广义相对论, 黑洞并不是通常意义上的物质实体, 而是一个区域, 一个极度弯曲了的空间。一旦物质落入这一弯曲了的空间, 它就立刻消失得无影无踪, 不管黑洞吞掉了多少物质, 它本身依旧是弯曲的空间。根据广义相对论, 引力场将使时空弯曲。当恒星的体积很大时, 它的引力场对时空几乎没什么影响, 从恒星表面上某一点发的光可以朝任何方向沿直线射出。而恒星的半径越小, 它对周围的时空弯曲作用就越大, 朝某些角度发出的光就将沿弯曲空间返回恒星表面。等恒星的半径小到一特定值 (天文学上叫“史瓦西半径”) 时, 就连垂直表面发射的光都被捕获了。到这时, 恒星就变成了黑洞。说它“黑”, 是指它就像宇宙中的无底洞, 任何物质一旦掉进去, “似乎”就再不能逃出。黑洞是引力汇点。

自 20 世纪 70 年代以来, 英国的霍金 (Stephen Hawking, 1942~) 相继提出了“微

型黑洞”、“量子黑洞”的概念, 认为“微型黑洞”可以在宇宙间四处游荡, 甚至经常光顾太阳系, 并曾对太阳与行星的引力场产生过影响。“量子黑洞”是一种“灰色天体”它里面的某种“虚粒子”可以从黑洞中“蒸发”出来, 故“黑洞不黑”, 仍然可以与“视界”外的空间交换能量。严格说来, “黑洞”理论本身就是另外一种“引力佯谬”或“引力悖论”, 它是按牛顿“万有引力”理论推导出来的一种“极限天体”, 现实宇宙无法满足这种“极限天体”所要求的物理条件, 故它不可能得到任何观测与实验的检验。当我们在实验室里把某种物质的密度加大到一定程度时, 这种物质必然因理化环境的改变而抗拒密度的增加, 或始终维持在固态的最小密度状态, 根本不可能实现黑洞所要求的密度条件。就天文观测的角度讲, 如果某种天体的体积与质量达到了一定极限, 其内部热能必然导致它溶解、气化、等离子化, 通过向外“蒸发”来减少自己的质量, 从而使自身的物质密度维持在一个有限范围之内。比如银心的直径已达 1 光年多, 它就不得以蒸发、辐射的方式向外界排泄质量, 以减少自己的质量或扩大自身的体积, 来维持一个合理的平均密度。

“黑洞”理论家们正是把牛顿的“万有引力”绝对化, 只强调宇宙物质相互吸引的一面, 避而不谈物质吸在一起之后的离异与“蒸发”, 只强调“万有引力”定律的数学结果, 而回避“万有引力”造成的物理演化, 只看到“万有引力”趋势所*近的极限, 而不思考*近这一极限时出现的必然转化。因此, “黑洞”理论不是物理学说, 而是片面的数学理论, 是“万有引力”悖论群中的一种。近几十年来, 随着“相对论”物理学的走红, “黑洞”这一传统“引力佯谬”又繁衍了一些现代版的“引力悖论”。一些“科学家”相信, 支配宇宙运动的唯一力量是“万有引力”, 在前宇宙时期, 这种力曾经把整个宇宙星体吸在了一起, 成了一个超大无比、独一无二的宇宙体, 因为它质量太大, 表面的地块不断向中心挤压, 造成了一层引力坍塌, 最后塌缩成了一个半径为 0 的宇宙奇点, 这个奇点包含了全部宇宙的热量、质量与能量。150 亿年前, 这个宇宙奇点再也忍受不住宇宙引力的禁锢, 以“大爆炸”的形式来释放它内部的热量、质量与能量, 最后就形成了我们现在所居住的宇宙。另一个版本的解释是, “万有引力”并没在奇点形成后失去作用, 而是继续吸引收缩, 只不过这时的引力矢量换向, 由原来的实数值变成了虚数值, 宇宙由半径为 0 的奇点状态向半径为负值的虚数状态演进, 这种虚数宇宙就是“白洞”。

谈到黑洞, 离不开史瓦西半径 (Schwarzschild radius)。史瓦西半径的是说, 在史瓦西半径之内的物体, 即使加速到接近光速, 也没有办法逃离黑洞。而在史瓦西半径之外的物体, 可以逃离黑洞的重力

场。史瓦西半径 (Schwarzschild radius) 的公式如下 (文献 1): $R_s = 2 * G * M / C^2$ 上式中: R_s 为史瓦西半径, 单位为 m; G 为万有引力常数, 毕姆斯 (Beams, J. W.) 等人得到的值为 $6.674 * 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$ (文献 2); M 为黑洞的质量, 单位为 kg; C 为光速, 其值为 $299\,792\,458 \text{ m/s}$; 这个公式是史瓦西将静态球对称引力场代入广义相对论场方程得到的史瓦西解 (Schwarzschild Solution)。史瓦西解告诉我们, 广义相对论预言一种物体, 那就是黑洞。只要接近黑洞到一个限度, 你就会发现时空被一个球面 (半径为史瓦西半径) 分割成两个性质不同的区域, 这个球面称为“事界”(Event horizon)。史瓦西半径的公式是说: 一个物体囚禁光的半径与该物体的质量成正比。已知太阳和地球的质量, 我们不难求出太阳的史瓦西半径是 3km, 也就是说, 质量跟太阳一样的黑洞, 如果光接近到 3km 以内, 就逃不出来了。而地球的史瓦西半径为 0.9cm。

广义相对论的引力场在理论上存在着奇性, 这种奇性具有十分奇特的性质, 沿着短程线运动的粒子或光线会在奇性处“无中生有”或不知去向。按照广义相对论, 演化到晚期的星体只要还有两三个太阳的质量, 就会迟早变为黑洞, 包括光线在内的任何物体都会被黑洞的强大引力吸到里面而消失得无影无踪。不仅如此, 黑洞还要不断坍缩到时空奇性。时间停止了, 空间成为一个点, 一切物理定律, 包括因果律都失去意义, 一切物质状态都被撕得粉碎。此外, 经典理论中的一个黑洞永远不能分裂为两个黑洞, 只能是两个或两个以上的黑洞合为一个黑洞, 其结果很可能是整个宇宙变为一个大黑洞, 并且早晚要坍缩到奇性。寻找黑洞的观测工作也在稳步进展。1970 年底, 美国和意大利联合发射了载有 X 射线探测装置的卫星, 这颗卫星工作到 1974 年, 共探测到 161 个射线源, 经筛选确认, 天鹅座 X-1 最有希望是一个黑洞。另外, 圆规座 X-1 与天鹅座 X-1 数据非常相似, 也很有希望被证认为黑洞。现在关于黑洞的理论的研究正在进展, 观察结果还有待进一步证实。无论如何, 广义相对论竟然要求这类难以接受的奇性, 无疑是一个难题。或者广义相对论本身要修改, 或者物理学的其他基本概念和原理要有重大变更。

美国天文学家借助“钱德拉”X 射线天文望远镜在双鱼座发现一个新级别黑洞。科学家们通过研究该黑洞的 X 射线爆发持续时间和爆发周期而大致确定了它的级别——质量相当于一万个太阳。科学家们称, 新发现的这个黑洞只能算作是一种中等级别的黑洞。此前, 科学家们所探测到的黑洞主要有两种类型, 一种是质量仅相当于太阳质量十倍多的类恒星黑洞, 另一种则是质量为太阳数十亿倍的超级黑洞。本次发现的这个黑洞位于双鱼座的 M74 星系中, 它与地球的距离约为 3200 万光年。科学家们解释称, 该黑洞的 X

射线爆发周期约为 2 小时, 其强度约相当于 10—1000 个中子星或类恒星黑洞。科学家们认为, 该黑洞 X 射线辐射的周期性变化与其周围聚集的热气体盘的变化有关。此前, 科学家们还通过长期的研究得知, 黑洞辐射的周期与其质量大小也有着密不可分的关系。根据上述这两个因素, 科学家们才能判定该黑洞质量约相当于 10000 个太阳的质量。科学家们还表示, 此类黑洞的产生一般有两种途径: 一, 这种中等质量的黑洞由高密星群中央的数十个甚至上百个恒星级黑洞合并而来; 二, 它是大型星系逐渐吞噬小型星系而形成的小星系核的残留物质。

(二) 黑洞的存在性质疑

《自然杂志》19 卷 4 期的‘探索物理学难题的科学意义’的 97 个悬而未决的难题: 68. 黑洞何时可以露真容? Einstein 并不相信黑洞, 查普林争辩道, “不幸的是, 他不能清楚地说明为什么。”问题的根源在于另一个 20 世纪物理学的革命性的理论——量子力学, 同样也是 Einstein 协助建立起来的。在广义的相对论中, 并没有一种所谓的“格林尼治时间”让其它地方的时钟以同样的速度转动。相反, 在不同的地方, 重力让时钟以不同的速度运转。但量子力学主要是描述细微空间中的物理现象, 因而它只有在宇宙通用的时间的前提下才会体现其理论价值, 否则就没有任何意义。这个问题在“视界(event horizon)”——黑洞的边界尤为显著。对于一个遥远的观察者而言, 这里的时间看似是静止的。一艘掉入黑洞的飞行器在遥远的观察者看来, 似乎永远地陷在了黑洞的边界; 但飞船中的宇航员们却能感觉到自己在继续下降。“广义相对论预示, 黑洞边界并没有发生任何变化。”查普林说。然而, 早在 1975, 量子物理学家们曾经提出争议: 在黑洞边界确实会发生奇怪的事情: 遵守量子法则的物质对轻微干扰变得极为敏感。“这一结果很快地就被忘记,” 查普林说, “因为它与广义相对论的预言不符。但是实际上, 它是完全正确的。”他认为, 这种奇怪的活动正是时空“量子相变(quantum phase transition)”的证据。卓别林认为, 死亡后的恒星并不会简单地形成一个黑洞, 而是在该时空内部, 充斥着暗能量, 而且这具有一些有趣的重力的效应。

查普林称, 暗能量星的“表面”外看, 它的“行为”与黑洞十分相似, 能够产生强大的重力牵引。但是内部, 暗能量的“负”重力可能会引起物质重新反弹回来。而且查普林预言, 如果暗能量星足够的大, 任何反弹出的电子将会被转变成成为正电子, 它将在高能辐射中消灭其它电子。卓别林表示, 这种情况可以解释我们观察到的银河系中心辐射现象。而此前对于这种现象, 天文学家们认为是银河系中存在着一个巨大黑洞的证据。

查普林还认为,宇宙可能充满着大量“原始”的暗能量星。这类星体并不是由恒星死亡而形成,而是由于时空自身的波动起伏所导致的,就像是冷却的液态气体中自然冒出的气泡。这些与普通物质一样具有重力效应,但是无法被观察到,它们就是人们经常提到的暗物质。

1974年,霍金通过研究黑洞外的量子力学,发现黑洞不仅能够吸收黑洞外的物质,而且能以热辐射的形式向外“吐出”物质这一量子力学现象。由于黑洞在向外蒸发物质的同时,温度也随之升高;黑洞不断地向外蒸发物质,它的温度越来越高,蒸发越来越快,最后将以大爆炸的形式向外吐出所有的物质而结束它的生命。黑洞一旦形成就会“蒸发”辐射出能量,同时损失质量,称为霍金辐射,亦称黑洞蒸发。霍金这一理论是黑洞研究中的一个重大进展。但与此同时,霍金在1976年的另一篇论文中对此的阐述是:黑洞辐射并不含有任何黑洞内部的信息,在黑洞损失殆尽之后,所有信息都会丢失。而根据量子力学的定律,信息是不可能被彻底抹掉的。这与霍金的说法似乎产生了矛盾,这就是“黑洞信息悖论”;而劳伦斯·M·克罗斯把它称为“怎样调和黑洞蒸发与量子力学?”

另外可能存在带 electric charge 的黑洞,一个带 electric charge 的黑洞既有 electric field 又有引力场,二者都可以储存能量。例如,有人提出在带电球对称黑洞中的量子不可克隆定理,如 Susskind 等在讨论史瓦西黑洞中提出量子克隆监督,即在史瓦希黑洞中,永无可能探测到被克隆的量子信息,并进一步得出结论,量子不可克隆定理和黑洞互补原理是两个相容的理论;但如果把讨论的范围扩大到一般球对称黑洞,在带电球对称黑洞中量子不可克隆定理和黑洞互补原理也似乎存在着不可调和的矛盾。黑洞中信息的丧失以及黑洞的体积随着质量的增加,密度逐渐减小。现代物理学已经证明,一个处在稳定状态的黑洞只能有引力质量、电荷和自转角动量三个物理量,最简单的一类黑洞既没有电荷,也没有自转,而只有引力质量。既然引力质量之间同时存在着引力与斥力,那么自然界中应当不存在黑洞,而万有引力定律与广义相对论都无法排除黑洞的存在,而天文学又无法观察到黑洞。加利福尼亚大学洛杉矶分校的布拉德·汉森等人近年来却发现,在距离银河系巨型黑洞不到 0.5 光年的星团中,却存在着许多年轻的恒星,它们的年龄都不足 1000 万年【1】。那么,它们又是如何在巨型黑洞的眼皮底下形成的呢?——显然,这是一个极为突出的矛盾!因此说,现有的关于黑洞存在证据的科学解释,并没有自圆其说!他们认定大于三个太阳质量的中子星就会被引力压缩为一个黑洞,如果按天体原子模型,中子星并不是恒星的死尸,而实际上,中子星内部能级很高,反引

力很大,考虑了反引力存在以后,大于三个太阳质量的中子星,引力就不可能把这颗中子星压缩为黑洞了。

(三) 席瓦西度规并没预言黑洞一定存在----- 黑洞不存在的一个简单证明

我们知道,对于静态的球对称物质,其引力源外的度规是

$$d\tau^2 \equiv ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) dt^2 - \frac{1}{1 - \frac{2GM}{r}} dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)$$

(1)

τ 是固有时,即固定在该质点上的钟的记时。因为度规应是连续的时空坐标的函数,所以(1)应能适用于引力源边界上的质点。因此对于半径为 R 的引力源边界上的一个静止质点来说应有

$$d\tau^2 \equiv ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) dt^2 = \left(1 - \frac{2GM}{R}\right) dt^2。$$

因此必有 $1 - \frac{2GM}{R} \geq 0$ 。所以对于在引力源外

($r > R$) 沿径向运动的光子来说有

$$0 = d\tau^2 \equiv ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{r}\right) dt^2 - \frac{1}{1 - \frac{2GM}{r}} dr^2，$$

即

$$v^2 \equiv \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^2 > 0，$$

这说明源外的光速不能为零,静态黑洞不存在。对于沿径向振荡的源来说,其边界上的点必有静止的一瞬间,同样有 $1 - \frac{2GM}{R} \geq 0$,因此振荡的引力源

也不导致黑洞。收缩的源边界上的点总有静止的时后,因此收缩的源也不会导致黑洞。膨胀的源最终解体也不会导致黑洞。总之席瓦西度规并没真正地预言黑洞一定存在。以往忽视了引力源的作用,才出现了有黑洞的错误预言。

(四)、彭罗斯和霍金的争论

长期以来,人们认为黑洞会吞噬一切。1974年,霍金通过研究黑洞外的量子力学,发现黑洞不仅能够吸收黑洞外的物质,而且能以热辐射的形式向外“吐出”物质这一量子力学现象。由于黑洞在向外蒸发物质的同时,温度也随之升高;黑洞不断地向外蒸发物质,它的温度越来越高,蒸发越来越快,最后将以大爆炸的形式向外吐出所有的物质而结束它的生命。黑洞一旦形成就会“蒸发”辐射出能量,同时损失质量,称为霍金辐射,亦称黑洞蒸发。霍金这一理论是黑洞研究中的一个重大进展。但与此同时,霍金在1976年的另一篇论文中对此的阐述是:黑洞辐射并不含有

任何黑洞内部的信息,在黑洞损失殆尽之后,所有信息都会丢失。而根据量子力学的定律,信息是不可能被彻底抹掉的。这与霍金的说法似乎产生了矛盾,这就是“黑洞信息悖论”;而劳伦斯·M·罗斯把它称为“怎样调和黑洞蒸发与量子力学?”仅是表达“黑洞信息悖论”如何解答的进一步说法。黑洞信息丧失问题上的争论,首先由彭罗斯和霍金引起。这是因为在奇点和奇环是不同拓扑结构问题上,霍金和彭罗斯采取了不同的立场。霍金的宇宙,永远膨胀类似一个球面;反之,收缩也应是球面,而球面是有奇点的。而彭罗斯利用扭量理论理解的宇宙是复数的;扭量理论迈向了实、虚、正、负、零五元数量子时空,是一次飞跃,但扭量理论对复数的量子时空,仅用共形投影的黎曼球来处理,这是不完整的,所以扭量理论至今发展不大。如果复数量子时空的虚部分,可以看成是在“点内空间”,黎曼球的整个球面或者半个球面占据的地方,就类似一个环面。

1、史瓦西黑洞是球对称的,是有奇点的。转动的克尔黑洞,内部有一个奇环,是没有奇点的。另外,带电的纽曼黑洞或既带电又旋转的克尔-纽曼黑洞,有复杂的奇环结构,也是没有奇点的。

2、霍金认为,如果在宏观黑洞中信息丧失,那么信息也应在因度规量子起伏出现的微观的虚黑洞过程中丧失。在霍金看来,事件视界的存在和内禀引力熵的存在,以及相伴随的量子纯态向混合态的演变,在原来的量子不确定基础上引入了额外的不确定性。

3、这里如果用虚黑洞的方生方灭,来理解纯态向混合态的演变,霍金思维和彭罗斯的扭量思维是等价的。从相互作用实在论的立场看,虚过程和所谓的可能发展趋势,是相对于实过程来定义的。如果把波函数相位视为信息,虚过程丧失的只是相位信息。

4、彭罗斯认为虚黑洞对的涨落,会导致量子体系的相空间体积和信息的丧失,而作为量子测量的 R 过程,会导致波函数塌缩并引起相空间体积的补偿增益,而且这个过程不是时间对称的。如果上述过程是时间对称的,应该容许封闭量子体系内有白洞出现,但他认为这违背热力学第二定律;而真正的量子引力论一定会涉及时间不对称性。其实彭罗斯忽视了类似大小相等、方向相反而对称的力线,也可以不作用在同一点上。即量子理论的“时间对称”曾被笼统地理解了。虚黑洞可以有时间是对称的,也可以有时间不是对称的。宇宙大爆炸,就类似虚数的封闭量子体系运动到“零”出现的白洞。或者如霍金认为,在一定程度上,量子力学的霍金辐射可被看作是经典的物质被黑洞“吞没”的时间反演。

5、在量子宇宙学中,霍金将黑洞的熵与时空拓扑的变化联系起来,也是与彭罗斯的设想是一致的。彭罗斯的扭量复数量子时空,认为黑洞产生的概率是与

量子测量得到的信息量非定域地关联在一起的,即使不出现黑洞,量子测量也能进行。而霍金按照费曼路径积分的方法来理解量子理论,一个粒子不像在经典理论中那样,不仅只有一个历史;相反地,它被认为是通过时空中的每一条可能的途径,每一条途径有一对相关的数,一个代表波的幅度,一个代表它的相位。粒子通过一指定点的概率是将通过此点的所有可能途径的波叠加而求得。但人们不是对发生在我你经验的“实”时间内的路径求和,而是对发生在所谓的“虚”时间内的粒子的路径求和,把波加起来,这就是量子场论中的维克旋转,用 it 代替 t 实现时间轴的旋转,同时把闵可夫斯基空间翻译成欧氏空间,在欧氏理论中量子场论的某些表达式(譬如路径积分)可被更好地定义。霍金进一步把“维克旋转”运用到洛化度规这一类弯曲时空的度规中,以便得到欧氏度规的空间的更高水平上的维克旋转。

即依据霍金的说明,要用费曼的历史求和方法确定宇宙波函数,在数学上非常困难,要运用鞍点近似和维克旋转等数学技巧,这就要求时间值取虚值,并且虚时间所对应的度规还要周期等同。在实时间中,只能朝着时间将来的方向前进,或沿着时间将来方向夹一个小角度的方向前进,在这个方向上不可避免地会遭遇到奇性,实时间在此到达尽头,而虚时间和实时方向夹一直角,在虚时间中就可转弯绕过奇性了。在霍金看来,虚时的引入意味着时间和空间之间的差别完全消失了;在欧几里德时空里,在时间方向和空间方向之间没有任何区别,而在闵氏时空或普通弯曲时空中,所有点上的时间方向都位于光锥里,而空间方向则位于外面。霍金认为,在普通量子力学中虚时和欧几里德时空的运用,仅仅视作一种计算实时空答案的数学方法的理解。但是,霍金同时又推测对虚时间概念作实在论解释的可能性,认为虚时间很可能比实时间更基本,广义相对论中的实时间在合理的因果性和物质分布的条件下不可避免地导致奇点,而量子引力论中的虚时间可以回避奇点,从中可以延拓出实时间,很可能是更为基本的时间概念。这里,实际是霍金超越或解读了彭罗斯的扭量时空理论。

6、其实量子引力作用量,虚时间的引入平心而论,就类似在“点内空间”的事情,而且这只不过在强化实在性结构。实际上各种描述,包括真空和物理场在内的非实物的相互作用量,就都预设了类似“点内空间”的物质过程的存在,这在不同的理论中,可以指称不同类型的真空态量子场,它们的物理场及其涨落也可以不同,其宇宙的边界条件也就自然成了它没有边界。而有了无边界条件和虚时间,通过对宇宙所有可能的时空度规求和,也能类似如霍金找到那个理想化宇宙波函数,即“点内空间”能更多更好描写一个没有物质只有宇宙常数的理想化宇宙自发创生的过程。这个过程可想象成半个欧氏四维球面或环

面，或者旋转的整个球面或环面。这里也能满足彭罗斯需要的，把场论分解为正频和负频部分，因这实际是指趋向于零的正虚数与负虚数频部分、正实数与负实数频部分。

7、不管是牛顿还是 Einstein 引力公式，对质量巨大的星体，都会形成将三维空间分为两个区域：一个是以称之为视界的二维光滑曲面为边界的内区域；一个是以视界以外的渐近平直的外区域；而且要求内区域中的点不能与外区域中的任何点通信息。球面和环面拓扑结构不分的人，认为只要与坐标系的选择无关，就能反映时空的内在性质，而不必区分奇点和奇环的存在，或者认为在奇点和奇环处，就都只是时空的曲率无穷大（弯曲程度无穷大），物质的密度也无穷大。

由于他们只是希望时空中最好不存在奇点，也就推测真实的时空中没有奇点。其实这是对的，情形也简单，只要了解宇宙大爆炸类似起于奇环就行。因为上述奇点的出现，是由于他们把时空的对称性只想象得如球面造成的。彭罗斯也认为，只要 Einstein 的广义相对论正确，并且因果性成立，那么任何有物质的时空，都至少存在一个奇点。而霍金参加进来，只是补充了另外的证明。不过，彭罗斯提出了“宇宙监督假设”来改善奇点的处境。他提出，“存在一位宇宙监督，它禁止裸奇点的出现”。也就是说，“宇宙监督”要求奇点必须包含在黑洞里面，这样生活在黑洞外面的人，不会受到奇点的“不良”影响。因为任何信息都不可能跑到黑洞外面来。

8、但研究也表明，裸奇点出现时，黑洞的温度会处在绝对零度。因此这位“宇宙监督”很可能类似就是热力学第三定律。奇点定理表明，时空中至少存在一条具有如下性质的类光（光速）或类时（亚光速）曲线，它在有限的长度内会断掉，而且断掉的地方不能用任何手段修补，以使这条曲线可以延伸过去。即“奇点”就是时间过程断掉的地方。彭罗斯等人相信真正的量子引力论应该取代奇性处的时空的目前观念，以一种明晰的方式来谈论经典广义相对论中的时空奇点。彭罗斯主张把实际的“奇异点”以及“无穷远处的点”，也就是理想点合并到时空中去。例如，令 IP 是不可分解的过去集。“过去集”是包括自身过去的一个集合，类似宇宙“膜”外的“点外空间”或“膜”内的“点内空间”。“不可分解”是指它不能被分离成两个互不包含的过去集合，即“点外空间”和“点内空间”不能被分离成两个互不包含的集合。IP 有两个范畴，即 PIP 和 TIP。一个 PIP 是一个正规的 IP，即一个实际时空点的过去。一个 TIP 是一个终端的 IP，而不是时空中的一个实际点的过去。TIP 是未来理想点的过去。如果这个理想点“在无穷”，则称为 ∞ -TIP，类似“点外空间”；如果这个理想点是奇点，称为奇性 TIP，类似“点内空间”。彭罗斯指出，为了

使一切分类行得通，我们必须假定没有两点有相同的未来或相同的过去。这样一来，黑洞内部的那些封闭类时线在彭罗斯看来可能是没有物理意义的数学虚构；即使它们是实在的，由于被视界所包围，因果性和时序的混乱也不会影响黑洞外部的物理过程。霍金后来也提出“时序保护猜想”，认为时空的真空量子涨落必然会堵塞封闭类时线构成的虫洞或时间机器；而且，霍金从量子论的费曼图计算中得出 Godel 宇宙解出现的概率趋向于零。

9、彭罗斯相信在引入宇宙监督假设后，经典广义相对论可以保证因果性和时序。而霍金却相反，他认为在引入虚时和无边界条件，“点内空间”也可以倾向于一个闭合的宇宙；当然这仅是相对于他认为经典的广义相对论无法给出明确的时间箭头而说的。而彭罗斯认为，大爆炸奇性不同于黑洞奇性，由韦尔曲率假设，初始奇点（大爆炸）的韦尔曲率为零，而终结奇点（大挤压和黑洞）的韦尔曲率可能会发散；两种类型的奇性也许满足完全不同的定律，可能量子引力对于它们的定律是完全不同的。其实，这不是怀疑统一场论的可能存在，不是否定宇宙演化遵循统一的规律。彭罗斯和霍金的不同理解，都是把连续统中实数与虚数分开的，都是对的。例如，霍金认为，这种分开后，奇点的经典分类对于量子引力定律是无意义的。实际上，如果在宇宙“膜”内考虑引力熵和韦尔曲率假设的联系，热力学第二定律也可以从物质系统趋向稳定运动分布的这一更普适的事实中推导出来。

资料：

1、美国当地时间 4 月 2 日（北京时间 4 月 3 日）消息，美国加州劳伦斯-利弗莫尔 (Lawrence Livermore) 国家实验室物理学家乔治-卓别林 (George Chapline) 表示，宇宙中并不存在着所谓的“黑洞”，并认为人们通常所指的黑洞神秘物质实际上是“黑能 (dark-energy) 星体”。

长期以来，黑洞已经成为了科幻小说中的重要材料之一。不少人认为，天文学家可以通过间接方式来观察到黑洞的存在，而巨型恒星死亡后就会形成黑洞。但卓别林认为，恒星死亡只会形成“黑能”物质。过去数年中，天文学家对银河系的观察表明，宇宙的 70% 左右是一种奇怪的“黑能”所组成，正是它们在加速着宇宙的膨胀。卓别林说：“几乎可以肯定地说，宇宙中并不存在着黑洞。”

黑洞是 Einstein 广义相对论中最为著名的预言之一。广义相对论解释了受巨型恒星重力影响，会导致时空结构产生扭曲的现象。该理论认为，当某颗恒星死亡后，会受自己的重力影响而缩成一个点。但卓别林却认为，Einstein 本人也不相信黑洞的存在。卓别林说：“不幸的是，他也无法说出准确的原因。”而解决该问题的根源就在于 20 世纪物理学的另一项革命性理论：量子力学。

广义相对论认为，并不存在使任何一处时钟速度都相同的“宇宙时间”，相反，不同地方的重力不同，所导致的时钟速度也各不相同。但量子力学主要是描述细微空间中的物理现象，因而它只有在“宇宙时间”的前提下才会体现其理论价值，否则就没有任何意义。卓别林认为，问题解决的焦点就在于黑洞边界(event horizon)。对一个非常遥远的观察者来说，我们这儿的时间看起来会处于停止状态。同理，如果一艘飞船落入了某个黑洞之后，对遥远的观察者来说，飞船似乎被永远陷在了黑洞边界上，但飞船中的宇航员们却能感觉到自己在继续下降。卓别林说：“广义相对论预示，黑洞边界并没有发生任何变化。”

1975年期间，量子力学专家们表示，黑洞边界确实发生了一些奇怪的事情：遵守量子法则的物质对轻微干扰变得极为敏感。卓别林说：“这个发现很快就被大家忘记了，因为它不符合广义相对论的预言。然而今天看来，它却是完全正确的发现。”他认为，这种奇怪的活动正是时空“量子阶段转变”的证据。卓别林认为，死亡后的恒星并不会简单地形成一个黑洞，而是在该时空内部，它却充斥着黑能，并具备重力影响。

卓别林称，在某颗黑能星的“表面”，它看起来很像一个黑洞，并能制造强大的重力牵引。然而在它的内部，黑能的“负”重力又有可能将物质重新弹出来。如果某颗黑能星体积很大，任何反弹出来的电子转变成了正电子，然后会在高能辐射中消灭其它电子。卓别林表示，这种情况可以解释我们观察到的银河系中心辐射现象。而此前对于这种现象，天文学家们认为是银河系中存在着一个巨大黑洞的证据。

卓别林还认为，宇宙中还有可能充满了大量“原始”类黑能星，这类星体并不是由恒星死亡而形成，而是由于时空自身的波动起伏所导致。而这种星体有可能就是人们通常据说的暗物质：它们与普通物质一样具有引力，只是无法被观察到。[

2、美国宇航局9月9日宣布，钱德拉X射线太空天文台监测到来自距地球两亿五千万光年的英仙座星系巨大黑洞声波的证据。这是人类首次发现黑洞可以发射声波，有媒体将此戏称为“黑洞在歌唱”。然而黑洞的“歌声”实在是太过低沉，它比钢琴的中央C低57个八度音阶，远远超出了人类的听力范围，使得人类无法直接欣赏到黑洞的“美丽歌喉”，这也是目前人类在宇宙中监测到的最低音调。“黑洞”很容易让人望文生义地想象成一个“大黑窟窿”，其实不然。所谓“黑洞”，就是这样一种天体：它的引力场是如此之强，就连光也不能逃脱出来。当英国科学家霍金根据量子力学研究物质在黑洞邻近的行为时，非常惊讶地发现，黑洞如同平常热体那样产生和发射粒子，这就意味着黑洞不是完全黑的。为了进一步研究黑洞，

很多科学家把重点集中在物质被黑洞吸进之前，也就是研究黑洞边缘的情况。英国剑桥天文研究所的安迪·费边教授和他的同事研究钱德拉天文台的X射线图片时发现，英仙座星系黑洞附近的太空气体以其为中心呈同心圆排列，波的距离为3万光年，据此可确定声波的音调。科学家认为黑洞声波是由双重重力造成的。也就是说在物质被吸引进黑洞时会对太空气体产生的压力，而黑洞自身喷射物质时也会产生压力。在此之前，科学家已经发现黑洞可以发光发热，但黑洞可以发声还是首次为人类所发现。该发现除了有助于人类了解英仙座星系的形成外，还有助于解开人类多年未解的谜团，即英仙座黑洞周围的太空气体为什么不会冷却下来，形成星体。科学家认为可能是由于黑洞声波的巨大能量对太空气体加热造成的。(2005年9月18日)(摘自天文探索)。

多年来，神秘的黑洞理论令众多顶级科学家心驰神往，为如何描述它而费尽心力。然而，一批美国科学家日前却提出全新的看法，认为所谓黑洞根本是子虚乌有。

据《卫报》7月29日报道，提出该理论的是科学家席尔德领导的哈佛—史密森天体物理研究中心的研究小组。他们观察到在距离地球90亿光年以外的宇宙间有一个类星体，它有很大的红移(光源远离观测者时，接受到的光波频率比其固有频率低，即向红端偏移)并放射出大量的蓝光，而且经常还有无线电波发出。此前科学家一直相信，类星体中央便是黑洞。

研究小组动用14部天文望远镜，对这个类星体进行前所未有的全面观察，通过分析其光谱，深入探测了其内部结构。他们发现，类星体的中央周围有一圈碟形的物质形成的洞，宽度相当于地球与太阳距离的4000倍。他们相信，那个洞是由一个强力磁场喷发出大量物质形成的，其中有许多等离子形成的奇特圆球体。

黑洞理论最早于1784年由一名英国地质学家提出，后经Einstein加以确认。英国著名天体物理学家霍金也在不久前进一步确定黑洞的存在。根据黑洞理论，这个可以吞噬一切的无底黑洞是没有磁场的。科研小组据此提出，类星体中央带有磁力的等离子球体的存在就排除了黑洞的可能。该研究小组的科学家莱特表示：“我相信，这是第一个能证明整个黑洞理论错误的证据。”(Figure 1)。

没有人知道宇宙中到底有没有黑洞。从黑洞这个概念提出的第一天起，科学家关于黑洞存在与否的争论就没有停止过。尽管黑洞理论能够解释一些问题，但宇宙也变得越发“诡异”和难以捉摸。最近，美国科学家在《物理评论D》(Physical Review D)上撰文指出，黑洞是不可能存在的。如果他们的认识是正确的，那么天文物理学将经历一次新的变革，困扰科学家40余年的难题也将不攻自破。

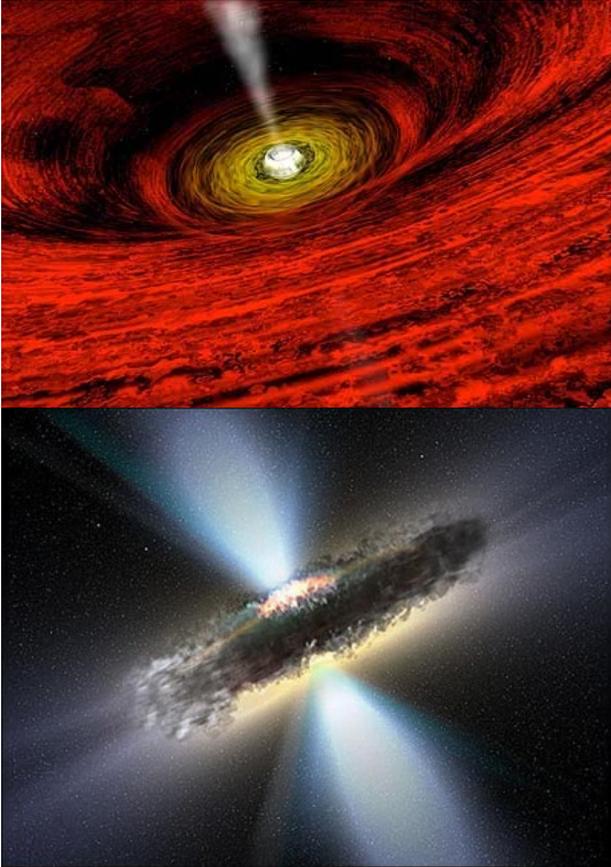


Figure 1. 科学家新的研究表明，黑洞可能并不存在

► 推翻现代宇宙学说 宇宙间可能根本不存在“黑洞”

简单说来，黑洞就是空间中的一个点，它的万有引力趋于无限大。在距离黑洞中心一定范围之内，它的引力大得连光都无法逃脱，这个范围就是所谓的“视界”(event horizon)。1974年，理论物理学家史蒂芬·霍金提出，量子物质能够以某种“狡猾”的方式逃出黑洞。他认为，粒子-反粒子对有一定的随机几率能够瞬间以实物形式“跨”于“视界”之上——其中一个坠入黑洞，另一个则将能够自由。这就是著名的“霍金辐射”(Hawking Radiation)。这一理论表明，黑洞并非只进不出，它可以缓慢地释放出一些物质，被吸入黑洞的一切事物都最终能在几十亿甚至几万亿年后“重见天日”。

这样看来，黑洞就成了一个矛盾体：即“密不透风”，又有所疏漏。这个两难的问题已经困扰了科学家40年之久。

在最新的研究中，美国凯斯西储大学(Case Western Reserve University)的物理学家 Lawrence Krauss 和同事构建了一个复杂的数学公式，能够证明

黑洞并不存在。Krauss 表示，公式的关键在于引入了爱因斯坦提出的时间延缓效应(relativistic effect of time)。

爱因斯坦在广义相对论中指出，飞向黑洞的宇宙飞船中的乘客会感觉到飞船在加速，而在黑洞外部的观测者看来，飞船的速度却在变慢。而当飞船到达“视界”时，这个速度可以慢到观测者认为飞船似乎会永远停在那里，但永远不会被湮没。Krauss 表示，时间能够在那个点上停止下来，这就意味着时间对于黑洞而言是无限的。如果黑洞会不断向外释放物质，质量逐渐减少，那么它们在形成之前就已经蒸发消失了。他说，这就好比是向一个没有底的瓶子里倒水，永远倒不满。

Krauss 表示，没有人真正见过黑洞。科学家会认为宇宙中遍布着黑洞，可能是由能够产生巨大引力的特大质量恒星遗骸引起的类似效果。实际上，Krauss 不是第一个这样认为的人。2005年3月，美国天体物理学家乔治·钱普拉因表示，宇宙中没有黑洞，所谓的黑洞是由“暗能量”组成的巨大星体(参见更多阅读4)。而在2006年7月，另一位美国科学家席尔德也发现了一个一直被当作黑洞的类星体(参见更多阅读5)。

NASA 戈达德空间飞行中心(Goddard Space Flight Center)的天文学家 Kimberly Weaver 评论说，人们对黑洞和宇宙的认识不会如此之快。尽管她十分欣赏凯斯西储大学科研小组所描述的结论，但问题是人类目前的观测还没有找到任何能够支持这一观点的事实证据。Weaver 说，天文学家确实在银河系中央的超大黑洞附近观测到星际物质毫无踪迹地消失。不过，到目前为止，也没有人真正探测到“霍金辐射”，找到黑洞蒸发的证据。(科学时报)

狭义相对论的基本原理及其宇宙学意义 —相对论百年礼记

(节选自狭义相对论的基本原理及其宇宙学意义—相对论百年礼记《科学》2005年4期)

郭汉英(中国科学院理论物理研究所)

在相对论体系中，相对性原理和宇宙学的不协调就非常突出。相对性原理要求，与引力无关的物理规律在惯性系之间的庞加莱群的变换下不变，后者有10个参数：4个时空平移、3个由速度确定的推进、3个空间转动。对于这些惯性系，没有自身的优越速度、时间没有方向性。只要不管引力和宇宙学效应，闵氏时空和庞加莱不变性是相对论物理和实验分析的基础，所有实验都与理论符合。时空测量、同时性定义以及一些基本的物理量的定义全都基于相对论和庞加莱不变性。在相对论性经典和量子力学中，能量、动量和质量的定义和守恒，以及质能公式等，都与时空平移密切相关。在相对论性经典和量子场论

中, 相应的物理量和公式同样如此。不同场的区分, 在于庞加莱群的不同不可约表示, 这些表示以庞加莱群的两个不变算子的本征值来表征, 分别是质量平方和质量自旋的平方。第一个算子由平移群的生成元给出, 第二个算子依赖于平移群和齐次洛伦兹群的生成元, 它们共同构成庞加莱代数。

然而, 如果要进行宇宙学观测或进行与宇宙背景有相互作用的实验, 或恰恰要测量这些相互作用的效应, 就会出现这个问题。河外星系红移表明, 具有优越速度、暗示宇宙在膨胀; 宇宙膨胀又给出时间箭头。微波背景辐射大体上可以代表宇宙背景空间的性质, 不过要扣除实验室相对于微波背景辐射的“漂移”。对于这类实验和观测结果表明: 适当扣除我们实验室的“漂移速度”、忽略原初扰动, 在一定近似下, 宇宙背景空间是均匀各向同性的、具有 6 个参数的变换群; 宇宙背景时空的度量是弗里德曼-罗伯逊-沃克度量, 依赖于标度因子和一个标记三维宇宙空间为开放的伪球面、欧氏空间还是闭合球面的参数 $A=1, 0, 1$, 对应的对称性分别是转动群 $SO(3, 1)$, 欧几里得群 $E(3)$ 和转动群 $SO(4)$; 标度因子仅依赖于宇宙时和 k , 其形式由宇宙中物质分布的能动张量通过爱氏场方程决定。在这种背景时空里, 由于存在优越速度和时间方向, 相对性原理不再成立; 按照庞加莱群的不可约表示对于物质场的区分和有关物理量的定义失去严格的意义。

英国著名学者邦迪早在 1962 年《物理学和宇宙学》的演说中明确提出, 相对性原理要求惯性系之间没有优越的速度, 河外星系红移等却具有优越速度; 满足相对性原理的基本物理规律没有时间方向, 宇宙演化本身就给出时间方向。“在宇宙学和通常的物理学之间, 看来存在着明显的冲突。”微波背景辐射发现后, 问题更加突出。1971 年, 爱氏的学生和追随者伯格曼在《宇宙学作为科学》一文中认为, “宇宙环境对于局部实验的影响导致相对性原理的等效破坏。”

但是, 在相对论体系中分析宇观效应的数据, 仍然要用以相对性原理和庞加莱不变性为依据的基本物理量和有关物理规律。这就出现问题: 在什么意义下可以利用闵氏时空和庞加莱不变性下的物理量和物理规律, 来分析有关宇宙效应的数据? 近似程度如何? 在相对论体系中二者如何协调?

通常认为, 这些不协调是对于两类不同的物理问题所引起的, 不是本质的冲突。就像其他物理理论一样, 往往可以用来研究具有不同对称性的物理系统。然而, 狭义相对论与宇宙学的关系却并非如此: 两者都是关于时空的理论, 宇宙学的基础广义相对论, 是以狭义相对论为基础建立起来的; 而相对性原理却又明显与宇宙学观测不相容。事实上, 一切实验和观测都是在我们的宇宙之中进行的, 如果找不到我们的

宇宙所近似满足的宇宙学原理和相对性原理之间的关系, 在宇观尺度上, 由相对论以及庞加莱不变性引申出来的观念和理论就会失去严格的基础。何况, 物理学的一个重要趋势, 是将宇观尺度与微观尺度的物理联系起来, 由相同的物理规律来描述。这就必须解决相对性原理与宇宙学间的不协调。然而, 在相对论体系中却无法做到。

其实, 这种不协调甚至可以追溯到伽利略。在划时代名著《关于托勒玫和哥白尼两大世界体系的对话》(1632 年) 中, 伽利略论述了在平静水面上静止或平稳匀速航行的大船中, 人们通过在船舱内的任何实验和观测, 都无法发现大船是在静止还是在航行。他以此来反驳托勒玫学派对于哥白尼学说的非难: 如果地球在绕着太阳转动, 为什么我们丝毫没有觉察? 这就是后来称之为伽利略相对性原理的著名论述。但是, 伽利略要求“把你和你的朋友关在大船甲板下的主舱里面”。换句话说, 实验者不能向外观望。显然, 如果向外观望, 就可以从大船与岸边的相对运动, 也可以通过天文观测, 来判断大船的运动状态。如果存在“以太漂移”, 即使在封闭的船舱内, 也能够判断大船的运动。

以伽利略相对性原理为基础的牛顿体系包含着这些不协调: 牛顿体系无法建立自洽的宇宙图景, 无法解决这些不协调。

这种不协调却值得反思。反映基本自然规律的基本原理之间应该是相互协调的。因此, 应该存在排除这种不协调的空间? 时间和宇宙理论。这样一来, 宇宙学原理就应该成为作为相对性原理基础的惯性运动的保障或者起源; 同时, 就会在满足相对性原理的惯性系中“挑选”出一类相对“优越的”惯性系。于是, 消除这两个原理的不协调, 有可能在给出惯性运动的宇宙学起源的同时, 回到存在一类“优越的”惯性系。当然, 这并不意味着回到牛顿, 因为牛顿体系根本不能建立自洽的宇宙图景。

其实, 在马赫对牛顿绝对空间的批判中就隐含着这一点。马赫认为, 质点不是相对于绝对空间, 而是相对于整个宇宙作惯性运动: “如果我们说, 物体保持其在空间的方向和速度不改变, 我们的这一断言只不过是相对于整个宇宙的简述。”“我们怎么能够确定这样的参照系? 只能参照宇宙中的其他物体 o ” (《力学史评》) 这就隐含着要求: 相对性原理与宇宙图景之间应该相互协调 n 是否存在这种理论呢? 应该存在! 常曲率时空相对性原理及其宇宙学意义

几十年前, 有关暗物质的观测结果就已经提出了挑战。1998 年以来, 有关暗物质、暗能量或宇宙常数的观测结果表明, 我们的宇宙在加速膨胀。宇宙不是渐近平坦的, 而是渐近于宇宙常数为正即具有正的常曲率的德西特时空, 简称为德氏时空。然而, 德氏时空又带来一系列疑难。

通行的看法是把宇宙常数相应于量子理论中“真空”的能量。然而，这样得到的宇宙常数值比观测值大了120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？

通常的做法是考虑种种动力学模型，或者修改引力场方程等。但是，如果运动学的基本对称性有所改变，动力学就必须重新建立 n

我国著名学者陆启铿早在1970年就建议，应该把惯性运动和惯性系的观念以及相对性原理推广。随后，他与合作者把狭义相对论推广到德氏和反德氏时空。最近，受到观测的推动，陆启铿等我国学者又进一步开展研究。

其实，惯性定律、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德氏和反德氏时空。与具有庞加莱不变性的相对论相应，可以建立在德氏群或在反德氏群下不变的相对论。有意义的是，在具有这两种相对论的德氏和反德氏时空中，相对性原理和宇宙学原理之间存在着内在联系，宇宙常数恰恰起着惯性运动起源的作用。不过，这里的宇宙学原理的对称性仍然是德氏或反德氏群。

在这两种时空中，为什么会存在惯性运动、惯性系和才目对性原理呢？

前面提到，与欧氏几何基本平权，存在黎曼几何和罗氏几何。在这些几何中，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。因此，物理测量中的“刚性量杆”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。在通常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“刚性量杆”以及标准钟的固有时服从的几何，那么就应该有与这三种基本平权的几何相对应的三种相对性原理。由于这三种几何分别是零、正和负的常曲率空间的几何，零曲率对应于闵氏时空，德氏和反德氏时空分别具有正和负的常曲率，因此，在后二者中就应该存在相对性原理。

还可以从场论中常用的维克转动来看。通常所谓维克转动就是把闵氏度量“转为”欧氏。如果从4维欧氏、黎曼和罗氏空间出发，作反维克转动，这三种空间分别成为闵氏、德氏和反德氏时空，前者中的直线分别成为后者中直的世界线。由于在闵氏时空中，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，在德氏和反德氏时空中，沿这类直的世界线的运动是否也是匀速直线运动呢？答案是肯定的。因此，在德氏和反德氏时空中存在惯性运动，相应的参考系是惯性系。

爱氏体系却难以容纳这一基本事实：按照爱氏，时空一弯曲就出现引力，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了。可是，德氏和反德氏时空又是爱氏方程的解，怎么解释呢？

在德氏和反德氏相对论中，各自具有两种同时性：与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。前者描述惯性运动和惯性系，以满足相对性原理的要求。如果取这类钟的固有时为新的时间坐标，后者却恰恰与常曲率时空中的宇宙学原理的要求一致。而且，二者的同时类空3维空间都是闭合的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联系；于是，宇宙学原理或者宇宙常数就成为惯性运动的起源或其存在的保证。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 n

观测表明，我们的宇宙渐近于德氏时空。如果把德氏时空的曲率半径与观测宇宙常数相联系，就“挑选”出德氏不变的相对论作为描述大尺度物理的候选者。我们的宇宙也就“渐近地”在满足相对性原理的德氏时空中，“挑选”出一类相对“优越的， J 惯性系 n

不过，这已经超出爱氏体系。相应的引力理论和宇宙论也有待进一步建立。应该强调，在这里宇宙常数是作为基本常数来处理的。由这个常数、光速、牛顿引力常数和普朗克常数，可得到一个应该表征引力的无量纲常数，其量级就是刚才提到的10-120。当然应该进一步问，什么是宇宙常数或者这个无量纲常数的起源？与其他基本常数或其他无量纲常数的起源一样，这个问题更为基本。在2000年弦理论会议提出的跨世纪十大问题中，它首当其冲：表征物理宇宙的所有(可测量的)无量纲参数是否原则上是可计算的，或某些仅仅是由历史或量子力学等偶然确定，是不可计算的？按照爱氏，应该是可以计算的。

“人择原理”却不以为然。不过，又会自然导致存在无限多个宇宙的假定，每个宇宙的无量纲常数和基本规律可以全然不同；生命和人则只生存于可生存的宇宙之中。简而言之，“宙合有橐天地”(《管子·宙合》)，“天外有天”，“人天合一”。进而对大宇宙系统做一些假定，同样可以对这些常数的取值给出一些限制。尽管这类假说有种种不同的哲学和宗教的含意和外延，却从“我们的宇宙”飞跃到“无限”。

不过，作为基本测量手段的光信号，其惯性运动是共形不变的。这样，对于光信号，任何宇宙图景都应进一步推广。而且，存在无限多个曲率半径不同的德氏宇宙就并不奇怪。

去年，美国高能物理顾问委员会公开发表了一部专著《量子宇宙??21世纪粒子物理学的革命》，介绍粒子物理面临的9大问题；位居首位的是：存在尚未发现的自然原理、新对称性和新物理学定律吗？这与陆启铿等我国学者的思路倒有些相似。爱氏强调，相对论“并不是起源于思辨；它的创立完全是要想使物理理论尽可能适应于观测到的事实。”“同空间、时间和运动有关的观念，决不能认为是随意的，而只能认

为是由观测到的事实所决定的 o” (《关于相对论》, 1921 年)

当前, 相对论体系和以相对论和量子理论为基础的物理学面临尖锐挑战。面对这一挑战, 爱氏的观点很值得借鉴。由于爱氏相对论的基本原理存在重要的“假设要素”, 相对性原理与宇宙学并不协调, 必须密切结合实验和观测深入考察这些“假设要素”是否合理, 是否可能消除某些不协调, 是否存在新的运动学, 并进而建立新的动力学。观测事实揭示暗宇宙在加速膨胀, 渐近于德西特宇宙。这暗示着, 应该考虑把相对性原理推广到德氏时空, 甚至共形德氏时空, 并进而建立引力理论、考察其宇宙学意义。

附录:

1、“据美国《发现》杂志网站记者 Adam Frank 2001 年 6 月 25 日报道, 美国莱切斯特 (Rochester) 大学激光能量实验室 (Laboratory for Laser Energetics) 的天体物理学家们人工构造了一个宇宙诞生初期的环境, 并将这一环境中尝试让一个新的宇宙诞生。”

“据该文报道, 这个实验室足足有一个足球场那么大, 内有几百吨重的玻璃、钢和塑料, 这些材料被混合在一起形成世界上最大的激光源, 称作 Omega 激光源。而且, 为了验证这一激光源的强大威力, 每隔一小时, 这一强大的能量库就会通过一个超强的闪光灯发射出 15000 伏特的电流, 同时产生 60 束分离的中子流, 这些中子流呼啸着穿过 180 英尺长的玻璃架, 到达一个灼灼闪光的分隔为两层的目标分隔实验室内。在一个巨大的蓝色球体的中心, 60 束激光聚焦在空间上的一点, 精确度是千分之一英寸。紧接着, 所有巨大的能量都释放出来, 在这一瞬间, 科学家可以创造出只有在一个恒星内部才有的压力和温度。这时候, 在只有针尖大小的一点上集中了 60000 亿瓦特的电流, 这简直是不可思议的, 比整个美国任何时候所需要的全部电流都要大。”

2、新华社电 日本名古屋大学日前公布, 由该校研究生院专家参与的一个研究小组在银河系附近大小麦哲伦星云之间发现 7 个能演变为星系的分子云, 为“星系仍在不断诞生”的观点提供了证据。研究人员利用位于智利的南天射电望远镜观察连接大小麦哲伦星云的氢原子气体带“麦哲伦桥”, 并在其中距离地球约 2 0 万光年处发现了 7 个分子云。这 7 个分子云聚集在约 6 0 0 0 光年的范围内。通过计算这些分子云的质量和运动速度, 研究人员推测, 2 0 亿至 3 0 亿年后这些分子云将演变为气体和超过 1 0 0 万个恒星, 从而形成小型星系。大小麦哲伦星云是离银河系最近的星系, 而之前发现的“星系种子”都距离地球 1 0 0 0 万光年以上。参与研究的名古屋大学天体物理学专家福井康雄说, 此次是科学家首次在距地球如此近的地方发现分子云, 为星系仍在不断诞生

的观点提供了证据。同时, 这也为近距离、详细观察分子云提供了可能, 有助于早日解开星系形成之谜。

3、新华网北京 2006 年 10 月 3 日电 (记者颜亮) 宇宙起源和命运的线索隐藏在它早期产生的微波背景辐射中。美国科学家约翰·马瑟和乔治·斯穆特凭借他们在宇宙微波背景辐射研究领域取得的成果, 将宇宙学带入“精确研究”时代, 并因此荣膺今年诺贝尔物理学奖。

目前科学界普遍接受的宇宙起源理论认为, 宇宙诞生于距今约 137 亿年前的一次大爆炸。微波背景辐射作为大爆炸的“余烬”, 均匀地分布于宇宙空间。测量宇宙中的微波背景辐射, 可以“回望”宇宙的“婴儿时代”场景, 并了解宇宙中恒星和星系的形成过程。

虽然人们在上世纪 60 年代就已知道微波背景辐射的存在, 但针对这种大爆炸“余烬”的测量工作一开始都是在地面上展开, 进展十分缓慢。大爆炸理论曾预测, 微波背景辐射应该具有黑体辐射特性, 但一直未能得到地面观测结果的确认。

借助 1989 年发射的 COBE 卫星, 马瑟和斯穆特领导的 1000 多人研究团队首次完成了对宇宙微波背景辐射的太空观测研究。他们对 COBE 卫星测量结果进行分析计算后发现, 宇宙微波背景辐射与黑体辐射非常吻合, 从而为大爆炸理论提供了进一步支持。

另外, 马瑟和斯穆特等还借助 COBE 卫星的测量发现, 宇宙微波背景辐射在不同方向上温度有着极其微小的差异, 也就是说存在所谓的各向异性。这种微小差异揭示了宇宙中的物质如何积聚成恒星和星系。诺贝尔奖评审委员会提供的材料介绍说, 如果没有这样一种机制, 那么今天的宇宙很可能完全不是现在这个样子, 其中的物质也许像淤泥一样均匀分布。

马瑟和斯穆特等人实现了对微波背景辐射的精确测量, 标志着宇宙学进入了“精确研究”时代。著名科学家霍金评论说, COBE 项目的研究成果堪称 20 世纪最重要的科学成就。在 COBE 项目的基础上, 耗资 1.45 亿美元的美国“威尔金森微波各向异性探测器”2001 年进入太空, 对宇宙微波背景辐射进行了更精确的观测。而欧洲“普朗克”卫星不久也将发射升空, 继续提高研究的精确度。

参考文献:

- 【1】史蒂芬·霍金. 果壳里的宇宙 [M]. 湖南: 湖南科学技术出版社, 2005.1.
- 【2】王义超: 暗能量的幽灵. 中国 <财经> 杂志, 总 176 期, 2007-01-08
- 【3】吴翔等. 文明之源——物理学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001, 222
- 【4】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.)

【5】《物理》第31卷第2期117页。

【6】[英]约翰·D·巴罗 著 卞毓麟 译.《宇宙的起源》 上海科学技术出版社 1996年6月

【7】阿西摩夫.古今科技名人辞典.北京:科学出版

社, 1988.331; 385.

【8】Einstein.狭义与广义相对论线说.上海科学技术出版社,1964. 90; 96.

【9】谭天荣.哥本哈根迷误.陕西科学技术出版社, 1988.134.

【10】中国科技网: 银河系中心可能存在黑洞。

Big Bang Cosmology

Li Xuesheng

Shangong University, China

xiandaiwulixue@21cn.com

This article describes the Big Bang Cosmology. [Academia Arena, 2010;2(2):1-22]. (ISSN 1553-992X).

Keywords: Big Bang; Cosmology

* 本文由 张洞生 推荐。