

The Microcosm and Its Model

Zheng-Guang Wang

(Information Center, Sichuan Vocational&Technical College of Communications, Chengdu
611130, China)

Abstract: Suppose B is a celestial body in the universe, B is called the microcosm, if and only if: (i) B contains the metagalaxy; (ii) all celestial bodies in B do not contain the metagalaxy. Based on the hypothesis that the microcosm exists, a model of the microcosm is established by axiomatic method. The results show that: (i) the microcosm is spherical, and it is constantly shrinking and rotating; (ii) the force which causes the microcosm to shrink is a kind of new fundamental force. The model is simple and natural. It not only can explain some important observed facts, such as redshifts of extragalactic galaxies and dipole anisotropy of spiral galaxy rotation direction distribution, but also can be consistent with other existing astronomical observations. This shows that: (i) the microcosm is most likely existent; (ii) the model is most likely correct.

Keywords: microcosm; model of microcosm; structure of microcosm; evolution of microcosm; microforce; formation of microcosm; rotation of microcosm; cosmological model; redshift of extragalactic galaxies; rotation of spiral galaxies

微宇宙及其模型

王政光[†]

(四川交通职业技术学院信息中心, 成都 611130)

[†] 作者简介: 王政光 (1963—), 男, 四川遂宁人。硕士, 工程师, 主要从事理论物理研究。E-mail: wang_zheng_guang@163.com。

摘要：设 B 为宇宙中的一个天体，若 B 包含总星系，且 B 中的任何天体都不包含总星系，则称 B 为微宇宙。假设微宇宙存在，在此基础上，首先通过对河外星系红移现象的分析，提出了有关微宇宙的 4 条基本假设，然后以这些假设为前提，逻辑地推导出了微宇宙的一系列性质和有关微宇宙的两个预言，从而比较完整地建立起了微宇宙模型。结果表明：微宇宙呈球形，且在不断收缩和自转；使得微宇宙形成和收缩的是一种新的基本作用力——微力。该模型简单、自然。它不仅能够解释旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性等观测事实，而且能够与现有的其余各种天文观测结果不冲突。这说明：微宇宙极有可能是真实存在的；该微宇宙模型极有可能是正确的。

关键词：微宇宙；微宇宙模型；微宇宙结构；微宇宙演化；微力；微宇宙形成；微宇宙自转；宇宙模型；河外星系红移；旋涡星系自转

设 B 为宇宙中的一个天体，称 B 为微宇宙，当且仅当：(i) B 包含总星系；(ii) B 中的任何天体，都不包含总星系。

从该定义可知，若微宇宙存在，则它是包含总星系的最小天体。

上面提出了一个新的概念——微宇宙。从表面上看，这一概念似乎是被无端提出来的，而事实上，却并非如此。我们之所以提出该概念，是因为：

(i) 河外星系的红移、旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性等观测事实表明，微宇宙极有可能存在。

对于河外星系的红移、旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性^[1-6]等现象，人们已经给出了多种解释。虽然这些解释各式各样，但它们都有一个共同的特征：它们都将这些现象视为宇宙尺度上的现象，认为这些现象的形成与宇宙的整体有关。

有了“微宇宙”概念后，我们不难看出，对于上述现象，还存在另外一类解释：我们可以将这些现象视为微宇宙中的现象，即我们可以认为这些现象的形成只与微宇宙有关。

对于上述现象，现在有了两类解释。虽然从表面上看，两类解释都是可行的，但实际上，后一类解释比前一类解释合理得多。因为如果将这些现象视为宇宙尺度上的现象，就必然会导致宇宙有诞生、消亡，宇宙呈球对称结构，或宇宙在自转等结论；而这些结论中的任何一条，包括已被人们普遍接受的宇宙有诞生的观

点，从逻辑学和哲学的角度看，都是存在问题的。而如果将这些现象视为微宇宙中的现象，情况就不同了：虽然这类解释会导致微宇宙有诞生、消亡，微宇宙呈球对称结构，或微宇宙在自转等结论；但由于微宇宙只是宇宙中的一个天体，所以这些结论不仅不会给我们带来任何逻辑学和哲学上的困难，反而还正好是我们所希望得到的结果。

既然将上述现象解释为微宇宙中的现象，比其它各种解释都合理得多，那就说明微宇宙极有可能是存在的。

(ii) 承认微宇宙存在，我们就可以获得一个全新的、具有若干突出优点的宇宙模型。

宇宙模型是我们认识宇宙、理解宇宙的桥梁。到目前为止，人们已经建立了许多宇宙模型，但其中还没有一个模型，其正确性是令人确信无疑的。那些已经遭到抛弃的模型自不必说；就连目前支持者最多的标准模型，也都存在许多没有解决的问题，其正确性都还远未获得证实。所以，我们一直在寻找的那个最终的、正确的宇宙模型，也许就是现有模型中的某个模型；也许还未被发现。在这种情况下，我们的宇宙学研究就有两个同等重要的方向：一是对现有的、有可能正确的那些模型进行完善、检验；一是去建立新的、有可能正确的模型。

由于现有宇宙模型都不正面支持微宇宙存在；所以只要承认微宇宙存在，我们就可以在此基础上建立起一类全新的宇宙模型。非常难得的是，在这类模型中存在一个模型（如第 9 部分所述），虽然我们不能断言它是正确的，但是我们可以肯定它确实具有若干优点，而且这些优点是现有各个宇宙模型所不具备的。

上面我们定义了一个新的天体——微宇宙，并阐明了给出这一定义的原因。那么：(i) 微宇宙是否真的存在呢？(ii) 如果微宇宙存在，它又有哪些性质呢？

开展微宇宙研究，找出上述两个问题的答案，具有重要的意义：

(i) 如果通过研究证明了微宇宙存在，并获得了它的各种性质，那么我们就发现并认识了一类特殊的天体；所以找出上述两个问题的答案，对于天文学可能具有重要的意义。

(ii) 如果研究结果证实微宇宙存在，那么我们就可以排除与这一结果相矛盾的宇宙模型，如标准模型、稳恒态模型等；如果研究结果证实微宇宙不存在，那么我们就可以排除与这一结果相矛盾的宇宙模型，如第 9 部分所描述的宇宙模型等。可见，找出上述两个问题的答案，对于宇宙学具有重要的意义。

(iii) 前面说过, 对于一些天文现象, 目前有两类解释: 一类是将它们解释为微宇宙中的现象; 一类是将它们解释为宇宙尺度上的现象。知道了微宇宙是否存在, 我们就能确定, 应该排除哪类解释。可见, 找出上述两个问题的答案, 对于弄清一些天文现象的成因, 具有重要的意义。

总之, 微宇宙是否存在, 有哪些性质的问题, 的确是两个值得我们深入研究的问题。本文的目的, 就是对这两个问题进行初步的探讨。

对于一般的天体, 要确定它是否存在, 有哪些性质, 最好的方法就是观测。可微宇宙不是一般的天体。从微宇宙的定义可知, 我们和我们目前所能观测到的所有星系, 都位于它的内部。在这种情况下, 要通过单一的观测去确定它是否存在, 有哪些性质, 是十分困难的。事实上, 要完成有关任务, 我们必须使用理论和观测相结合的方法。具体地说, 这种方法就是:

首先假设微宇宙存在, 然后在此基础上建立它的模型。如果能够找到一个微宇宙模型, 使得它与观测相符, 那我们就不仅证明了微宇宙是真实存在的, 而且还获得了它的正确模型, 获得了它的各种性质; 如果我们始终无法找到一个微宇宙模型, 使得它与观测相符, 那就说明微宇宙是不存在的。

假设微宇宙存在, 在此基础上, 本文首先通过对河外星系红移现象的分析, 提出了有关微宇宙的 4 条基本假设, 然后以这些假设为前提, 逻辑地推导出了有关微宇宙的一系列结果和两个预言, 从而比较完整地建立起了微宇宙的模型。通过细致的分析, 我们发现, 该模型不仅能够解释旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性^[1-6]等观测事实, 而且能够与现有的其余各种天文观测结果不冲突。这说明: 微宇宙极有可能是真实存在的; 该微宇宙模型极有可能是正确的。

1 微宇宙模型的观测基础

1.1 宇宙中天体的时空不均匀性

事实告诉我们, 宇宙中的所有天体都是不均匀的、演化的。而由微宇宙的定义知, 微宇宙是宇宙中的一个天体。故有:

推论 1 微宇宙在空间上是不均匀的, 在时间上是演化的。

由推论 1, 可得:

推论 2 同一时间, 位于微宇宙中不同地点的两个同种物体, 一般是有差别

的；微宇宙中的同一物体，在不同的两个时间，一般是有差别的。

例如：同一时间，位于微宇宙中不同地点的两个氢原子，一般是有差别的；微宇宙中的同一原子，在不同的两个时间，一般是有差别的。

须要注意的是：同一时间，位于微宇宙中不同地点的两个同种物体之间的差异，来自两个方面——一是由微宇宙的不均匀所引起的系统性差异，一是非系统性差异；微宇宙中的同一物体，在不同的两个时间之间的差异，来自两个方面——一是由微宇宙的演化所引起的系统性差异，一是非系统性差异。作为微宇宙理论，本文只考虑系统性差异。

1.2 河外星系的红移现象

河外星系的红移现象是我们所熟知的。根据推论 2 和这一现象，可以导出下述推论 3—5。这些推论将作为我们建立微宇宙模型的依据。

推论 3 在微宇宙中传播的光，波长不变。

设在河外星系、银河系中分别有原子 A 、 A_0 ，且 A 、 A_0 为同种原子。在过去的某一时刻 t ，原子 A 从能级 j 跃迁到能级 i ，发射出光子 γ ，光子 γ 此刻正好到达银河系。此刻，原子 A_0 从能级 j 跃迁到能级 i ，发射出光子 γ_0 。设光子 γ 刚被发射出来时的波长为 λ ，到达银河系时的波长为 λ' ，光子 γ_0 的波长为 λ_0 。则对于河外星系红移的成因，最简单的解释只有两种：

(i) 时刻 t 的原子 A 与此刻的原子 A_0 没有区别，光子 γ 刚被发射出来时的波长与光子 γ_0 的波长相同，即

$$\lambda = \lambda_0.$$

但由于某种原因，使得光子 γ 在到达银河系的过程中，波长增加了，即有

$$\lambda' > \lambda.$$

于是导致光子 γ 到达银河系时的波长大于光子 γ_0 的波长，即

$$\lambda' > \lambda_0,$$

从而产生了红移。

(ii) 由于某种原因, 使得时刻 t 的原子 A 与此刻的原子 A_0 有了差别, 从而使得光子 γ 刚被发射出来时的波长大于光子 γ_0 的波长, 即

$$\lambda > \lambda_0.$$

而光子 γ 在到达银河系的过程中, 波长并未发生改变, 即有

$$\lambda' = \lambda.$$

于是导致光子 γ 到达银河系时的波长大于光子 γ_0 的波长, 即

$$\lambda' > \lambda_0,$$

从而产生了红移。

那么, 上述哪种解释才是合理的呢? 根据推论 2 可知, 时刻 t 的原子 A 与此刻的原子 A_0 一般是有差别的, 二者所发射的光子的波长通常不同, 所以第 (ii) 种解释才是最合理的。根据第 (ii) 种解释, 我们可以立即得出结论:

在微宇宙中传播的光, 波长不变。

推论 4 同一时间, 离银河系越远的物体, 所发射的光子波长越大; 同一物体, 时间越晚, 所发射的光子波长越小。

设我们测得原子 A 的红移为 Z , 距离为 R ; 则据红移的定义有

$$Z = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0},$$

据推论 3 有

$$\lambda' = \lambda,$$

据 Hubble 定律, 在 R 不太大时, 有

$$Z = \frac{H_0}{c} R,$$

式中 H_0 为 Hubble 常数, c 为真空中的光速。于是, 综合上述 3 式得

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{H_0}{c} R. \quad (1)$$

式(1)表明: 若原子 A 在过去某一时刻所发射的光子 γ 此刻正好到达银河系, 则 A 与银河系的距离越大, γ 的波长越大。

用 a 、 a_1 、 a_2 表示原子，用 t 、 t_1 、 t_2 表示时间，用 $R(a,t)$ 表示原子与银河系的距离随原子和时间变化的函数，用 $\lambda(a,t)$ 表示原子所发射的光子的波长随原子和时间变化的函数。则对于上述结论所描述的现象，最简单的解释只有 3 种：

$$(i) \quad \begin{aligned} &\forall a_1 \forall a_2 \forall t (R(a_1, t) < R(a_2, t) \rightarrow \lambda(a_1, t) < \lambda(a_2, t)) \\ &\quad \wedge \forall a \forall t_1 \forall t_2 (\lambda(a, t_1) = \lambda(a, t_2)). \end{aligned}$$

即：同一时间，离银河系越远的原子，所发射的光子波长越大；同一原子，任意两个时间所发射的光子波长相同。

$$(ii) \quad \begin{aligned} &\forall a_1 \forall a_2 \forall t (\lambda(a_1, t) = \lambda(a_2, t)) \\ &\quad \wedge \forall a \forall t_1 \forall t_2 (t_1 < t_2 \rightarrow \lambda(a, t_1) > \lambda(a, t_2)). \end{aligned}$$

即：同一时间，任意两个原子所发射的光子波长相同；同一原子，时间越晚，所发射的光子波长越小。

$$(iii) \quad \begin{aligned} &\forall a_1 \forall a_2 \forall t (R(a_1, t) < R(a_2, t) \rightarrow \lambda(a_1, t) < \lambda(a_2, t)) \\ &\quad \wedge \forall a \forall t_1 \forall t_2 (t_1 < t_2 \rightarrow \lambda(a, t_1) > \lambda(a, t_2)). \end{aligned}$$

即：同一时间，离银河系越远的原子，所发射的光子波长越大；同一原子，时间越晚，所发射的光子波长越小。

那么，上述哪种解释才是合理的呢？根据推论 2 可知：同一时间，位于不同地点的原子，一般是有差别的，它们所发射的光子的波长通常不同；同一原子，在不同的时间，一般是有差别的，它在不同时间所发射的光子的波长通常不同。所以，第 (iii) 种解释才是最合理的。根据第 (iii) 种解释，再考虑到物体发光，其实就是构成它的原子发光，我们不难得出结论：

同一时间，离银河系越远的物体，所发射的光子波长越大；同一物体，时间越晚，所发射的光子波长越小。

推论 5 微宇宙物质以银河系为中心，呈球对称分布。

上面，根据河外星系的红移现象，我们导出了结论：同一时间，离银河系越远的物体，所发射的光子波长越大。因为相对于银河系，河外星系的红移是各向同性的，所以根据河外星系的红移现象，我们可以进一步得出结论：同一时间，与银河系距离相同的物体，所发射的光子波长相等。这两个结论说明：在微宇宙中，物体所发射的光子的波长以银河系为中心，呈球对称分布。据此，我们可以作出推断：

微宇宙物质以银河系为中心，呈球对称分布。

在上述推断中，微宇宙的球对称结构正是我们所希望的。因为对于宇宙中的天体来说，球对称结构是最简单、最自然的。只是我们银河系在微宇宙中的位置，显得有点特殊。不过，鉴于以下原因，我们认为这一结果是可以接受，并且必须接受的：

(i) 银河系只是宇宙中的一个普通“分子”，我们不应先验地认为它必须位于何处，也不应先验地认为它一定不能位于何处；否则，就过分地强调了它的重要性，犯了人类中心主义的错误。

(ii) 在宇宙中，包含银河系的天体有多个，甚至可能有无限多个——例如本星系群、本超星系团、微宇宙等，都是这样的天体。从概率论的角度看，银河系完全有可能位于其中某个天体的中心。

(iii) 观测（如 Sloan Digital Sky Survey 等）表明，相对于银河系中的观察者，微宇宙是近似各向同性的；所以，如果微宇宙物质呈球对称分布，那么银河系就只能位于微宇宙中心。

(iv) 没有任何一条科学法则，禁止银河系位于微宇宙中心。

(v) 没有任何一项观测结果，证明银河系不位于微宇宙中心。

(vi) 越是不平凡的论断，一旦被证明为真，就越有价值。

2 微宇宙模型的基本概念和基本假设

本模型涉及以下基本概念：

——物体的长度

——物体的周期 每一个物体内部都在进行着各种循环过程，每一种循环过程都有其周期，物体的周期就是这些周期的平均值。物体的周期是物体内部各种过程进行快慢的量度。

——物体的质量

有了上述概念，我们就可以提出本模型的基本假设了：

(i) 物体在任一时刻的长度（周期、质量），都与其在该时刻所发射的光子的波长（周期、质量）成正比。

(ii) 微宇宙物质以银河系为中心，呈球对称分布。

(iii) 同一时间，离微宇宙中心越远的物体，所发射的光子波长越大；同一

物体，时间越晚，所发射的光子波长越小。

(iv) 在微宇宙中传播的光，波长不变。

可以看出，基本假设 (ii)、(iii)、(iv) 分别是第 1 部分的推论 5、4、3；所以，基本假设 (ii) — (iv) 的合理性无须多说，我们只须对基本假设 (i) 的合理性进行解释。

我们知道，物体具有长度（周期、质量），物体所发射的光子具有波长（周期、质量）。那么，一个物体的长度（周期、质量），与其所发射的光子的波长（周期、质量）之间，有什么关系呢？对于这一问题，基本假设 (i) 给出了答案。

从逻辑上说，物体的长度（周期、质量），与其所发射的光子的波长（周期、质量）之间的关系，是不确定的。我们之所以信任基本假设 (i)，是因为：

(i) 在物体的长度（周期、质量），与其所发射的光子的波长（周期、质量）之间的，所有可能的关系中，该假设所描述的关系是最简单、最自然的；

(ii) (从第 3 部分知) 该假设从一个新的角度，刻画了实物与辐射的统一性。

当然，基本假设 (i) 是否正确，最终应由观测来确定。虽然目前还没有直接的观测证据支持该假设，但通过细致的分析，我们发现，建立在该假设（和其余 3 条假设）基础上的那些推论，是与现有的各种天文观测事实协调的。从这一点看，该假设是有间接观测基础的。

3 实物与辐射的统一性

物理学表明，实物与辐射存在紧密的联系和深刻的相似性。本文的基本假设 (i)，从一个新的角度，进一步揭示了实物与辐射的这种统一性。下面，我们就对基本假设 (i) 所揭示的实物与辐射的统一性，进行深入细致的分析。

3.1 物体与其所发射的光子之间的关系

设有物体 O ， O 中有原子 A ， A 在时刻 t 从能级 j 跃迁到能级 i ，发射出光子 γ_t 。设物体 O 在时刻 t 的长度、周期、质量分别为 $L(t)$ 、 $T(t)$ 、 $M(t)$ ，光子 γ_t 的波长、周期、质量分别为 $\lambda(t)$ 、 $\tau(t)$ 、 $m(t)$ 。则由基本假设 (i) 知

$$L(t) = C_1 \lambda(t), \quad (2)$$

$$T(t) = C_2 \tau(t), \quad (3)$$

$$M(t) = C_3 m(t). \quad (4)$$

式中 C_1 、 C_2 、 C_3 为与物体 O 的种属、原子 A 的种属、原子 A 的跃迁能级 i 、 j 有关的常数。即：在 O 的种属、 A 的种属、 A 的跃迁能级 i 、 j 几个参数中，只要其中一个发生变化， C_1 、 C_2 、 C_3 的取值就会随之发生改变；而一旦这几个参数完全确定， C_1 、 C_2 、 C_3 的取值也就完全确定了。

3.2 物体的长度、周期、质量之间的关系

由式(2)(3)得

$$\frac{L(t)}{T(t)} = \frac{C_1 \lambda(t)}{C_2 \tau(t)} = \frac{C_1}{C_2} c,$$

式中 c 为真空中的光速。令 $\frac{C_1}{C_2} c = C'_1$ ，得

$$L(t) = C'_1 T(t), \quad (5)$$

式中 C'_1 为与物体种属有关的常数。式(5)表明：物体在任一时刻的长度，都与其在该时刻的周期成正比。

由式(2)(4)得

$$L(t)M(t) = C_1 C_3 \lambda(t) m(t) = C_1 C_3 \frac{h}{c},$$

式中 h 为普朗克常数。令 $C_1 C_3 \frac{h}{c} = C'_2$ ，得

$$M(t) = \frac{C'_2}{L(t)}, \quad (6)$$

式中 C'_2 为与物体种属有关的常数。式(6)表明：物体在任一时刻的质量，都与其在该时刻的长度成反比。

由式(3)(4)得

$$T(t)M(t) = C_2 C_3 \tau(t) m(t) = C_2 C_3 \frac{h}{c^2}.$$

令 $C_2 C_3 \frac{h}{c^2} = C'_3$ ，得

$$M(t) = \frac{C'_3}{T(t)}, \quad (7)$$

式中 C'_3 为与物体种属有关的常数。式(7)表明：物体在任一时刻的质量，都与其在该时刻的周期成反比。

从式(5)—(7)可以看出，物体的长度、周期、质量之间的关系，与光子的波长、周期、质量之间的关系类似。

4 微宇宙的结构和演化

4.1 微宇宙的结构特征

用 $\lambda(R)$ 、 $\tau(R)$ 、 $m(R)$ 分别表示给定时刻，物体所发射的光子的波长、周期、质量，随物体与微宇宙中心的距离变化的函数；用 $L(R)$ 、 $T(R)$ 、 $M(R)$ 分别表示给定时刻，物体的长度、周期、质量，随物体与微宇宙中心的距离变化的函数。则由基本假设 (iii) 和光子的波长-周期关系、质量-波长关系知

$$\dot{\lambda}(R) > 0, \quad \dot{\tau}(R) > 0, \quad \dot{m}(R) < 0.$$

于是由基本假设 (i) 知

$$\dot{L}(R) > 0, \quad (8)$$

$$\dot{T}(R) > 0, \quad (9)$$

$$\dot{M}(R) < 0. \quad (10)$$

式(8)—(10)表明：同一时间，离微宇宙中心越远的物体，长度、周期越大，质量越小。

4.2 微宇宙的演化规律

设 O 为微宇宙中的物体， $\lambda(t)$ 、 $\tau(t)$ 、 $m(t)$ 分别为物体 O 所发射的光子的波长、周期、质量随时间变化的函数， $L(t)$ 、 $T(t)$ 、 $M(t)$ 分别为物体 O 的长度、周期、质量随时间变化的函数；则由基本假设 (iii) 和光子的波长-周期关系、

质量-波长关系知

$$\dot{\lambda}(t) < 0, \quad \dot{\tau}(t) < 0, \quad \dot{m}(t) > 0.$$

于是由式(2)—(4)知

$$\dot{L}(t) < 0, \tag{11}$$

$$\dot{T}(t) < 0, \tag{12}$$

$$\dot{M}(t) > 0. \tag{13}$$

式(11)—(13)表明：随着时间的流逝，物体 O 的长度、周期逐渐减小，质量逐渐增大。

随着时间的流逝，物体 O 的长度逐渐减小，简单地说，就是“物体 O 在收缩”。由 O 的任意性知，微宇宙中的所有物体都在收缩。于是，可以断定，整个微宇宙在收缩。即

$$\dot{\Phi}(t) < 0, \tag{14}$$

式中 $\Phi(t)$ 为微宇宙的直径随时间变化的函数。

现在讨论微宇宙中物体的收缩速度。设在河外星系、银河系中分别有物体 O 、 O_0 ，且 O 、 O_0 为同种物体；在物体 O 、 O_0 中分别有原子 A 、 A_0 ，且 A 、 A_0 为同种原子；在过去的某一时刻 t ，原子 A 从能级 j 跃迁到能级 i ，发射出光子 γ ，光子 γ 此刻正好到达银河系；此刻，原子 A_0 从能级 j 跃迁到能级 i ，发射出光子 γ_0 。设物体 O 在时刻 t 的长度为 L ，此刻的长度为 L' ，物体 O_0 此刻的长度为 L_0 ；光子 γ 、 γ_0 的波长分别为 λ 、 λ_0 ；我们测得原子 A 的距离为 R ；时刻 t 到此刻的时间间隔为 Δt 。我们用收缩率 p ，

$$p = \left| \frac{L' - L}{L} \right| = \frac{L - L'}{L},$$

来表示从时刻 t 到现在这段时间内，物体 O 的相对收缩量。因由式(8)、(11)知

$$L > L_0, \quad L' > L_0,$$

故

$$p < \frac{L-L_0}{L_0};$$

因由式(2)知

$$\frac{L}{L_0} = \frac{\lambda}{\lambda_0},$$

故

$$p < \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0};$$

于是由式(1)有

$$p < \frac{H_0}{c} R.$$

作为估算，我们把空间看成是静态的，即不考虑微宇宙整体的收缩。因在这种情况下，有

$$\frac{R}{c} = \Delta t,$$

故

$$p < H_0 \Delta t.$$

若我们用收缩速度 s ，

$$s = \frac{p}{\Delta t},$$

来表示从时刻 t 到现在这段时间内，物体 O 的收缩快慢，则有

$$s < \frac{H_0 \Delta t}{\Delta t} = H_0.$$

取 $H_0 = 70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ ，得

$$s < 7.15 \times 10^{-11} / \text{年}. \quad (15)$$

上式表明：离银河系不太远的物体，在时刻 t 到现在这段时间内，每年的相对收缩量小于 7.15×10^{-11} 。

微宇宙中的物体是构成整个微宇宙的基石，这些物体一定比微宇宙更稳定；所以，虽然微宇宙和微宇宙中的物体都在收缩，但是微宇宙的收缩速度，必定大于微宇宙中的物体的收缩速度，即

$$\dot{\Phi}(t) < \dot{L}(t). \quad (16)$$

5 微力及其性质

构成微宇宙的所有星系都在辐射电磁波，星系与星系之间由于辐射压的存在而具有斥力。如果这些星系之间没有吸引性的力，那么它们就会相互远离，微宇宙就会解体。可由式(14)知微宇宙在不断收缩，即构成微宇宙的各个星系在相互靠近，所以这些星系之间必定存在某种吸引性的力。那么，这是一种什么力呢？

显然，它不是强力、电磁力和弱力。可以证明，它也不是引力。因为如果它是引力，那就说明微宇宙中存在一个明显的向心引力场。在该场的作用下，在微宇宙中传播的光，波长就会发生显著的改变，这样就会与基本假设 (iv) 矛盾。既然它不是 4 种基本作用力中的任何一种力，那么它一定是一种新的基本作用力，我们将其称为微力。

微力具有如下基本性质：

(I) 微力不作用于辐射。显然，在微宇宙中存在一个向心微力场。如果微力能够作用于辐射，那么在微宇宙中传播的光，波长就会发生改变，这样就会与基本假设 (iv) 矛盾。

(II) 微力作用于实物。微宇宙能够存在，并不断地收缩，都是微力作用的结果。所以，对于微宇宙中的辐射和实物，微力至少应作用于其中的一种。既然微力不作用于辐射，那它一定作用于实物。

(III) 是一种吸引性的力。

(IV) 力程不小于微宇宙的直径。是微力将组成微宇宙的物质束缚在一起，所以我们推断，微力的力程不小于微宇宙的直径。

(V) 在星系团及其以下尺度上没有明显效应。

下面以两个典型尺度为例，证明在星系团及其以下尺度上，微力没有明显效应。

(i) 在太阳系尺度上，微力没有明显效应

现在我们知道，使得行星围绕太阳公转的力除了引力外，还有微力。设行星受到太阳的引力为 F_G ，微力为 F_M ，行星的质量为 m ，加速度为 a ，则有

$$F_G + F_M = ma.$$

这样，若设太阳的质量为 M_\odot ，行星的轨道半径为 r ，速度为 v ，则有

$$G \frac{M_{\odot} m}{r^2} + F_M = m \frac{v^2}{r},$$

式中 G 为万有引力常数。于是有

$$M_{\odot} = \frac{rv^2}{G} - \frac{r^2}{Gm} F_M. \quad (17)$$

若将微力的效应归功于引力，即把行星的公转完全看成是由太阳引力维持的，就像我们曾经所做的那样，则应有

$$F_G = ma,$$

即

$$G \frac{M_{\odot} m}{r^2} = m \frac{v^2}{r},$$

亦即

$$M_{\odot} = \frac{rv^2}{G}. \quad (18)$$

因为微力不作用于辐射，所以本理论中计算太阳边缘星光偏折角的方法，应该与过去一样。设该偏折角为 α ，太阳的半径为 r_{\odot} ，则有

$$\alpha = \frac{4GM_{\odot}}{c^2 r_{\odot}}, \quad (19)$$

式中 c 为真空中的光速。

将来自式(17)的 M_{\odot} 代入式(19)，可得一偏折角，我们把该角记为 α_{GM} ；将来自式(18)的 M_{\odot} 代入式(19)，可得一偏折角，我们把该角记为 α_G ；另外，我们把实测所得的偏折角记为 α_{obs} 。不难看出，从理论上说应有 α_{GM} 与 α_{obs} 一致，即

$$\alpha_{GM} \sim \alpha_{obs}, \quad (20)$$

可观测又指出 α_{obs} 与 α_G 一致^[7-11]，即

$$\alpha_{obs} \sim \alpha_G;$$

故

$$\alpha_{GM} \sim \alpha_G.$$

上式说明，据式(17)得出的 M_{\odot} ，与据式(18)得出的 M_{\odot} 一致；故

$$\frac{rv^2}{G} - \frac{r^2}{Gm} F_M \sim \frac{rv^2}{G},$$

即

$$F_M \sim 0.$$

这样，我们便证明了：在太阳系尺度上，微力没有明显效应。

(ii) 在星系团尺度上，微力没有明显效应

假设星系团内介质处于球对称的流体静力学平衡状态，并且这种平衡是引力与气体压力竞争的结果，在此基础上根据星系团的 X 射线观测数据，我们可以求得星系团的 X 射线流体静力学质量 M_X ，就像人们一直以来所做的那样；假设经过星系团的来自背景天体的光线偏折完全是由引力造成的，在此基础上根据引力透镜观测数据，我们可以求得星系团的引力透镜质量 M_{GL} ，就像人们一直以来所做的那样。

因为将星系团物质束缚在一起的力除了引力外，还有微力，所以在求取 M_X 时，人们把微力的效应也当成了引力的效应，引力的效应被人为增强了；因此人们求得的质量 M_X ，必定大于星系团的真实质量 M_{REAL} ，即

$$M_X > M_{REAL}.$$

因为微力不作用于辐射，所以使得经过星系团的光线发生偏折的力，确实只有引力；因此人们求得的质量 M_{GL} ，就是星系团的真实质量 M_{REAL} ，即

$$M_{GL} = M_{REAL}.$$

故有

$$M_X > M_{GL}.$$

上述分析说明：由于人们在求取 M_X 时，把微力的效应当成了引力的效应，所以有 $M_X > M_{GL}$ ，即 $M_X/M_{GL} > 1$ 。同时，从上述分析不难看出：微力的效应越弱， M_X/M_{GL} 的值越接近于 1；微力的效应越明显， M_X/M_{GL} 的值越大。

因为微力的效应越弱， M_X/M_{GL} 的值越接近于1，所以当微力的效应足够弱时，我们将无法观测到 $M_X > M_{GL}$ ；因为微力的效应越明显， M_X/M_{GL} 的值越大，所以当微力的效应足够明显时，我们一定会观测到 $M_X > M_{GL}$ 。后一结论即是说，如果我们没有观测到 $M_X > M_{GL}$ ，那就表明微力的效应不明显。

迄今为止，人们已经测得了许多星系团的 X 射线流体静力学质量 M_X 和引力透镜质量 M_{GL} 。结果表明，对于少数星系团有 $M_X > M_{GL}$ ，对于多数星系团有 $M_X \leq M_{GL}$ [12—19]。也就是说，在统计意义上，观测并不支持 $M_X > M_{GL}$ 。这就说明，在星系团尺度上，微力没有明显效应。

6 微宇宙的形成

从第 4 部分可知，微宇宙的结构特征、演化规律与恒星的结构特征、演化规律十分相似；从第 5 部分可知，微宇宙形成、演化的动力与恒星形成、演化的动力具有很好的可比性。微宇宙与恒星的这些共同点表明，它们的形成过程必定是相似的。

考虑一大片均匀“气体”，这种“气体”的“分子”是星系。这片“气体”具有微小的密度起伏。即：在有的区域，“气体”的密度相对较高；在有的区域，“气体”的密度相对较低。在微力的作用下，那些密度较高且尺度足够大的区域，密度将会变得更大。这种正反馈使得这些区域的密度越来越大，最后形成许多密度比“气体”平均密度高出若干量级的团块。我们的微宇宙起初就是这些团块之一。

7 微宇宙的自转

由式(14)知微宇宙在收缩。如果构成微宇宙的各个物体的质量恒定不变，并且微宇宙起初存在自转；那么随着时间的流逝，微宇宙的转动惯量就会越来越小，角速度就会越来越大。可是事实上，构成微宇宙的各个物体的质量并非恒定不变。由式(13)知，微宇宙中的物体的质量是随着时间的流逝而增大的。不过，尽管如此，我们还是能够证明：如果微宇宙在诞生时存在自转；那么它的转动惯量一定

会越来越小，角速度一定会越来越大。也就是说，只要微宇宙最初的角速度不严格为零，那么它目前就会有明显的自转。

把微宇宙看成是由 n 个物体 O_1, O_2, \dots, O_n 组成。对于任意的自然数 i ($1 \leq i \leq n$) 和任意的两个时刻 t_1, t_2 ($t_1 < t_2$)，若用 M_{i1}, M_{i2} 分别表示物体 O_i 在时刻 t_1, t_2 的质量，用 L_{i1}, L_{i2} 分别表示物体 O_i 在时刻 t_1, t_2 的长度；则由式(6)知

$$\frac{M_{i1}}{M_{i2}} = \frac{L_{i2}}{L_{i1}}.$$

设微宇宙诞生时存在自转。若用 R_{i1}, R_{i2} 分别表示物体 O_i 在时刻 t_1, t_2 与微宇宙自转轴的距离，用 J_{i1}, J_{i2} 分别表示物体 O_i 在时刻 t_1, t_2 绕微宇宙自转轴旋转的转动惯量；则由转动惯量的定义知

$$\frac{J_{i1}}{J_{i2}} = \frac{M_{i1} R_{i1}^2}{M_{i2} R_{i2}^2}.$$

故

$$\frac{J_{i1}}{J_{i2}} = \frac{L_{i2}}{L_{i1}} \frac{R_{i1}^2}{R_{i2}^2}.$$

又由式(16)知

$$\frac{R_{i1}}{R_{i2}} > \frac{L_{i1}}{L_{i2}},$$

故

$$\frac{J_{i1}}{J_{i2}} = \frac{L_{i2}}{L_{i1}} \left(\frac{R_{i1}}{R_{i2}} \right)^2 > \frac{L_{i2}}{L_{i1}} \left(\frac{L_{i1}}{L_{i2}} \right)^2 = \frac{L_{i1}}{L_{i2}}.$$

再由式(11)知

$$\frac{L_{i1}}{L_{i2}} > 1,$$

故

$$J_{i1} > J_{i2}.$$

用 J_1, J_2 分别表示微宇宙在时刻 t_1, t_2 的转动惯量。因上式对所有自然数 i

($1 \leq i \leq n$) 成立，故

$$J_1 = \sum J_{i1} > \sum J_{i2} = J_2. \quad (21)$$

用 ω_1 、 ω_2 分别表示微宇宙在时刻 t_1 、 t_2 的角速度。因微宇宙在收缩过程中角动量守恒，故

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2.$$

于是得

$$\omega_1 < \omega_2. \quad (22)$$

上述分析表明，如果微宇宙在诞生时存在自转，那么随着时间的流逝，它的角速度将会越来越大。也就是说，只要微宇宙最初的角速度不严格为零，那么它目前就会有明显的自转。

8 微宇宙模型的预言和观测证据

8.1 微宇宙物质的大范围高速度流动

在天文学中，人们把宇宙物质的大范围、高速度流动称为“Bulk Flow”（BF）或“Dark Flow”（DF）。到目前为止，已有许多基于观测数据的分析申明，宇宙中存在 BF^[20—26]。但通过细致的考察，我们发现，所有的这些分析都是模型相关的。在这些分析中，每一种分析都依赖于若干假设条件，而其中任何一种分析所依赖的假设条件，都无法全部在本微宇宙模型中成立。也就是说，这些分析所得出的结论，在我们的模型中未必成立。所以，从我们的角度看，BF 并不是一种已经被人们观测到了的对象，BF 的存在性并没有得到观测证实。

因为微宇宙为一球体，且构成它的星系都在不停地辐射电磁波；所以在微宇宙中一定存在大量的、从内而外的能量流动。在此能量流的推动下，微宇宙中的物质不可能是完全静态的，它们必然会有显著的流动。这种流动在以宇宙学原理为基础的那些模型——例如大爆炸宇宙模型中是不允许的。所以，如果将来的观测证实在我们周围的空间中，确实存在尺度很大、流动很快的 BF；那对于我们的理论来说，将是很好的证明，而对于那些以宇宙学原理为基础的理论来说，则是强烈的否定。

8.2 类微宇宙的存在性

由第 6 部分知，在微宇宙之外，存在与微宇宙同层次的天体。我们将这些天体称为类微宇宙。

由于某些原因，也许我们永远也无法直接观测到类微宇宙。这些原因例如：

- (i) 类微宇宙发出的光，在我们观测时还未到达银河系；
- (ii) 类微宇宙发出的光，在到达银河系的途中受到了阻挡。

那么，如果我们将来能够有幸观测到类微宇宙，它们又将具有哪些观测特征呢？假设类微宇宙与微宇宙具有相似的性质，再考虑到光速的有限性，我们不难推出：

- (i) 类微宇宙的像为一个光点或一个光盘；
- (ii) 类微宇宙中的不同星系，一般具有不同的红移，并且这些星系红移的平均值，远远大于微宇宙中各星系红移的平均值；
- (iii) 若类微宇宙具有光变现象，则其光变周期必定很长（不短于光穿过类微宇宙所需的时间）；
- (iv) 类微宇宙具有周“日”视运动，这种视运动是由微宇宙自转造成的。

上面列举了类微宇宙的一些观测特征。如果将来我们观测到了具有这些特征的天体，那就说明我们观测到了类微宇宙。一旦观测到了类微宇宙，那我们就不完全证实了微宇宙的存在性，而且在很大程度上证实了该微宇宙模型的正确性。

8.3 旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性

通过分析来自斯隆数字巡天（Sloan Digital Sky Survey）的 15158 个旋涡星系数据，以及来自南方星系自转方向目录（A Catalog of Spin Orientation of Southern Galaxies）的 8287 个旋涡星系数据，Michael J. Longo 发现，在我们周围的天空中，旋涡星系自转方向的分布具有偶极各向异性。即：朝大致北银极的方向观察，超过一半的旋涡星系是顺时针旋转的；朝大致南银极的方向观察，超过一半的旋涡星系是逆时针旋转的^[1-5]。Longo 的这一发现，得到了 Lior Shamir 的进一步证实^[6]。

对于 Longo 发现的现象，我们不难作出解释。

粗略地说，该现象的产生与微宇宙的自转有关。微宇宙的自转与地球的自转很相似。了解了地球的自转，就很容易理解与微宇宙自转有关的那些概念，很容

易导出与微宇宙自转有关的那些结论。所以，下面直接使用与微宇宙自转有关的一些概念和结论，而不对它们进行定义和证明。

由于微宇宙在自转，所以在微宇宙中作水平运动的物体，要受到微宇宙自转偏向力 \mathbf{f} 的作用。 \mathbf{f} 的大小

$$f = 2mv\omega \sin \varphi.$$

式中 m 为物体质量， v 为物体运动速度的大小， ω 为微宇宙自转角速度的大小， φ 为物体所处纬度。 \mathbf{f} 的方向与物体所处的位置有关：当物体位于微宇宙北半球时， \mathbf{f} 垂直于物体运动方向水平向右；当物体位于微宇宙南半球时， \mathbf{f} 垂直于物体运动方向水平向左。

由式(16)知，星系的收缩速度小于微宇宙的收缩速度。也就是说，相对于微宇宙来说，星系是膨胀的，组成星系的物质具有一个从内向外的速度分量。所以，若一个旋涡星系位于微宇宙赤道面之外，则它必然受到微宇宙自转偏向力 \mathbf{f} 的作用。对于一个盘面不平行于我们视线方向的旋涡星系来说，若它位于微宇宙北半球，则 \mathbf{f} 将促使它逆时针旋转；若它位于微宇宙南半球，则 \mathbf{f} 将促使它顺时针旋转。

假设微宇宙的自转方向与银河系的自转方向大致相反；则因微宇宙以银河系为中心，故微宇宙的南、北半球分别与银盘以北、以南的天球大致重叠。所以，大体上讲， \mathbf{f} 将促使银盘平面以北的旋涡星系顺时针旋转，促使银盘平面以南的旋涡星系逆时针旋转。

假设在微宇宙诞生时，微宇宙中各个旋涡星系的自转方向是随机的，则 \mathbf{f} 最终会使得：在银盘以北的天球中，顺时针旋转的旋涡星系明显多于逆时针旋转的旋涡星系；在银盘以南的天球中，情况相反。

不难看出，上述结论所描述的，正是 Longo 发现的现象。这说明，只要假设微宇宙的自转方向与银河系的自转方向大致相反，本模型就能解释 Longo 的发现。

9 结论和讨论

设 B 为宇宙中的一个天体，若 B 包含总星系，且 B 中的任何天体，都不包含总星系，则称 B 为微宇宙。

假设微宇宙存在，在此基础上，我们借鉴公理化方法建立了它的模型。结果表明：(i) 微宇宙呈球形，且在不断收缩和自转；(ii) 使得微宇宙形成和收缩的是一种新的基本作用力——微力。

该微宇宙模型简单、自然。它不仅能够解释河外星系的红移、旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性^[1-6]等观测事实，而且能够与现有的其余各种天文观测结果不冲突。这说明：(i) 微宇宙极有可能是真实存在的；(ii) 该微宇宙模型极有可能是正确的。

不难看出，在建立微宇宙模型的同时，我们还提出了一种宇宙模型。概括起来，该宇宙模型包含如下基本观点：

(i) 宇宙由微宇宙和无数类微宇宙构成。

(ii) 微宇宙和类微宇宙具有球对称结构，且在持续收缩和自转。

(iii) 使得微宇宙和类微宇宙形成、收缩的力，是微力。

(iv) 我们和我们目前所能观测到的所有星系，都位于微宇宙之中。

(v) 我们观测到的许多现象——例如河外星系的红移、旋涡星系自转方向分布的偶极各向异性^[1-6]等——都是微宇宙中的现象，而不是宇宙尺度上的现象。这些现象直接反映的是微宇宙的性质和状态，而不是宇宙的性质和状态。它们的形成与微宇宙有关，与宇宙的整体无关。

对于上述宇宙模型，我们最关心的是：它正确吗？遗憾的是，对于这一问题，目前我们还无法给出明确的答案。所以，我们只能问一个与此相关，但又更容易回答的问题：该模型有哪些优点，又有哪些不足之处呢？

我们认为，该宇宙模型的主要优点有：

(i) 既能保持宇宙整体上的均匀、各向同性和静态，使得整个宇宙图景符合我们对于宇宙的原始直觉；又能通过微宇宙的球对称结构、收缩和自转去解释有关现象。有的宇宙模型，例如爱因斯坦的静态模型，能够保持宇宙的均匀、各向同性和静态，但却无法与观测相符；有的宇宙模型，例如大爆炸模型，能够较好地与观测相符，但又无法保持宇宙的均匀、各向同性和静态。而我们的模型，则较好地继承了这两类模型的优点。

(ii) 具有高度的对称性。不难看出，微宇宙、类微宇宙的结构特征、演化方式、运动状态、受力情况，与恒星、行星的结构特征、演化方式、运动状态、受力情况十分相似。如果我们再合理地假设，在微力的作用下，微宇宙、类微宇

宙能够进一步形成类似太阳系、星系等的结构，那么我们就能够得到一个具有高度对称性的宇宙模型。在这一模型中，宇宙具有彼此十分相似的 3 个层次：

——微观层次：该层次的典型结构有原子核、电子、原子、分子等。在该层次上起作用的力是强力、电磁力、弱力。

——宏观层次：该层次的典型结构有恒星、行星、恒星-行星系统、星系等。在该层次上起作用的力是引力。

——宇观层次：该层次的典型结构有微宇宙、类微宇宙，以及由微宇宙、类微宇宙构成的类似太阳系、星系等的结构。在该层次上起作用的力是微力。

(iii) 能够与现有的各种天文观测结果相容。特别是，能够与近年来发现的各种宇宙各向异性现象相容。

该宇宙模型的主要不足之处是：由于观测数据有限，所以该模型对于宇宙的描述，在有些方面还只能做到定性，无法做到定量。

综上所述，该宇宙模型的优点是主要的，缺点是次要的。这种优缺点的对比表明，对该模型进行进一步的研究，是很有必要的。

参考文献

- [1] Longo M J. Detection of a dipole in the handedness of spiral galaxies with redshifts $z \sim 0.04$ [J]. Phys Lett B, 2011, 699(4): 224-229.
- [2] Longo M J. Evidence for a preferred handedness of spiral galaxies[EB/OL]. arXiv: 0904.2529. [2009-4-16]. <https://arxiv.org/abs/0904.2529>
- [3] Longo M J. Does the Universe have a handedness? [EB/OL]. arXiv: 0812.3437. [2008-12-18]. <https://arxiv.org/abs/0812.3437>
- [4] Longo M J. Evidence for a preferred handedness of spiral galaxies[EB/OL]. arXiv: 0707.3793. [2007-7-25]. <https://arxiv.org/abs/0707.3793>
- [5] Longo M J. Does the Universe have a handedness[EB/OL]. arXiv: astro-ph/0703325. [2007-8-29]. <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0703325>
- [6] Shamir L. Handedness asymmetry of spiral galaxies with $z < 0.3$ shows cosmic parity violation and a dipole axis[J]. Phys Lett B, 2012, 715(1): 25-29.
- [7] Shapiro S S, Davis J L, Lebach D E, et al. Measurement of the solar

- gravitational deflection of radio waves using geodetic very-long-baseline interferometry data, 1979-1999[J]. *Phys Rev Lett*, 2004, 92(12): 121101.
- [8] Lebach D E, Corey B E, Shapiro I I, et al. Measurement of the solar gravitational deflection of radio waves using very-long-baseline interferometry[J]. *Phys Rev Lett*, 1995, 75(8): 1439-1442.
- [9] Fomalont E B, Sramek R A. Measurements of the solar gravitational deflection of radio waves in agreement with general relativity[J]. *Phys Rev Lett*, 1976, 36: 1475-1478.
- [10] Riley J M. A measurement of the gravitational deflection of radio waves by the Sun during 1972 October[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 1973, 161: 11P-14P.
- [11] Hill J M. A measurement of the gravitational deflection of radio waves by the Sun[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 1971, 153: 7P-11P.
- [12] Hoekstra H, Herbonnet R, Muzzin A, et al. The Canadian Cluster Comparison Project: detailed study of systematics and updated weak lensing masses[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2015, 449(1): 685-714.
- [13] Zhang Y-Y, Okabe N, Finoguenov A, et al. LoCuSS: a comparison of cluster mass measurements from XMM-Newton and Subaru - testing deviation from hydrostatic equilibrium and non-thermal pressure support[J]. *Astrophys J*, 2010, 711(2): 1033-1043.
- [14] Hicks A K, Ellingson E, Hoekstra H, et al. Multiwavelength mass comparisons of the $z \sim 0.3$ CNOC cluster sample[J]. *Astrophys J*, 2006, 652(1): 232-248.
- [15] Simet M, Battaglia N, Mandelbaum R, et al. Weak lensing calibration of mass bias in the REFLEX+BCS X-ray galaxy cluster catalogue[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2017, 466(3): 3663-3673.
- [16] Israel H, Reiprich T H, Erben T, et al. The 400d Galaxy Cluster Survey weak lensing programme. III. Evidence for consistent WL and X-ray masses at $z \approx 0.5$ [J]. *Astron Astrophys*, 2014, 564: A129.
- [17] Riemer-Sørensen S, Paraficz D, Ferreira D D M, et al. Resolving the discrepancy between lensing and X-ray mass estimates of the complex galaxy cluster Abell 1689[J]. *Astrophys J*, 2009, 693(2): 1570-1578.

- [18] Mahdavi A, Hoekstra H, Babul A, et al. Evidence for non-hydrostatic gas from the cluster X-ray to lensing mass ratio[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2008, 384(4): 1567-1574.
- [19] Hoekstra H. A comparison of weak-lensing masses and X-ray properties of galaxy clusters[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2007, 379(1): 317-330.
- [20] Atrio-Barandela F, Kashlinsky A, Ebeling H, et al. Probing the dark flow signal in WMAP 9-year and Planck cosmic microwave background maps[J]. *Astrophys J*, 2015, 810(2): 143.
- [21] Mathews G J, Rose B M, Garnavich P M, et al. Detectability of cosmic dark flow in the type Ia supernova redshift-distance relation[J]. *Astrophys J*, 2016, 827(1): 1-11.
- [22] Kashlinsky A, Atrio-Barandela F, Ebeling H. Measuring bulk motion of X-ray clusters via the kinematic Sunyaev-Zeldovich effect: summarizing the "dark flow" evidence and its implications[EB/OL]. arXiv: 1202.0717. [2012-2-2]. <https://arxiv.org/abs/1202.0717>
- [23] Scrimgeour M I, Davis T M, Blake C, et al. The 6dF Galaxy Survey: bulk flows on 50-70 h^{-1} Mpc scales[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2016, 455(1): 386-401.
- [24] Hoffman Y, Courtois H M, Tully R B. Cosmic bulk flow and the local motion from Cosmicflows-2[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2015, 449(4): 4494-4505.
- [25] Hong T, Springob C M, Staveley-Smith L, et al. 2MTF - IV. A bulk flow measurement of the local Universe[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2014, 445(1): 402-413.
- [26] Ma Y-Z, Pan J. An estimation of local bulk flow with the maximum-likelihood method[J]. *Mon Not R Astron Soc*, 2014, 437(2): 1996-2004.