

暗物质源于真空密度梯度

Dark matter originates from vacuum density gradient

叶明山

中国南昌市

电子邮箱: yemingshan2006@163.com

摘要: 根据光线引力弯曲现象, 推论真空是一种具有引力的可压缩的流体。普通物质对真空的引力作用使得普通物质周围的真空产生密度梯度, 离普通物质越近处的真空密度越大, 从而该处真空引力质量越大, 形成所谓“暗物质”。据此可以描述暗物质在各种天体系统中的分布状况, 解释与暗物质有关的各种现象, 并且可以自然的导出修正牛顿动力学理论(MOND), 揭示 MOND 不足之处的根源。

Abstract : According to the gravitational bending phenomenon of light, it is inferred that vacuum is a compressible fluid with gravity. The gravitational effect of ordinary matter on vacuum makes the vacuum around ordinary matter produce a density gradient. The closer to ordinary matter, the greater the vacuum density, so the greater the vacuum gravitational mass, forming the so-called "dark matter". Based on this, we can describe the distribution of dark matter in various celestial systems, explain various phenomena related to dark matter, and naturally derive the modified Newton dynamics theory (MOND).

关键词: 真空 可压缩流体 密度梯度 暗物质 MOND

1 引言 (. Introduction)

从上世纪 20 年代起, 陆续发现在星系、星系群、星系团等各种大型天体系统中, 观测到的动力学质量远大于光学质量, 为此需要假设在这些天体系统中存在大量不发光的暗物质。暗物质的候选者有很多种, 其中比较被看好的是冷暗物质模型中具有弱相互作用的大质量粒子 (WIMP)。然而, 至今从未捕捉到这种暗物质粒子。于是有人提出并不存在什么暗物质, 而是现今的引力理论或者动力学理论需要修改。但是这类理论不是基于第一性原理, 而是一些经验公式, 而且在处理星系团运动及碰撞还有宇宙大尺度结构等问题时表现不佳。目前来看, 暗物质粒子理论和修正引力理论各有其优点, 又各自存在严重不足。

本文提出一种“真空暗物质”假说, 既不需要假设存在某种暗物质粒子, 也不用修改引

力理论或动力学理论，不仅可以解释各种暗物质现象，而且可以自然导出修正牛顿动力学理论(MDND)。

2 “真空暗物质”假说 (Vacuum dark matter hypothesis)

2.1 “光线引力弯曲”的一个推论 (A corollary of "gravitational bending of light")

“真空暗物质”假说的重要证据之一是光线引力弯曲现象。广义相对论认为光线引力弯曲是因为光线在弯曲的时空中运动。但是，也有科学家认为这是因为引力使真空的折射率改变了。我们按照这个思路继续推论：真空折射率改变是缘于普通物质的引力使真空密度改变。这样看来，真空与普通物质之间存在引力相互作用，真空是一种具有引力的可压缩的流体。当真空密度均匀时，其引力相互抵消。但是，普通物质的引力使周围真空产生了密度梯度，使得这部分真空有了可观测的引力作用，于是就产生了所谓“暗物质”。

2.2 真空暗物质假说的基本公式 (Basic formula of vacuum dark matter hypothesis)

普通物质与周围真空任意一点的引力作用，使得该点密度增加，且增加值(即暗物质密度值 Dark matter density value) ρ_D 与普通物质 (Baryonic matter) 的质量 M 成正比，与距离平方 r^2 反比：

$$\rho_D = k \frac{M}{r^2} \quad (2.1)$$

式中 k 是比例常数 (proportionality constant)，其值可以根据对银河系的相关观测数据估计为 $2 \times 10^{-22} m^{-1}$ 。从量纲来看， k 相当于一个特定半径值的倒数，这里暂时把这个特定半径称为临界半径。设这个临界半径 (The critical radius) 为 r_k ，则

$$r_k = 1/k \approx 5 \times 10^{21} m。$$

(这里的比例常数 k 值很小，表明真空暗物质的密度很小。我们可以把真空暗物质的密度与质子的密度比较一下。质子密度 (Proton density) $\rho_p \approx 3m_p / 4\pi r_p^3$ ， $r_p \approx 0.8 \times 10^{-15}$ 米，而质子周围真空暗物质的密度 (Dark matter density value) $\rho_D = km_p / r_p^2$ ， $\rho_D / \rho_p = 4\pi k r_p / 3 \approx 7 \times 10^{-37}$ 。这个比值比万有引力与强力的强度之比要大一些。这可能是由于不仅普通物质对周围真空的引力作用会使得真空密度增加，真空暗物质的引力作用也会使得自

身密度继续增加，直至引力与压力达到平衡为止。此外，还可能有其他原因。例如，质子的质量半径可能小于电荷半径，银河系的质量比目前估计的要大，等等。)

如果把真空看成一层层以普通物质质心为中心、厚度为 dr 的球壳，那么半径为 r 的真空球壳中产生的暗物质的引力质量是 (Gravitational mass of dark matter produced in a vacuum spherical shell with radius r)

$$m_D = k \frac{M}{r^2} 4\pi r^2 dr = 4\pi k M dr \quad (2.2)$$

式 (2.2) 表明，每层真空球壳中产生的暗物质的引力质量是相等的。在距离普通物质质心 r 处，真空暗物质总引力质量是 (At the distance r from the center of mass of ordinary matter, the total gravitational mass of vacuum dark matter is)

$$m_D = 4\pi k M \int_0^r dr = 4\pi k M r \quad (2.3)$$

因此，暗物质是以普通物质为中心，随半径线性增加的。普通物质周围的暗物质晕一直伸展到该普通物质的引力与旁边其他普通物质的引力相抵消的地方。

这样，加上真空暗物质的引力后，两个质量分别为 M_1 和 M_2 ，且 $M_1 \gg M_2$ (因为任何一个物体的引力场都会影响附近其他物体周围暗物质的分布密度，而两个物体的质量大小如果比较接近，则这种影响不可忽略)，则 M_1 对 M_2 的引力是

$$F = \frac{GM_1 M_2}{r^2} (1 + 4\pi k r) \quad (2.4)$$

式中， G 是万有引力常数。如果 M_2 围绕 M_1 作稳定的圆周轨道运动，则所需的向心力是

$$\frac{M_2 v^2}{r} = \frac{GM_1 M_2}{r^2} (1 + 4\pi k r) \quad (2.5)$$

式中， v 是轨道运动的线速度。随着轨道半径增大，使得 $4\pi k r$ 远大于 1 时，轨道运动的速度平方就近似地只与 M_1 引力质量成正比，而几乎不随半径变化，近似一个常数。即

$$v^2 \approx 4\pi k G M_1 \quad (2.6)$$

可见，真空暗物质的分布是以普通物质为中心，并线性地随半径增加的。在小的空间尺度上，真空暗物质数量很少，可忽略不计。但是随着半径的继续增加，真空暗物质总量终将大大超过普通物质总量。

3 天体系统中的暗物质 (Dark matter in celestial systems)

3.1 真空暗物质与普通物质的引力质量之比 (The ratio of the gravitational mass of vacuum dark matter to ordinary matter)

暗物质总是伴随在普通物质周围，一方面，暗物质的密度非常小，另一方面，暗物质的质量随半径增加而增加。根据 (2.3) 式，可以估算在某个范围内的暗物质质量 m_D 与普通物质质量 M 之比：

$$m_D/M = 4 \pi k M r / M = 4 \pi k r \quad (3.1)$$

在地球上，这个比值小于 10^{-14} ；在太阳系，这个比值小于 10^{-8} ，都可以忽略不计。只有达到星系这样的尺度，暗物质所占比例才不可忽视。

3.2 星系、星系团中的暗物质 (Dark matter in galaxies, galaxy clusters)

对于椭圆星系(Elliptical galaxies)，如果把它近似地看作一个均匀的球体，那么其内部的暗物质密度(Dark matter density)是

$$\rho_D = \rho \cdot k \frac{4\pi r^3}{3r^2} = \rho \frac{4\pi k r}{3} \quad (3.2)$$

式中 ρ 是普通物质的密度。可见，均匀球状天体内部暗物质的分布密度与半径成正比。

而球状天体中的暗物质的质量(Mass of dark matter)则是

$$m_D = M \cdot \pi k r \quad (3.3)$$

质光比(Mass luminosity ratio)近似地等于(Approximately equal to)

$$M(\pi k r + 1)/M = \pi k r + 1 \quad (3.4)$$

这表明质光比与天体系统的尺度正相关。

对于旋涡星系(Spiral galaxy)，其核球中的暗物质的分布密度和引力质量可以分别用 (3.2) 式和 (3.3) 式计算。而其星系盘中的暗物质则需要进行数值计算。但是在星系盘外围，可以近似地认为星系质量 $M(r)$ 都集中在中心，这样就可以用 (2.5) 式计算星系外围的轨道运动。由于旋涡星系的半径 r 与比例常数 k 的乘积一般都大于 1，所以旋涡星系都有着平坦的旋转曲线(Flat rotation curve)。

星系团(Galaxy cluster)也可以近似地看作均匀的球体，其内部的暗物质密度和数量可以用

(3.2) 和 (3.3) 式计算。显然，星系团中的暗物质更多，质光比更大。

3.3 暗物质分布的外场效应 (External Field Effects of Dark Matter Distribution)

宇宙中的星系、星系团不是孤立存在的，而来自旁边其他天体系统的引力场会影响星系、星系团中暗物质的分布密度。在靠近其他天体系统的一侧，由于引力被抵消一些，所以暗物质分布密度也会减小一些。对旋涡星系来说，靠近其他天体系统的一侧的轨道速度会减小，而且减小的数值会比暗物质粒子理论计算的减小值更多。

3.4 星系团相互碰撞后暗物质与普通物质分离 (Dark matter separates from normal matter after galaxy clusters collide)

在多个星系团相互碰撞的事例中，都有暗物质与普通物质分离的现象。这种现象可以解释为：当星系团的普通物质相互碰撞而“刹车”时，暗物质则像波浪一样继续向前传播，于是就造成了暗物质与普通物质相互分离。

4 导出 Modified Newtonian dynamics (MOND)理论 [Derivation of Modified Newtonian Dynamics theory (MOND)]

对于星系及更大的宇宙结构与它们具有的质量不配套，有些研究人员认为并不是因为存在暗物质，而是需要修改引力动力学理论。1983年，以色列的物理学教授 Mordehai Milgrom 提出了牛顿引力动力学修正理论 (MOND)。MOND 引入了一个具有加速度量纲的常数，名为 a_0 ，其数量级约为 $a_0 \sim 10^{-10} \text{m/s}^2$ 。而且假定

$$m_g \mu(a/a_0) a = F, \quad (4.1)$$

修正因子 $\mu(a/a_0)$ 是 a/a_0 的一个函数，满足 $\mu(x \gg 1) \approx 1$, $\mu(x \ll 1) \approx x$ 。所以实际加速度 a 与牛顿加速度 a_N 之间存在如下关系：

$$\text{当 } a/a_0 \gg 1, \mu(a/a_0) \rightarrow 1, a_N = a$$

$$\text{当 } a/a_0 \ll 1, \mu(a/a_0) \rightarrow a/a_0, a_N = a^2/a_0 \quad (4.2)$$

函数 $\mu(x)$ 的具体形式有多种取法都可以满足以上要求，经验上通常可以取两种形式，(1)

$\mu(x) = x/(1+x)$, (2) $\mu(x) = x/\sqrt{1+x^2}$ 。有了这个修正因子, MOND 能够较好的拟合旋涡星系的旋转曲线。

用真空暗物质假说可以自然导出 MOND 理论 (Mond theory can be naturally derived from the vacuum dark matter hypothesis)。在真空暗物质假说 (vacuum dark matter hypothesis) 中, 星系成员轨道运动的加速度 (The acceleration of the orbital motion of galaxy members)

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2} (1 + 4\pi kr) = \frac{GM}{r^2} \left(1 + \frac{4\pi r}{r_k}\right) \quad (4.3)$$

$$\text{当 } 4\pi r/r_k \ll 1, a \approx a_N$$

$$\text{当 } 4\pi r/r_k \gg 1, a \approx 4\pi GM/rr_k \quad (4.4)$$

MOND 中 $a/a_0 \ll 1$ 的区域是旋涡星系的外围, 在这里, 真空暗物质假说 (vacuum dark matter hypothesis) 中的实际加速度 (Actual acceleration)

$$a \approx \frac{4\pi GM}{rr_k},$$

代入 (4.2) 式, 则

$$a_0 = a^2/a_N = \frac{\left(\frac{4\pi GM}{rr_k}\right)^2}{\frac{GM}{r^2}} = \frac{16\pi^2 GM}{r_k^2} \quad (4.5)$$

把 G 值、银河系中普通物质的总质量 $2 \times 10^{41} \text{kg}$ 、 r_k 值代入上式, 得

$$a_0 \approx 0.8 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2。$$

[也可以把 (4.3) 式代入 (4.2) 式计算, 只是计算步骤稍多一点, 得到的 a_0 值略大一点。]

因此, 从真空暗物质假说的角度来看, a_0 是旋涡星系的临界半径处的向心加速度 (From the perspective of the vacuum dark matter hypothesis, a_0 is the centripetal acceleration at the critical radius of the spiral galaxy)。在这个半径处, 普通物质与暗物质提供的引力相等。当半径 $r \ll r_k$ 时, 普通物质提供的引力远大于暗物质提供的引力, 这时 $a \approx a_N$ 。当半径 $r \gg r_k$ 时, 普通物质提供的引力远小于暗物质提供的引力, 这时 $a \approx \sqrt{a_N a_0}$

$= \frac{4\pi GM}{rr_k}$ 。而且(4.3)式可以写成 (4.1) 式的形式。因为

$$4\pi r/r_k \approx a_0/a ,$$

所以 $a = \frac{GM}{r^2} \left(1 + \frac{4\pi r}{r_k}\right)$ 可以写成

$$a_N = a / (1 + a_0/a) = a^2 / (a + a_0) = a \cdot \frac{a}{a_0} / \left(1 + \frac{a}{a_0}\right) ,$$

$$m_g a \cdot \frac{a}{a_0} / \left(1 + \frac{a}{a_0}\right) = F , \quad (4.6)$$

上式即是 (4.1) 式且 $\mu(x) = x/(1+x)$ 的形式，这样就自然地导出了 MOND 理论的基本方程式。

从上面的推导可以看出， a_0 并不是一个真正的常数，虽然其隐含的特定半径 r_k 是个常数，但是其隐含的天体系统质量 M 是可变的。所以总体上 a_0 之值应该随星系的质量不同而改变。MOND 是一个现象学理论，它不是建立在某些根本原则的基础上，而是根据某些观测结果作出的经验公式，其对 a_0 真正的物理意义并不清楚。把 a_0 当作常数的后果是当天体系统质量跨度较大时，计算结果就会与实际有较大的误差，这也是 MOND 在预测星系团的内部运动时与实际不符的原因。

再有，MOND 理论用修正引力理论取代暗物质，从而无法正确处理引力透镜现象和星系团相互碰撞现象，也不能处理宇宙学的问题。

5. 结语 (The epilogue)

真空是具有引力的可压缩的流体，暗物质来源于真空的密度梯度。这个假说既为研究暗物质问题提供了新思路，也为探索引力本质增添了新线索。期待真空暗物质假说能够经受天文观测的检验。

