

黑洞研究中的重要疑难及可能的解答

Major Puzzles and Possible Answers in Black Hole Research

赵 峥/ZHAO Zheng¹, 田贵花/TIAN Gui-hua², 张靖仪/ZHANG Jing-yi¹, 胡亚鹏/HU Ya-peng¹

1. 北京师范大学物理系, 北京 100875

2. 北京邮电大学理学院, 北京 100876

1. Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2. School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

[摘要] 介绍了黑洞理论和广义相对论中的几个重要疑难, 涉及霍金辐射、信息佯谬、奇性定理和钟速同步, 并给出了可能的解答。介绍了计算动态黑洞温度的方法, 给出了由于不可逆性而导致霍金辐射过程中信息丢失的论证, 还给出了类光测地线固有加速度发散的论证。指出了钟速同步与热力学第零定律的关系, 以及奇性定理与热力学第三定律的关系。

[关键词] 黑洞, 霍金辐射, 信息佯谬, 奇性定理, 钟速同步

[中图分类号] P145.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)01-0019-04

Abstract: Some major puzzles in black hole theory and General Relativity, including Hawking radiation, information puzzle, singularity theorem and synchronization of clock rate, are presented. The possible answers are given. We introduce a method to calculate the temperature of a non-stationary black hole; the proof on the information loss during Hawking radiation due to the irreversibility of the process, and the proof on the proper acceleration being infinity for null geodesics. The relation between the synchronization of clock rate and the zeroth law of thermodynamics, and the relation between the singularity theorem and the third law of thermodynamics are pointed out.

Key Words: black hole, Hawking radiation, information puzzle, singularity theorem, synchronization of clock rate

CLC Number: P145.9

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)01-0019-04

1 引言

对黑洞的研究已经取得了长足的进展。虽然至今尚未确证黑洞的存在, 但对黑洞的理论研究已经揭示出一些涉及物理学和哲学基本观念的问题, 其意义已经超出了物理学和天文学的范围。

本文介绍黑洞研究中的几个基本疑难, 以及我们给出的解答。这些疑难的解决有可能导致物理学中一些基本观念的突破。

为了让更多的非专业人士了解本文, 我们在第2部分中对黑洞作了简介; 第3部分讨论了黑洞的热辐射; 第4部分介绍了与黑洞熵有关的信息佯谬, 以及我们得到的与最近备受重视的派瑞克(M. Palka)等人的工作相反的结论; 第5部分介绍了我们得出的自由光线加速度为无穷大的重要证明以及对奇性困难的解答; 第6部分介绍了我们得出的钟速同步传递性与热力学第零定律的关系; 第7部分给出了本文的结论。

2 黑洞简介

2.1 史瓦西黑洞

最简单的黑洞是静态球对称的, 称为史瓦西黑洞^[1-3]。史瓦西黑洞的质量 M 与半径 r_0 之间满足如下关系: $r_0 = 2GM/c^2$ 。式中 c 为光速, G 为万有引力常数。在 r_0 处, 形成一张奇异的球面, 在 $r=0$ 的中心处, 存在一个奇点。奇面处的奇异性可以通过坐标变换消除掉, 时空曲率并不发散, 因而不是时空本身性质不好, 而是坐标

系选择不好造成的, 是假奇异。奇点则是时空曲率为无穷大的地方, 而且曲率发散不能通过坐标变换消除掉。这是一种内禀奇点, 是时空本身性质不好造成的。

奇面处的奇异虽然是假奇异, 但奇面却有真实的物理意义。它是黑洞的表面, 称为“事件视界”, 简称“视界”, 意指可见区域的边界。也就是说, 黑洞内的任何东西(包括光)均不可能逃逸出视界。所以, 黑洞外的人不可能得到黑洞内部的信息。

黑洞内部的时空坐标要发生互换, 原来的时间 t 成为空间坐标, 而径向坐标 r 则成为时间坐标。所以黑洞内部的等 r 面不再是球面, 而成为了等时面。对于黑洞, 时间方向指向 $r=0$ 的奇点处。这样, 等 r 面成为“单向膜”, 任何进入黑洞的物质只能向 r 减小的方向运动, 不能停留, 也不可能反向运动, 而且没有任何力和任何物质结构能够抗拒这种运动。这是因为, 这不是一般的运动, 而是一个时间发展的过程, 什么力量都不能抵挡。

广义相对论指出, 进入黑洞的任何物质都将在有限的时间穿过单向膜区到达奇点。值得注意的是, 由于时空坐标互换, $r=0$ 现在不是黑洞的“球心”, 而是时间的终结之处。这就是说, 落入黑洞的物质在经历有限时间之后, 就到达了时间的“终点”。或者说, 它们的时间将在有限的经历中结束。也可以说, 经过有限的时间, 它们就处在时间之外了。至于“时间之外”是什么意思, 今天的自然科学还不能回答。

收稿日期: 2005-12-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(10373003, 10475013)

作者简介: 赵 峥, 男, 北京市海淀区新街口外大街19号北京师范大学物理系, 教授, 主要研究方向为黑洞、时空理论与弯曲时空量子场论; E-mail: zhaoz43@hotmail.com

黑洞是任何物体都能掉进去,进去就再也出不来的星体。按照广义相对论,还可能存在白洞。白洞是黑洞的时间反演。它的内部也是单向膜区,只不过时间方向从奇点 $r=0$ 处指向视界 $r=r_H$ 处。所以它的单向膜的单向性与黑洞相反。需要强调的是,白洞内部的 $r=0$ 处,不是时间的“终点”,而是时间的“起点”。白洞可以把内部的一切物质抛出来,但任何东西都不能落进白洞。

2.2 克尔-纽曼黑洞

最一般的稳态黑洞是克尔-纽曼黑洞,它的结构比史瓦西黑洞复杂得多,有两个视界。两个视界处都存在奇异性,但都不是内禀奇异性,时空曲率并不发散。黑洞的中心有一个奇环,而不是奇点。奇环处的奇异性是真的、内禀的,时空曲率在那里发散,而且这种发散不能通过坐标变换加以消除。

克尔-纽曼黑洞有 3 个参量:总质量 M 、总角动量 J 和总电荷 Q 。外视界是克尔-纽曼黑洞的事件视界,即黑洞的表面。掉入黑洞的任何物质都不可能再逃逸出来。伊斯雷尔等人提出“黑洞无毛猜想”,所谓“毛”就是信息。按照这一猜想,黑洞只剩下 3 根可为外界探知的“毛”:总质量、总角动量和总电荷。外部观测者失去了除这 3 根毛外的所有信息。

这一阶段的黑洞研究,停留在几何和力学的水平上。大家认为黑洞是一颗死亡了的星,进入黑洞的任何物质和信息都不可能逃出视界。

3 霍金辐射

3.1 霍金辐射的理论发展

重要的发现开始于 1971 年,这一年英国物理学家霍金(S. W. Hawking)提出“面积定理”,指出黑洞的表面积随着时间的发展只能增加不能减少^[1-3]。1972 年,美国的一位相对论专业的研究生贝肯斯坦(J. D. Bekenstein)看出这一定理与热力学第二定律的相似,做出了物理思想上的重大突破,指出黑洞的表面积是“熵”,黑洞具有热力学性质,有熵和温度^[4]。霍金断然拒绝贝肯斯坦的观点,认为贝肯斯坦曲解了自己的“面积定理”。黑洞不可能有温度和熵。理由是,如果有温度,黑洞就会有热辐射,但从黎曼几何的研究可以知道,不可能有任何东西(包括热辐射)从黑洞逸出,所以黑洞不可能具有温度和熵。1974 年,霍金改变了看法,不仅承认黑洞有温度和熵,还证明了黑洞有热辐射(霍金辐射)逸出。霍金辐射不受经典黎曼几何的限制,是一种量子隧道效应^[2,47]。

霍金与贝肯斯坦等人证明黑洞有热性质(温度和熵)的工作具有极大的启示性。它不仅指出了黑洞的一些基本性质,更重要的是揭示了万有引力与热效应之间可能存在本质的联系。黑洞原本是由广义相对论预言的天体,是从力学和几何导出的东西,然而它却具有统计性质,表现出温度和熵,这是人们始料不及的。

霍金辐射的理论诞生以来,黑洞热力学有了长足的发展。人们建立了多种计算黑洞温度的方法,证明了黑洞不仅热辐射光子,而且热辐射各种玻色子和费米子。不过,上述方法都只能处理不随时间变化的稳态黑洞。这类黑洞表面各点的温度是一个常数。但是,真实的黑洞处在不断的吸积和辐射中,不是稳态的,表面各点温度也不一定相同。

3.2 一种计算黑洞温度的方法

1991 年,我们提出了一种计算黑洞温度的方法,可以计算各种稳态和动态黑洞的温度,而且可逐点计算黑洞表面每一点的温度。迄今为止,这是唯一一种可以计算各种动态黑洞温度的方法,也是唯一一种可以逐点计算黑洞表面各点温度的方法^[48-9]。

这种方法利用了黑洞的如下特点:在乌龟坐标下,各种微观粒子的动力学方程在黑洞表面附近都会约化成波动方程的标准形式。困难在于通常要先知道黑洞的温度和视界位置才能写出乌龟坐标,而对于演化中的黑洞,确定温度和视界恰恰是极难做到的事。我们建议以待定函数和待定参数的形式给出乌龟坐标

$$r_* = r + \frac{1}{2\kappa} \ln \frac{r - r_H(t, \theta, \phi)}{r_H(t_0, \theta_0, \phi_0)} \quad (1)$$

其中视界函数 $r_H(t, \theta, \phi)$ 和温度参数 κ 均是待定的。 t_0, θ_0, ϕ_0 分别为辐射粒子脱离黑洞表面的时刻和方位角度。把 r_* 代入粒子动力学方程,在视界表面上,该方程化成了波动方程的标准形式,并自动定出了 r_* 和 κ , 得出了黑洞的辐射谱,从而确定了黑洞的视界及面上各点的温度。此方法得到的结果与别人用其它方法算出的各种黑洞的温度均相符,而且还逐点给出了表面各点温度不同的动态黑洞的温度。证明了动态黑洞的表面存在温度梯度和热流。

4 信息疑难

4.1 信息疑难的出现

在黑洞热性质的研究取得很大进展的同时,许多量子物理学家表示对霍金辐射有保留意见。理由是,纯粹的热辐射几乎带不出任何信息;如果黑洞真的辐射到最后,全部转化为热,则形成黑洞的那些物质带进去的信息将从宇宙中彻底消失;这不仅会破坏轻子数守恒、重子数守恒等许多重要的物理定律,而且信息不守恒将使正在创建的量子引力理论不满足么正性,这将为已经取得辉煌成就的量子场论带来重大危机^[10]。

霍金等相对论专家认为黑洞会造成信息丢失,许多量子论专家则认为不会。他们认为:落入黑洞的信息,一部分会被霍金辐射带出黑洞(即霍金辐射不会是纯热谱),另一部分会在黑洞蒸发到最后时作为“炉渣”留下来,宇宙中的信息会保持守恒。2004 年 7 月,霍金突然改变态度,认为黑洞不会使信息丢失,理由是以前把黑洞描述得过于理想化了,真实的黑洞会通过热辐射泄漏或残留信息^[10]。遗憾的是,霍金当时作的只是一个定性的科普报告,其中一个公式都没有。2005 年 6 月霍金终于发表了一篇有关此问题的论文,但其中只有两个半公式。可以说至今还未见到他承诺要发表的包括计算内容的科研论文,人们仍然难以了解其中的“奥妙”^[11]。

4.2 派瑞克的理论

不过,2004 年获国际引力与相对论天体物理学会一等奖的派瑞克的论文给出了支持信息守恒的一种具体计算^[12-13]。派瑞克指出,霍金虽然在论证黑洞产生热辐射的时候,声称这是一种量子隧道效应,但他在具体计算中并未用到隧穿过程,甚至没给出势垒的位置。派瑞克考虑能量守恒后认为,黑洞辐射时自身质量的减少将造成黑洞半径收缩,这种收缩会导致势垒的出现。考虑上述修正之后,隧穿几率将不再是霍金预期的

$$\Gamma \sim e^{-E} \quad (2)$$

而是

$$\Gamma \sim e^{-\beta(E - E_{2M})} \quad (3)$$

式中 β 为黑洞温度的倒数, E 为辐射粒子的能量。派瑞克得到的黑洞辐射谱不再是严格的黑体谱,因而会有信息随同辐射从黑洞中逸出。他指出(3)式又可表为

$$\Gamma \sim e^{\Delta S} \quad (4)$$

ΔS 恰为黑洞发射粒子前后面积熵的差。派瑞克进一步指出,这一结果与量子理论的么正性一致,也与量子力学理论所预期的“没有信息丢失”的结果精确一致。总之,他认为能量守恒所导致的热谱修正项的出现,似乎保证了黑洞热辐射过程的信息守恒。

4.3 对派瑞克的理论的推广

最近,我们把派瑞克的工作推广到更为一般的稳态黑洞^[14-17]。研究表明,派瑞克从霍金辐射导致黑洞收缩,进而得出热谱修正项的结果具有普遍意义。对各种黑洞,隧穿几率都可写成如(4)式所示的样子。然而,我们注意到一个重要的情况^[18]。对于比较一般的克尔黑洞,我们算出的隧穿几率的指数因子为

$$\frac{1}{T} dM - \frac{\Omega}{T} dJ \quad (5)$$

式中 T 、 M 、 J 、 Ω 分别为黑洞的温度、总质量、总角动量和转动角速度。从黑洞力学第一定律看, 上式似乎恰好等于黑洞熵的变化 dS , 即

$$dS = \frac{1}{T} dM - \frac{\Omega}{T} dJ \quad (6)$$

好像再次证明了(4)式成立。然而, 从热力学角度看, 上式仅适用于可逆的准静态过程。如果是不可逆过程, 上式必须改写为

$$dS > \frac{1}{T} dM - \frac{\Omega}{T} dJ \quad (7)$$

因此, 派瑞克的结论只在辐射过程为准静态的可逆过程时才成立。但正如前文所述, 黑洞的热容量为负, 黑洞与外界不存在稳定的热平衡, 不论黑洞辐射还是吸收, 原则上都与外界存在温差, 过程一定是不可逆的, 一定会有不可逆熵产生, 不可能出现派瑞克预期的只存在可逆的熵流动的情况。因此, 派瑞克的工作不能证明黑洞辐射过程保证信息守恒及量子理论的么正性。

对于黑洞造成的信息悖论其实可以从两方面看。一方面, 物理学中有能量守恒、动量守恒、电荷守恒等许多守恒定律, 但没有“信息守恒定律”。相反, 如果信息论中把信息看作“负熵”的观点正确, 而且信息熵与热力学熵确实有相同的本质, 那么信息原则上应该不守恒。这是因为热力学第二定律的灵魂就在于“熵增加”, 在于指出自然过程的不可逆性。既然熵不守恒, 信息当然不会守恒。

另一方面, 霍金 2004 年 7 月的意见也应当重视, 我们确实有可能把黑洞想像得太理想化了。黑洞的热辐射有可能偏离黑体谱, 黑洞蒸发的最后也有可能留下部分炉渣。总之, 真实的黑洞过程不会保证信息守恒, 但也可能会有部分信息从黑洞中泄出来或残留在最后。

5 奇性疑难

5.1 彭若斯的奇性定理

黑洞研究中的另一个重要疑难与奇点有关。这里指的是时空曲率发散, 而且发散不能通过坐标变换来消除内禀奇点。例如史瓦西黑洞和克尔-纽曼黑洞 $r=0$ 处的奇点和奇环。1964 年, 彭若斯(R. Penrose)初步证明了一个奇性定理。该定理是说真实的物理时空一定至少存在 1 个奇点^[1-3]。重要的是, 彭若斯把奇点解释为时间开始或结束的地方。也就是说他证明了时间一定有开始或结束。事实上, 该定理形成了广义相对论的一个基本困难。我们前面已经谈到, 黑洞内部的奇点是时间终结的地方, 白洞内部的奇点则是时间开始的地方。大爆炸宇宙的奇点, 也是时间开始的地方, 而大坍缩宇宙的奇点则是时间终结的地方。

彭若斯和霍金用整体微分几何陆续对该定理给出了几个证明^[1-3]。证明的主要思路如下。

1) 如果时空因果性良好, 则在时空中 A、B 两点之间一定存在最长线, 此线一定是无共轭点的类时(或类光)测地线。

2) 如果时空中能量密度非负, 存在静质量不为零的物质且广义相对论成立, 则 A、B 两点之间的测地线一定存在共轭点, 因而此线不再是 A、B 间的最长线, A、B 间将没有最长线。

所谓测地线即不受外力的自由粒子作惯性运动时描出的时空曲线。类光线描绘光子的运动, 类时线描绘亚光速粒子的运动。共轭点是测地线汇的“交点”。对于真实的物理时空, 上述两组条件(因果性、物质性)似乎都应成立, 这将导致 A、B 间的测地线既要有共轭点又要没有共轭点, 唯一的可能是测地线在到达共轭点前断掉, 断掉的地方就是奇点, 即时间开始或终结的地方。这样他们就证明了重要的奇性定理。

5.2 对奇性定理的探讨

近年来, 我们用整体微分几何对该定理进行了探讨^[19-20]。我们工作的思路是, 凡是存在共轭点的测地线(无论类时或类光)均必定微扰出类时非测地线汇, 我们在此线汇上定义加速度, 然后取极限让线汇收缩到原来的那根测地线上, 结果发现类时测地线加速度为零, 而类光测地线加速度为无穷大。类时测地线加速度为零是熟知的结果, 但类光测地线加速度发散却是一般人想不到的结果。如何理解自由光线加速度发散可能是个极为重要的问题。20 世纪初, 量子论和相对论的诞生, 都与人类深化对光的认识有关。认识到光的量子性, 导致了量子论的诞生; 认识到光速的绝对性(即光速不变原理)导致了相对论的诞生。而光的量子性和光速的绝对性都是当时人们难以想象和理解的东西。

1973 年, 安鲁(W. G. Unruh)指出, 在绝对零度的真空中作匀加速直线运动的观测者将感受到温度(热辐射), 温度与他的固有加速度成正比^[2-5]。从安鲁效应我们可以预期, 沿上面讨论的具有加速度的类时线运动的观测者, 将处在热浴之中。类时测地线由于加速度为零, 对应的观测者处在绝对零度, 而类光测地线由于加速度为无穷大, 对应的温度也为无穷大。

奇性定理是用类时或类光测地线证明的, 因此是在温度为绝对零度或无穷大的情况下证明的。热力学第三定律禁止任何系统达到绝对零度或温度发散, 因此奇性定理的证明违背第三定律。它虽然是一个数学证明, 但不是一个物理证明, 不能说明时间一定有开始或结束^[4-5]。

6 钟速同步

6.1 热力学第零定律与时间的性质

众所周知, 热力学第一定律(能量守恒定律)显示时间的均匀性, 热力学第二定律显示时间的方向性(时间箭头)。奇性定理的探讨, 使我们看到热力学第三定律与时间的开始和结束有关, 似乎显示了时间的无限性。那么热力学第零定律是否与时间的性质有关呢?

广义相对论中有一个对钟问题。同一参考系中放置的钟是用光信号来对准的。爱因斯坦最先在狭义相对论中探讨了这一问题。他指出, 在惯性系中, 存在统一的、同步的时间。朗道(L. D. Landau)和栗弗席兹(E. M. Lifshitz)指出, 在广义相对论中, 未必存在统一的时间^[2]。用光信号把 A 钟与 B 钟的时刻校准, 再把 C 钟与 B 钟的时刻校准, 那么 A 钟与 C 钟是否自动校准了呢?朗道认为不一定。要想 C 钟与 A 钟的时刻自动对准, 即要求“同时”存在传递性, 必须要求时空度规满足如下条件

$$\oint \frac{g_i}{g_{00}} dx^i = 0 \quad (i=1, 2, 3) \quad (8)$$

$$\text{这大体上就是“时轴正交”} \because g_0 = 0 \quad (9)$$

即要求所用坐标系的时间轴与 3 个空间轴都垂直。萨茨(R. K. Sachs)与吴(H. Wu)对此作了更深入的讨论, 把“对钟”分为了两个等级^[20]。

6.2 一种新的对钟等级

我们提出了一种新的对钟等级。不要求 A、B、C 三个钟的时刻对准, 只要求 3 个钟的钟速对准。也就是说, 不要求全时空存在统一的时刻, 只要求全时空存在统一的钟速。我们给出了“钟速同步”具有传递性的条件^[4-5, 23]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{g_i}{g_{00}} \right) = 0 \quad (10)$$

$$\text{其积分形式为: } \frac{\partial}{\partial t} \oint \frac{g_i}{g_{00}} dx^i = 0 \quad (11)$$

众所周知, “热平衡的传递性(即第零定律)”保证热力学系统可以定义统一的参量——温度。现在又看到, “钟速同步的传递性”保证全时空可以定义统一的时间流逝速率。

我们用温度格林函数和黑体辐射谱等不同方法证明了“钟速同步的传递性”等价于“热平衡的传递性”，找到了第零定律与时间的关系^[23-25]。

于是，我们看到时间和热力学之间存在比以往所知更为丰富的内在联系：第零定律表明全时空存在统一的时间（钟速）；第一定律表明时间的均匀性；第二定律表明时间的方向性；第三定律表明时间的无限性。

7 结论

我们介绍了目前唯一一种可以计算动态黑洞温度的方法，也是唯一一种可以逐点计算黑洞表面温度的方法，指出动态黑洞表面存在温度梯度和热流。我们针对目前备受重视的派瑞克等人关于霍金辐射可以保持信息守恒的工作，提出相反的结论，认为黑洞热辐射是不可逆过程，信息不可能守恒。我们指出自由光线的加速度发散，奇性定理的证明违背热力学第三定律。介绍了“钟速同步传递性”等价于“热平衡传递性”。本文列举的黑洞领域的几个重要疑难显示出万有引力、时间与热力学之间存在深刻的内在联系。

参考文献(References)

- [1] HAWKING S W, ELLIS F R. The large scale structure of space-time[M]. Cambridge: Cambridge University press, 1973.
- [2] WALD R M. General Relativity [M]. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1984.
- [3] 刘辽, 赵峥. 广义相对论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] 赵峥. 黑洞的热性质与时空奇异性[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1999.
- [5] 赵峥. 黑洞与弯曲的时空[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2005.
- [6] BEKENSTEIN J D. Black hole and entropy [J]. Phys. Rev., 1973 (D7): 2 333- 2 346.
- [7] HAWKING S W. Particle creation by black holes [J]. Commun. Math. Phys., 1975(43): 199- 220.
- [8] ZHAO Z, DAI X. Hawking radiation from a non- static black hole [J]. Chin. Phys. Lett., 1991(8): 548- 550.
- [9] TIAN G, ZHAO Z. Entropy of an arbitrarily accelerating Kinnersley black hole[J]. Nuclear Physics B, 2002(636): 418- 431.
- [10] HAWKING S W. Speech at 17th international conference on GRG[R]. Dublin (July 21, 2004).
- [11] HAWKING S W. Information loss in black hole [DB/OL]. arXiv: hep- th/0507171.
- [12] PARIKH M K. A secret tunnel through the horizon[DB/OL]. arXiv: hep- th/0405160.
- [13] PARIKH M K, WILCZEK F. Hawking radiation as tunneling [J]. Phys. Rev. Lett., 2000(85): 5 042- 5 045.
- [14] ZHANG J, ZHAO Z. New coordinates for Kerr- Newman black hole radiation[J]. Phys Lett. B, 2005(618): 14- 22.
- [15] ZHANG J, ZHAO Z. Massive particles' black hole tunneling and de Sitter tunneling[J]. Nucl. Phys. B, 2005(725): 173- 180.
- [16] ZHANG J, ZHAO Z. Hawking radiation of charged particles via tunneling from the Reissner- Nordstrom black hole [J]. JHEP 10, 2005(055): 1- 6.
- [17] ZHANG J, ZHAO Z. Hawking radiation via tunneling from kerr black hole[J]. Mod Phys Letts A, 2005(20):1 673- 1 681.
- [18] ZHANG J, HU Y, ZHAO Z. Information loss in black hole evaporation[DB/OL]. arXiv:hep- th/0512121.
- [19] TIAN G, ZHAO Z. Can an observer really catch up with light? [J]. Class Quantum Grav., 2003(20): 3 927- 3 931.
- [20] TIAN G, ZHAO Z. The second variation of a null geodesic[J]. J. Math. Phys., 2003(44): 5 681- 5 687.
- [21] LANDAU L D, LIFSHITZ E M. The classical theory of field[M]. London: Pergamon press, 1975.
- [22] SACHS R K, WU H. General relativity for mathematicians[M]. New York: Springer- Verlag, 1977.
- [23] 赵峥. 热平衡的传递性等价于钟速同步的传递性 [J]. 中国科学 A, 1991(21): 285- 289.
- [24] ZHAO Z, CHEN P. Zeroth law of thermodynamics and transitivity of simultaneity [J]. Int. J. Theor. Phys., 1997(36): 2 153- 2 159.
- [25] 赵峥, 裴寿镛, 刘辽. 钟速同步的传递性等价于热力学第零定律[J]. 物理学报, 1999(48): 2 004- 2 010.

(责任编辑 黄永明)

·读者·作者·编者·

《以科学发展观促进科技创新 ——中国科协 2005 年学术年会论文集》出版

2005 年 8 月 18 日- 23 日，以“科学发展观与资源可持续发展”为主题的中国科协 2005 年学术年会在新疆召开。本届学术年会除进行为期两天的大会报告外，还设立了 51 个分会场，并专门组织了 12 个新疆专题论坛；5 000 多名来自全国各地科研、教学、生产、管理第一线的科技工作者，分别在乌鲁木齐市、石河子市和昌吉州 3 地的有关科研院所开展了学术交流；其中 16 位领导、著名科学家和技术专家作了大会报告，1 000 余名参会代表在各自的分会场、专题论坛上作了学术报告。为确保学术交流的质量，本届年会要求各分会场主办单位组织学术委员会审定其所负责分会场的所有参会论文，评审通过的论文作者才能获得参会代表的资格和报告交流的机会。

在对参会论文的结集出版问题上，本届学术年会也尝试了下述改革：论文出版遵循“论文作者自愿，出版费用自理”的原则；年会召开前不出版论文摘要集，而是在年会结束后再陆续出版全文论文集；虽向年会提交了论文但却没有到会的作者，其论文原则上不予收入文集出版；各分会场主办单位自行组织编辑并联系出版论文集，无条件的主办单位统一交由中国科协科技导报社组织编辑并联系出版其分会场的论文集。

- 22 -

受中国科协学会学术部委托，本届年会共有 21 个分会场的论文交由我社编辑出版。年会结束后，我社将 21 个分会场审核合格的 419 篇学术论文编辑成《以科学发展观促进科技创新——中国科协 2005 年学术年会论文集》图书，分上、中、下 3 册交中国科学技术出版社出版，使其成为中国科协 2005 年学术年会论文全集的重要组成部分。《以科学发展观促进科技创新》上册收录第 43 分会场论文 126 篇，中册收录第 9、第 23、第 38、第 46、第 47、第 48 共 6 个分会场论文 147 篇，下册收录第 4、第 8、第 15、第 17、第 21、第 27、第 28、第 29、第 34、第 35、第 40、第 41、第 44、第 45 共 14 个分会场论文 146 篇。

《以科学发展观促进科技创新》2006 年 1 月出版，全书定价 360 元，上、中、下各册分开购买每册 120 元。我社将给每篇论文作者免费寄送一本收录有其论文的单册图书（作者若多于一人，将只免费寄送通讯作者）。欲购买本图书者，请直接汇款我社邮购（北京市学院南路 86 号科技导报社年会论文集办公室，邮政编码 100081），并在汇款单留言上注明数量和册种。2006 年 3 月 31 日前购买者（以汇款日期为准），全书可按 300 元、单册可按 100 元优惠价邮购。（本刊编辑部）