

牛顿万有引力是以光速传播的引力

汤克云^{1,2}

1 中国科学院地质与地球物理研究所

2 清华大学天体物理中心

摘要

由于在牛顿万有引力公式中不含时间，人们便理所当然地认为引力从引力源发出的时间与到达被作用物体的时间是相同的，即引力是以无穷大速度传播的。实际上，开普勒行星三定律是从长期、大量的光学观测中归纳出来的客观规律，很好地反映了行星在太阳引力作用下作**视运动**的实际状况，这是检验引力理论的极好依据。本文以地球在太阳引力作用下围绕太阳转动为例，检验牛顿万有引力的传播特性。牛顿万有引力定律与开普勒观测的高度一致性，证明了在开普勒行星定律中和在牛顿万有引力定律中的太阳（引力源）位置都只能是视位置；牛顿引力是从太阳的视位置发出，以光速传播至地球（被作用物体）的，而不是从太阳的真位置发出，瞬间到达地球的。自牛顿万有引力定律发表以来，牛顿引力定律一直被认为是一个超距作用的理论，尽管牛顿本人认为‘超距作用是莫大的荒唐’。这是一个具有广泛而深远负面影响的历史性误会，现在可以彻底消除。

关键词 牛顿万有引力 开普勒行星定律 视位置 超距作用 以光速传播

Newton's universal gravity is a gravity traveling at the speed of light

Keyun Tang^{1,2}

1 Institute of Geology and Geophysics, CAS

2 Center for Astrophysics, Tsinghua University

Abstract

Due to that Newton's universal gravitation formula does not contain time; people believe that the time at which the gravity emitted from the gravitational source and the time at which gravity arrives in and acts on the object are the same, namely the gravity travels at an infinite speed. In fact, Kepler's laws of planetary motion were summarized up from the long term and a large number of optical observations, they well reflect apparent motion of planets under the action of solar gravity, and they are very good grounds for testing the theory of gravity. The earth turns around the sun under the action of solar gravity, for example, can be used to test the traveling characteristics of Newton's universal gravity. The high consistency between Newton's law of gravity and Kepler's observations has proved that the positions of the Sun both in Kepler's law and in Newton's law are must all be apparent positions instead of true positions. So, Newton's gravity must be emitted from the apparent

position of the Sun, and travels to the earth at the speed of light, rather than from the true position of the Sun and reaches the earth instantly. Newton's law of gravitation had been published more than three hundred years; it has long been regarded as a theory of acting at a distance, although Newton himself thought that action at a distance is ridiculous. This is a historical misunderstanding; it has produced an extensive and profound influence but negative, now we can eliminate it completely.

Keywords: Newton's laws of gravity, Kepler's laws of planetary motion, apparent position, action at a distance, travel at the speed of light

导言

由于在牛顿万有引力公式中不含时间，人们便理所当然地认为引力从引力源发出的时间与到达被作用物体的时间是相同的，即引力是以无穷大速度传播的。在欢呼牛顿引力定律的伟大成就的同时，狭义和广义相对论学家们也指出牛顿引力定律存在三大缺陷或困难：引力无穷与超距作用佯谬，与狭义相对论不兼容，及无法解释水星进动。我们以往的研究表明，这三大缺陷或困难是相关的，都同引力的超距作用有关。一旦消除了引力的超距作用，引力无穷佯谬将不复存在；一旦明确了引力是以光速传播的推迟引力，则存在适用于所有观测者（参考系）的引力表达式；一旦考虑了引力源与观测者之间的相对和运动对引力的贡献，有可能解释水星轨道进动。

开普勒行星定律与万有引力定律的一致性

下面，为论证之明确，我们以太阳与地球之间的引力作用为例，讨论引力的传播问题。

太阳作用于地球的牛顿引力为

$$\vec{F} = -\frac{GMm}{r^3} \vec{r} \quad (1)$$

其中， G 为引力常数， M, m 依次为太阳和地球的质量， r 为太阳中心到地球中心的距离，矢量 \vec{r} 的方向为由太阳中心指向地球中心。

在牛顿引力公式（1）的两侧，皆未标明相关的时间，似乎两侧的时间是相同的，即太阳引力从位置 $\vec{r}(t)$ 发出的时间与作用于地球的时间是相同的。根据这一认识，（1）式可进一步明确写为：

$$\vec{F}(t) = -\frac{GMm}{[r(t)]^3} \vec{r}(t) \quad (2)$$

其中的时间 (t) 既是引力从太阳发出的时间，又是引力到达地球的时间。根据这一认识，整个科学界得出了牛顿引力是超距作用的悖论。牛顿本人十分不同意引力超距作用的观念，但不知问题出在哪里。

问题出在哪里？本文认为：人们之所以相信牛顿引力定律是正确的，首先是因为它圆满地解释了开普勒行星轨道定律。开普勒行星定律不仅适用于太阳系，对遥远（例如距地球 10 光年）的星系，仍然正确。一方面，开普勒行星定律直接隐含着引力反平方定律，另一方面，开普勒第三定律成为测量星体质量的主要手段，意义重大；

根据牛顿引力定律，可以精确证明：行星之所以沿开普勒轨道运动，是在万有引力作用下的必然结果。下面给出证明的要点。一个受

力质点的一般极坐标运动方程应是

$$\begin{cases} \ddot{r} - r\dot{\theta}^2 = f_r, \\ 2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta} = f_\theta \end{cases} \quad (3)$$

其中，第一个方程为径向运动方程， f_r 为径向作用力；第二个方程为角向运动方程， f_θ 为角向作用力。对于地球，仅受到太阳的引力，则

$$\begin{cases} f_r = -\frac{GM}{r^2}, \\ f_\theta = 0 \end{cases}$$

于是，(3) 成为

$$\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 = -\frac{GM}{r^2} \quad (3A)$$

和

$$2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta} = 0 \quad (3B)$$

(3B) 的解为

$$l = \text{const}$$

此即角动量守恒，即开普勒第二定律，本文不予详述。

(3A) 的解为

$$r = \frac{P}{1 + e \cos \theta} \quad (4)$$

这是一个以太阳为一个焦点的椭圆，其中， $P = \frac{l^2}{GM}$ ， l 为地球单位质量绕太阳转动的角动量， e 为地球轨道的偏心率， r, θ 依次为地球绕太阳转动的极半径和极角。这表明，运用牛顿反平方引力圆满证明了开普勒第一定律。

当人们欢呼牛顿引力理论的伟大成功，进而坚信牛顿万有引力是超距作用时，似乎忘记了：开普勒行星轨道定律是开普勒根据伽利略、第谷及开普勒本人的[光学观测](#)归纳出来的；无论是凭肉眼还是望远镜，

他们获得的星体位置，包括太阳的位置都是**视位置**，而不是真位置！因此，开普勒行星轨道中的星体位置应是视位置，(4)式应完整准确地写作

$$r_*(t_*) = \frac{P}{1 + e \cos[\theta(t_*)]} \quad (4A)$$

这里，我们想指出一点，轨道运动是相对的：从太阳看地球，地球绕太阳沿椭圆轨道转动；从地球看太阳，太阳绕地球沿椭圆轨道转动。(4A)式也可用以表述太阳相对于地球的轨道运动。这就是说，开普勒定律中的太阳位置是在视时刻($t_* = t - \Delta t$)的位置，即视位置。

既然牛顿万有引力定律与开普勒等的光学观测符合得极好，则牛顿万有引力定律中的太阳位置也只能是视位置！将牛顿万有引力定律与开普勒行星轨道定律写到一起，应为

$$\begin{cases} \vec{F}(t) = -\frac{GMm}{[r_*(t_*)]^3} \vec{r}_*(t_*), \\ r_*(t_*) = \frac{P}{1 + e \cos[\theta(t_*)]} \end{cases} \quad (5)$$

(5)式明确告诉我们：作用于地球的太阳引力是在视时刻($t_* = t - \frac{r_*}{c}$)、从视位置 r_* 发出，并以光速 c 传播，在现时刻(t)到达地球并作用于地球的！而绝不可能是 在现时刻(t)、从真位置 r 发出，以无穷大速度传播至地球的！

结论

开普勒行星定律是从大量的光学观测中归纳出来的，很好地反映

了行星视运动的规律；牛顿万有引力定律与开普勒观测的一致性，证明了牛顿引力是从引力源的视位置发出，以光速传播的。认为牛顿引力是超距作用理论是一个历史误会。

当然，由于牛顿未考虑引力源与观测者之间的相对运动对引力的贡献，牛顿万有引力定律仍是一个近似引力理论。完整的引力理论应包括引力源与观测者之间的相对运动的贡献，这就是推迟引力理论。在以前的工作中，我们已给出和讨论了推迟引力的公式。