

暗能量问题解析：引力场中的惯性红移导致的宇宙加速膨胀现象

李志平¹，李然²

¹ 独立研究员

² 多伦多大学科学与艺术学院，加拿大

摘要：本文证明了宇宙中存在一种与多普勒红移不同的红移机制。研究表明，在星系间的大尺度宇宙背景下，与星系引力势相关的粒子惯性变化所导致的稳恒态红移，与相互远离运动所产生的多普勒红移等同。根据这一原理，哈勃定律可以得到新的非多普勒解释。与观测数据的对比验证证明，理论给出的红移方程在大尺度稳恒态空间呈现的非线性，完全可以解释宇宙膨胀及加速膨胀的表观现象。

关键词：暗能量，宇宙学红移，局部等效原理，多普勒红移，哈勃定律，跑动的惯性。

中图分类号： P159

The solution to dark energy problems: an illusion of observed acceleration of cosmic inflation caused by inertial redshift in gravitational field

Zhiping Li¹, Ran Li²

¹ Independent Researcher

² Faculty of Arts and Science, University of Toronto, Ontario, Canada M5S 1A1

Abstract: This paper proves a mechanism of cosmological redshift, in which the amount of redshift is proportional to distances between the galaxies instead of the effects of Doppler redshift. This principle of redshift arises from the running inertia matched with the galactic gravitational potential field at cosmological distances. According to this principle, the Hubble's law could be explained without Doppler redshift. The observed datasets are significant in validating the results: this is a kind of steady state redshift and performs a large-scale nonlinear redshift equation, which has nothing to do with the hypotheses of cosmic expansion and accelerated expansion.

Key words: Dark energy, Cosmological redshift, Doppler redshift, Hubble's law, Running inertia, Local equivalence principle

基金项目：

作者简介： 李志平，男，电子邮箱: zhiping_lee@hotmail.com. 李然，女，电子邮箱: rr.li@mail.utoronto.ca

0 引言

在地球上的观察者看来，远距离星系的光谱线几乎都有着红移现象^[1]，而且，红移增加的比例与距离成正比。习惯上，用红移参数 z 来表示相对红移量值，定义为

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda_D - \lambda_0}{\lambda_0}, \quad (1)$$

式中， λ_0 为远方星系中原子辐射的原始波长，该波长应与地球上观察者的实验室波长一致； λ_D 为地球上观察者观测到的远距离星系光谱线的波长。

如果观察到的红移是由于径向多普勒效应所导致，则可以推断出远方星系都在退行，而且在大尺度上，退行速度与它们离开我们的距离成正比，即

$$z = \frac{v}{c}, \quad (2)$$

其中， v 是远方星系相对于地球上观察者的退行速度； c 为光速。由此得到著名的哈伯定律^[2, 3, 4, 5]

$$v = H_0 D, \quad (3)$$

上式中的 D 定义为远方星系相对于地面观察者的距离； H_0 为哈勃常数。于是，红移和距离之间呈线性关系，如图1所示。

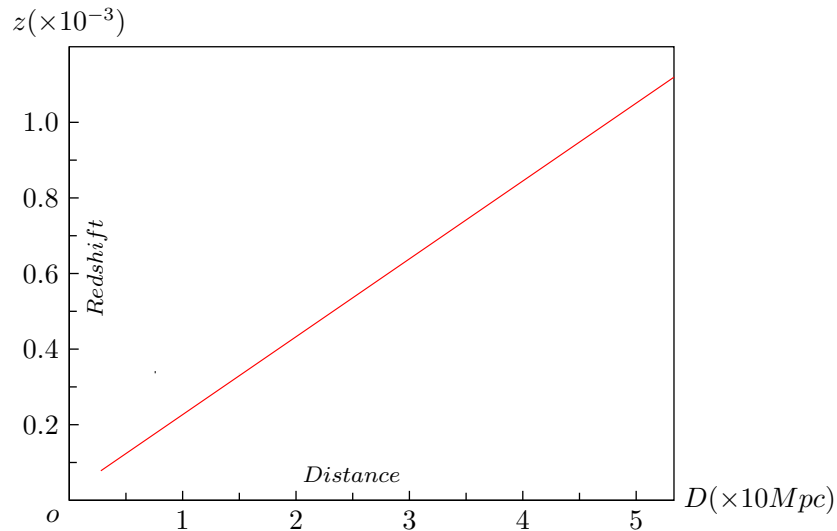


图 1: 红移与距离关系的哈勃图。依照哈勃的观点，由于等式 (2) 的存在，此图等同于退行速度与距离关系的哈勃图。

按照宇宙学原理，如果哈勃对观测事实的退行解释是正确的，则可推断出如下结果：从任何一个星系看上去，其他星系都在退行，这意味着宇宙在膨胀，或者说宇宙空间在膨胀。更进一步地，近年来的观测结果显示，宇宙不仅在不停地膨胀，而且还在加速膨胀。这样一来，必然会导致一个匪夷所思的图景：宇宙起始于一个无限高温、无限大密度的奇点。这不仅是目前已知的任何物理学理论都不能解释的，甚至在哲学上也没有合理的理由。因而，问题的核心是要解释到底是一种什么样的机制在推动宇宙膨胀，但是，迄今为止，似乎围绕这一问题的所有主流讨论都在形而上学框架内进行。由于宇宙中的物质只能互相吸引，仅仅根据万有引力和引力能并不能奏效，一时又找不到合理的解释，于是便有了基于热“大爆炸 (Big Bang)”以及“暴涨 (Inflation)”模型的“暗能量”假说以试图解释宇宙为什么会膨胀和加速膨胀。理论天文学家们认为这种推动整个宇宙加速膨胀的神秘力量只可能是一种未知的“暗能量”。由于这些建立在科学基础之外的假设理论永远不可能被观察和实验所验证，迫使人们不得不寻求其他可能的替代理论，另辟新径来探索这一当代物理学最大谜题的答案。

当然，上述红移现象已经被大量的天文观测所证实，不容被怀疑，问题的实质在于，径向退行的多普勒效应是否能够正确解释这种红移^[6, 7, 8]。历史上，爱因斯坦在引入其“宇宙学项”之际，也曾对不用多普勒效应来解释哈勃红移的企图持否定态度。显然，爱因斯坦认为这样的非多普勒红移并非静态属性的，依然是时间相关的运动效应，因而不支持这种想法。但是，按照爱因斯坦等效原理，静态的引力场可以与运动性质的加速度等效，由此导致的引力红移纯粹就是一种静态效应，尽管这种爱因斯坦引力红移并不能解释哈勃的发现。

F·霍伊尔（大爆炸名词的发明者）反对大爆炸假说，在马赫原理的启发下，意识到可以利用宇宙中粒子的可变惯性质量来引出简化的几何学关系，从而解释星系的红移现象^[9]。但这种解释原则上并不彻底，只不过是使用一种温和的宇宙膨胀含义代替了起始于奇点的剧烈创生。

通过对宇宙暗物质问题研究结果^[10]的进一步考察，我们发现，暗物质现象并非孤立的问题，观测到的远方星系红移现象与其有着密切的联系，甚至可以说这两种表面上看来完全相反性质的现象有着共同的物理学原因。本文将根据这些现象背后的基本物理学原理，证明一种完全不同于退行多普勒效应的宇宙学红移机制，以此来解释宇宙膨胀以及加速膨胀的表象问题，并不需要暗能量存在的假定。

1 局部性等效原理与引力场中惯性的“跑动”

本章将推导一个与远方星系的红移现象密切相关的重要引理。通过这样的一条引理，暗能量问题与暗物质问题相关。

1.1 星系外侧天体的对数螺线轨道

前文的研究结果表明^[10]，相对论天体动力学原因产生了附加“加速”效应，使得牛顿运动微分方程的解有了本质上的改变：如图2所示，星系外缘天体的对数螺线轨道替代了局部范围内的椭圆轨道，因此导致了平坦的星系旋转曲线。

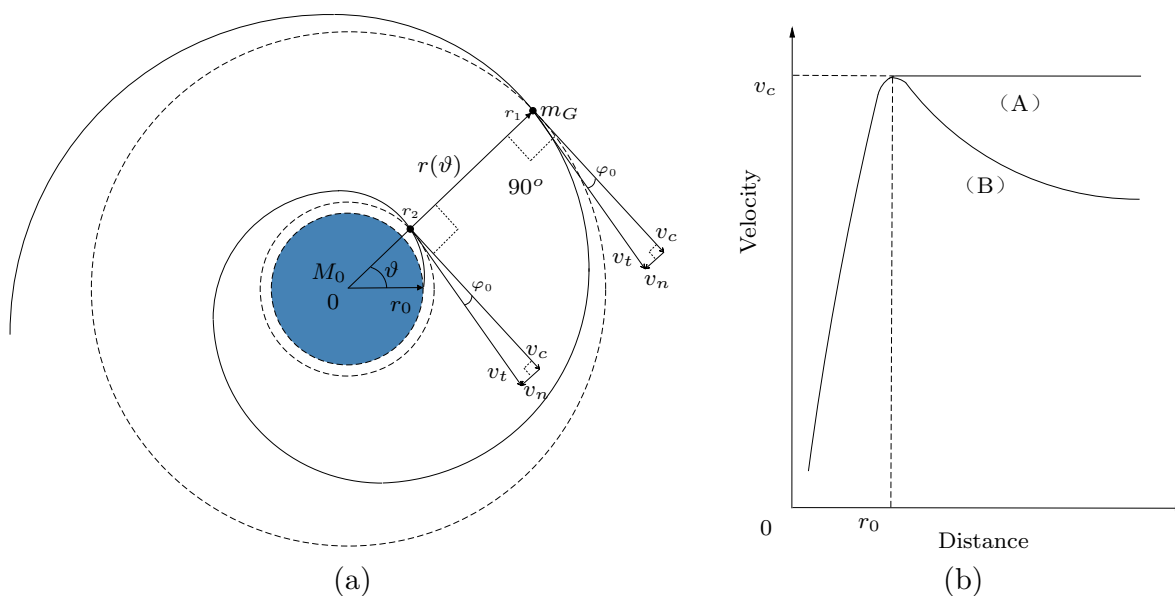


图 2: 星系外缘天体绕星系中心的运行轨道为对数螺线而非椭圆或正圆, 这就使得星系外侧天体沿对数螺线轨道由外向内运动。(a): 曲线上测试质点 m_G 的切向速度 v_t 、圆周速度 v_c 以及向心速度 v_n 均为常数, 与轨道的矢径位置无关。(b): 星系自转曲线, (A) 为经相对论修正后的牛顿值; (B) 为牛顿经典理论在局域范围内预期的值。

在图2(a)中, r_0 为临界半径, 星系的质量 M_0 主要集中于 $r \leq r_0$ 的星系内部区域, 随着径向距离 r 的增加, M_0 已经是一个常量。首先, 在不考虑相对论效应的情形下, 星系外缘引力质量为 m_G 的测试质点将绕 M_0 沿圆周轨迹运动, 也即牛顿的等式成立

$$G \frac{M_0 m_G}{r^2} = m_I \frac{v_c^2}{r}. \quad (4)$$

其中, m_I 为运动质点的惯性质量; v_c 为运动质点的圆周速度; G 是万有引力常数。

由于星系外缘以外的宇宙具有大尺度的均匀性, 对于这样的自引力两体系统, 运动质点对于质心的动量矩 \vec{L} 的量值

$$L = v_c r m_I \quad (5)$$

便是一个真正的守恒量。此时, 我们不按通常的习惯, 利用伽利略等效原理 $m_G = m_I$ 删去(4)两端的质量, 而是通过重新安排方程式(4), 使得

$$v_c = G \frac{M_0 m_G}{v_c r m_I} = G \frac{M_0 m_G}{L} = constant, \quad (r > r_0), \quad (6)$$

即圆周速度 v_c 是一个常量。在动量矩 L 为真正常量的情形下, 公式(6)表明, 圆周速度与半径无关, 也与质点质量的具体量值无关, 因其在(6)中已经被单位化了。因此, 在 $r > r_0$ 的星系外缘区域, v_c 始终是一个常量, 与测试质点的远近无关。

在考虑了相对论修正的情形下，附加的引力“加速”效应，使得测试质点沿对数螺线轨迹运动^[10]，轨道方程为

$$r = r_0 e^{\sqrt{2\xi_0} \theta}, \quad (r > r_0), \quad (7)$$

式中， $\xi_0 = v_c/c$ 为常量，且有

$$\varphi_0 = \tan^{-1} \sqrt{2\xi_0}, \quad (r > r_0), \quad (8)$$

为对数螺线的倾角，如图2(a)所示，倾角 φ_0 也是常量。

1.2 引力场中“跑动”的惯性

考察图2(a)中质点的轨道速度特性，因为向心速度是一个常量，数学上，似乎质点的运行轨迹应该是阿基米德螺线、或称等速螺线才正确。其实不然，在物理上，运动着的质点不仅仅是一个数学点，还必须遵守角动量守恒定律，这就使得运动轨迹不可能是阿基米德螺线而只能是对数螺线。

基于以上的结果，我们可以得出一个有趣的推论：由(5)可得

$$m_I r = \frac{L}{v_c} = constant, \quad (r \geq r_0), \quad (9)$$

这意味着以下的定律成立

$$m_I \propto \frac{1}{r}, \quad (r \geq r_0). \quad (10)$$

此外，还可以由对数螺线轨道的特征得到同样的结果：令 S 为曲线(7)上的弧长，我们有

$$\begin{aligned} ds^2 &= dr^2 + (rd\theta)^2; \\ dr &= \sqrt{2\xi_0} r d\theta; \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{L}{r^2 m_I}, \end{aligned}$$

于是，可以得到以下的方程

$$\begin{aligned} ds^2 &= dr^2 + (rd\theta)^2 = (2\xi_0 + 1)r^2 d\theta^2; \\ \frac{ds}{d\theta} &= \sqrt{(2\xi_0 + 1)} r, \end{aligned}$$

因为

$$v_t = \frac{ds}{dt} = \frac{L}{m_I r} \sqrt{2\xi_0 + 1} = constant, \quad (11)$$

故此

$$m_I = \frac{L}{v_t r} \sqrt{2\xi_0 + 1} \propto \frac{1}{r}, \quad (r \geq r_0), \quad (12)$$

看得出来，(12)与(10)结果相同，这也是质点必须走对数螺线轨道的物理原因。

1.3 局部惯性系中的测地偏离与等效原理的破坏

质点的对数螺线轨道以临界半径 r_0 为界，这就是星系平坦自转曲线的转折点，在此临界半径处有 $m_I = m_G$ ，于是，根据角动量守恒定律，应有

$$m_I v_c r = m_G v_c r_0, \quad (r \geq r_0), \quad (13)$$

这样，在星系的质心参考系中，我们得到星系引力场中运动质点的惯性随引力势（这里表示为距离）“跑动”的表达式

$$m_I = m_G \frac{r_0}{r}; \quad (14)$$

对我们银河系而言，巧合的是，太阳恰好处在这样的临界半径区域，也就是银河系自转曲线的转折点附近^[11]，即银河系的 $r_0 \cong 8.29 \pm 0.16 kpc \cong 2.6 \times 10^{17} km$; $v_c \cong 239 \pm 5 km s^{-1}$ 。方程式(14)展现的是在星系尺度上质点惯性的变化规律。

我们现在考察运动质点的惯性在太阳系这样的局部范围内如何变化。如果简单地将轨道方程(7)及方程式(14)用于太阳系，则会误认为行星的轨道也是对数螺线，这不仅违背观测事实，也意味着太阳系的不稳定。太阳系范围要远远小于星系尺度，因而， m_I/m_G 的跑动在太阳系这样的局部范围内将会很微弱。理论上，沿着银河系盘面的径向将出现最大的跑动量。令 r 做自变量取(14)的微分可得

$$\Delta m_I = -\frac{m_G r_0}{r^2} \cdot \Delta r, \quad (15)$$

惯性的相对变化率为

$$\frac{\Delta m_I}{m_G} = -\frac{r_0}{r^2} \cdot \Delta r, \quad (16)$$

在足够小的空间范围内， $\Delta r \cong 0$ ，因此必有 $\Delta m_I \cong 0$ 即 $m_I \cong m_G$ ，因此有所谓局部性等效原理。这结果意味着，类似于厄缶类型的等效原理检验方法几乎不能分辨 m_I 与 m_G 的背离，因而是徒劳的。在扩大实验范围的条件下，例如，考察地月范围的落体实验，取 $r = r_0 \cong 2.6 \times 10^{17} km$ 为太阳系至银心的距离，地月距离约为 $|\Delta r| \cong 4 \times 10^5 km$ ，代入方程(16)，这结果也微弱得很难察觉：惯性质量的相对变化率即背离等效原理的量值为 $|\Delta m_I/m_G| \cong 10^{-12}$ 。

实际上， m_I/m_G 的变动在太阳系这样的局部范围内将会更为复杂，图2所示的两体模型不再适用。一个典型的例子是先锋号飞船的引力异常现象。当先锋-10和先锋-11号飞离地球约 20 ~ 70 个天文单位时，发现异常的多普勒频移，这可以解释成一个牛顿引力之外的、数值为 $(8.74 \pm 1.33) \times 10^{-10} m \cdot s^{-2}$ 指向太阳的固定加速度，使得飞船因此而减慢^[12]，结果是偏离了设计的牛顿轨道。迄今为止，导致这现象的原因依然不明朗，以至于成为当今最吸引人的天文物理谜团之一。先锋号飞船的引力异常问题呈现了与暗物质现象相同的规律，我们根据惯性的相对性原理解释了这一怪异的问题^[13]，所得结果与美国宇航局（NASA）喷气推进实验室的数据相符合。这一结果从根本上排除了其他可能解释这一异常现象的假设，包括诸如推进剂泄漏、热反冲力效应以及暗物质作用等猜测。

以上的分析表明，对于太阳系这样的局部范围，有 $\Delta m_I \cong 0$ 及 $m_I \cong m_G$ ，故而有理由将 m_I 和 m_G 在等式(4)两边删掉，这便导致等式(6)不再成立，行星绕日的旋转曲线也将呈现图2(b)中牛顿经典理论在太阳系这样的局域范围内的预期值（B）。

虽然等效原理能否被违反，至今依然是一个有争议的问题，但在广义相对论中，这一原理仅在空间足够小的局部区域内才成立，如果所考察的空间大于这样的“伽利略区域”，将出现一种违背等效原理的“测地偏离”现象，这正是时空弯曲的结果。物理上，引力场的非均匀性是等效原理被破坏的根源，潮汐现象就是一种典型的表现。因此在星系尺度上，除非处于均匀引力场中，否则大尺度潮汐引力的作用结果，将使等效原理不再成立。关于等效原理能否被违背的讨论，请进一步参考前文^[10]。

本章我们推导出在星系的引力场中，质点的惯性与径向距离之间存在着反比例关系，公式(14)是一个重要的定理，并不是假设。

2 跑动惯性导致的宇宙学红移

本章将上一章的结果与量子领域的定律联系起来，以一种简单的方式——与惯性相关的辐射理论——来证明存在一种大尺度上的宇宙学红移机制，它可以用来解释观测到的宇宙膨胀和加速膨胀的现象，并不需要假设某种暗能量的存在。

2.1 惯性与原子辐射的波长—德布罗意关系

根据爱因斯坦的宇宙学原理，两个距离遥远的星系可以被认为是处于空间均匀和各向同性的宇宙之中，显然，这也可以构成一个孤立两体模型：两个星系互相处于对方的引力场中，因为无论多远的距离，引力总能达得到，这是引力的长程性质决定的。于是，在位于其中一个星系的观察者眼中，另一个星系惯性质量的相对性也将符合关系式(10)。这当然符合马赫关于惯性的原理：当有质量物体在其附近时，物体的惯性必然增大。

由于引力的长程作用，方程(14)的关系可达宇宙深处以至于可观测宇宙的极限。现在，我们选择氢原子作为测试粒子来导出红移定理，最后，论证的结果将与具体的粒子模型无关。

氢原子基态被自旋相互作用分裂成两个能级

$$h\nu_0 = E_H - E_L, \quad (17)$$

其中 E_H 和 E_L 分别代表高能级和低能级； ν_0 为辐射和吸收的频率； h 是普朗克常量。在地面实验室中，氢原子的这一辐射或吸收频率为 $\nu_0 = 1.420405751768(1) \times 10^9 \text{ Hz}$ ^[14]。

根据量子理论中的德布罗意关系^[15]以及局部性等效原理 $m_I = m_G$ ，在地面试验室中，氢原子基态电子的德布罗意波长为

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{v_0 \cdot m_I} = \frac{h}{v_0 \cdot m_G}, \quad (18)$$

此处， m_I 为电子的惯性质量； m_G 是电子的引力质量； v_0 及 p 分别为电子的基态轨道速率和动量。氢原子基态电子的轨道速率是一个高稳定度的常量，且有 $v_0 = \alpha \cdot c$ ，其中， α 是精细结构常量， $\alpha = v_0/c \cong 1/137$ 。

又根据爱因斯坦的相对论质能关系，氢原子基态电子在能级间跃迁时，由于轨道速率 v_0 为常量，因而必有

$$E_H - E_L = \frac{1}{2}(m_{IH} - m_{IL})v_0^2 \quad (19)$$

其中 m_{IH} 及 m_{IL} 分别对应电子处于高能态和低能态的惯性质量。将上式(19)替换到公式(17)中，得到

$$h\nu_0 = \frac{1}{2}(m_{IH} - m_{IL})v_0^2 \quad (20)$$

又

$$\nu_0 \lambda_0 = c, \quad (21)$$

结合(20)与(21)，可得波长

$$\lambda_0 = \frac{2h}{(m_{IH} - m_{IL}) \cdot \alpha^2 c}, \quad (22)$$

λ_0 为与 ν_0 相对应的波长，即宇宙中著名的21厘米氢线的波长。

如果在远方星系的实验室中测量身边的氢原子辐射，其波长应该与上述结果相同。然而，根据本文作者在另文^[16]附录A（自由下落参考系中的引力与惯性）中给出的证明，现象有赖于我们所选择的参考系，对于地球上的观察者而言，不同于关系式(14)，远方星系中电子的惯性质量与引力质量之间的反比关系应取以下形式

$$m_I = \frac{m_G}{1 + \Lambda_0 \cdot r}, \quad (23)$$

其中， Λ_0 是一个既能由观测来确定、也可以由理论所导出的常量^[16]； r 为远方星系至地球的距离。式(23)与(14)之所以不同是因为参考系坐标原点的位置差异，(14)的坐标原点在银心，(23)的坐标原点在地球，后者是星系引力场中一个自由下落的参考点。公式(23)使得在地球的位置上有 $r = 0$ ， $m_I = m_G$ 。

惯性的跑动使得远方星系中氢原子辐射的波长在被地球上的观察者接收到时发生了红移，不再是 λ_0 而是 λ_D 。将式(23)的关系代入(22)后，可得

$$\begin{aligned} \lambda_D &= \frac{2h}{[(m_{IH}/(1 + \Lambda_0 \cdot r) - m_{IL}/(1 + \Lambda_0 \cdot r))] \cdot \alpha^2 c} \\ &= (1 + \Lambda_0 \cdot r) \frac{2h}{(m_{IH} - m_{IL}) \cdot \alpha^2 c} \\ &= (1 + \Lambda_0 \cdot r) \lambda_0. \end{aligned} \quad (24)$$

再将(24)代入(1)，可见

$$z = \frac{\lambda_D - \lambda_0}{\lambda_0} = \Lambda_0 \cdot r, \quad (25)$$

显然，这与径向远离的多普勒效应一样，也是正比于距离的红移，不同的是，这是一种恒稳态的红移表现，不需要用膨胀效应来解释。为使其等效于哈勃定律，可令

$$z = \Lambda_0 \cdot r = \frac{H_0}{c} \cdot r, \quad (26)$$

于是(23)中的常量可被确定为

$$\Lambda_0 = \frac{H_0}{c}. \quad (27)$$

在推导上述结果的过程中，唯一的不确定限制在于宇宙中的精细结构常量的变化。地球上的测量表明，这确是一个高精度稳定的常量，其值为 $\alpha = 7.2973525698(24) \times 10^{-3}$ ^[17]。而且，在超越一亿光年的距离上，精细结构常数 α 的变化甚微， $\Delta\alpha/\alpha = (-5.7 \pm 1.0) \times 10^{-6}$ ^[18]，因此，在我们的问题中完全可以被忽略。此外，由于最后的结果与氢原子的参数无关，任何原子的辐射都将服从同样的红移规则。

2.2 惯性红移的非线性与“加速膨胀”的宇宙

根据哈勃定律，红移应该始终是线性的，即图1中的直线关系。然而，自一九九八年始，通过对高红移Ia型超新星的观测，发现红移与距离之间偏离了线性关系。如果沿用哈勃的解释，这意味着宇宙膨胀速率不是恒定的，在红移量位于哈勃图 $z \approx 0.5$ 的距离以内，宇宙开始加速膨胀^[19, 20, 21]，如图3所示。

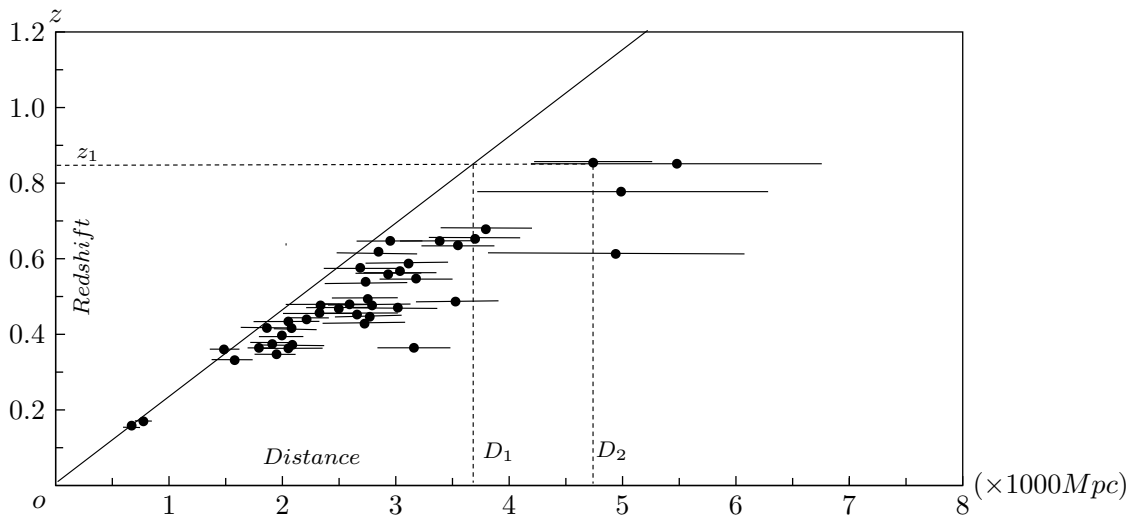


图 3: 观测到高红移Ia型超新星的红移与距离之间偏离了线性关系。由于这些超新星爆发的光芒比预期的要暗，其距离也应该更遥远。如果沿用哈勃的解释，红移量为 z_1 的超新星距离应该是在 D_1 的位置，但是测量到的光度距离却远在 D_2 ，似乎宇宙在红移量位于哈勃图 $z \approx 0.5$ 的距离以内，开始加速膨胀。

现在，我们可以对此现象做一些理论上的分析。首先，微分等式(18)，整理后可得

$$d\lambda = \frac{-h}{m_I^2 v_0} \cdot dm_I = \frac{-\lambda}{m_I} \cdot dm_I, \quad (28)$$

同样地，取等式(23)的微分，即

$$dm_I = \frac{-m_G \frac{H_0}{c}}{(1 + \frac{H_0}{c} \cdot r)^2} \cdot dr = \frac{-m_I \frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r} \cdot dr. \quad (29)$$

将(29)代入(28)

$$d\lambda = \frac{\lambda \cdot \frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r} \cdot dr, \quad (30)$$

于是有

$$dz = \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{\frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r} \cdot dr = \frac{H}{c} \cdot dr, \quad (31)$$

其中

$$\frac{H}{c} = \frac{\frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r}, \quad (32)$$

显然， H 即所谓哈勃参量，当 $r = 0$ 时，有 $H = H_0$ 。我们可以通过积分(31)式求得红移方程

$$z = \int \frac{\frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r} \cdot dr = \ln(1 + \frac{H_0}{c} \cdot r) + z_0, \quad (33)$$

其中， z_0 是积分常数。根据边界条件 $r = 0, z = 0$ ，可确定 $z_0 = 0$ ，最后的结果为

$$z = \ln(1 + \frac{H_0}{c} \cdot r), \quad (34)$$

或者，直接对红移量求和

$$z = \int_0^r \frac{\frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r} \cdot dr = \ln(1 + \frac{H_0}{c} \cdot r), \quad (35)$$

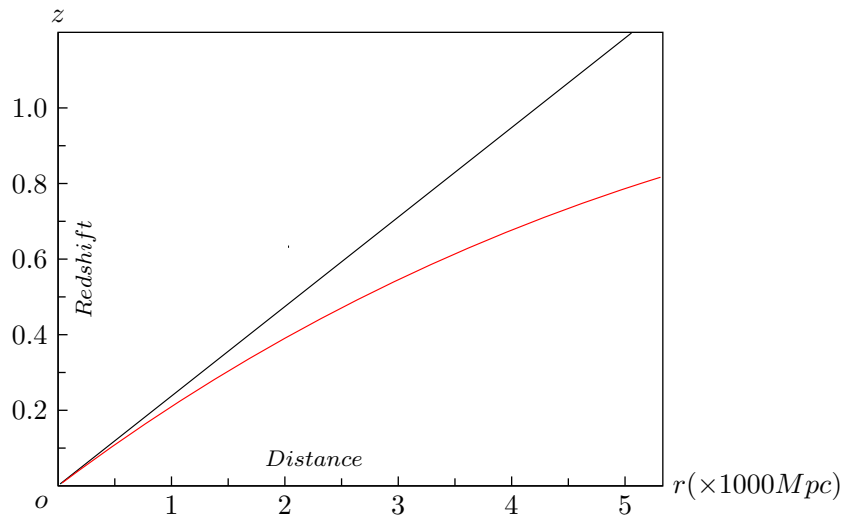


图 4: 非线性红移的哈勃图。黑颜色线表示线性的哈勃定律关系(36)；红颜色线为根据(34)绘制的非线性红移关系。曲线和直线在 $z \sim 0.5$ 的位置有着明显的分离，因而使得宇宙表观上似乎正在加速膨胀。

结果是一样的。而且，在低红移所对应距离上，有 $\frac{H_0}{c} \cdot r \ll 1$ ，(34) 将回到(26)，即回到线性的哈勃关系，这是由于在数学上当 $x \ll 1$ 时，有 $e^x \approx 1 + x$ 以及 $\ln e^x = x$ ，所以对应于方程式(34)，在近距(红移量较低)尺度，红移量近似为

$$z = \ln\left(1 + \frac{H_0}{c} \cdot r\right) \approx \ln e^{\frac{H_0}{c} \cdot r} = \frac{H_0}{c} \cdot r; \quad (36)$$

值得注意的是，在以上的推导过程中，我们默认宇宙中的光速始终为常数，理由可参见本文作者在另文^[16]附录A中的推论3，不然的话，公式(33)的积分就很成问题。方程(34)和(36)的函数曲线见图4，显见，宇宙正在加速膨胀完全是一种假象。

2.3 验证：与观测证据的对比

我们只需要利用方程(34)就能从 z 的测定结果求得宇宙中远距离辐射源的距离。因为测量红移要比测量距离容易得多，况且方程(34)可以用来确定哈勃定律的线性范围以外的宇宙距离，只要知道了红移量 z ，便可由以下公式计算距离 D ，即根据红移量计算的距离 D_z 为

$$r = D_z = \frac{e^z - 1}{H_0/c}. \quad (37)$$

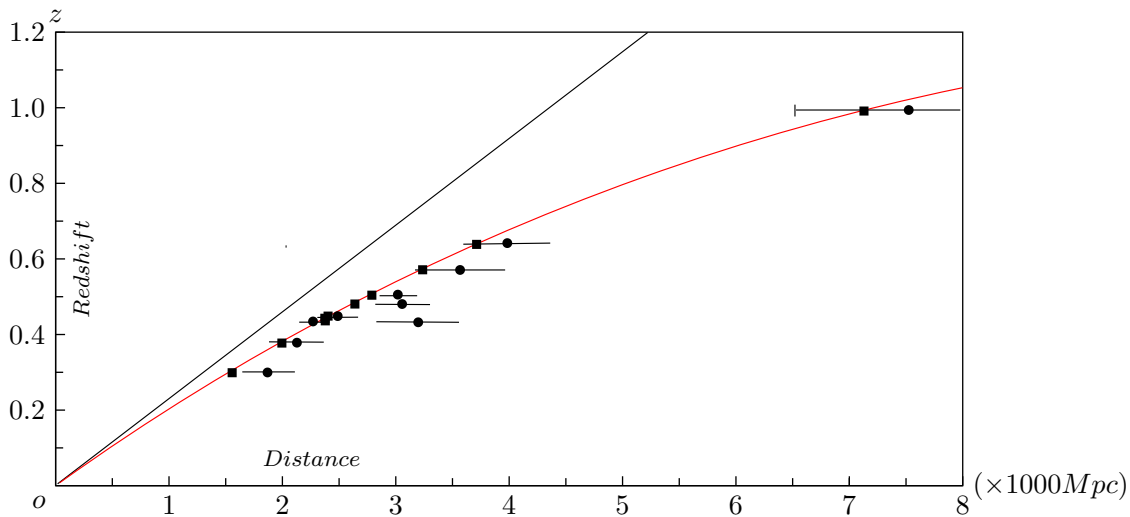


图 5: 根据表1绘制的红移距离与光度距离的对比。红色曲线为根据方程(37)确定的红移量与红移距离关系；直线为哈勃定律(36)描述的红移——距离关系。

1997年，对一个红移量为 $z \approx 1.755$ 的Ia型超新星 SN 1997ff 的观测结果似乎恰好符合宇宙膨胀加速的观点^[22, 23]。现在，作为典型的案例，我们可以利用红移方程(37)及 $H_0 \approx (69.32 \pm 0.80) km s^{-1} Mpc^{-1}$ ^[24]对比其光度距离 $D_L = 19952.6 Mpc$ ^[25]来加以验证。根据红移方程(37)计算得到 $D_z = 20687.3 Mpc$ ，红移距离 D_z 与光度距离 D_L 的相对偏差为

$$\Delta = \frac{D_z - D_L}{D_z} \times 100\% \approx 3.6\%, \quad (38)$$

考虑到天文测量技术上的不确定度，这是一个有着极高符合度的结果。

表 1: 根据10颗高红移Ia型超新星观测数据^[21]计算的红移距离与光度距离对比

<i>SN</i>	<i>z</i>	μ_0	σ_{μ_0}	$D_z(Mpc)$	$D_L(Mpc)$	σ_{D_L}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1996E	0.43	41.74	0.28	2323.51	2228.44	287.34
1996H	0.62	42.98	0.17	3714.66	3944.57	308.81
1996I	0.57	42.76	0.19	3322.57	3564.51	311.89
1996J	0.30	41.38	0.24	1513.06	1887.99	208.67
1996K	0.38	41.63	0.20	1999.27	2118.36	195.11
1996U	0.43	42.55	0.25	2323.51	3235.94	372.55
1997ce	0.44	41.95	0.17	2390.33	2454.71	192.17
1997cj	0.50	42.40	0.17	2805.56	3019.95	236.43
1997ck	0.97	44.39	0.30	7083.72	7550.92	1043.20
1995K	0.48	42.45	0.17	2664.37	3090.30	241.93

Note:

- (1) IAU 命名的超新星。
- (2) 超新星的红移量。
- (3) 距离模数。
- (4) 距离模数的不确定度。
- (5) 根据方程(37)确定的红移距离(*Mpc*)。
- (6) 光度距离(*Mpc*)
- (7) 光度距离的不确定度。

表1和图5 (根据表1的数据绘制)以更多的案例验证了由方程(37)确定的红移距离 D_z 对比光度距离法测定的距离 D_L 之间的一致性。图中10颗红移量为 $0.30 \leq z \leq 0.97$ 的高红移Ia型超新星数据根据文献^[21]中的表5。回过头来，就可以解释为什么图3会有一个宇宙正在“加速膨胀”的现象。我们可以根据方程(37)确定的红移距离（并非由图3的数据拟合而成）与图3的观测数据进行对比，绘图4与图3于同一张图上，结果见表2和图6，其中表2的数据计算详见文献^[25]。

表 2: 根据42颗高红移Ia型超新星观测数据^[19]计算的红移距离与光度距离对比

<i>SN</i>	<i>z</i>	σ_z	D_z	σ_{D_z}	m_B	σ_{m_B}	μ	σ_μ	D_L	σ_{D_L}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1992bi	0.458	0.001	2512.29	29.51	23.11	0.46	42.17	0.46	2716.43	575.44
1994F	0.354	0.001	1836.96	21.82	22.38	0.33	41.44	0.33	1940.89	294.96
1994G	0.425	0.001	2290.35	26.97	22.13	0.49	41.19	0.49	1729.82	390.33
1994H	0.374	0.001	1961.44	23.23	21.72	0.22	40.78	0.22	1432.19	145.10
1994al	0.420	0.001	2257.36	26.60	22.55	0.25	41.61	0.25	2098.94	241.65
1994am	0.372	0.001	1948.88	23.09	22.26	0.20	41.32	0.20	1836.54	169.15

表 2: (continued)

SN	z	σ_z	D_z	σ_{D_z}	m_B	σ_{m_B}	μ	σ_μ	D_L	σ_{D_L}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1994an	0.378	0.001	1986.63	23.52	22.58	0.37	41.64	0.37	2128.14	264.61
1995aq	0.453	0.001	2478.19	29.12	23.17	0.25	42.23	0.25	2792.54	321.50
1995ar	0.465	0.005	2560.32	40.38	23.33	0.30	42.39	0.30	3006.08	415.30
1995as	0.498	0.001	2791.32	32.70	23.71	0.25	42.77	0.25	3580.96	412.27
1995at	0.655	0.001	4001.02	46.57	23.27	0.21	42.33	0.21	2924.15	282.79
1995aw	0.400	0.030	2127.02	161.40	22.36	0.19	41.42	0.19	1923.09	168.27
1995ax	0.615	0.001	3674.56	42.82	23.19	0.25	42.25	0.25	2818.38	324.48
1995ay	0.480	0.001	2664.37	31.24	22.96	0.24	42.02	0.24	2535.13	280.19
1995az	0.450	0.001	2457.81	28.88	22.51	0.23	41.57	0.23	2060.63	218.26
1995ba	0.388	0.001	2050.07	24.24	22.65	0.20	41.71	0.20	2197.86	202.43
1996cf	0.570	0.010	3322.57	69.77	23.27	0.22	42.36	0.20	2964.83	273.07
1996cg	0.490	0.010	2734.62	64.11	23.10	0.20	42.16	0.20	2703.96	249.04
1996ci	0.495	0.001	2770.00	32.45	22.83	0.19	41.89	0.19	2387.81	208.93
1996ck	0.656	0.001	4009.35	46.67	23.57	0.28	42.63	0.28	3357.38	432.92
1996cl	0.828	0.001	5573.48	64.67	24.65	0.54	43.71	0.54	5520.77	1372.90
1996cm	0.450	0.010	2457.81	61.54	23.17	0.23	42.23	0.23	2792.54	295.78
1996cn	0.430	0.010	2323.51	60.32	23.13	0.22	42.19	0.22	2741.57	277.76
1997F	0.580	0.001	3399.43	39.66	23.46	0.23	42.52	0.23	3191.54	338.04
1997G	0.763	0.001	4950.56	57.50	24.47	0.53	43.53	0.53	5081.59	1240.29
1997H	0.526	0.001	2993.38	35.01	23.15	0.20	42.21	0.20	2766.94	254.84
1997I	0.172	0.001	811.66	10.49	20.17	0.18	39.23	0.18	701.46	58.15
1997J	0.619	0.001	3706.62	43.19	23.80	0.28	42.86	0.28	3732.50	481.29
1997K	0.592	0.001	3492.68	40.74	24.42	0.37	43.48	0.37	4965.92	846.15
1997L	0.550	0.010	3171.14	68.29	23.51	0.25	42.57	0.25	3265.88	376.00
1997N	0.180	0.001	852.92	10.92	20.43	0.17	39.49	0.17	790.68	61.90
1997O	0.374	0.001	1961.44	23.23	23.52	0.24	42.58	0.24	3280.95	362.62
1997P	0.472	0.001	2608.68	30.61	23.11	0.19	42.17	0.19	2716.44	237.68
1997Q	0.430	0.010	2323.51	60.32	22.57	0.18	41.63	0.18	2118.36	175.60
1997R	0.657	0.001	4017.69	46.77	23.83	0.23	42.89	0.23	3784.43	400.84
1997S	0.612	0.001	3650.60	42.55	23.69	0.21	42.75	0.21	3548.13	343.13
1997ac	0.320	0.010	1630.99	54.33	21.86	0.18	40.92	0.18	1527.57	126.62
1997af	0.579	0.001	3391.71	39.58	23.48	0.22	42.54	0.22	3221.07	326.34
1997ai	0.450	0.010	2457.81	61.54	22.83	0.30	41.89	0.30	2387.81	329.89

表 2: (continued)

SN	z	σ_z	D_z	σ_{D_z}	m_B	σ_{m_B}	μ	σ_μ	D_L	σ_{D_L}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1997aj	0.581	0.001	3407.16	39.75	23.09	0.22	42.15	0.22	2691.53	272.69
1997am	0.416	0.001	2231.08	26.30	22.57	0.20	41.63	0.20	2118.36	195.11
1997ap	0.830	0.010	5593.29	93.31	24.32	0.22	43.38	0.22	4742.42	480.47

Note:

- (1). IAU 命名的超新星。
- (2). 超新星及所属星系的红移量。
- (3). 红移量的不确定度。
- (4). 根据红移方程(37)计算的红移距离(Mpc)。
- (5). 红移距离的不确定度。
- (6). 有效峰值星等 $m_B = m_B^{eff}$ 。
- (7). 有效峰值星等的不确定度。
- (8). 距离模数。
- (9). 距离模数的不确定度。
- (10). 光度距离(Mpc)。
- (11). 光度距离的不确定度。

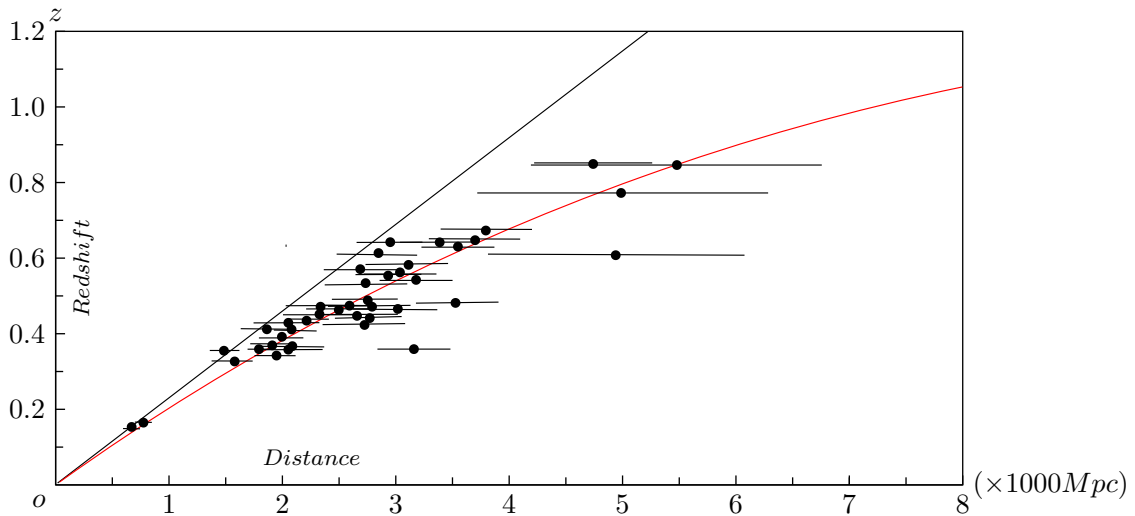


图 6: 根据表2绘制的红移距离与光度距离的对比。红色曲线为根据方程(37)确定的红移量与红移距离关系；直线为哈勃定律(36)描述的红移——距离关系。

3 内禀圆锥表面的测地线与欧几里得的宇宙

现在，我们需要对公式(36)中的宇宙距离 r 或公式(37)中的红移距离 D_z 给出明确定义和解释，这必然涉及到宇宙的几何空间性质。

在上述的球对称引力场问题中，实际上，我们已经得到引力中心质量与所造成的空间弯曲的角度亏损关系，即

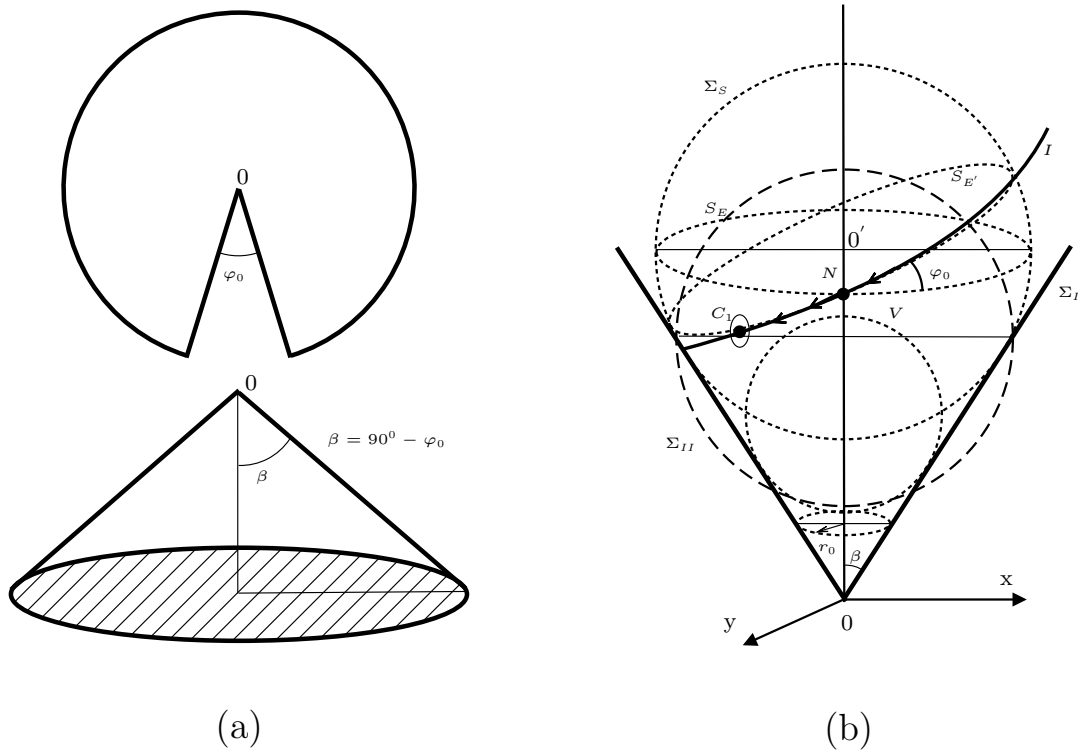


图 7: 宇宙大尺度“引力锥”的几何：(a)引力中心的质量使得轨道平面“角度亏损”，由于运动质量的等角螺线轨迹，因而形成的是二维内禀圆锥面。(b)圆锥面的内切球、锥面及内切球面上矢量的平行移动和测地线。

$$\begin{aligned}
 \beta &= 90^\circ - \varphi_0 = 90^\circ - \tan^{-1} \sqrt{2\xi_0} \\
 &= 90^\circ - \tan^{-1} \sqrt{2v_c/c} \\
 &= 90^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{2GM_0}{r_0 c^2} \right)^{1/4},
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

式(39)可由图7(a)表示, 其中, r_0 为图2(a)中 M_0 的半径。三维欧几里得空间中, 平面等角螺线是等角圆锥螺线的投影或展开, 在高斯-黎曼几何学中, 锥面是二维内禀空间的曲面在三维欧几里得空间的嵌入, 虽然外曲率非零, 但内禀曲率为零; 除顶点外, 圆锥表面上高斯曲率处处为零、是一种可展直纹曲面, 因此具有同平面一样的内在性质。于是, 与空间弯曲的角度亏损(39)相适配的等角圆锥螺线方程为

$$\begin{aligned} x &= \rho \sin \beta \cos \theta; \\ y &= \rho \sin \beta \sin \theta; \\ z &= \rho \cos \beta; \\ \rho &= \rho_0 e^{(\tan \varphi_0) \theta}; \\ \rho_0 &= \frac{r_0}{\sin \beta}, \end{aligned} \quad (40)$$

其几何意义如图7(b)所示。与作者先前研究论文^[10]中的图3相对应, 在本文的图7(b)中, 等角圆锥螺线轨迹 I 上的任何一点, 譬如 N 点, 既处于“引力圆锥”面 Σ_I 上、也处于“牛顿圆族”中某个“牛顿球面” Σ_S 的赤道 S_E 或者大圆 $S_{E'}$ 上。

除引力外不受力的自由质点必然沿测地线 (geodesic) 运动, 这是始终保持其方向不变的曲线, 曾由赫尔曼·外尔使用清晰和易于理解的方法论证过^[26]。测地线的切矢(速度)平行移动时保持不变, $d\mathbf{V}/ds = 0$, 因此物体沿测地线方向加速度为零。等角圆锥螺线的等角性质使得该曲线上的切矢量关于曲线自身保持平移, 因而构成的是测地线; 又由于圆锥表面具备欧几里得空间性质, 质点在欧几里得空间平行移动, 坐标基矢不变, $dV/ds = 0$ 就是普通导数 $dV^j/ds = 0$, 即矢量各分量的导数皆为零, 因此才有图2(a)中的 v_c, v_t, v_n 都是常数, 以及图2(b)中平直的星系自转曲线, 这是为什么会观察到暗物质现象的解释。

一般情形下, 矢量平行移动的结果跟它的历史有关, 也就是说和它移动过程所经过的路径有关, 否则位移或矢量之间的比较没有意义。实际上, 与路径无关的位移仅存在于欧几里得空间中, 因此矢量在圆锥表面的平移具有绝对性, 不需要曲线依赖。圆锥表面的等角螺线是整体意义的测地线, 等价于欧几里得空间的短程线, 但对于图7(b)中的球面 Σ_S 或 Σ_{II} , 坐标基矢是逐点变化的, 测地线仅为局部意义的短程线。

等角圆锥螺线是圆锥表面上的斜驶线, 这是一条由圆心与球心相重合的、球心与半径连续变化的“大圆”上的切点所构成, 而所有这些都是这些球面上的测地线。图7(b)中, 随着球面 Σ_S 的球心 O' 向着极点 O 的移动, 这些“牛顿球”的半径在连续地缩小, 与球面相切的平面构成了一个圆锥表面 Σ_I 。

如图7(b)所示, 等角圆锥螺线上的动点、譬如 N 点, 在该点的足够小的邻域, “引力锥” Σ_I 以“爱因斯坦球” Σ_{II} 为极限近似; 且当动点处于弱场低速条件时, “引力锥” Σ_I 和“爱因斯坦球” Σ_{II} 都以“牛顿球” Σ_S 为极限近似。这意思是说, 牛顿的引力预言和爱因斯坦广义相对论的预言都是大尺度宇宙“引力锥”的局部近似。

约翰·伯努利(Johann Bernoulli, 1667-1748)曾经证明, 一般情形下, 开普勒问题(两体问题)中的质点沿圆锥截线, 即椭圆、抛物线或双曲线轨道运行, 但这都不是孤立两体问题的

解，真实的解是等角螺线，在内禀空间中是等角圆锥螺线，而相对论效应是导致这种范式改变的根本原因。以地球、太阳和银河系中心质量这样一个三体问题为例，根据等式(16)，由于太阳系的范围相对于银河系尺度而言微乎其微，结果是地球绕日运行时的惯性质量几乎没有变化，因此服从局域性等效原理。太阳系内行星绕日运动时，因为行星的惯性质量基本保持不变，速度变化是解释其动能变化的唯一途径。内禀几何上，地球的轨道既不能离开太阳的“引力锥”面，也不能离开银河系质心的“引力锥”面，只能运行在二锥面的交线上，即图7(b)所示的椭圆轨道 C_1 。不过，这椭圆轨道不是闭合的，因为 C_1 包围有太阳的质量，根据广义相对论，太阳质量造成的角度亏损必然使得地球轨道有一个进动，只不过极难察觉罢了。

广义相对论所定义的是拥有正曲率的高斯-黎曼宇宙空间，其上仅仅可以定义局域的直角坐标，在广域范围需要使用逐点变化的活动标架来描述。如果将这样一个有限的局域理论作为宇宙学研究的基本理论，必然导致一个有限宇宙的图景。

由于广义相对论的精致优美，其预言在太阳系内也得到了成功的验证，主流学界似乎认为将其外推到更大尺度甚至“全宇宙”范围也是正当无疑的。如果说将“宇宙没有中心、各向同性而又宏观均匀”的宇宙学原理应用在宇宙的“爱因斯坦球面”上，似乎一个封闭的宇宙也可以“有限而无界”。然而，等效原理的破坏和“引力锥”的欧几里得内禀空间属性，不仅使得构造一个有限宇宙的企图成为不可能，还能直接导致一个真正无限宇宙的平直时空图景。

根据以上的推证，我们完全可以建立一个平坦、无弯曲，具有欧几里得空间性质的宇宙，其度规是 δ 函数形式的，于是在整个欧几里得空间中可以使用一个固定的笛卡尔坐标系统。这样一来，不仅可以方便地平移矢量、比较宇宙中不同地点的矢量大小，还可以简单地使用欧几里得坐标来定义两个天体之间的距离，不需要时间关联。这意味着我们可以用一根刚性的量杆将远距离的两个星系连接在一起，测量得到的两个星系之间的固有距离(proper distance)可简化为在低红移下单纯概念的欧几里得坐标距离。

4 奥伯斯佯谬与微波背景

奥伯斯佯谬是一个既饶有兴味、又值得深思的问题，任何涉及宇宙有限或无限命题的讨论都必须面对这一似是而非的难题。当然，如果没有宇宙微波背景辐射的发现，这个问题仅具有形而上学意义。

4.1 一个古老的问题

一百多年前爱因斯坦解释了为什么天空是蓝的，但是另一个看起来更为简单的问题——夜空为什么是黑暗的，时至今日却依然未有令人满意的答案。问题是这样，如果宇宙是无限的，根据宇宙学原理，那就一定会充满着无数颗恒星，观察者无论朝那个方向看，视线必将会终结在一颗恒星上，结果是整个天空无论昼夜都会象太阳一样明亮，就像是有一道“光墙”在天上。但实际情况并非如此。这种逻辑思维和观测之间的矛盾由哲学家、医生和天文学家奥伯斯于1823年在一篇文章中明确指出，故称奥伯斯佯谬^[9]。当然，奥伯斯并非是第一个反对无限静止宇宙的人，类似的想法早就由开普勒于1610年提出，而且在牛顿的时代，包括哈雷在内的一

些人也提出过类似的问题。

在现代的膨胀宇宙模型里，不存在奥伯斯佯谬，但是，这不过是将问题转移了。大多数思考过这一问题的人可能会认为，由于哈勃发现了宇宙在“膨胀”以及“宇宙大爆炸”假说的出现，似乎这一问题已经被圆满解决——黑暗的夜空证明宇宙在膨胀^[9]。但是，在大爆炸宇宙学中，空间膨胀不是对夜晚黑暗的唯一解释，即使宇宙膨胀停止了，夜空依然是黑的，这是一个仅仅在稳恒态框架下适用的命题，而且关系到宇宙是有限还是无限，这又似乎是一个人类永远无法解答的迷。所以说“夜空为什么是黑暗的”这个被称为“奥伯斯佯谬”的问题过于复杂而深奥，还远不能说已经被正确解答。

不过，根据宇宙学原理，宇宙没有中心、各向同性而又宏观均匀，这只能导致一个真实无限的空间图景，用一个闭合球面的内禀空间来类比，并不能令人满意。显然，如果坚信宇宙学原理，就必须在无限的宇宙空间框架中解释奥伯斯佯谬，否则宇宙学原理就不可靠——如果宇宙没有尽头，时间也是无限的，则天文学家能看到从无限远处来的光，夜空就不应该是黑暗的。因此，本文不认为在有限的宇宙框架下讨论奥伯斯佯谬能够给出正确的答案。况且，根据我们以上的讨论，事情变得更清楚了，根据本文第三章的讨论，大尺度引力相互作用的表象是**锥面型的几何动力学**，其空间性质是欧几里得的，这就必然导致一个无限的空间。又根据本文第二章，这一无限的宇宙模型可以由一幅非膨胀形式的稳恒态宇宙图像——非线性红移的哈勃图得到证明。故此，奥伯斯佯谬可有全新的解释，并且包含有当初奥伯斯未曾预料到的极为重要的内容，而在过去，我们一直是用错误的观念来看待整个这些问题。

哈勃认为观察到的红移是由于径向多普勒效应所导致，因而推断出远方星系都在退行，而且在大尺度上，退行速度与它们离开我们的距离成正比。无论哈勃对观测事实的退行解释是否正确，上述红移现象总是存在的，并且已经被大量的天文观测所证实，不容被怀疑，于是红移便成为解释奥伯斯佯谬最重要的原因，这是稳恒态宇宙学支持者的观点。但是，哈勃红移虽然可以解释“夜空为什么是黑暗的”，却也带来了另一个问题：夜空将会黑暗得太彻底，以至于 $2.7K$ 黑体谱的宇宙微波背景辐射不可能存在。这一推论不难由图6中哈勃定律的线性关系导出。

一个有限宇宙模型也能对奥伯斯佯谬给予解释：宇宙的膨胀限制了可观测宇宙的大小，这使得某个界限之外的光线到不了我们的眼中，这是一种光学效应下的有限宇宙。特别地，宇宙大爆炸假说认为，宇宙的年龄仅有138亿年，而大爆炸本身的辐射因为宇宙膨胀的缘故，已经被强烈地红移到微波的波长，成为宇宙的微波背景辐射。这原因似乎既解释了奥伯斯佯谬，又给出了宇宙的微波背景辐射缘由。不过，宇宙大爆炸假说与宇宙学原理不相容，同时也带来众多更加难以解答的困难问题，其本身的客观性十分值得怀疑。退一步说，宇宙大爆炸假说是否给出了奥伯斯佯谬一个好的解释？宇宙微波背景辐射的来源是否仅此可能呢？当然，所有这些问题的关键在于，径向退行的多普勒效应是否哈勃红移现象的唯一解释，如果本文的理论能够站得住脚，则上述一切都要另当别论。

4.2 远距离辐射源的空间分布之谜

以上论及的非线性宇宙学红移与微波背景辐射、奥伯斯佯谬、以及宇宙的无限性又有什么

关系呢？具体地，为什么微波背景辐射会那么均匀和各向同性呢？为什么宇宙中射电源的密度看上去在遥远的过去（大距离上）要比当今更高？现在，我们根据红移方程(34)外推图6至更加深远的大尺度空间，就能够得到一幅非膨胀形式的稳恒态宇宙图像——非线性红移在更广阔宇宙的哈勃图8。

这图景代表的是没有空间界限的无限宇宙稳恒态模型。显然，这符合宇宙学原理，因为在大尺度的空间距离上，全部星系的平均间距可以大致不变。在图8中，我们可以得到这样的概念，设有在大尺度空间上分别位于距离(D)和(E)的远方星系，但是根据红移方程(34)，这两个星系的红移并不依循哈勃定律那样线性变化，而是被“密积”在 z 轴上的(z_d)和(z_e)，这样一来，如果依照哈勃关系，似乎这些星系没有那么遥远、在 r 轴上并非位于(D)和(E)，而是被“压缩”在(B)和(A)的位置。对于更加遥远的星系或其他弱辐射源（因为遥远而显得弱）而言，红移会被更加强烈地“密积”在 z 轴上一个狭小的范围内，似乎红移已经“饱和”了，在空间上看上去，就像是这些远方星系或弱辐射源被密集地“压缩”在一起。显然，图8可以原则上解释这一疑难，为什么宇宙中弱辐射源有着更高的空间分布密度。

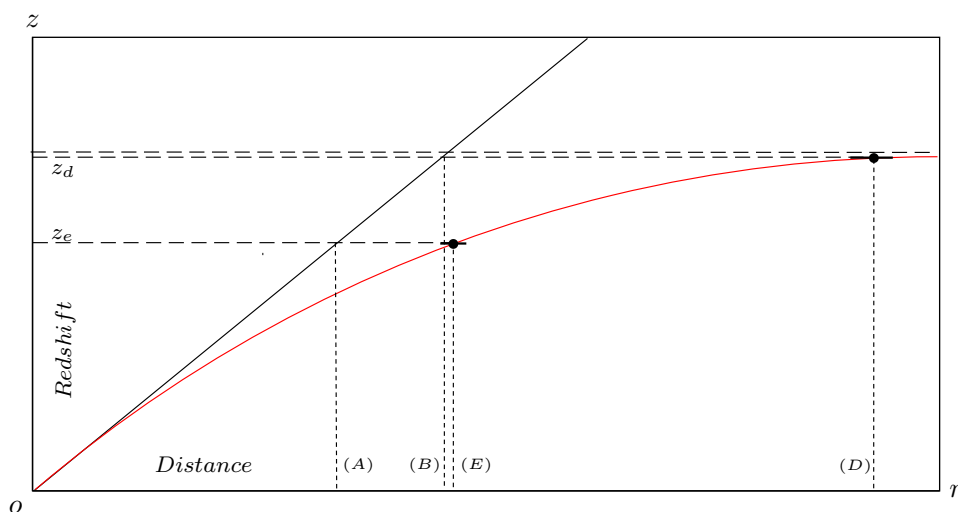


图 8: 非线性红移的哈勃图告诉我们，由于红移的“密积”与距离的“压缩”假象，宇宙看上去会有一个“加速膨胀”以至于起源于一个奇点的“大爆炸”图景。

那么，在这样的一个模型中应该怎样来解释微波背景辐射的存在呢？一般来说，宇宙中存在着许多这样的射电源，其频率也会同样处于微波背景辐射的频率范围内。不过，这并非微波背景辐射的源头，因为这些射电源的计数结果与观测到的背景辐射强度不符合。现在，非线性红移的哈勃图可以明确告诉我们，宇宙微波背景辐射源自何方。

首先, 考察红移方程(34)并对其求导数

$$\frac{dz}{dr} = \frac{\frac{H_0}{c}}{1 + \frac{H_0}{c} \cdot r} \doteq \frac{H}{c}, \quad (41)$$

其中, H 即所谓哈勃参量, 当 $r = 0$ 时, 有 $H = H_0$, 曲线回到哈勃定律的直线; 当 $r \rightarrow \infty$ 时, 有

$$\frac{dz}{dr} = \frac{H}{c} \rightarrow 0, \quad (42)$$

这就可以证明, 当空间距离足够远时, 辐射源的红移量不再有明显增加。

以上分析表明, 任何来自宇宙中更加遥远以至于无限远处的辐射, 无论辐射源的性质如何, 其红移过来的波长都会被观察到充分“饱和”在某个波段上, 并不会像哈勃定律要求的那样有一个无限的红移。况且, 如果依照哈勃定律的推论, 在宇宙的任何方向上, 辐射源都应该在宇宙中138亿光年远处被截断, 似乎宇宙在那里有一个时空上的创生, 这是哈勃定律自身的矛盾。现在, 如果认为宇宙是无限的, 像红移方程(34)所表述的那样, 就可以避免哈勃定律带来的矛盾—不仅必然存在微波背景辐射, 也不需要一个创生奇点的存在, 而且来自无限远的处的辐射一定是不偏重任何方向。这就解释了为什么微波背景辐射会那么均匀和各向同性。因此, 奥伯斯的疑问也可以这样来解释: 夜空之所以黑暗, 是由于非线性红移的结果, 夜空中的“光墙”就是由无限远处来的红移光构成的微波背景, 在人眼的可见光频率范围之外, 这恰恰是无限宇宙的表现, 不存在佯谬。

5 结论

本文的结果表明, 自哈勃以来关于远距离天体谱线红移的奇妙发现无疑是正确的, 但是用宇宙大爆炸假设来解释这些观测到红移事实, 不仅远不能令人满意, 而且必然要引起诸多的科学上和哲学上的困难问题。

根据相对论原理, 引力场虽然是绝对的, 这可以表现在时空曲率的绝对性上, 但是引力现象却是相对的, 惯性也是一样, 表现为惯性的相对性 (Relativity of inertia)。这也符合马赫关于惯性的原理: 当有质量物体在其附近时, 物体的惯性必然增大。因而, 在星系引力势中 (无论多远的距离, 引力总能达得到, 这是引力的长程性质决定的), 粒子 (与引力势相匹配的) 惯性的不同, 是导致哈勃红移的根本原因, 这意味着膨胀宇宙及存在暗能量的假定是多余的。

当然, 相同的结果也能够通过别的途径得到。本文作者已经在另文^[16]中证明, 星系引力场在大尺度上相对分离的加速效应可以产生与公式(34)等同的红移, 因此, 哈勃所发现的红移现象还可以通过引力的潮汐作用机制来加以解释。

理论结果和观测事实的对比证明了宇宙学红移方程可以很好地描述一个无限的稳恒态宇宙模型。技术上, 红移方程(37)使得天文距离的测量变得简单且可靠^[25]。希望在不久的将来, 天文学家会将其视为一种十分好用的量天尺, 而不必区分天体的性质和受限于哈勃距离的界定, 特别是对于确定超远距离的星系和类星体的距离具有特别的意义, 因为对于那些观测到非常大红移的星系和类星体, 实际距离的确定工作迄今为止是毫无希望的。

参考文献 (References)

- [1] V. M. Slipher, The radial velocity of the Andromeda Nebula, Lowell Observatory Bulletin, vol. 1, pp.56-57, 1913.
- [2] E. A. Hubble, Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae. Proceedings of the National Academy of Sciences., 15 (3): 168-73, 1929.
- [3] C. L. Bennett, D. Larson, J. L. Weiland, et al., Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results., arXiv:[astro-ph.CO]/1212.5225, 2012. <http://arxiv.org/abs/1212.5225>.
- [4] P. A. R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, et al., Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results, arXiv:[astro-ph.CO]/1303.5062, 2013. <http://arxiv.org/abs/1303.5062>
- [5] W. Clavin, J. D. Harrington, Planck Mission Brings Universe Into Sharp Focus, NASA, 21 March 2013.
- [6] C. Wetterich, A Universe without expansion, arXiv:[astro-ph.CO]/1303.6878, 2013. <http://arxiv.org/abs/1303.6878>
- [7] C. Wetterich, Eternal Universe, arXiv:[gr-qc]/1404.0535, 2014. <http://arxiv.org/abs/1404.0535>
- [8] A. Mithani, A. Vilenkin, Did the universe have a beginning? arXiv:[hep-th]/1204.4658, 2012. <http://arxiv.org/abs/1204.4658>
- [9] F. Hoyle, J. Narlikar., The Physics-Astronomy Frontier, pp 402-437, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1980.
- [10] 李志平, 李然. 相对论效应导致的宇宙暗物质现象[EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线[2015-07-02]. <http://www.paper.edu.cn/html/releasepaper/2015/07/25/>
- [11] F. Nesti, P. Salucci, The Dark Matter Halo of the Milky Way, AD 2013, arXiv:[astro-ph]/1304.5127, 2013. <http://arxiv.org/abs/1304.5127>
- [12] J. D. Anderson, P. A. Laing, E. L. Lau, et al., Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11, arXiv:[gr-qc]/0104064, 2002. <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0104064>
- [13] 李志平, 李然. 论先锋号飞船引力异常、米尔格罗姆定律和引力场中惯性的相对性原理[EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线[2015-08-17]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201508-83>

- [14] G. Karshenboim, Precision physics of simple atoms: QED tests, nuclear structure and fundamental constants, *Physics Reports*, 422 1-63, 2005.
- [15] L. de Broglie, The wave nature of the electron, Nobel Lecture, December 12, 1929.
- [16] 李志平, 李然, 万有引力的潮汐效应所导致的宇宙学红移及宇宙加速膨胀表象[EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线[2017-02-27]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201702-178>
- [17] P. J. Mohr, B. N. Taylor, D. B. Newell, CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constant: 2010. arXiv:[physics.atom-ph]/1203.5425 , 2012. <http://arxiv.org/abs/1203.5425>
- [18] J. K. Webb, V. V. Flambaum, C. W. Churchill , et al., A Search for Time Variation of the Fine Structure Constant, arXiv: astro-ph/9803165, 1998. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9803165>
- [19] S. Perlmutter, G. Aldering, G. Goldhaber, et al., Measurements of Ω and Λ from 42 high redshift supernovae, *Astrophysical Journal* 517 (2): 565–86, 1999. arXiv:[astro-ph]/9812133. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9812133>
- [20] A. G. Riess, L. G. Strolger, J. Tonry, et al., Type Ia Supernova Discoveries at $z > 1$ From the Hubble Space Telescope: Evidence for Past Deceleration and Constraints on Dark Energy Evolution, *Astrophysical Journal*, 607, 665, 2004. arXiv:[astro-ph]/0402512. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0402512>
- [21] A. G. Riess, A. V. Filippenko, P. Challis et al., (Supernova Search Team), Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant, *Astronomical J.* 116 (3): 1009–38, 1998. arXiv:[astro-ph]/9805201. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9805201>
- [22] N. Benitez, A. G. Riess, P. E. Nugent, et al., The magnification of SN 1997ff, the farthest known Supernova, 2002. arXiv:[astro-ph]/0207097 <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0607646>.
- [23] D. C. Choudhury, Is cosmic expansion of the universe accelerating? arXiv:[astro-ph]/0607646, 2006. <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0607646>.
- [24] C. L. Bennett, D. Larson, J. L. Weiland, et al., Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results., arXiv:[astro-ph.CO]/1212.5225, 2012. <http://arxiv.org/abs/1212.5225>.
- [25] 李志平, 李然, 高红移Ia型超新星天文距离的交叉确证, 中国科技论文在线:2014.09.18.<http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201409-208>

[26] H. Weyl, Raum-Zeit-Materie, pp102, 111, Berlin 1918.