

球壳内光速和真空光速不唯一性

毛德意

maodeyi8@163.com

(北京 102208)

摘要:

真空球壳内腔真空光速较小或较大。真空光速不唯一。真空光速和速度无法设定上限。

关键词: 广义相对论; 希瓦茨内解; 锐士勒-洛德士诺蒙解; 球壳内解; 球壳内光速; 真空光速不唯一性

分类号: 0412

The Speed of Light In a Spherical Cavity and Non-uniqueness of The Speed of Light in Vacuum

Deyi Mao

(Beijing 100208, China)

Abstract:

Inside a vacuum spherical shell, the speed of vacuum light is small or large. The speed of vacuum light is not unique. The speed of vacuum light and the speed of vacuum light can not be set an upper limit.

Keywords: General Relativity, Schwarzschild Internal Solution, Reissner-Nordström Solution, Spherical Shell's Internal Solution, The Speed of Light In a Spherical Cavity, Non-uniqueness of the Speed of Light In Vacuum

1 引言

广袤的宇宙中，真空光速均为 30 万公里每秒吗？

真空中均匀球中心点处，为真空，但是光速比外面远处真空速度要小。因此真空光速不唯一。

2 文献综述

爱因斯坦建立了广义相对论方程。

$$G_{\mu\nu} + g_{\mu\nu} \Lambda = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + g_{\mu\nu} \Lambda = \kappa T_{\mu\nu}$$

希瓦茨解出静态匀质球的希瓦茨内解。

$$ds^2 = \left(\frac{3}{2} \sqrt{1 - Ar_B^2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - Ar^2} \right)^2 c^2 dt^2 - \frac{1}{1 - Ar^2} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

其中 $A = 1/3 \kappa \mu c^2 = 8/3 \pi G \mu c^{-2}$

锐士勒-洛德士诺蒙(Reissner-Nordström)解:

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

3 球中心引力场分析

3.1 球中心点引力场

中心 $r=0$ 代入得

$$ds^2 = \left(\frac{3}{2} \sqrt{1 - Ar_B^2} - \frac{1}{2} \right)^2 c^2 dt^2 - dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

$$ds^2 = g_{00} c^2 dt^2 - dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

$$= g_{00} c^2 dt^2 - dl^2 = g_{00} c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

$$g_{00} = \left(\frac{3}{2} \sqrt{1 - Ar_B^2} - \frac{1}{2} \right)^2 < 1$$

可以看出，在中心点，引力和引力加速度为 **0**，光线走直线，但是 g_{00} 不是 1，而是小于 1。

3.2 球中心点光速 u_c

$$ds^2 = g_{00} c^2 dt^2 - dl^2 = 0$$

$$u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2} c < c$$

结论：球中心点的光速 u_c 小于标准光速 c 。

3.3 球中心点附近的引力场和光速 u_c

由于连续性。上面结论对中心点附近的极小空间依然成立。

结论：中心点附近引力和引力加速度为 **0**，光线走直线，但是 g_{00} 不是 1，而是小于 1，光速小于标准光速 c 。

3.4 中心点挖出一个小圆洞的引力场和光速 u_c

中心点挖出一个小圆洞。由于其影响太小，可以忽略不计，上面结论依然成立。

结论：中心点小圆洞内引力和引力加速度为 **0**，光线走直线，但是 g_{00} 不是 1，而是小于 1，光速小于标准光速 c 。

4 球壳中引力场分析

上面中心小洞模型，其实就是厚球壳模型。上面是由希瓦茨内解用极限思维推导出的结论。下面直接求解一般球壳的引力场。

用度规连续等边界条件求解张量方程。

外径为 r_B ，内径为 r_0 。

记 $r_e^2 = (r^3 - r_0^3)/r$ 。

记 $r_x^2 = (r_B^3 - r_0^3)/r_B$ 。

记 $g_{-00} = g_{00}^{1/2}$ 。

$G^0_0 = \kappa T^0_0 = \kappa \mu = 3A$ 可得 $d(-rg_{11}^{-1}) = d(r - Ar^3)$ 。

$-rg_{11}^{-1} = r - Ar^3 + C1$

$-g_{11}^{-1} = 1 - Ar^2 + C1/r$

C1 为积分常数。

下面考虑边界条件。

$r = r_B$ 时，和希瓦茨外解 $-g_{11}^{-1} = 1 - A(r_B^3 - r_0^3)/r_B$ 连续一致。

得到 $C1 = Ar_0^3$ 。

也可以通过内边界处 $-g_{11} = 1$ 连续一致解得。

$-g_{11}^{-1} = 1 - A(r^3 - r_0^3)/r = 1 - Ar_e^2$

实心球， $C1 = 0$ 。

可以看出：

g_{11} 取决于该处球面内部平均密度。

$G^1_1 = \kappa T^1_1$ 和 $G^2_2 = \kappa T^2_2$ 得到关于 g_{00} 的方程最终是关于 g_{-00} 的方程。

$$d(g_{-00}(1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{-1/2})/dr = 3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} d((1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{-1/2})/dr - (3/4)(1 - Ar_x^2)^{1/2} Ar_0(r_0/r)^2 (1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{-3/2}$$

对 $r_0 r_B^{-1} \rightarrow 0$ 的厚球壳，最后一项忽略不计，得：

$$g_{-00}(1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{-1/2} = 3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} (1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{-1/2} - C2$$

$$g_{-00} = 3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} - C2(1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{1/2} = 3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} - C2(1 - Ar_e^2)^{1/2}$$

C2 是积分常数。内解的 g_{-00} 后面一项取决于该处球面内部平均密度，系数 C2 取决于边界条件“连续性”。

$r = r_B$ 时，和希瓦茨外解 $g_{-00} = (1 - A(r_B^3 - r_0^3)/r_B)^{1/2}$ 连续一致。

得 $C2 = 1/2$

$$g_{-00} = 3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} - 1/2(1 - Ar^2 + Ar_0^3 r^{-1})^{1/2} = 3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} - 1/2(1 - Ar_e^2)^{1/2}$$

得到内解：

$$ds^2 = g_{00} c^2 dt^2 - (1 - Ar_e^2)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2$$

$$0 < g_{00} < 1$$

上面结论对一般静止球壳均成立。

$r_0 = 0$ 就退化为希瓦茨内解。

对 $r_0 r_B^{-1} \rightarrow 0$ 的极厚球壳，就是前面挖出的小洞：

$$g_{00}(r_0) = (3/2(1 - Ar_x^2)^{1/2} - 1/2)^2 = (3/2(1 - Ar_B^2)^{1/2} - 1/2)^2$$

5 球壳内腔引力场分析

在牛顿力学中，我们知道球壳内腔的引力和引力加速度为 0。这是事实，可以实验测量验证。和具体理论无关。因此，在广义相对论中依然成立。

由于没有引力作用。光线走直线。

那么， $g_{\mu\mu}$ 均为常数。

$$ds^2=g_{00}c^2dt^2+g_{11}dx^2+g_{22}dy^2+g_{33}dz^2$$

由于 xyz 对称，因此 $g_{11}=g_{22}=g_{33}$

$$\begin{aligned} ds^2 &= g_{00}c^2dt^2 + g_{11}(dx^2 + dy^2 + dz^2) = g_{00}c^2dt^2 + g_{11}dl^2 \\ &= g_{00}c^2dt^2 + g_{11}(dr^2 + r^2d\theta^2 + r^2\sin^2\theta d\varphi^2) \end{aligned}$$

同时静态各向对称的度规为

$$ds^2=g_{00}c^2dt^2+g_{11}dr^2-r^2d\theta^2-r^2\sin^2\theta d\varphi^2$$

比照后 2 项的系数得：

$$-g_{11}=1$$

其实，在越过内界面前已经是 $-g_{11} = 1$ 。

因此

$$ds^2=g_{00}c^2dt^2-dx^2-dy^2-dz^2=g_{00}c^2dt^2-dl^2$$

g_{00} 由 r_0 处连续性确定。

由前面可知：

$$0 < g_{00} < 1$$

$$ds^2=(w(k,dt))^2-dr^2-r^2d\theta^2-r^2\sin^2\theta d\varphi^2$$

$$\text{对 } r_0 r_B^{-1} \rightarrow 0 \text{ 的厚球壳, } g_{00}(r_0) = (3/2(1-Ar_x^2) - 1/2)^2$$

内腔的光速 u_c ：

$$ds^2=g_{00}c^2dt^2-dl^2=0$$

$$u_c=dl/dt=g_{00}^{1/2}c < c$$

内腔的光速小于标准光速 c 。

真空中球壳内腔没有引力和引力加速度，因此可以认为是真空。

结论：真空中静态球壳内腔系数 g_{00} 缩小，时空是平直的，球壳不影响时空的平直性，没有引力和引力加速度，内腔也是真空，光速小于标准光速 c 。

里面也是真空，外面远处也是真空。但是两处真空速度不一样。因此有：

真空光速不唯一。

6 天穹思想实验

宇宙中球壳天体结构命名为天穹。

假设我们的外面有一层球壳，即天穹。

站在该球壳外看，球壳里面的真空光速 c_{in} 比球壳外面的真空光速 c_{ex} 小。

而里面的光速为标准光速 c 。

$$c_{ex} > c_{in} = c$$

对于外面的观察者来说，实际测量的真空光速 $c_{ex} > c$ ，实在没有理由要求他认为真空光速

为另一个小的 c 。因此对于外面的观察者来说，真空光速为 c_{ex} 而不是 c 。在写度规时，可以用外面的真空光速 c_{ex} 代替 c 。

外面的真空光速为 $c_{ex} > c$ ，里面的真空光速为 c 。因此真空光速不唯一。

外面的真空光速为 $c_{ex} > c$ 。因此真空光速可以大于标准光速 c 。

由于外面物质多少无法限定，因此外面真空光速 c_{ex} 也无法限定。因此不能限定真空光速。因此目前也不能限定速度。

7 富电荷球壳内腔度规

电荷的影响和质量相反。当富含电荷时，电荷起主导作用。

此时由锐士勒-洛德士诺蒙解可知 $g_{00} > 1$ 。

电荷都集中在金属外表面。考虑薄球壳，厚度可忽略不计。由于 g_{00} 连续性，内腔中 g_{00} 还保持外解的值。 $g_{00} > 1$ 。

基于上面同样的分析，内腔是真空，内腔的度规为：

$$ds^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dl^2$$

$$g_{00} > 1$$

上面结论对一般静止富电荷球壳均成立。

内腔的光速 u_c ：

$$ds^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dl^2 = 0$$

$$u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c = (1 - 2m/r_B + kQ^2/r_B^2)^{1/2}c > c$$

内腔的真空光速大于标准光速 c 。

结论：真空中富电荷静态球壳内腔系数 g_{00} 增大，时空是平直的，球壳不影响时空的平直性，没有引力和引力加速度，内腔也是真空，光速大于标准光速 c 。

因此真空光速可以大于标准光速 c ；真空光速不唯一；不能限定真空光速；不能限定速度。

另外，球壳外，外壳附近的径光速更快。

$$ds^2 = (1 - 2m/r + kQ^2/r^2)c^2 dt^2 - (1 - 2m/r + kQ^2/r^2)^{-1} dr^2 = 0$$

$$u_r = dr/dt = (1 - 2m/r_B + kQ^2/r_B^2)c > u_c > c$$

另外，球壳外，外壳附近，沿球表面光速和内部一样快。

$$ds^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dl^2 = 0$$

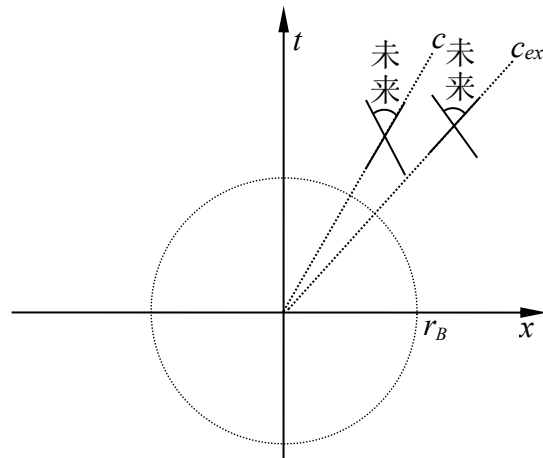
$$u_l = dl/dt = g_{00}^{1/2}c = (1 - 2m/r_B + kQ^2/r_B^2)^{1/2}c = u_c > c$$

8 怎么理解不同真空光速？

理论上的真空光速其实就是一段逻辑，在纯数学上，当 r^{-1} 趋近于 0 时的时空图渐近线斜率，渐近线斜率是光锥的极限斜率。并不是实际的无穷远。我们实际上没有去过无穷远，只是从数学上进行推演。

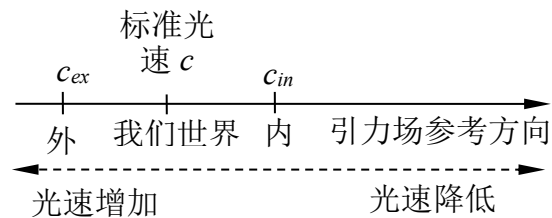
在球壳内外的逻辑有不同的渐近线。渐近线对应光锥的速度就是真空速度。渐近线对 t 轴的斜率就是真空光速。在球壳外，有更大的极限光锥和更大的真空光速。

从微分方程的角度来说，广义相对论微分方程必须分段求解。每一段有自己的渐近线和极限光锥。



从引力场影响趋势来说，引力场能使光速无限倍地降速。那么反过来看，可以说，光速可以无限倍地增速。而我们通过测量已经知道了宇宙某个节点光速是标准光速 c ，那么还可能有比标准光速 c 大的光速 c_{ex} 。也就是说，我们得到的标准光速 c ，可能实际上是被外面的引力场降低了的低光速。

关键的一点，球壳对内腔的 g_{11} 、引力和引力加速度没有影响，但是对 g_{00} 有可累积的影响。也因此，球壳造成方程的分段化。



从外到内 3 处度规：

$$\text{外部: } ds^2 = (1-2m/r)c_{ex}^2 dt^2 - (1-2m/r)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 = ((1-2m/r)c_{ex}^2/c^2)c^2 dt^2 - (1-2m/r)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2$$

$$\text{我们: } ds^2 = (1-2m/r)c^2 dt^2 - (1-2m/r)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2$$

$$\text{内部: } ds^2 = (1-2m/r)c_{in}^2 dt^2 - (1-2m/r)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 = ((1-2m/r)c_{in}^2/c^2)c^2 dt^2 - (1-2m/r)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2 \theta d\phi^2$$

单纯从公式的角度，公式是可以统一为标准光速 c 的形式。相应地， g_{00} 需要乘一个常数。因此爱因斯坦引力方程可以适用的，它们都满足爱因斯坦引力方程，爱因斯坦引力方程本身支持更高的真空光速和不同的真空光速。爱因斯坦引力方程中的标准光速 c 只是一个真空光速的参考标准，类似于冰的熔点作为温度的参考标准。

马赫原理也是广义相对论的出发点。爱老早期对它大加赞扬。

但是到后期，他发现，马赫原理和最终的广义相对论根本不兼容。彻底抛弃马赫原理。

马赫原理，从出发点，变为最终的抛弃。

广义相对论方程可以推出真空光速不唯一。

因此真空光速唯一，从出发点，变为最终的抛弃；也是可以理解的。而且抛弃后，广义相对论变得更伟大。

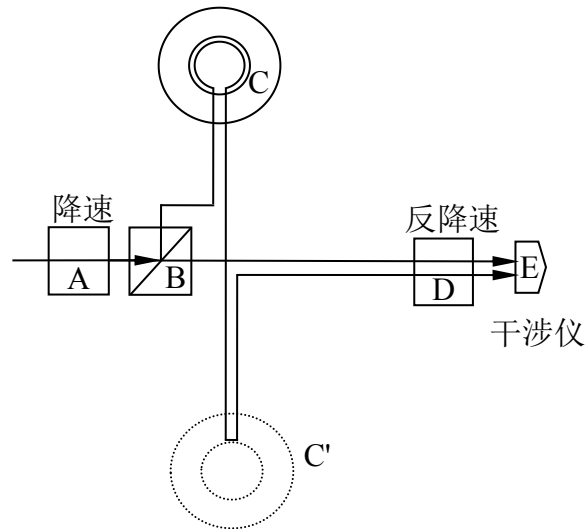
9 影响

首先，速度实际没有上限。人类生活变得更有意义。

第二，宇宙学需要调整。以前的宇宙学模型设计没有考虑不同的真空光速，更大的真空

光速。

10 球壳内腔光速降低验证实验



如图，干涉激光经过减速器 A 极大地降低行进速度。经过半镀银反射镜 B 分成两股进入 2 路光纤。其一路光纤进入大质量或富电荷球壳 C，C 内光路很长。另一路光纤远离 C。再经过反减速器 D 回归正常。再进入干涉仪 E。

先将 C 移到对称的位置 C'（要求不高则可不移），保证对球外光路影响始终一致，调整光路，保证干涉条纹在正中央。再将 C 移回，光路经过 C，测得条纹移动数 Δn （含方向）。验证 C 中光速 u_c 变慢。

也可不用光纤，用设计好的光路，要保证 C 内运行足够的路程。

先在地球上做。有条件再在太空真空重做。初步测试中，可以在 C 的外表面测试。

移动条纹数的计算：

球壳内腔部分光路长度为 L 。

正常运行时间 $t=L/c_1$ ，周期数 $n_1=tv_1=L/\lambda_1$

在球壳内腔运行时，周期数 $n_2=tv_2=(L/\lambda_1)g_{00}^{1/2}$

移动条纹数 $\Delta n=n_1-n_2=(L/\lambda_1)(1-g_{00}^{1/2})$

11 月光盒

月光盒为增加光线路程的设备。

一对平行反射镜。用激光刻成 N 行，每行 M 对小圆镜。先在第一行依次反射，再反射到第二行。再在第二行依次反射。如此直到最后一个小镜子反射出来。

12 相关结论

1.1) 真空球希瓦茨内解中心度规为

$$ds^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2) = g_{00}c^2 dt^2 - dl^2$$

$$g_{00} = \left(\frac{3}{2} \sqrt{1 - Ar_B^2} - \frac{1}{2} \right)^2 < 1$$

- 1.2) 真空球中心引力和引力加速度均为 0。
- 1.3) 真空球中心是真空。
- 1.4) 真空球中心光速为 $u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c < c$ 。
- 1.5) 真空球中心真空光速为 $u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c < c$ 。
- 1.6) 真空球中心小洞引力和引力加速度均为 0。
- 1.7) 真空球中心小洞是真空。
- 1.8) 真空球中心小洞光速为 $u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c < c$ 。
- 1.9) 真空球中心小洞真空光速为 $u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c < c$ 。
- 2.1) 真空球壳内腔度规为 $ds^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = g_{00}c^2 dt^2 - dl^2$, $0 < g_{00} < 1$ 。
- 2.2) 真空球壳内腔引力和引力加速度均为 0。
- 2.3) 真空球壳内腔是真空。
- 2.3) 真空球壳内腔光速为 $u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c < c$ 。
- 2.4) 真空球壳内腔真空光速为 $u_c = dl/dt = g_{00}^{1/2}c < c$ 。
- 3.1) 真空光速不唯一。
- 3.1) 如果我们外面有个天穹, 其外面真空光速 c_{ex} 比里面标准真空光速 c 大, $c_{ex} > c$ 。
- 3.2) 真空光速可以大于标准真空光速 c 。
- 3.3) 真空光速不能给定上限。
- 3.4) 速度不能给定上限。