水星引力辐射与
双星引力辐射的比较
—平直时空的合理性

汤克云

中国科学院地质与地球物理研究所
中国科学院国家天文台

重庆　2012.05.07

爱因斯坦：

- “不曾犯错的人，什么新生事物都没试过。”
- “重要的是，不要停止质疑。”
- “宽容，意味着尊重别人的无论哪种可能有的
- 信念。”
- “在真理的认识方面，任何以权威者自居的人，必将在上帝的戏笑中垮台！”

2002年以来，做成了几件事：

1. 在日全食研究中获得引力场以光速传播的观测证据；
2. 将牛顿万有引力定律，Maxwell电磁理论， 狭义相对论和广义相对论的等效原理结合起来，导出了推迟引力表达式（低速、弱场）；
3. 用推迟引力圆满求解了水星进动；☆
4. 导出了普适弱场引力公式(满足哈密顿原理， 任意速度)；
5. 用普适弱场引力圆满求解了光线偏折、回波延迟和引力红移；
6. 证明了水星进动才是存在引力波的第一个可信证据（Taylor--Weinberg ?）；☆
7. 导出了普适非弱场引力公式(加速度较大)；
8. 在引力研究中闵科夫斯基平直时空是比爱因斯坦弯曲时空更有物理意义的时空！☆

简述引力场以光速传播的观测证据

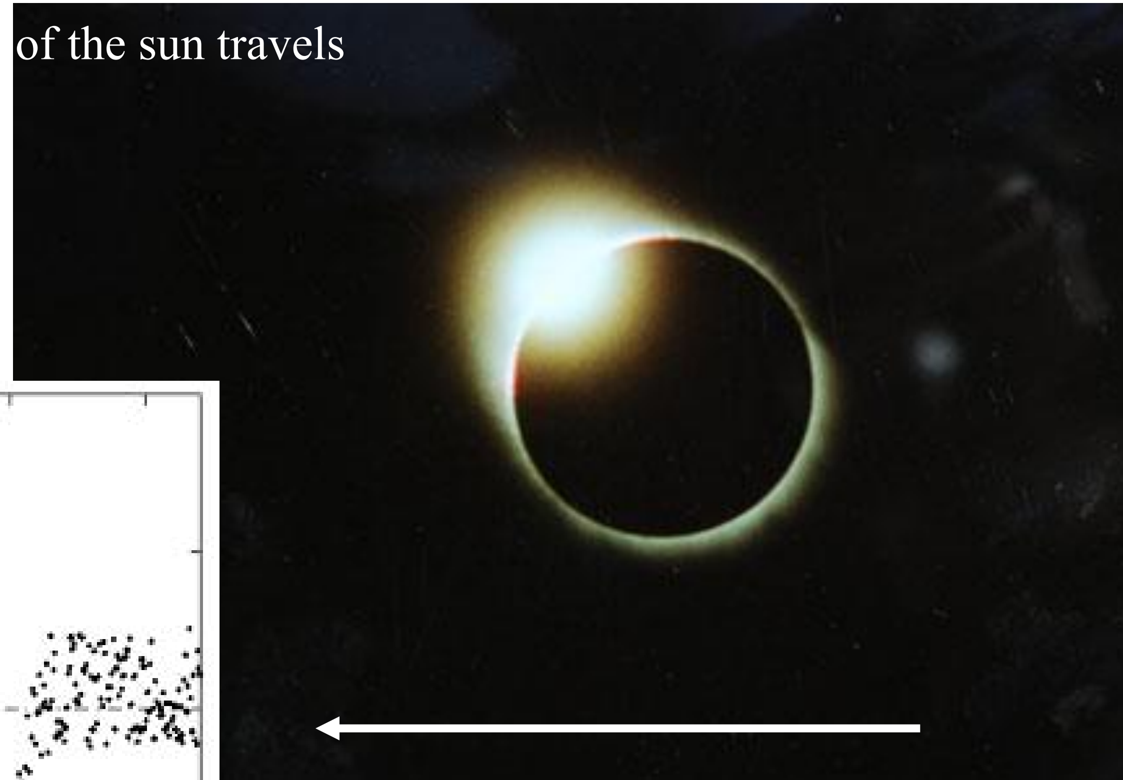
- 重力固体潮理论模型是一个推迟引力模型；
- 证明了爱因斯坦关于引力场应以光速传播的论断正确。

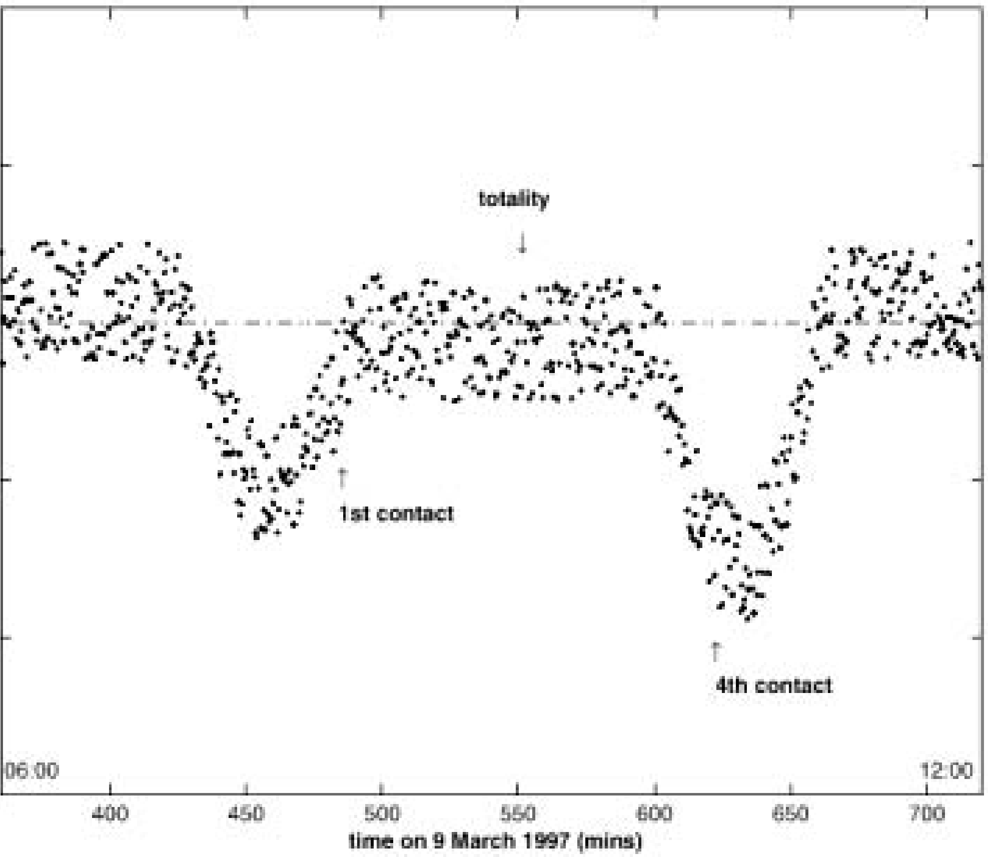
事关重大，

诚求质疑。

抛砖引玉，

昭迎来者。

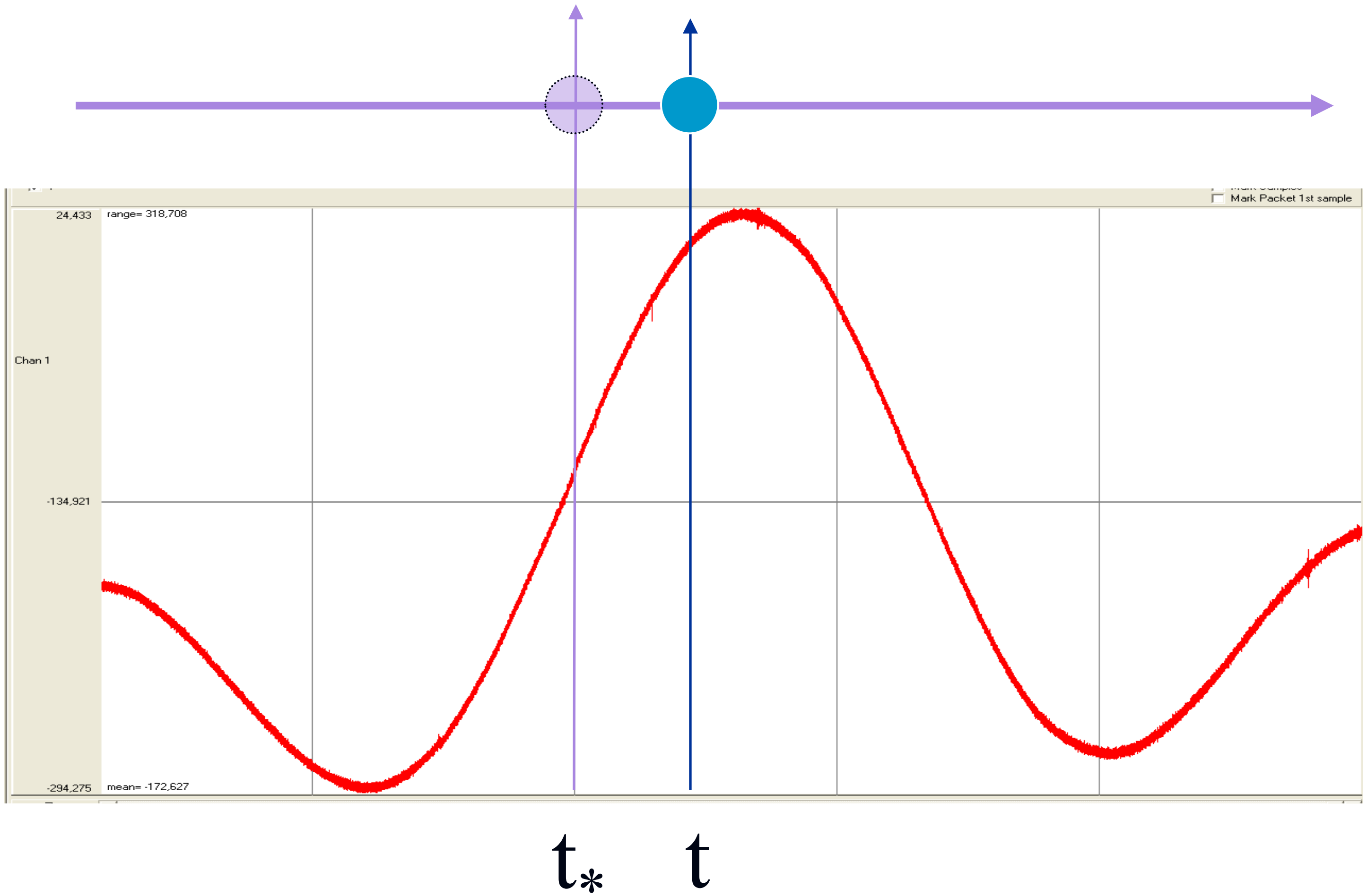

of the sun travels


totality
1st contact
4th contact
06:00
12:00
400
450
500
550
600
650
700
time on 9 March 1997 (mins)

b)


上海市地震局佘山地震基准台
地震台
上海地震科普馆
科普旅游示范基地
文明

True position and apparent position



测量引力场速度的基本原理

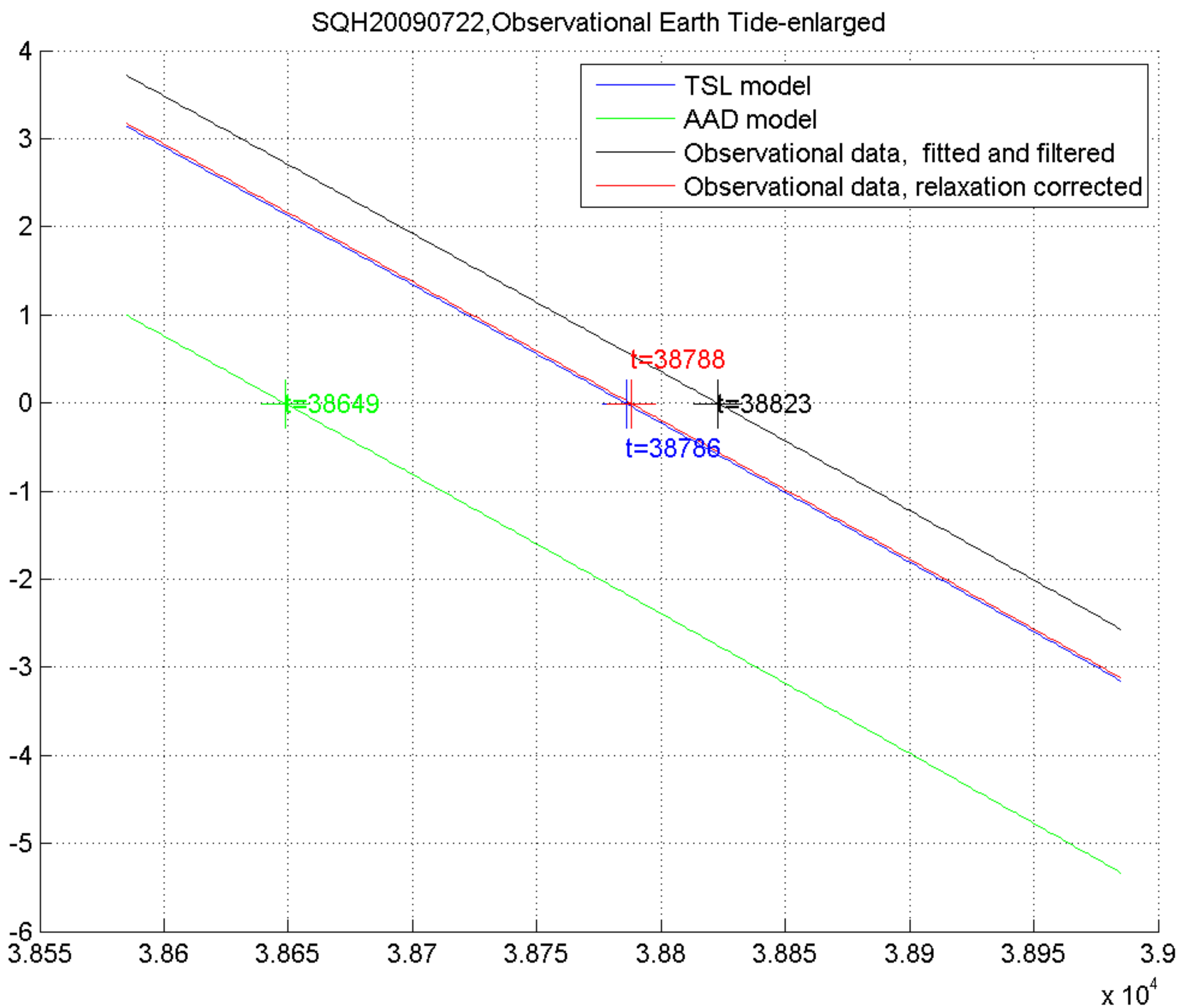
现行固体潮理论模型是一个推迟引力模型；

隐含着引力场以光速传播的假定；

将观测曲线与该模型曲线比较，解方程。

SQH Earth Tide, 20090722

δ_{sm}=+2s (139s), ocean load corrected



The factor of the speed of the gravitational field to the speed of the light

station	date	time lag, ocean load corrected	speed factor	remark
SQH	20090707	+25s	0.95±0.05	
	20090721	-30s	1.06±0.05	
	20090722	+8s	0.98±0.041	
	20090723	+26s	0.95±0.05	
	20090805	+24s	0.96±0.05	E.Q.
	20090820	+3s	0.99±0.05	

今日报告要点

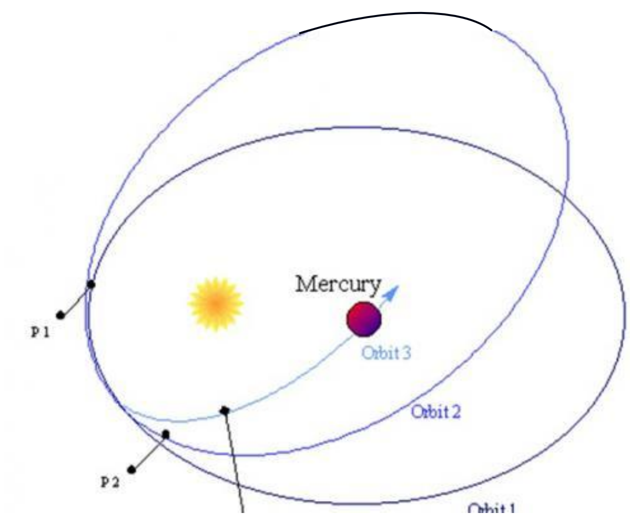
1. 两种方法之比较：用推迟引力和Schwarzschild度规求解水星进动；

2. 证明了水星进动才是**存在引力波的第一个可信证据**（Taylor--Weinberg 四极矩辐射理论不正确？
不能证实PSR1913+16是引力波存在证据）；

3. 平直时空与弯曲时空的比较（简介）！

水星近日点进动（Precession of Perihelion of Mercury）

根据Einstein 广义相对论，被认为是是时空弯曲的结果



$$\Delta\theta = \frac{6\pi GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2} \quad (per\ cycle)$$

$$43'' \quad for\ a\ century$$

基于狭义相对论的推迟引力
(平直时空)

$$\mathbf{g}(\mathbf{r},t)=\frac{-GM}{r^2\cos^3\varphi}(1-\frac{v^2}{c^2})\hat{r} \qquad \Leftarrow NT+\text{感应引力}$$

$$+\frac{GM}{r^2\cos^3\varphi}\frac{a_r^*\sin^2\varphi-a_\theta^*\sin\varphi\cos\varphi}{c^2}r_*\hat{r} \qquad \Leftarrow \vec{g}_r$$

$$+\frac{GM}{r^2\cos^3\varphi}\frac{(a_r^*\sin\varphi\cos\varphi-a_\theta^*\cos^2\varphi)}{c^2}r_*\hat{\theta} \qquad \Leftarrow \vec{g}_\theta$$

感应引力使椭圆稍稍变小，使角速度稍稍增大

开普勒椭圆轨道： $r=\dfrac{P}{1+\varepsilon\cos\theta}$,

开普勒半正焦弦： $P_K=\dfrac{h^2}{GM}$,

推迟半正焦弦： $P_T=\dfrac{h^2}{GM(1+\frac{1}{2}\beta^2)}$,

推迟椭圆的尺度比开普勒椭圆的尺度稍稍小了一点。

$$\beta\equiv\frac{v}{c}$$

只考虑径向作用时， 角动量仍守恒

$h_T^2=h_K^2$, $r_T^2\omega_T=r_K^2\omega_K$, 即 $(1-\frac{1}{2}\beta^2)^2 r_K^2\omega_T=r_K^2\omega_K$,

$\omega_T\approx(1+\beta^2)\omega_K$,

$$\Delta\omega_1=\omega_T-\omega_K\approx\beta^2\omega_K$$

角向推迟引力的作用

$$\mathbf{g}_{\theta} = \frac{GM}{r^2}\frac{r_* a_\theta^*(1+\beta^2)}{c^2}\hat{\theta}$$

$$\approx \frac{GM}{c^2 r^2} a_\theta^*(1+\beta^2) r\hat{\theta} = \frac{GM}{rc^2} a_\theta^*(1+\frac{1}{2}\beta^2)\hat{\theta},$$

其中，角向加速度a_θ^*可用虚实双太阳+牛顿-开普勒椭圆求出。

感应引力对牛顿引力的修正
+角向推迟引力

$$\Delta\theta_1 = \frac{2\pi GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2}(1+\frac{m}{M}), \quad \Leftarrow (NT+\text{感应})\text{之贡献}$$

$$\Delta\theta_2 = \frac{4\pi GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2}(1+\beta^2), \quad \Leftarrow g_\theta \quad \text{之贡献}$$

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 \cong \frac{6\pi GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2}$$

■ **练习 14** 验证式(7.119)是式(7.117)的解。■

如果把式(7.116)中的小项 $3GMu^2$ 用方程(7.119)给出的 Newton 近似来代替,我们得到

$$\frac{d^2u}{d\phi^2}+u-\frac{GM}{\ell^2}-\frac{3(GM)^3}{\ell^4}-\frac{6\varepsilon(GM)^3}{\ell^4}\cos(\phi-\phi_0)$$
$$-3\varepsilon^2\frac{(GM)^3}{\ell^4}\cos^2(\phi-\phi_0)=0 \qquad (7.120)$$

这个方程在数学上类似于简谐振子的方程,其恢复力是 $-u$,两个振动驱动力正比于 $\cos(\phi-\phi_0)$ 和 $\cos^2(\phi-\phi_0)$,还有两个额外的恒力。第一个振动驱动力与自然振动共振,因而它逐渐建立起一个(相对)大的而且长期的轨道扰动;但第二个振动驱动力不是共振的,并只产生小振幅的周期性扰动。我们因此将忽略第二个振动驱动力;并且也将忽略常数项 $3(GM)^3/\ell^4$,它比常数项 GM/ℓ^2 要小,且不产生有意义的观测效应。这样,余下的是

?

$$\frac{d^2u}{d\phi^2}+u-\frac{GM}{\ell^2}-\frac{6\varepsilon(GM)^3}{\ell^4}\cos(\phi-\phi_0)=0 \qquad (7.121)$$

$$\Delta\theta=?\frac{18\pi GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2}$$

用Schwarzschild度规求解水星进动时的不恰当省略

牛顿-开普勒椭圆

$$\frac{du^2}{d\varphi^2}+u=(\frac{GM}{hc})^2,\quad u\equiv(\frac{GM}{rc^2})$$

$$r=(\frac{L^2}{GM})/(1+\varepsilon\cos\theta)$$

即，开普勒椭圆的半正焦弦与引力质量成反比

史瓦西椭圆方程

$$\frac{du^2}{d\varphi^2}+u=(\frac{GM}{hc})^2+3(\frac{GM}{hc})^4+6(\frac{GM}{hc})^4\varepsilon\cos\theta,$$ 无端舍去了中间的红项

$$\frac{du^2}{d\varphi^2}+u=(\frac{GM}{hc})^2\{1+3(\frac{GM}{hc})^2\}+6(\frac{GM}{hc})^4\varepsilon\cos\theta,$$ 如不舍去，则

$$\frac{du^2}{d\varphi^2}+u=(\frac{GM}{hc})^2(1+3\frac{GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2})+6(\frac{GM}{hc})^4\varepsilon\cos\theta,$$

仅由于此项，$r'\approx(\frac{L^2}{GM})(1\text{-}3\frac{GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2})/[(1+\varepsilon\cos\theta)],\quad \omega'=\omega_K(1+6\frac{GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2})$

积分一周，多出来$\Delta\theta'=\frac{12GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2}$。 总进动变为$\Delta\theta=\frac{18GM}{a(1-\varepsilon^2)c^2}$！ 与观测不符！

结论是

- 用推迟引力求解水星进动，　与观测符合；
- 用Schwarzschild度规求解水星进动，与观测不符；

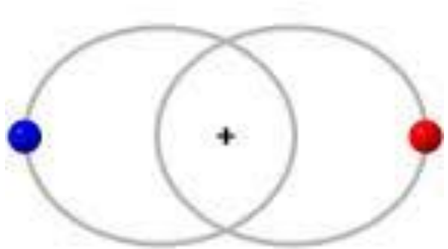
今日报告要点

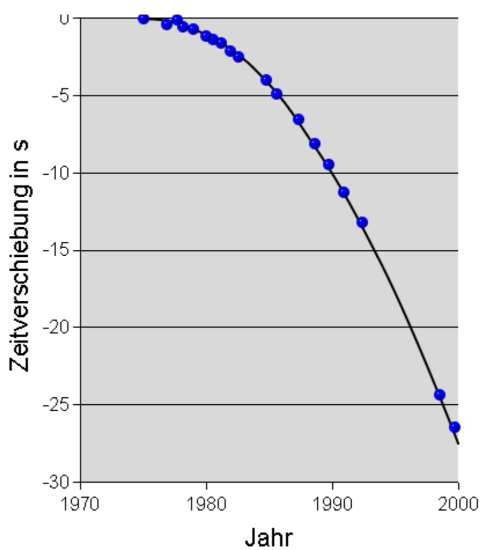
1. 两种方法之比较：用推迟引力和Schwarzschild度规求解水星进动；

2. 证明了水星进动才是存在引力波的第一个可信证据（Taylor--Weinberg 四极矩辐射理论不正确？不能证实PSR1913+16是引力波存在的证据）；

3. 平直时空与弯曲时空的比较（简介）！

Hulse-Taylor 因发现脉冲双星（第一个引力波存在的间接证据），而获1993年诺贝尔物理学奖。





2003.12，访问路易斯安那引力波干涉仪
2004.1， 应美国Ligo实验室邀请访问Caltech

Barry C. Barish(主任)， Sanders, Reccardo, 朱人元，王运永，汤克云

Taylor-Weinberg Formula of Gravitational Radiation

每周期进动角（Robertson，1938）

由$$\frac{\Delta\theta}{T}=\omega'=\frac{3G^{2/3}(M_1+M_2)^{2/3}}{(1-\varepsilon^2)c^2}\left(\frac{2\pi}{T}\right)^{5/3},\Rightarrow(M_1+M_2)$$

又根据(M_1+M_2)计算出每周期缩短的时间， 再比较

$$\frac{T-T'}{T}\approx\frac{dT}{dt}=\frac{-192\pi}{5}\frac{G^{5/3}M_1M_2f(\varepsilon)}{c^5(M_1+M_2)^{1/3}}\left(\frac{2\pi}{T}\right)^{5/3},$$

存在逻辑循环

Taylor-Weinberg Formula

- 将Hulse-Taylor关于脉冲双星PSR1913+16的观测数据（m-kg-s单位制）：
- 代入(13)， 得
- 与1989年公布的观测值
- 的确符合得极好.

$$G = 6.672\times 10^{-11},$$
$$C = 2.998\times 10^{8},$$
$$m_1 = 1.442\times 1.989\times 10^{30},$$
$$m_2 = 1.386\times 1.989\times 10^{30},$$
$$T = 2.7906\times 10^{4},$$
$$a = 1.95\times 10^{9},$$
$$\varepsilon = 0.6171.$$

$$f(\varepsilon) = (1+\frac{73}{24}\varepsilon^2+\frac{37}{96}\varepsilon^4)/(1-\varepsilon^2)^{7/2}$$

$$\frac{dT}{dt} = -2.395\times 10^{-12}(s/s)(\text{理论值})$$

$$\frac{dT}{dt} = -(2.40\pm 0.09)\times 10^{-12}(s/s)$$

（观测值， 1989公布）

推迟引力的角向分量是非保守力，是辐射引力项，损耗能量，使水星进动；

又由于径向推迟引力的作用，使轨道半径变小， 又辐射一部分能量。

鉴于水星的观测可靠，水星进动应是存在引力辐射（引力波）的第一个可信证据，也是检验所有引力辐射理论的试金石！

Taylor-Weinberg Formula

用Hulse-Taylor四极矩引力辐射公式求水星周期变化:
与由水星进动值推算出的水星周期变化值差十几个量级

$$f(\varepsilon)=(1+\frac{73}{24}\varepsilon^2+\frac{37}{96}\varepsilon^4)/(1-\varepsilon^2)^{7/2},$$

$$\frac{dT}{dt}=-2.726\times10^{-24}(s/s)$$

（Taylor-Weinberg辐射理论值）

$$\frac{dT}{dt}=-7.99\times10^{-8}s/s$$

（由水星进动值推算出）

$$G=6.672\times10^{-11},$$
$$C=2.998\times10^{8},$$
$$m_1=1.989\times10^{30},$$
$$m_2=0.330\times10^{24},$$
$$T=7.60\times10^{6},$$
$$a=5.791\times10^{10},$$
$$\varepsilon=0.2056.$$

Hans C. Ohanian
RENSSELAER POLYTECHNIC INSTITUTE

GRAVITATION AND SPACETIME

W·W·NORTON & COMPANY·INC·
New York

原书第2版

引力与时空

〔美〕H.C.瓦尼安　〔意〕R.鲁菲尼◎著
向守平　冯珑珑◎译

科学出版社
www.sciencep.com

Ohanian-Ruffini关于脉冲双星引力辐射的质疑

虽然相对论性近日点进动在太阳系中非常小，但在密近双星的情况下进动可能相当大。对于一个由两颗白矮星或两颗中子星组成的系统，其成员质量为 $1M_{\odot}$，分开距离为 10^{11} cm，式(7.128)给出的近星点进动值为每转一圈 3×10^{-5} 弧度*。在一年内，这样一个系统转 10^{3} 圈，因此近星点进动可累计到每年几度。5.4 节讨论过的双脉冲星 PSR1913+16，是一个密近双星的例子，它的近星点进动值很大，达每年 4.2°。因为这些星的质量是未知的，故测量到的近星点进动不能用来作为进动理论公式的直接验证。如 5.4 节提到过的，测量到的进动被用来确定星的质量，并且，从这些质量和轨道参数就可以计算出引力辐射造成的能量损失率。但是要注意，如果近星点进动的理论公式是错的，则质量也是错的，PSR1913+16 轨道周期变化率的观测值和预期值之间极好的一致，就将会是一个偶然的、不可相信的巧合。

* 虽然式(7.128)是针对一个小质量在另一个大得多的质量的场中运动而推出的，但即使这两个质量相近，它也将给出一个数量级的估计。

结 论

1. 水星观测充分，准确， 可靠；

2. 证明了水星进动才是存在引力波的第一个可信证据

3. Taylor—Weinberg关于脉冲双星是引力波存在证据不可信；

今日报告要点

1. 两种方法之比较：用推迟引力和Schwarzschild度规求解水星进动；

2. 证明了水星进动才是存在引力波的第一个可信证据（Taylor--Weinberg 四极矩辐射理论不正确？不能证实PSR1913+16是引力波存在证据）；

3. 平直时空与弯曲时空的比较（简介）！

弯曲时空与平直时空的比较与选择

Einstein的考虑：

经万般努力，万有引力都不能写成狭义相对论的形式；

但他深刻注意到，引力质量=惯性质量（弱等效原理）；

干脆进一步设想：引力=惯性力；引力加速度=惯性力；

在有引力加速度的非惯性系中与惯性系中，物理规律应当相同——这就是广义相对性原理！

这当然是一个伟大的创新思想！

（但引入弯曲时空后， 几何变得十分复杂，且某些坐标和坐标系不再有物理意义！）

弯曲时空与平直时空的比较

Tang的考虑：

引力场的势只与速度有关，

而与加速度无关！

$$\text{标势}\,\varphi(\vec{r},t)\ \square\ -G\int\frac{\rho(\vec{r}_*)}{R}dV,$$

$$\text{矢势}\,A(\vec{r},t)\ \square\ -G\int\frac{\rho\vec{v}(\vec{r}_*)}{R}dV。$$

弯曲时空与平直时空的比较与选择

Tang的考虑：

考虑一个观测星体在引力场中作变速曲线运动时，其引力势只与推迟时刻的相对速度有关， 而与加速度无关； Σ_0

先选定两个惯性参考系：依托引力源质心的全局惯性系和与推迟时刻的观测星体相连的随动瞬间惯性系；

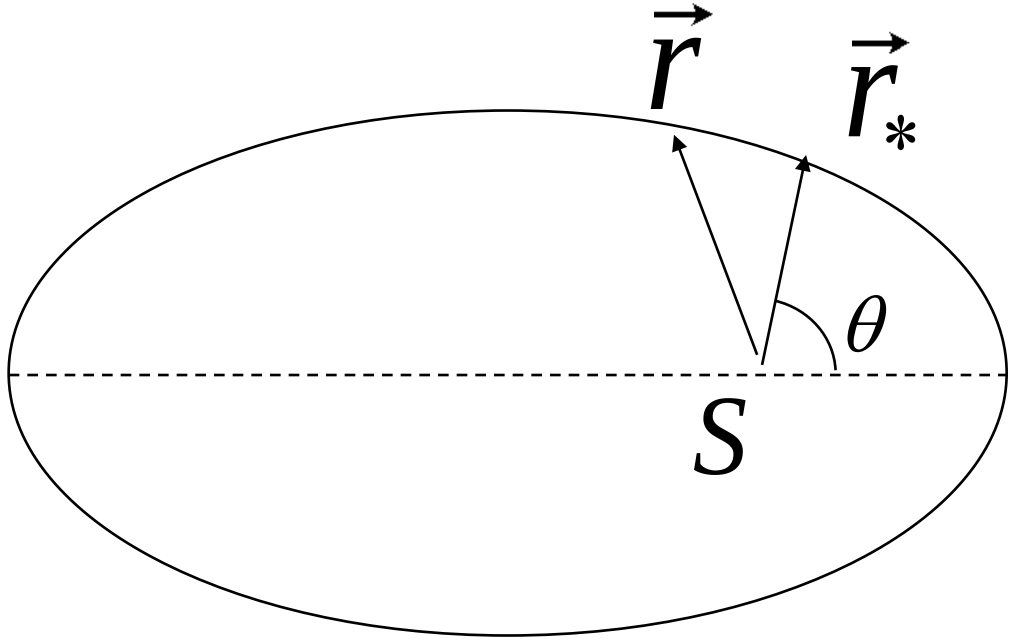
一个观测星体在引力场中作变速曲线运动时，引力势函数由两个惯性系之间的相对运动完全确定； 在选定规范条件后，再根据势-场关系式可完全确定引力场。

总之， 任意运动引力源的引力场可通过两个惯性系完全确定，

平直时空的Lorentz变换当然成立！ 这是又一个重要的创新思想！

（无需复杂的弯曲时空，只需平直时空中的欧几里得几何，所有坐标和坐标系都有明确的物理意义！）

Retarded relation for ellipse



引力波：

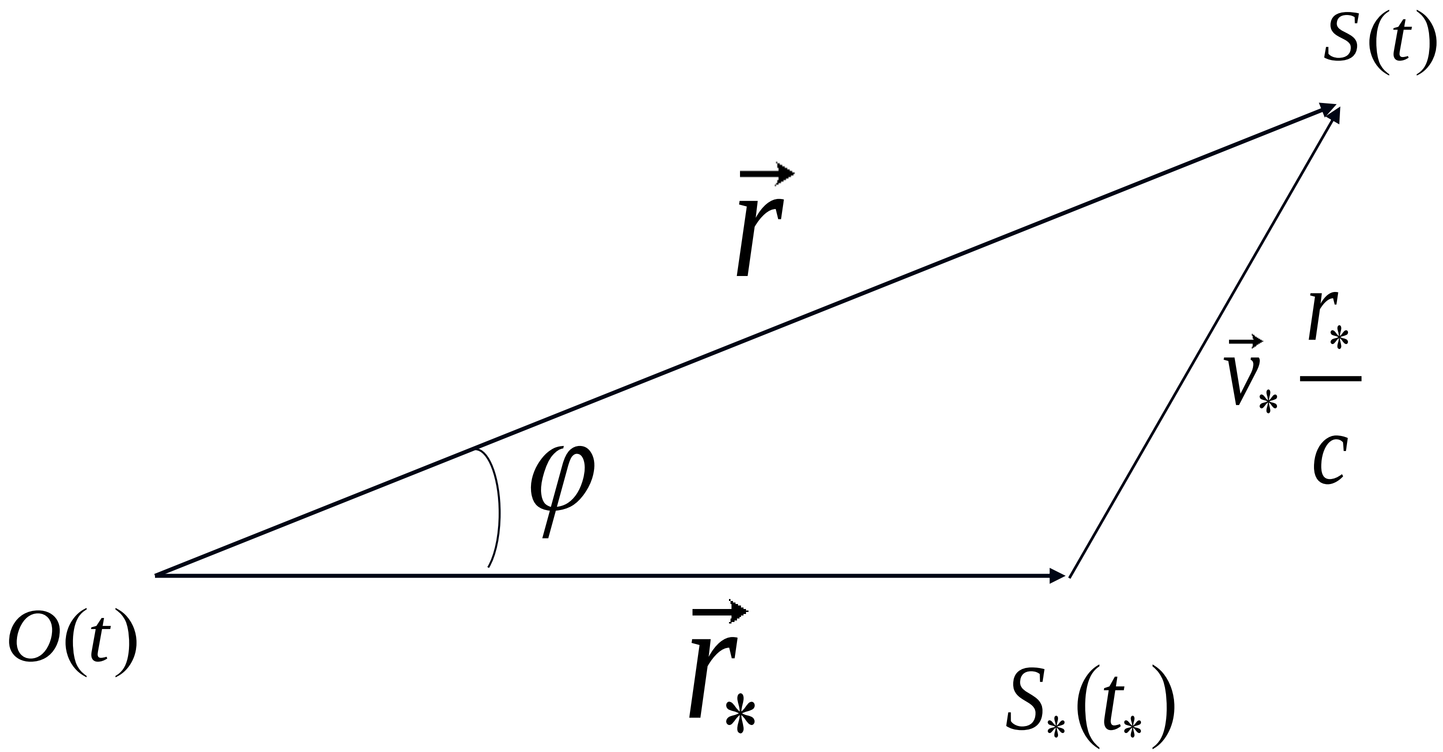
由Einstein广义相对论第一次预言其存在，认为是弯曲时空传播的结果。

认为只存在四极矩引力辐射。脉冲双星PSR1913+16是引力波存在的第一个间接证据？

根据Tang的推迟引力理论，引力波应普遍存在，只要引力源相对于观察者作加速运动。水星进动才是引力波存在的第一个间接可靠证据！

直接探测证据难以获得，是因为常规引力波的强度太弱，对于超级质量体的高加速运动，应可产生可探测到的引力波信号。

直线运动推迟三角形
Retarded triangle



初步结论

引力可以用狭义相对论来处理；

狭义相对论的物理内涵比原先认为的深刻；

广义相对论的物理缺陷比原先认为的深刻。

（引力场中光速继续不变原理， 广义相对性原理，

径向坐标及其函数无意义， 时间膨胀？）

法拉第：

- “自然哲学家应当是这样一些人：他愿意倾听每一种意见，却下定决心要自己作判断；他应当不被表面现象所迷惑，不对某一种假设有偏爱，不属于任何学派，在学术上不盲从大师；他应当重事不重人，真理应当是他的首要目标。”

谢　　谢！

引力场的发射、传播和更新

1. 引力源不断发射引力场（引力矢线）；
2. 引力场不断以光速沿矢径方向向周围全空间传播，引力线的总条数与引力源的质量成正比，是一常数;
3. 到达空间任一点P的引力线密度即引力场强度与以引力源为球心并经过该点的球面积成反比，即与该点至引力源的距离平方成反比;
4. 这就是牛顿引力定律;

推迟引力如何取代牛顿引力

$$\mathbf{g}(\mathbf{r},t) = g_{NT}\delta_\gamma \hat{r} + \mathrm{g}_\theta \hat{\theta},$$

其中

$$g_{NT} = \frac{-GM}{r^2},$$

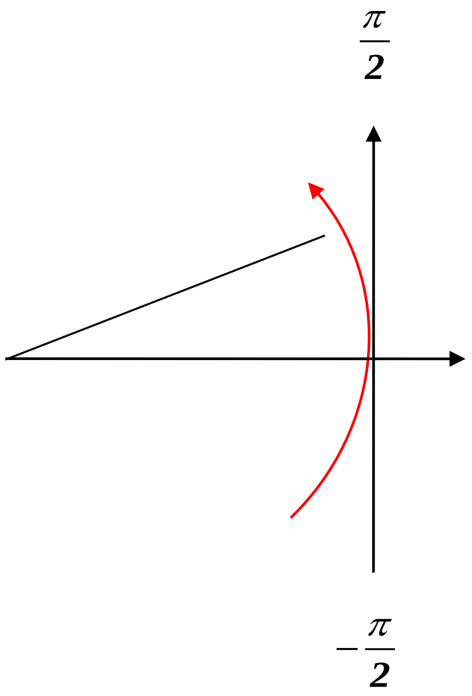
$$\mathrm{g}_\theta = \frac{GM}{r^2}\frac{(a_r^* \sin\varphi\cos\varphi - a_\theta^* \cos^2\varphi) r_*}{\cos^3\varphi c^2},$$

$$\delta_\gamma = \begin{cases} \gamma, & if \ |\gamma| \ge 1 \\ 1, & if \ |\gamma| \le 1 \end{cases},$$

$$\gamma \equiv \frac{1-\beta^2}{\cos^3\varphi} - \frac{(a_r^* \sin^2\varphi - a_\theta^* \sin\varphi\cos\varphi) r_*}{\cos^3\varphi c^2}.$$

by Einstein's GR (弯曲时空)

太阳附近的
光子偏折



$$\alpha = \frac{4GM}{R_0 c^2} \quad (1.75'')$$

用虚实双太阳方法求解光线偏折

$$\alpha=\underset{\substack{\Uparrow\\ NT}}{\frac{2GM}{R_0c^2}}+2.186\underset{\substack{\Uparrow\\ g_\theta}}{\frac{GM}{R_0c^2}}=4.186\frac{GM}{R_0c^2},\quad (1.83'')$$

用虚实双太阳方法求解光线偏折

$1.75''$	$1.83''$	$1.89''$
$\Uparrow$	$\Uparrow$	$\Uparrow$
Einstein	*Tang*	*Obs.*

水星的平均速度

活力公式

$$v_-^2 = G(M+m)(\frac{2}{r_-} - \frac{1}{a}) = G(M+m)(\frac{2}{r_-} - \frac{1-\varepsilon}{r_-})$$

$$= G(M+m)(\frac{1+\varepsilon}{r_-}) = G(M+m)\frac{(1+\varepsilon)^2}{P},$$

$$v_- = \sqrt{\frac{G(M+m)}{P}}(1+\varepsilon), \qquad v_+ = \sqrt{\frac{G(M+m)}{P}}(1-\varepsilon),$$

$$\overline{v}^2 \approx \{\frac{(v_- + v_+)}{2}\}^2 = \frac{G(M+m)}{P} = \frac{GM}{a(1-\varepsilon^2)}(1+\frac{m}{M}),$$

$$\beta^2 = \frac{\overline{v}^2}{\mathrm{c}^2} = \frac{GM}{a(1-\varepsilon^2)\mathrm{c}^2}(1+\frac{m}{M}) \approx \frac{GM}{a(1-\varepsilon^2)\mathrm{c}^2}$$

对于牛顿-开普勒椭圆， 无角向引力，角向加速度为零：

$$a_\theta^{*N-K}=2\dot{r}_*\dot{\theta}+r_*\ddot{\theta}=0------------------------------(NK),$$

对于真实的水星，角向加速度不应为零。

设水星在左侧一个真实的太阳L的推迟作用下， 其角向加速度为a_θ^{*T}，

又假想在水星的右侧与太阳L对称点存在一个太阳R,

其角向加速度为$-a_\theta^{*T}$，显然，

$$a_\theta^{*T}+(-a_\theta^{*T})=0------------------------------(TC),$$

比较（TC）与（NK）， 可知

$$a_\theta^{*T}=\pm(2k\dot{r}_*\dot{\theta})------------------------------(TC\text{-}2),$$

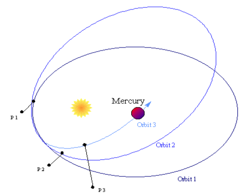
其中的正副号及系数k由观测值确定。

（下面会看到，a_θ^{*T}的右侧取正号，$k=1$, 与观测相符）

略去上标T，得$a_\theta^{*}=2\dot{r}_*\dot{\theta}$

攀上牛顿—麦克斯韦—爱因斯坦肩头的尝试

——中国地球科学家对发展引力物理的重要贡献



水星进动

主持人： **滕吉文 刘建明**

报告人： **汤克云**

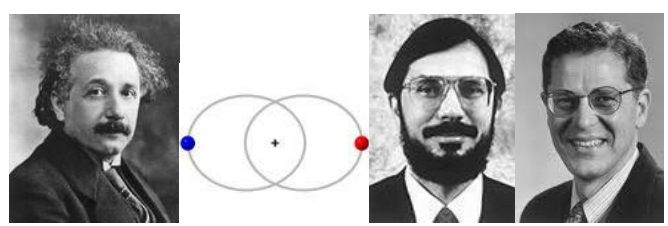
时间：2012.4.19（周四）10:00

地点：新办公楼 518 会议室

我们将牛顿万有引力定律——麦克斯韦电磁理论——爱因斯坦相对论的精髓结合起来， 导出了一种新的引力理论—平直时空推迟引力论，圆满通过了爱因斯坦广义相对论能够通过的所有检验，取得了一系列科学成果，逐渐得到了国内引力物理学主流社会的认可，几位权威人士给予高度评价。报告主要内容：

1. 从日全食期间的重力观测中发现了引力场以光速传播的第一个观测证据；
2. 我们的推迟引力理论满足洛伦兹协变，消除了超距作用和 Zeeliger 佯谬；
3. 我们用推迟引力圆满解释了水星进动，发现了水星进动才是证明引力波存在的第一个可靠证据；
4. 我们用平直时空中的推迟引力辐射诠释水星进动，其物理图像比用广义相对论弯曲时空的解释清晰、合理，证明平直时空比弯曲时空更有物理意义，更接近真实时空。

欢迎质疑　诚求批评！


(美国科学家 Hulse 和 Taylor 发现了脉冲双星，被认为是证明爱因斯坦引力波存在的第一个间接证据， 获 1993 年诺贝尔物理学奖)

Hulse-Taylor 因发现脉冲双星（第一个引力波存在的间接证据），而获1993年诺贝尔物理学奖。