

对美国 LIGO 测到 2 黑洞碰撞后的引力波的一些看法 - 新黑洞理论之 11
 ==本文论证根据拙作《黑洞宇宙学概论》中的「新黑洞理论」==

张洞生 (Zhang Dongsheng)

17 Pontiac Road, West Hartford, CT 06117-2129, USA, zhangds12@hotmail.com, zds@outlook.com

Abstract: <序言>; 新浪科技讯: 北京时间 10 月 3 日傍晚消息, 刚刚, 瑞典皇家科学院宣布将 2017 年诺贝尔物理学奖授予三位引力波探测计划的重要科学家, 三人均来自 LIGO/VIRGO 合作组, 以奖励他们在“LIGO 探测器以及引力波探测方面的决定性贡献”。奖金的一半授予莱纳·魏斯 (Rainer Weiss), 另外一半由巴里·巴里什 (Barry C Barish) 和基普·索恩 (Kip S Thorne) 两人分享。2015 年 9 月 14 日 17 点 50 分 45 秒, LIGO 观测到了一次引力波事件, 被命名为 GW150914, 这次事件或许会永载天文学史册, 因为它记录下了好几个第一次: 第一次探测到引力波, 第一次通过引力波直接探测到黑洞, 第一次证明了宇宙中存在双黑洞系统 (binary black holes), 等等。2016 年 2 月 11 日, 根据近 1 年来 LIGO (The Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory, 美国激光干涉引力波天文台) 官方的数次报告, LIGO 的执行理事 David Reitze 博士, 激动不已地向全世界宣布了这一重要事件, 这或许也是 100 年来人类最为卓越的科学成就之一。"Ladies and gentlemen. We.... have detected.... gravitational waves! We did it!" (女士们先生们, 我们已经探测到引力波! 我们做到了!)

[对美国 LIGO 测到 2 黑洞碰撞后的引力波的一些看法 - 新黑洞理论之 11. *Academ Arena* 2018;10(1):24-28]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 3. doi:[10.7537/marsaaj100118.03](https://doi.org/10.7537/marsaaj100118.03).

Keywords <关键词>; 爱因斯坦的广义相对论; 引力波; LIGO; 2 黑洞的碰撞; 2017 年诺贝尔物理学奖三位获得者----莱纳·魏斯 (Rainer Weiss) 获得一半, 另外一半由巴里·巴里什 (Barry C Barish) 和基普·索恩 (Kip S Thorne) 两人分享;

約翰·奧杜則:「現代天體物理學的進展, 就像最奇妙的文學幻想小說一樣令人銷魂奪魄。」
 爱因斯坦:「要打破人的偏見, 比崩破一個原子還難。」

<前言>; 对 LIGO 探测器探测到的引力波的性质
 的解释分析和论述

当然, 相信探测到引力波, 和证明探测到引力波, 中间还有一段过程, 这就是为什么前年 9 月接收到信号, 来年的 2 月 LIGO 才向世界宣布这个消息。在近 5 个月的时间里, LIGO 数百人花费了几千个小时计算检查每一位数据, 检查再检查, 排除各种理论和实际可能发生错误和假信号, 以 100% 肯定其结论的正确。

这次探测到引力波的波源, 据 LIGO 说是遥远宇宙空间之外的双黑洞系统。一个黑洞 $36M_0$ 倍太阳质量 (M_0), 另一个 $29M_0$, 两者碰撞并合成一个 $62 M_0$ 的黑洞。在不超过 1 秒钟的时间内, 大约有相当 $3M_0$ 的物质转化成了巨大能量的引力波释放到太空中! LIGO 的科学家们认为他们测定的 (35 ~ 150 赫兹) 的波经过计算和比对后, 论证为双黑洞碰撞合并后所发出的引力波。 $3M_0$ 质量被转换成引力波, 峰值功率输出 (peak power output) 约为整

个可见宇宙的 50 倍, 才使远离地球 13 亿光年的小小地球上的我们, 探测到了碰撞融合之后传来的变得很微弱的引力波。根据信号到达的时间间隔——信号首先到达路易斯安那利文斯顿的观测台, 7 毫秒后信号到达 3000km 外的华盛顿汉福德观测台, 科学家们判断两个黑洞碰撞的地点位于南半球 (Southern Hemisphere)。这次的事件被天文学家们标记为 GW150914。

《物理评论快报》刊载论文指出, 2 黑洞 ($36M_0, 29M_0$) 距离地球 13 亿光年, 在 2 黑洞合并成形的最后一刻, 引力波产生了。虽然信号很短暂, 但是非常明显。这种测量的结果, 成为引力波存在的最好证据。按照图科斯基的说法, 探测器中的信号, 与爱因斯坦最初的理论十分相符。测量结果, 符合 2 个黑洞相撞产生引力波的预测。这 2 个黑洞在合并的最后一刻, 以极高的速度缠绕在一起。这应该是有史以来对黑洞的最直接的观测。

在爱因斯坦 1916 年提出的广义相对论中, 引

力波是爱因斯坦广义相对论中的重要推论。爱因斯坦的数学表明，(1) 引力波为时空弯曲的涟漪，大质量加速运动的物体（如绕着彼此运行的中子星和黑洞）将会破坏时空的结构，使得扭曲的空间的“波浪”从源头向外辐射。这种涟漪将以光速穿过宇宙，携带着辐射源的信息，同时也带走辐射源的部分能量。(2) 时间和空间会在质量面前弯曲，时空在伸展和压缩的过程中，会产生振动传播开来，这些振动就是引力波。(3) 引力波不是电磁辐射，它的特殊属性使它可以携带电磁辐射所不能携带的有关宇宙的事物和天文事件的信息。(4) 由于引力波与物质的相互作用非常弱，它在宇宙中的穿行几乎畅通无阻，由它携带的有关辐射源的信息，不会像电磁辐射穿过星际空间时遭受种种变形或改变。因此，想要了解两个黑洞碰撞到底是怎么一回事，目前为止，引力波是最有效的信息传递方式。(5) 地球上随时随地都可能遭遇来自宇宙中各种源头的引力波：两个黑洞合并、中子星自转、超新星核塌缩等。然而，即使是像黑洞这样巨大质量的系统相互碰撞、合并，产生的引力波信号传递到地球上也是很微弱的。(6) 就连爱因斯坦本人也想象不到，能通过怎样的方法探测到引力波。以上是专家们和媒体对 LIGO 探测到引力波的报道、解释和论证。

作者认为，(1) 爱因斯坦在 100 年前提出‘广义相对论方程’时，就能预见到极低频低能量的引力波的存在，确实是伟大的科学预见。(2) 宇宙有 4 种基本相互作用，强相互作用和弱相互作用都是“短程力”，它们只在微观世界内起作用；引力是强度最弱的，它比电磁作用要小 10^{-39} 倍。(3) 加速运动的电荷 q 辐射电磁波，加速运动的质量 m 辐射引力波。(4) 爱因斯坦当时无法想象能用何种方法探测到频率极低的引力波。但重要的是，他无法从解‘广义相对论方程’得出，多大质量的物体、作何种多大的加速运动可以产生多大频率的引力波，那时还没有宇宙膨胀的哈勃定律，没有白矮星中子星黑洞，没有量子力学的测不准原理，没有霍金的黑洞量子辐射理论等等。(5) 更重要的问题是，现在虽然有了上述许多新理论，LIGO 的科学家们也无法将非线性的‘广义相对论方程’解出结果来，即从 1 个 $36 M_0$ 和 1 个 $29 M_0$ 黑洞，两者碰撞并合成一个 $62 M_0$ 倍时，是在什么样的运动的状况下，发射出他们所测量到的（35 ~ 150 赫兹）的引力波的。所以他们只能是用电子计算机建立模型，从计算机海量信息的波形库中，与从 LIGO 得到的数据，经过波形的模拟计算和比对后，论证为黑洞碰撞合并后所发出的引力波的，但是我们不知道其模型根据什么公式，有无普遍的实用性。这就表明，至少到现在为止，LIGO 科学家们所测量到的（35 ~ 150 赫兹）的引力波并不能直接在输入初始条件后，从‘广义相对论

方程’中解出来。(6) 就是说，爱因斯坦的广义相对论现在还只是一种观念和理论，场方程是非线性的，极难解出，而且存在奇异性，对黑洞碰撞模型无法解释黑洞物质崩塌湮灭成引力波。所以场方程还很难产生有使（实）用价值的定量结果。

梅晓春^[2]已经在《美国现代物理学杂志》和《国际天文与天体物理学杂志》发表多篇文章，证明爱因斯坦奇异性黑洞不可能存在。LIGO 实验给出相互矛盾的结果。梅晓春^[2]的结论是，广义相对论至今为止实际上并没有证明，质量足够大的星体会崩塌成密度无穷大的奇异性黑洞。事实上相对论物理学家心里都明白，至今为止物理学上并没有一个说得过去的，黑洞物质崩塌湮灭成引力波的理论。即使未来将引力波的观测移到太空进行，如果还用奇异性黑洞碰撞的模型，则仍然是要失败的。---如果说 LIGO 实验的结论还有什么正面的意义的话，那就是将奇异性黑洞的荒谬性，彻底地展现在世人的面前。它使物理学家不得不深思，物理学理论中引入奇异性会导致什么样的实验后果。

就是说，爱因斯坦的广义相对论还只是一种观念和理论，方程是非线性的，极难解出，而且存在奇异性，对黑洞碰撞模型无法解释黑洞物质崩塌湮灭成引力波，所以广义相对论方程是没有多少使（实）用价值。

因此，本文的目的，在于试图用作者的「新黑洞理论」及其公式论证 2 个黑洞在碰撞合并过程中，在何种运动情况下，发出了（35--150 赫兹）的引力波的。

3-7-1；作者「新黑洞理论」是解答黑洞‘生长衰亡’的有效的基本公式，它无需知道黑洞内部的成分结构和运动状态，只取决于黑洞的总质-能量 M_b 的量，作者对「黑洞理论」最重要的贡献是推导出来霍金辐射 m_{ss} 的新公式(1d)^[1]，和黑洞内不可能存在‘奇点’。

史瓦西黑洞（球对称，无旋转，无电荷）在其视界半径 R_b 上的一些基本公式，是决定黑洞‘生长（膨胀）衰（收缩）亡’命运的规律。

M_b —黑洞的总质-能量； R_b —黑洞的视界半径， T_b —黑洞的视界半径 R_b 上的温度， m_{ss} —黑洞在视界半径 R_b 上的霍金辐射量子的相当质量， h —普朗克常数= $6.63 \times 10^{-27} \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ ， C —光速= $3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ ， G —万有引力常= $6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{s}^2 \cdot \text{g}$ ，波尔兹曼常数 $\kappa = 1.38 \times 10^{-16} \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}^2 \cdot \text{K}$ ， L_p —普朗克长度； T_p —普朗克温度；最小黑洞 M_{bm} 的视界半径 R_{bm} 和 R_{bm} 上的温度 T_{bm} ；

下面(1a)是霍金推导出来的黑洞在其视界半径 R_b 上的温度公式，

$$M_b T_b = (C^3/4G) \times (h/2\pi\kappa) \approx 10^{27} \text{ gK} \quad (1a)$$

(1b)是根据相对论和量子力学得出的辐射能在 R_b 上的能量转换公式，

$$E_{ss} = m_{ss}C^2 = \kappa T_b = \nu h/2\pi = Ch/2\pi\lambda \quad (1b)$$

(1c)是史瓦西对方程的特殊解，是黑洞形成的充要条件，是吞食外界质量-能量而膨胀的公式， $GM_b/R_b = C^2/2$; $R_b = 1.48 \times 10^{-28} M_b$ (1c)

(1d)是作者新推导出的，黑洞 M_b 在 R_b 上发射霍金量子辐射 m_{ss} 的新普遍公式，

$$m_{ss} M_b = hC/8\pi G = 1.187 \times 10^{-10} g^2 \quad (1d)$$

(1e)是作者新推导出的，黑洞 M_b 因不断地发射 m_{ss} 而最后收缩成最小黑洞 $M_{bm} = m_p$ 普朗克粒子、而解体消亡在普朗克领域的公式，

$$m_{ss} = M_{bm} = (hC/8\pi G)^{1/2} = m_p = 1.09 \times 10^{-5} g \quad (1e)$$

按照霍金的黑洞的寿命公式，如果一个黑洞 M_b 在没有外界能量-物质可被吞食的情况下， M_b 开始发射霍金辐射 m_{ss} ，直到最后收缩为最小黑洞 $M_{bm} = m_p$ 普朗克粒子，而解体消亡在普朗克领域，其寿命为 τ_b ；则，

$$\tau_b \approx 10^{-27} M_b^3 \quad (1f)$$

微分后得， $-d\tau_b = 3 \times 10^{-27} M_b^2 dM_b$, (1g)

如果令 $dM_b = 1$ 个 m_{ss} ，则 $-d\tau_b$ 就是黑洞发射 2 个邻近 m_{ss} 所需的间隔时间。这是作者根据新公式(1d)，推导出来的一个新公式(1h)，

$$\therefore -d\tau_b \approx 3 \times 10^{-27} M_b^2 dM_b = 3 \times 10^{-27} M_b \times M_b m_{ss} \approx 0.356 \times 10^{-36} M_b \quad (1h)$$

以上所有公式及其证明请看<参考文献>1，张洞生：《黑洞宇宙学概论》。

3-7-2；任何总质-能量为 M_b 的史瓦西黑洞，都是一个永远不稳定不平衡的实体，它不停地发射不同频率 ν_{ss} 和波长 λ_{ss} 的霍金量子辐射 m_{ss} ，即辐射能，其发射的很低频率的辐射能就是引力波。

由(1c)式可见，任何大小的黑洞都是一个永远不平衡的实体，在其外界有能量-物质可被吞食，或者与其他黑洞碰撞合并时，其视界半径 R_b 就会扩大而膨胀，直到吞食完外界能量-物质而停止膨胀后，即按照(1d)式不停地一个接一个地发射由小到大的霍金辐射（辐射能） m_{ss} ，而不停地减少 M_b 和收缩 R_b ，直到最后变成最小黑洞 $M_{bm} = m_p$ 普朗克粒子，而解体消亡在普朗克领域(1e)。

因此，当一个巨大的黑洞开始发射辐射能 m_{ss} 而收缩时，其所发射的辐射能 m_{ss} ，就会由特长波逐渐变为最短波，其频率就会由特低频而变为最高频，

就是说，其所发射的辐射能 m_{ss} 就会由低频的引力波或者电磁波逐渐变成最高频的伽马射线。可见，黑洞就是搅碎机，它将其内部所有的能量-物质 M_b ，绞碎成不同频率的霍金辐射 m_{ss} ，一个接一个发射到外界。广义相对论认为，加速运动的质量 m 会发射引力波，其实质的意思是，在物体作加速运动时，其边界上被加速的足够低能低频率的微粒（量子），可作为引力波发射出去。一个孤立的黑洞本身看似没有做加速运动，但是在其 R_b 上的量子 m_{ss} 是在作圆周运动的，黑洞改变方向就是加速运动，当频率和能量足够低时，就可作为引力波发射出去。

根据史瓦西公式(1c)可知，无论黑洞 M_b 的大小，它吞食外界多少能量-物质，或者与其它黑洞合并，其膨胀与合并后，仍然是一个不同的增大的黑洞 M_b 而已。同样，根据公式(1d)可知，无论黑洞 M_b 的大小，它发射了多少 m_{ss} ，仍然是一个不同的缩小的黑洞 M_b 而已。所以不同大小质量黑洞 M_b 将严格地按照公式(1d)，发射不同频率和波长的霍金辐射 m_{ss} ，它们有不同的特性。因此可得出结论，一旦一个黑洞 M_b 形成后，在它最后收缩成为 $M_{bm} = m_p$ ，而解体消失在普朗克领域前，它会永远是一个黑洞。作者「新黑洞理论」中的黑洞永远没有奇异性。这就是「新黑洞理论」与广义相对论的根本区别。

按照霍金黑洞物理的理论，黑洞在其视界半径 R_b 上有温度 T_b ，见公式 (1a)， T_b 作为冷源，是黑洞的最低温度处，由于黑洞 M_b 的强大引力，其 R_b 外几乎为真空，温度比 T_b 更低。因此，在 R_b 上具有 T_b 的霍金辐射量子，即辐射能 m_{ss} ，就会逃向外界，黑洞会因失去 m_{ss} 而按照(1d)式不停地收缩下去，而 m_{ss} 会一个比一个变大，其频率增高，波长变短，直到最后成为 $M_{bm} = m_p$ ，其波长为 10^{-33}cm 的宇宙中的最短波，频率为 10^{44}Hz 的宇宙中的最高频率。

根据公式(1b)— $m_{ss}C^2 = \nu h/2\pi$ 和 (1d)— $m_{ss} M_b = hC/8\pi G$ ，可得出，

$$\nu_{ss} = C^3/4GM_b; \text{ 于是 } \nu_{ss} M_b = 10^{38} \quad (2a)$$

根据(2a)，制作出黑洞 M_b 与其发生的辐射能 m_{ss} 的频率和波长的表一如下，在各个交界处，都有小部分是互相重叠的：

表一：黑洞 M_b (g) 与其霍金辐射 m_{ss} (g) 的波长 λ_{ss} (cm) 和频率 ν_{ss} (Hz)

M_b, m_{ss}	γ -射线	x 射线	电磁波	引力波
$M_b=10^{-5}\sim 10^{19}$ $m_{ss}=10^{-5}\sim 10^{-29}$	$\lambda_{ss}=10^{-33}\sim 10^{-9}$ $\nu_{ss}=10^{43}\sim 10^{19}$			
$M_b=10^{19}\sim 10^{18}$ $m_{ss}=10^{-29}\sim 10^{-28}$		$\lambda_{ss}=10^{-8}$ $\nu_{ss}=10^{18}$		
$M_b=10^{18}\sim 10^{35}$ $m_{ss}=10^{-28}\sim 10^{-45}$			$\lambda_{ss}=10^{-10}\sim 10^7$ $\nu_{ss}=10^{20}\sim 10^3$	
$M_b=10^{35}\sim 10^{56}$ $m_{ss}=10^{-45}\sim 10^{-66}$				$\lambda_{ss}=10^7\sim 10^{28}$ $\nu_{ss}=10^3\sim 10^{-18}$

X 射线波长略大于 0.5 nm 的被称作**软 X 射线**。波长短于 0.1 nm 的叫做**硬 X 射线**。硬 X 射线与波长长的（能量小）伽马射线范围重叠，二者的区别在于辐射源，而不是波长：X 射线光子产生于高能电子加速，撞击金属靶，于是内层形成空穴，外层电子跃迁回内层填补空穴，同时放出波长在 0.1 纳米左右的光子，形成了 X 光谱中的特征线，此外，高强度的 X 射线亦可由同步加速器或自由电子雷射产生。伽马射线则来源于原子核衰变。

无论任何大小的一个黑洞 M_b ，都必定会一个接一个地发射霍金辐射量子 m_{ss} ，频率一个比一个高，波长一个比一个短。其发射相邻2霍金辐射 m_{ss} 的间隔时间 $-\Delta t_b$ ，按照公式(1h)，确定的 M_b 有确定的 $-\Delta t_b$ 数值。只有大质量的黑洞，即 $M_b > 10^{35}g$ 的黑洞，即比太阳质量大100 M_0 倍的黑洞，才会发射出低频率 ν_{ss} 约1000Hz的引力波，黑洞比100 M_0 倍的黑洞愈大，所发射 m_{ss} 的频率愈小（低）。

再看 LIGO 探测的 2 个黑洞，在合并前，一个黑洞 $36 M_0 = 72 \times 10^{33}g$ ，其霍金辐射 m_{ss} 的引力波的频率 $\nu_{ss36} = 1390Hz$ ，另一个黑洞 $29M_0 = 58 \times 10^{33}g$ ，其引力波的频率 $\nu_{ss29} = 1720Hz$ ；而合并后的黑洞 $62 M_0$ 的 $\nu_{ss62} = 806Hz$ 。

结论：可见，LIGO 所探测到的黑洞的霍金辐射 m_{ss} 的引力波的频率 $\nu_{ss} = (35 \sim 150Hz)$ ，既不是合并前的 2 黑洞发射的引力波，也不是 2 黑洞合并后的黑洞 $62 M_0$ 发射的引力波。**(35 ~ 150Hz) 的引力波从何而来？**

3-7-3；探讨 LIGO 测量到的 (35 ~ 150Hz) 的引力波来自何处

按照广义相对论的观点，任何加速运动的质量 m 都可发射辐射能，即引力波，宇宙中的任何星体，包括太阳地球，随时都在作加速或者减速运动，哪有作等速直线运动的呢？只不过由于绝大部分物体的质量 m 太小，其加速运动所发射的引力波的能量太小频率太低，现代技术尚无法测量到而已。

从上节可知， $62 M_0$ 太阳质量的黑洞，所发射霍金辐射量子的频率尚且高达 $\nu_{ss62} = 806Hz$ ，而未低

到如 LIGO 测量到的 (35 ~ 150Hz)，那么，**这种低频率的引力波只能来自 2 个黑洞 $36 M_0$ 和 $29 M_0$ 在合并过程中的即将碰撞到的时刻。**

由于 2 黑洞 $36 M_0$ 和 $29 M_0$ 的质量较接近，在它们很接近时，**可以近似地看成二者是在围绕其质量中心作圆周运动的双星**，只不过 LIGO 在接收到黑洞在其高加速度时，所发射相邻的 2 次引力波，正好是它们转了一周（圈）而已，这可看作是黑洞双星发射量子（引力波）的频率 ν_{ss} 。

按照双星运动的公式， $1/\nu_{ss} = 2\pi \{a^3/(GM)\}^{1/2}$ ，

$$a^3 = GM/4\pi^2 \nu_{ss}^2 \quad (3a)$$

$$\therefore a^3 = 229.7 \times 10^{24} / \nu_{ss}^2 \quad (3b)$$

上面(3a)式中， a 为黑洞双星的长半轴， G 为引力常数， M 为双星质量和。

当 $\nu_{ss} = 35Hz$ 时，得 $a = 555km$ ；

当 $\nu_{ss} = 150Hz$ 时，得 $a = 217km$ ，而黑洞的半径根据史瓦西公式(3a)—— $R_b = 1.48 \times 10^{-28} M_b (2 \times 10^{33}g)$ ，则 R_b 分别为 $R_{b36} = 106km$ ； $R_{b29} = 89km$ ；可见此时黑洞双星已经几乎碰撞在一起了，由于二者的引力可以互相吸进对方的能量-物质，二者已经呈哑铃状了。

3-7-4；结论：(1) LIGO测量到的引力波的频率 $\nu_{ss}=150Hz$ ，可能是双黑洞碰撞前，几乎快要碰撞到一起时，作为双星旋转时发射出的引力波的频率。而LIGO所测得的35Hz的频率，可能是黑洞双星相距555km时发射的引力波的频率。(2) 2黑洞在远处连接前，开始进入连接时的入射角（2黑洞在在中心连线上对撞时，入射角为零）和速度对其后的轨迹有关键性的影响，人们无法测量到，如果LIGO能够测量到35Hz到150Hz之间的相邻频率的时间间隔，和多个相邻频率的时间间隔，或可对黑洞双星的旋转运动，作比较详实的轨道模拟计算了。(3) LIGO的科学家们认为，**他们测量到的引力波是2黑洞碰撞时，损失 $3M_0$ 质量所发出的，作者不太同意这种观点。**作者认为，当2黑洞靠近到能够互相从对方吸引出能量-物质时，它们只会互相碰撞摩擦缠绕，而发出X-射线，在2黑洞强大的引力作用下，它们可能最终会为黑洞所吸收回去。那么， $3M_0$ 质量是如何损

失的呢？作者认为，在2黑洞旋转着合并成为一个 $62M_0$ 的黑洞后，由于内部有大量的能量-物质存在着巨大的向其中中心螺旋旋转的角动量，它们最后就会像巨大的龙转风一样，从黑洞中心旋转着喷射出来。

（4）据LIGO科学家们说，黑洞双星距离地球13亿光年，应该有可观的红移发生，LIGO没有说明，不知LIGO是否考虑到。（5）LIGO大概不能测量到小于35Hz的引力波，其波长大于1万km。（6）如果科学家们能够根据公式(1h)精准地测量到一个黑洞发射相邻引力波或者电磁波的时间间隔，就可验证作者「新黑洞理论」中的新重要公式(1d)和(1e)的正确性。

<参考文献>:

1. Baidu. <http://www.baidu.com>. 2017.
2. Google. <http://www.google.com>. 2017.
3. http://www.sohu.com/a/163536175_99973296.
4. Ma H. The Nature of Time and Space. Nature and science 2003;1(1):1-11. Nature and science 2007;5(1):81-96.
5. Marsland Press. <http://www.sciencepub.net>. 2017.
6. Wikipedia. The free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org>. 2017.
7. 梅晓春,俞平: LIGO 真的探测到引力波了吗?
8. 张洞生: <黑洞宇宙学概论> 台湾 蘭臺出版社 2015.11, ISBN-EAN 978-986-5633-13-1 1-1 章.

1/25/2018