

LIGO 实验采用迈克逊干涉仪 不可能探测到引力波 (注)

—— 引力波存在时光速不再是一个常数导致 LIGO 实验的严重问题 ——

梅晓春⁽¹⁾ 黄志洵⁽²⁾ Policarpo Ulianov⁽³⁾ 俞平⁽⁴⁾

(1) 福州原创物理研究所, 中国

(2) 中国传媒大学信息工程学院, 北京

(3) Equalix Tecnologia LTDA, Brazil

(4) Cognitech Calculation Technology Institute, USA

内容摘要 本文严格证明, LIGO 实验的计算忽略了两个重要因素, 导致致命的错误。一是忽略了引力波对光的波长的影响, 二是没有考虑到引力波存在时光速不是常数。按照广义相对论, 引力波对空间距离产生影响的同时, 也会对光的波长的影响。同时考虑着两个因素, 迈克逊干涉仪上激光的相位是不变的。此外按照广义相对论, 引力波存在时, 时空度规的空间部分发生改变, 但时间部分却是平直的。由此导致引力波存在时光速不是常数, 用时间差计算干涉图像变化的方法失效。因此 LIGO 实验设计的基本原理是错的, 采用迈克逊激光干涉仪不可能观察到引力波。由于光速不是常数, LIGO 实验中所有关于信号匹配的计算都将改变, 就谈不上引力波的探测了。事实上, 迈克逊当年也是采用迈克逊干涉仪, 试图发现地球绝对运动。然而迈克逊实验得到的是零结果, 由此导致狭义相对论的诞生。LIGO 实验的基本原理与迈克逊实验的基本原理是一样的, 在实验过程中光波的相位都是不变的。用迈克逊干涉仪做实验只能得到零结果, 由此注定 LIGO 实验不可能发现引力波的。

关键词: 引力波, LIGO 实验, 广义相对论, 狭义相对论, 迈克逊干涉仪,

一. 前言

LIGO (美国激光干涉引力波天文台) 采用迈克逊激光干涉仪, 声称在四个月内探测到两次引力波爆发事件 GW150914 和 WG151226【1】、【2】, 以及一次疑似引力波爆发事件 LVT151012【2】。本文证明采用迈克尔逊干涉仪不可能探测到引力波, LIGO 实验的基本原理存在原则性的错误, 所谓发现两个黑洞合并, 导致引力波爆发的实验结果是不可信的。

LIGO 实验原理是, 按照广义相对论, 引力波会引起空间伸缩, 导致迈克尔逊干涉仪两臂的长度差改变。沿两臂传播的激光汇合后就会产生相位差, 引起干涉条纹变化, 从而观察到引力波。实际计算可以采用两种方法, 一种是计算干涉仪上两光到达干涉屏时的位相差, 另外一种方法是计算两光到达干涉屏时的时间差。在 LIGO 的实验中, 两种方法计算都被使用, 证明引力波会引起干涉图像改变。但这种计算方法的前提是, 光的传播速度是一个常数。

众所周知, 光波的相位不但与传播距离有关, 还与波长有关。空间伸缩也会引起波长发生改变, 从而影响光波的相位。本文指出, LIGO 实验的计算忽略了引力波对光的波长的影响。如果同时考虑

注: 本文英文版发表于《Journal of Modern Physics》2016, 7, 1749-1761.

引力波对空间距离和波长的影响，迈克尔逊干涉仪上传播的激光的相位是不变的，因此 LIGO 实验是不可能观察到引力波的。

另一方面，LIGO 实验计算中始终将光的速度视为常数。本文严格按照广义相对论证明，在引力波存在的情况下，光的运动速度不是常数。如果沿迈克尔逊干涉仪的一条臂的速度小于真空光速，沿另外一条臂的速度大于真空光速。考虑到引力波存在的情况下光速不是常数，光沿迈克尔逊干涉仪两臂运动就不存在时间差。因此用第二种方法计算，采用迈克尔逊干涉仪，LIGO 仍然无法探测到引力波。

本文最后简述了 LIGO 实验存在的其他原则问题，结论是 LIGO 实验并没有探测到所谓的两个黑洞合并爆发引力波的事件，发现的所谓引力波信号只可能是某种偶然原因产生的噪音。

二. LIGO 实验中迈克尔逊干涉仪激光相位不变的证明

按照广义相对论，在弱场条件下，引力场的度规张量写为：

$$g_{\mu\nu}(x) = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}(x) \quad (1)$$

其中 $\eta_{\mu\nu}$ 是平直时空度规， $h_{\mu\nu}(x)$ 是一个小量。代入爱因斯坦引力场方程，可以证明引力波辐射是四极矩模式。在空间范围不大的情况下，计算可得 $h_{\eta\nu}(x) = h_{\eta\nu}(t)$ 。当引力波沿 x 轴传播时强度为 $h_{11}(t)$ ，沿 y 轴传播时强度为 $h_{22}(t)$ ，同时可以证明二者存在关系 $h_{11}(t) = -h_{22}(t)$ 【3】。因此引力波存在时，引力场的时空度规是：

$$ds^2 = c^2 dt^2 - [1 + h_{11}(t)] dx^2 - [1 + h_{22}(t)] dy^2 \quad (2)$$

可见引力波存在时引力场时空度规的时间部分是平直的，空间部分弯曲。

另一方面，按照广义相对论，光在引力场中运动时四维弧元为零，即 $ds^2 = 0$ 。设引力波在 z 轴方向传播，当光 x 分别沿 x 轴方向和 y 轴方向传播时，就有 【4】：

$$ds^2 = c^2 dt^2 - [1 + h_{11}(t)] dx^2 = 0 \quad ds^2 = c^2 dt^2 - [1 + h_{22}(t)] dy^2 = 0 \quad (3)$$

显然这两个度规的时间部分是平直的，空间部分是弯曲的。因此引力波的存在会使光的传播形式发生改变。考虑到 $|h_{11}| \ll 1$ ， $|h_{22}| \ll 1$ ，以及 $h_{11}(t) = -h_{22}(t)$ ，得：

$$dx = \frac{c}{\sqrt{1+h_{11}}} dt = c \left(1 - \frac{1}{2} h_{11}(t) \right) dt \quad (4)$$

$$dy = \frac{c}{\sqrt{1+h_{22}}} dt = c \left(1 + \frac{1}{2} h_{11}(t) \right) dt \quad (5)$$

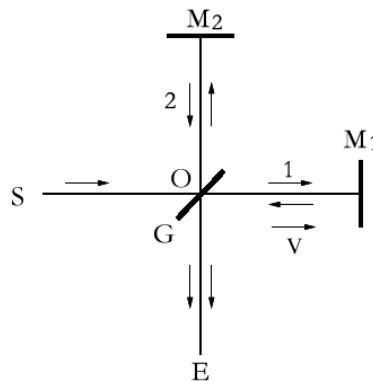


图 1 迈克尔逊干涉实验原理

LIGO 实验用迈克尔逊激光干涉仪测量引力波，迈克尔逊干涉仪的基本工作原理如图 1 所示。光从光源 S 发出，经过分光镜分成两路，光线 1 穿过分光镜后到达反射镜 M_1 ，然后折回并被反射到 E 。光线 2 直接被反射到 M_2 后折回，与来自 M_1 的光线叠加，在 E 处产生干涉条纹，观察者在 E 处观察。

我们先讨论最简单的情况。设干涉仪一条臂的长度等于 L_0 ，令 $h_1(t) = h = \text{常数}$ ，光沿一条臂来回运动一周的时间是 $t_2 - t_1 = 2\tau$ ，将 (4) 和 (5) 式对这个时间区间积分，得：

$$x = 2L_0(1 - h/2) \quad y = 2L_0(1 + h/2) \quad (6)$$

其中 $L_0 = c\tau$ 。沿两条臂运动的光的路程差为 $\Delta L = y - x = 2L_0h$ 。设激光的振幅是：

$$E_x = E_0 \cos(\omega t - kx) \quad E_y = E_0 \cos(\omega t - ky) \quad (7)$$

其中 $k = 2\pi/\lambda$ ， $\omega = 2\pi\nu$ ， $\nu\lambda = c$ 。按照普通光学的计算，两光振幅叠加后平方，得到光强为：

$$E^2 = (E_x + E_y)^2 = 2E_0^2(1 + \cos\Delta\delta) \quad (8)$$

相位差是：

$$\Delta\delta = k(y - x) = \frac{2\pi}{\lambda}(y - x) \quad (9)$$

如果没有引力波， $y = x = 2L_0$ ，则 $\Delta\delta = 0$ 。如果有引力波通过，按照现有理论，两光在汇合后的相位差是：

$$\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(y - x) = \frac{4\pi L_0 h}{\lambda} \quad (10)$$

因此引力波会使激光干涉仪的条纹产生变化，通过观察干涉条纹的变化，就可以探测到引力波。

然而以上计算是有问题的。首先，严格按照广义相对论，公式 (1) 和 (2) 只使用于真空中两个自由粒子之间的距离。LIGO 激光干涉仪固定在钢管中，钢管固定在地球表面上。激光仪的两个玻璃用纤维材料悬挂在干涉仪支架上。整个系统受电磁相互作用的支配，而电磁相互作用比引力信号作用强 10^{40} 倍！因此引力波根本不可能克服电磁相互作用，使钢管的长度发生变化，或者克服纤维材料的应变力，使两个镜子之间的距离发生变化。是 LIGO 实验的致命伤，是无可救药的。这个问题在文献【5】中有详细讨论，就不重复。

本文要讨论的重点是，以上计算没有考虑到引力波对激光波长的影响。如果引力波能使空间距离产生改变，同样也会使激光的波长产生改变，而且二者是同步的。因此引力波存在时，按照 (6) 式，沿 x 轴和 y 轴运动的波长就变成：

$$\lambda_x = \lambda(1 - h/2), \quad \lambda_y = \lambda(1 + h/2) \quad (11)$$

两光在汇合后，相位差是：

$$\Delta\delta = 2\pi\left(\frac{y}{\lambda_y} - \frac{x}{\lambda_x}\right) = 2\pi\left(\frac{2L_0}{\lambda} - \frac{2L_0}{\lambda}\right) = 0 \quad (12)$$

因此激光干涉条纹仍然不变，也就是说用迈克逊干涉仪是无法探测到引力波的。

如果 $h_{11}(t) \neq$ 常数，可以将引力波写成以下形式：

$$h_{11}(t) = h_0 \sin(\omega_g t + \theta_0) \quad (13)$$

其中 ω_g 是引力波的振动频率，代入（5）和（6）式积分后得：

$$\begin{aligned} x &= 2c\tau - \frac{ch}{2} \int_0^{2\tau} \sin(\omega_g t + \theta_0) dt \\ &= L_0 - \frac{ch_0}{2\Omega} \left[\cos(2\omega_g \tau + \theta_0) - \cos\theta_0 \right] = L_0(1 - A/2) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} y &= 2c\tau + \frac{ch_0}{2} \int_0^{2\tau} \sin(\omega_g t + \theta_0) dt \\ &= L_0 + \frac{ch_0}{2\Omega} \left[\cos(2\omega_g \tau + \theta_0) - \cos\theta_0 \right] = L_0(1 + A/2) \end{aligned} \quad (15)$$

其中：

$$A = \frac{ch_0}{\Omega L_0} \left[\cos(2\omega_g \tau + \theta_0) - \cos\theta_0 \right] \quad (16)$$

结果与（6）式一样，只不过用 A 代替 h。

在 LIGO 实验中，引力波的频率是 $\nu = 30 \sim 300 \text{ Hz}$ ，波长 $\lambda = c/\nu = 10^6 \sim 10^7$ 米。LIGO 激光干涉仪的臂长 $L_0 = 4 \times 10^3$ 米。因此 $\lambda \gg L_0$ ，在引力波通过 LIGO 干涉仪的空间范围内，引力的波长是固定的，仍然可以近似地用（11）式表示(用 A 代替 h)。因此即使用（13）式描述引力波，LIGO 实验仍然无法探测到引力波。

二. 引力波存在时光速不是常数

从（2）式可知，引力波存在时，时空度规的时间部分是平直的，空间部分弯曲。从（4）和（5）式可以得出一个结论，即引力波存在时光速不是常数，我们有：

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \frac{c}{\sqrt{1+h_{11}}} \approx c \left(1 - \frac{1}{2} h_{11}\right) \neq c \quad V_y = \frac{dy}{dt} = \frac{c}{\sqrt{1+h_{22}}} = c \left(1 + \frac{1}{2} h_{11}\right) \neq c \quad (17)$$

这个结果会对 LIGO 实验产生很大的影响。但现有理论没有考虑到这个问题，总把引力场中的光速看成是一个常数。文献【4】和【7】对上式的解释是，引力波的作用使空间的折射率从 1 变成 $\sqrt{1+h_{kk}}$ 。因此在介质中光的速度要改变，就不是真空中的光速。更有趣的是，如果 $h_{11} > 0$ ，则 $V_x < c$ ， $V_y > c$ ，也就是说 V_y 是超真空光速的。如何理解这个现象呢？现有引力波理论没有考虑这个问题。

文献【7】还指出，“对于高斯光束等，光的时空间隔不为零。而在激光引力波探测装置中存在的通常是高斯光束。那么这种光是否存在于弯曲时空中吗？”按照更严格的计算，引力波存在时，

高斯光束的传播速度是【7】:

$$V_c = c \left| 1 - \frac{2}{(k\omega_0)^2 + (2z/\omega_0)^2} \right| < c \quad (18)$$

其中 ω_0^2 是高斯光的斑点的尺寸, k 是波矢, z 是光沿 z 运动的坐标。LIGO 通过干涉仪两臂之间信号波形的匹配来确定引力波, 同时假设干涉仪上的激光和引力波都以光速传播。如果激光的速度不是真空光速, 这种结果对 LIGO 实验的波形匹配会产生非常大的影响, 原来与引力波样板匹配的信号可能变得完全不匹配, 所谓发现引力波的结论也得重新考虑。

事实上, LIGO 也承认引力波会对光的波长产生影响。但他们认为这不会改变激光的干涉图样, 原因是干涉仪的臂长与光的波长之间存在差别(这个理由莫名其妙, 物理意义不明确)。在 LIGO 官方网站 (<https://www.ligo.caltech.edu/page/faq>) 的 FAQ 栏目中 (frequently asked questions), 我们可以看到以下的文字: “A gravitational wave does stretch and squeeze the wavelength of the light in the arms. But the interference pattern doesn't come about because of the difference between the length of the arm and the wavelength of the light.”

按照 LIGO 的解释, 引力波存在时光速仍然不变, 但干涉仪的臂的长度发生改变, 使两光的波峰和波谷到达观察屏的时间是不同的, 由此引起激光干涉图样的改变。“Instead it's caused by the different arrival time of the light wave's "crests and troughs" from one arm with the arrival time of the light that traveled in the other arm. To get how this works, it is also important to know that gravitational waves do NOT change the speed of light.” 在这段话中, LIGO 团队强调引力波不改变光速, 这是 LIGO 实验的基础。然而由于引力波存在时, 光的速度不是常数, 因此 LIGO 的实验解释就不成立。

引力场中的光速是否是常数, 这是一个很多人实际上没有弄清楚的问题。测量速度需要先定义单位尺和单位钟。按照广义相对论, 引力场使时空弯曲, 我们有两种方式来定义单位尺和单位钟, 即所谓的坐标尺和坐标钟, 以及标准尺和标准钟。坐标尺和坐标钟是固定在引力场中每一点上的尺和钟, 它们随引力场的强度而变。标准尺和标准钟是引力场中某点上局域参考系中定义的尺和钟, 或者是在引力场中自由降落参考系上定义的尺和钟。在这个参考系上, 引力的作用被消除, 因此标准尺和标准钟是不变的。

广义相对论中已证明, 如果引力场的度规张量是非时轴正交的, 即 $g_{0i} \neq 0$, 不论尺与钟采用什么定义, 引力场中的光速都不等于真空光速。如果引力场度规张量是时轴正交的, 即 $g_{0i} = 0$, 采用坐标尺和坐标钟, 光速就不等于真空光速。如果采用标准尺和标准钟, 或者处于自由降落的基本惯性系, 引力场中的光速等于真空光速【3】。

在 LIGO 实验中, 观察者静止在引力波引起的引力场中, 而不是处于引力场中自由降落的局部惯性系中, 采用的是坐标尺和坐标钟。按照 (2) 式 $g_{0i} = 0$, 因此 LIGO 实验中光速就不等于真空光速。事实上按照 (2) 式, 度规的时间部分是平直的, 空间部分弯曲。按照速度的定义 $V_x = dx/dt$, 光速就不可能是常数。按照这种方式, 一般引力场中的光速都是低于真空光速的, 比如在施瓦西球对称引力场和宇宙学的罗伯逊-沃特度规引力场中的光速。然而引力波存在时的光速可能超真空光速, 这是非常不一般的, 物理学家至今没有注意到这个问题。

三. LIGO 实验无法用时间差计算干涉图像的改变

在经典光学中, 光沿两条路径传播的时间差也可以用来计算干涉条纹的改变。但这种计算有一

个前提，即光的速度是一个常数。LIGO 实验也用时间差来计算干涉图像的改变【7】。然而引力波存在时光的速度不是常数，用时间差来计算干涉条纹也是不可能的。虽然干涉仪的臂长发生改变，但光的传播速度也同步发生改变，以至于光波到达的时间不变。

我们还可以更严格地讨论这个问题，证明引力波存在时光的波长改变，但频率却是不变，因此相位也是不变的。设光的频率 $\omega = 2\pi\nu = 2\pi c / \lambda$ ，如果引力波存在时光速不变但波长 λ 改变，则 ω 也要发生改变。在这种情况下，(7) 式就变成：

$$E_x = E_0 \cos(\omega_x t - k_x x) \quad E_y = E_0 \cos(\omega_y t - k_y y) \quad (19)$$

两光叠加后就不能写成 (8) 式的形式，结果变得非常复杂。

如果引力波存在时光的速度不是常数，同时考虑 (6) 和 (11) 式，可得：

$$\omega_x = 2\pi\nu_x = \frac{2\pi V_x}{\lambda_x} = \frac{2\pi c}{\lambda} = \omega \quad \omega_y = 2\pi\nu_y = \frac{2\pi V_y}{\lambda_y} = \frac{2\pi c}{\lambda} = \omega \quad (20)$$

因此光的频率仍然是一个不变量，两个光的叠加仍然可以写成 (8) 式的形式。

可见引力波存在时，把光看成在介质中运动，光的频率不变，但速度和波长都要变，才能达到逻辑的一致性。事实上，(20) 式在现有物理学中是有根据的。按照经典物理学，在静止的介质中波的传播速度要改变，但频率是不变的【8】。因此波长要改变，但光波的相位是不变的。

事实上从 (7) 式可知，光的相位由 ωt 和 kx 两部分组成。由于距离和波长同步改变，与空间有光的相位 $kx = 2\pi x / \lambda$ 是不变量。由于 $\omega = 2\pi\nu = 2\pi / T$ ， T 是光的周期，与时间 t 是同步发生变化的。我们总有 $\omega' = 2\pi\nu' = 2\pi t' / T' = 2\pi t / T = \omega$ ，由于引力波对时间 t 实际上不产生影响，因此 LIGO 实验中激光与时间有关的相位 ωt 也是不变的。

四. 第三种计算方法存在的问题

LIGO 实验还有一种更复杂的计算方法，通过考虑引力场与电磁场的相互作用，即所谓的在弯曲时空中求电磁场方程解，来计算 LIGO 实验中激光的相位改变【9】。在这个计算中，干涉仪的两条臂位于 x 轴和 y 轴。引力波不存在时，沿 x 轴传播的光的电场在 y 轴方向振动（电磁波是横波）：

$$E_y^{(0)} = E_0 [e^{i(kx - \omega t)} - e^{-i(kx - \omega t - 2ka)}] = -F_{02}^{(0)} \quad (21)$$

其中 a 是反射镜的坐标， $F_{ik}^{(0)}$ 是电磁场张量。磁场的形式类似，就不写出。干涉仪的另外一条臂在 y 轴方向，沿该方向传播的光的电场在 x 轴方向振动，即：

$$E_x^{(0)} = E_0 [e^{i(ky - \omega t)} + e^{-i(ky - \omega t - 2ka)}] = -F_{01}^{(0)} \quad (22)$$

$F_{01}^{(0)}$ 和 $F_{02}^{(0)}$ 是电磁场张量。同时假设引力波沿 z 轴方向传播，令：

$$h_{11} = -h_{22} = -A \cos(k_g z - \omega_g t) \quad (23)$$

当引力波存在时，电磁场张量变成：

$$F_{\mu\nu} = F_{\mu\nu}^{(0)} + F_{\mu\nu}^{(1)} \quad (24)$$

其中 $F_{\mu\nu}^{(1)}$ 是引力场诱导出来的电磁场小量。代入弯曲时空电磁场运动方程，得到 $F_{\mu\nu}^{(1)}$ 满足的运动方程【10】：

$$F_{\mu\nu, \rho}^{(1)} \eta^{\rho\nu} = h_{\mu}^{\nu, \rho} F_{\nu\rho, \rho}^{(0)} + h^{\nu\rho} F_{\mu\nu, \rho}^{(0)} + O(h^2) \quad (25)$$

$$F_{\mu\nu, \rho}^{(1)} = F_{\nu\rho, \mu}^{(1)} + F_{\rho\mu, \nu}^{(1)} = 0 \quad (26)$$

通过求解 (25) 和 (26) 式，得到 $F_{\mu\nu}^{(1)}$ 的具体形式。在此基础上就是得到相移动：

$$\delta\varphi_x = \frac{A}{2} \frac{\omega}{\omega_g} \sin \omega_g \tau \quad \delta\varphi_y = -\frac{A}{2} \frac{\omega}{\omega_g} \sin \omega_g \tau \quad (27)$$

从而确定引力波引起的光相位移动 $\delta\varphi = \delta\varphi_x - \delta\varphi_y$ 。然而仔细分析后发现，这种计算方法存在许多问题，举例如下：

1. 该计算仍然假设引力场存在时光速不变，如前文所述，这是不可能的。本文关于用迈克尔逊干涉仪无法探测引力波的证明，就是基于光速不是常数这个结果的。

2. 上文已经证明，引力波对光的相位不产生影响。因此引力波存在时 (21) 和 (22) 式的形式不变，(24) 式中 $F_{\mu\nu}^{(1)} = 0$ ，不可能通过这种方法计算光的位相移动。

3. 按照 (21) 和 (22) 式，沿 x 轴和 y 轴传播的两束光的电磁场振动方向是正交的，因此这两束光是不相干的。如果它们产生不干涉，引力波又怎么可能使它们的干涉条纹发生移动呢？这是这种计算方法需要面对的另外一个基本问题。

3. 然而通过求解组 (25) 和 (26) 无法同时得到沿每条臂传播的光的相差 $\delta\varphi_x$ 和 $\delta\varphi_y$ ，因而无法求总的相差 $\delta\varphi = \delta\varphi_x - \delta\varphi_y$ 。因此原文作者不得不只考虑光沿一条臂传播的情况 (We solve these equations in a special orientation which does not correspond to an actual interferometer arm”。如作者在原文中说，该计算引入一个假想的，沿 y 轴传播的引力波和沿 z 轴传播的电磁场 (a fictitious system is composed of an electromagnetic wave propagating along the z axis,...is perturbed by a gravitational wave moves along the y axis)，不考虑沿 x 轴传播的电磁场。

在这种简化条件下进行计算，将结果通过一个坐标变换，变回到原来的问题。对于沿 x 轴运动的光，坐标变换是 $t' = t$ ， $x' = y$ ， $y' = z$ ， $z' = x$ (坐标系先顺时针绕 x 轴转动 90 度，再顺时针绕 z 轴转动 90 度)。对于 y 轴运动的光，坐标变换是 $t' = t$ ， $x' = x$ ， $y' = z$ ， $z' = -y$ (坐标系逆时针绕 x 轴转 90 度)。由此又产生两个问题：

I) 光沿一条臂传播与沿两条臂传播时，引力波与电磁场相互作用的方程是不一样的，或者说 (25) 和 (26) 式是不一样的，因此这种计算方法不能代表真实的实验过程。

II) 坐标变换后沿 x 轴运动的光的电磁场为：

$$E_x^{(0)} = E_0 \left(e^{i(kz' - \omega t')} - e^{-i(kz' + \omega t' - 2ka)} \right) \quad (28)$$

沿 y 轴运动的光的电磁场为：

$$E_x^{(0)} = E_0 e^{2ika} \left(e^{i(kz' - \omega t')} - e^{-i(kz' + \omega t' - 2ka')} \right) \quad (29)$$

引力波则变成：

$$h_{11} = -h_{33} = -A \cos(k_g y' - \omega_g t') \quad (30)$$

可以看出两束光的电磁场的振动方向变一样，或者说它们可以产生干涉。但两个光都变成沿 z' 轴运动，仍然与迈克尔逊干涉仪的实验情况不一致性。

可见用这种方法计算的位相移动，实际上是为了拼凑出计算者想得到的结果。它在实际观察中不可实现，并与本文的计算结果相矛盾。事实上，以上三种计算方法的结果必须一致。而本文的第一种方法是标准方法，其物理意义是非常明确的。如果用其他方法得到的结果与它不一致，就得考虑计算是否正确。

由此看出，LIGO 实验中实际上有许多基本概念问题没有解决，在这种情况下声称探测到引力波是没有意义的。即使将来把探测引力波实验放到太空中进行，如果仍然采用迈克逊激光干涉仪，也是不可能探测到引力波的。如果引力波确实存在，要想探测到引力波，就必须寻找新的实验方法。

五. LIGO 实验与迈克逊实验的关系

爱因斯坦提出狭义相对论之前，迈克逊花了十几年时间做实验，试图发现地球的绝对运动，但没有成功。狭义相对论对迈克逊实验零结果的解释是，干涉仪的转动使其中一条臂的长度发生洛伦兹收缩，另外一条的长度不变。由此导致光速不变，就不可能观察到干涉条纹的移动。LIGO 实验采用迈克逊干涉仪，其基本原理与迈克逊的实验完全一样。当引力波作用到干涉仪的一条臂上，使臂的长度发生收缩的同时，也使光的波长发生相同的改变。由于二者的改变是同步的，就等于什么都没有发生。迈克逊实验不能观察到地球的绝对运动，LIGO 实验也不可能成功【11】。

我们来详细讨论这个问题。在迈克逊干涉实验中，光波也可写成（7）式的形式。设迈克逊干涉仪的沿 y 方向的臂静止，沿 x 方向的臂在运动。对于静止的观察者，x 轴的长度收缩和时间延缓为：

$$x' = x\sqrt{1-V^2/c^2} \quad t' = t/\sqrt{1-V^2/c^2} \quad (31)$$

设沿 x 轴运动的光的周期是 T' ，频率是 ν' ，我们有 $\nu T' = 1$ ， $\omega' = 2\pi\nu' = 2\pi/T'$ ，以及 $T' = T/\sqrt{1-V^2/c^2}$ (周期也是时间)。可得：

$$\omega't' = \frac{2\pi t'}{T'} = \frac{2\pi t}{T} = \omega t \quad k'x' = \frac{2\pi x'}{\lambda'} = \frac{2\pi x}{\lambda} = kx \quad (32)$$

因此在迈克逊干涉仪的转动过程中，光波（7）式的相位不变，就无法观察到地球的运动。其关键是光速不变，但波长和频率同时发生变化。而在引力波实验中，按照（1）和（2）式，时间是平直的。因此光的速度和波长要改变，但光的频率不变，这是 LIGO 实验与迈克逊实验不同的地方。而二者共同之处是，光波的相位是不变的，用迈克逊干涉仪做实验，只能得到零结果。

我们来做进一步的计算。地球绕太阳轨道运动的速度 $V = 3 \times 10^4$ 米/秒，迈克逊干涉仪的臂长 $L = 10$ 米。按照洛伦兹公式计算，干涉仪转动导致的臂长度收缩为：

$$\Delta L = L(1 - \sqrt{1 - V^2/c^2}) = 5 \times V^2/c^2 = 5 \times 10^{-8} \text{ 米} \quad (33)$$

LIGO 引力波实验中产生的长度收缩为 10^{-18} 米，是迈克逊干涉实验的长度改变的 200 亿分之一！假设按照经典力学，迈克逊干涉实验能够观察到干涉条纹的移动，移动的个数大约为 0.2 个。假定 LIGO 实验也能够观察到激光干涉条纹的飘移，引力波引起的干涉条纹移动个数是 1000 亿分之一的一个。在环境和温度强大的噪音背景下，LIGO 实验者怎么能够将如此小的干涉条纹的漂移分离出来，并确认它就是引力波的效应呢？

六. LIGO 实验存在的其他问题

本文作者中梅晓春和俞平在《前沿科学》和《Journal of Modern Physics》上发表文章，指出 LIGO 实验存在许多严重的问题，要点如下【5】、【6】:

1. LIGO 实验没有找到对应的引力波爆发源，所谓探测到引力波实际上是计算机模拟的结果。
2. 广义相对论中，引力波改变距离的公式只对真空中两个自由粒子有效，对 LIGO 实验无效。
3. LIGO 实验的整个系统由大量带电粒子组成，受电磁相互作用的支配。引力波强度太弱，不可能使干涉仪两臂的长度发生改变。
4. LIGO 实验并没有证实广义相对论，实验者的论证方法是循环论证，逻辑有问题。
5. LIGO 实验采用数值相对论计算方法靠不住，蝴蝶效应会放大误差。
6. 比原子核小 1000 倍的距离变化已经进入微观范畴，是不可测量的。
7. 奇异性的黑洞至今没有被观察到，实际上是不可能存在的。

巴西人工智能专家 P.Ulianov 在《Global Journal of Physics》发表文章【11】，指出 LIGO 实验所谓的引力波信号可能由电网频率的波动引起。LIGO 实验只监测电网的电压，没有监测电网的频率。LIGO 实验中存在 60Hz 和 30Hz 的噪音，前者是美国电网的供电频率，后者是 LIGO 系统本身的噪音频率。如果电网频率存在 2.5Hz 的波动，与 30Hz 的噪音叠加就会产生类似 LIGO 引力波的信号。

根据以上讨论，LIGO 实验根本不可能探测到引力波。所谓的“引力波”发现实际上只是一场计算机模拟和图像匹配和识别的游戏，尽管是一个工程巨大、精确无比的游戏。

参考文献

- [1] Abbott B P, et.al. Observation of gravitational wave from a binary black hole merger, Phys Rev Lett, 2016, 116: 06112 1~16.
- [2] Abbott B P, et.al. Observation of gravitational wave from a 22-solar mass binary black hole coalescence, Phys Rev Lett, 2016, 116: 241103 1~14.
- [3] 刘辽, 赵峥, 广义相对论(第二版), 高等教育出版社, 2004, p. 28, 140.
- [4] 方洪烈, 光学谐振腔与引力波探测, 科学出版社, 2014, p. 239, 246, 331.
- [5] 梅晓春, 俞平, LIGO 真的探测到引力波了吗? 前沿科学, 2016, 10(1): 79~89
- [6] Mei X, Yu P. Did LIGO really detect gravitational waves?, Jour. Mod. Phys., 2016, (7): 1098~1104.
- [7] Callen H.B., Green R. F., Phys. Rev., 1952, 86: 702.
- [8] H.C.瓦尼安, R.鲁菲尼, 引力与时空, 科学出版社, 2006, p. 155.
- [9] C. F. Cooperstock and V. Faraoni, Classical and Quantum Gravity, 1993, V10, p. 1989.
- [10] C. F. Cooperstock, Ann. Phys. (NY), 1968, 47, 173.
- [11] Ulianov P Y. Light fields are also affected by gravitational waves, presenting strong evidence that LIGO did not detect gravitational waves in the GW150914 event[J]. Global Jour. Phys., 2016, 4(2): 404~420.