

引力势、物质运动与时空结构 “暗物质”的本质

范 勇

(哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 根据物质运动、引力势与时空结构之间的关系, 分析了由天体和星际物质整体运动产生的附加引力势, 讨论了旋涡星系旋转曲线的平直问题和引力透镜效应异常等现象, 从根本上澄清了“暗物质”的本质.

关键词: 惯性; 引力势; 暗物质; 时空结构.

中图分类号: P15 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2010)04-0125-04

Gravitational Potential, Motion of Matter and Space-time Structure Nature of “Dark Matter”

FAN Yong

(School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China)

Abstract: According to the relationship among motion of matter, gravitational potential and space-time structure, in this paper the additional local universe gravitational potential offered by the orbital motion of celestial bodies is analyzed and the nature of “dark matter” is ultimately clarified.

Key words: inertia; gravitational potential; dark matter; space-time structure

0 引 言

在宇宙学中,暗物质是指那些不发射任何光及电磁辐射、其存在至今还没有被直接证实的物质.人们目前只能通过引力产生的效应推测宇宙中存在大量的暗物质.暗物质存在的最早“证据”来源于对球状星系旋转速度的观测.现代天文学通过引力透镜、宇宙中大尺度结构形成、微波背景辐射等研究表明:我们目前所认知的部分大概只占宇宙的4%,暗物质占了宇宙的23%,还有73%是一种导致宇宙加速膨胀的暗能量.

备注: 设 v 表示速度,则本文中 $\frac{v^2}{2}$ 被定义为惯性势.

本文通过分析天体和星际物质整体运动产生的附加引力势的作用来解释这所谓的看不见的“暗物质”.

1 天体和星际物质整体运动产生的附加引力势及其作用

在旋涡星系中天体围绕着星系中心沿着各自的轨道运动.假如在星系盘上方作一鸟瞰,按照牛顿方程,在距离中心 r 处运行的天体的轨道速度应是

$$v^2 r = GM(r) \quad (1)$$

如果所有星系物质都处于星系中的可视发光区域,可以预料在可视发光区域以远处天体的轨道速度将按照下式沿半径方向减小,

$$v^2 \propto \frac{1}{r} \quad (2)$$

因为在那个距离处 $M(r)$ 将不随 r 变化,但是实际上所得到的结果是:那里的轨道速度趋于常数.该结果被认为一定存在额外的看不见的物质,而这个想法提出以后,至今还未被证实.

本文认为,这看不见的“暗物质”可由天体和星际物质整体运动产生的附加引力势的作用来解释.天体物质向宇宙中传播牛顿引力势.另外,根据定理1和定理2可知天体的整体运动会改变自身和周围的宇宙引力势

$$\begin{aligned} \Phi_{1+} &= -\frac{(c-v_1)^2}{2}; \quad \Phi_{1-} = -\frac{(c+v_1)^2}{2}; \\ \Phi_{u1} &= -\frac{c^2-v_1^2}{2}; \end{aligned}$$

它的整体运动会在其前后产生不对称的附加引力势 $\delta\Phi_{u0 \rightarrow 1+} = \Phi_{1+} - \Phi_{u0}$ 和 $\delta\Phi_{u0 \rightarrow 1-} = \Phi_{1-} - \Phi_{u0}$. 假设在星系盘上方作一鸟瞰,如图1所示.

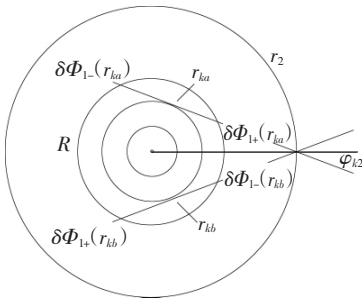


图1 漩涡星系中天体轨道运动产生的附加局域宇宙引力势示意图

图中假设星系顺时针旋转, R 表示星系的可见发光区域外缘半径.如果把星系从中心向外分成足够多的微分轨道区域,考虑其中轨道半径为 r_k 的轨道上 r_{ka} 处运动的天体,平行于其运动方向,在其前方的附加局域宇宙引力势是

$$\delta\Phi_{1+}(r_{ka}) = -\frac{(c-v_{rk})^2}{2} - \left(-\frac{c^2}{2}\right) = -\frac{-2cv_{rk} + v_{rk}^2}{2} \quad (3)$$

在其后方的附加局域宇宙引力势是

$$\delta\Phi_{1-}(r_{ka}) = -\frac{(c+v_{rk})^2}{2} - \left(-\frac{c^2}{2}\right) = -\frac{2cv_{rk} + v_{rk}^2}{2} \quad (4)$$

类似地,在 r_{kb} 处运动的天体,平行于其运动方向,在其前方的附加局域宇宙引力势是

$$\delta\Phi_{1+}(r_{kb}) = -\frac{(c-v_{rk})^2}{2} - \left(-\frac{c^2}{2}\right) = -\frac{-2cv_{rk} + v_{rk}^2}{2} \quad (5)$$

在其后方的附加局域宇宙引力势是

$$\delta\Phi_{1-}(r_{kb}) = -\frac{(c+v_{rk})^2}{2} - \left(-\frac{c^2}{2}\right) = -\frac{2cv_{rk} + v_{rk}^2}{2} \quad (6)$$

式中: c 是光速; v_{rk} 是 r_k 轨道上的天体或星际物质的轨道运动速度,可以认为同一 r_k 轨道上各点处天体或星际物质的轨道速度相同.

当 r_k 轨道上的天体或星际物质以稳定角速度差 $\delta\omega_{k2} = \omega_k - \omega_2$ 相对于 r_2 轨道运动时,传播到 r_2 轨道上某一点的附加局域宇宙引力势由以下因素确定:

1) 在任一瞬间, $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$ 相对于 v_{rk} 是不对称的, $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$ 相对于 v_{rk} 是各向异性的,所以其作用应该有一个校正因子 $\cos\varphi_{k2}$;

2) 对 r_2 轨道任一点的长时间的平均作用应该决定于 $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$ 的加和,由于 $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$ 的加和小于零,所以在 $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$ 的共同作用下空间相对“被拉伸”了,即由于 r_k 轨道上的天体整体轨道运动产生的附加引力势进一步导致其轨道外侧的空间“弯曲”了,“弯曲”的程度显然与物质的相对运动状态和空间距离有关;

3) 考虑到 r_k 轨道上的天体在轨道运动中沿着切线方向传播附加引力势 $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$,因此它们作用于 r_2 轨道某一点的概率应该与 $\frac{\sqrt{r_2^2 - r_k^2}}{r_k}$ 成反比,这是因为 r_k 一定时, $\sqrt{r_2^2 - r_k^2}$ 相对越远,天体的物质空间沿运动方向的投影在所考虑的

r_2 轨道上的某一点停留的时间就相对越短.

4) 由于各向异性, $\delta\Phi_{1+}(r_k)$ 和 $\delta\Phi_{1-}(r_k)$ 只向 r_k 轨道外侧空间传播.

5) 与 r_k 轨道上的天体和星际物质的物质空间向其运动方向投影遮盖 r_2 轨道上相关点的几率成正比(相对于物质粒子与引力势之间的相互作用而言,原子结构中存在大量非物质空间),换言之,就是与过 r_2 轨道上那一点的 r_k 轨道切线切点上被物质空间占据的几率成正比,它与当时 r_k 轨道上天体和星际物质的密度以及它们的分布状态有关.另外,由于引力势从 r_k 轨道传播到 r_2 轨道需要时间,所以它与星系的旋转运动历史有关,是无量纲量.如果认为原子核及其周围一定范围的引力场属于物质空间,这个几率可表示成 $P(r_k, t) = f(r_k, t) \left(\frac{br_0 A^{1/3}}{R_a}\right)^3$.

其中 $f(r_k, t)$ 是与切点处的物质密度有关的函数, 把 t 作为自变量是考虑到天体物质在 r_k 轨道上不是连续分布的, 而且引力势的传播速度有限(光速), b 是由物质空间和非物质空间之间的界限决定的比例系数, 相当于上一篇文章中的 α_i 和 α_{ij} 等(由上一篇文章图2中的 $\delta\Phi_{ij}(r)$ 曲线估计, b 的数值大约应在 $3 \sim 6$ 之间^[8]), A 是原子核的质量数, r_0 是核子质量半径, $r_0 A^{1/3}$ 是原子核质量半径, R_a 是原子半径. 以氢原子为例, $P(r_k, t) \approx f(r_k, t) (3 \times 10^{-5} b)^3$.

综合上述因素, 利用式(3)、(6), r_k 轨道上的天体整体轨道运动在 r_2 轨道上产生的附加引力势是

$$\begin{aligned} \delta\Phi(r_k, r_2) &= [\delta\Phi_{1+}(r_k) + \delta\Phi_{1-}(r_k)] \frac{r_k \cos\varphi_{k2}}{\sqrt{r_2^2 - r_k^2}} P(r_k, t) = \\ &= -v_{rk}^2 \frac{r_k \sqrt{r_2^2 - r_k^2}}{r_2 \sqrt{r_2^2 - r_k^2}} P(r_k, t) = -v_{rk}^2 \frac{r_k}{r_2} P(r_k, t) = \\ &= -(\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2} P(r_k, t) \quad r_2 > r_k \\ \delta\Phi(r_k, r_2) &= 0 \quad r_2 \leq r_k \end{aligned}$$

$\delta\omega_{k2}$ 是 r_k 轨道上天体的轨道运动相对于 r_2 轨道上天体轨道运动的角速度差. 以上还只是 r_k 轨道上天体轨道运动的贡献, r_2 轨道内侧的所有轨道上运行的天体产生的附加引力势都可作用于在 r_2 轨道上相对运动的天体, 对上式加和得

$$\begin{aligned} \delta\Phi(r_2) &= \sum_{k=1}^n \delta\Phi(r_k, r_2) = - \sum_{k=1}^n (\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2} P(r_k, t) \\ \delta\Phi(r_k, r_2) &= -(\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2} P(r_k, t) \quad r_2 > r_k \\ \delta\Phi(r_k, r_2) &= 0 \quad r_2 \leq r_k \quad (7) \end{aligned}$$

轨道上的天体整体运动在 r_2 轨道上产生的附加引力势与牛顿引力势的作用不同, 牛顿引力势的作用是连续的, 而 r_k 轨道上的天体轨道运动产生的附加引力势对 r_2 轨道上相对运动的天体的作用是间歇的, 因为各轨道上的天体和星际物质在轨道上的分布是离散的(当先驱者号离地球越来越远时, 来自先驱者号上的探测器的微波振幅出现了跳跃变化, 而这种飞船的多普勒频波一向都比较稳定). 而且, 只有当 r_k 轨道上天体的运动相对于 r_2 轨道上天体运动的角速度差 $\delta\omega_{k2}$ 不为零时才会产生作用于 r_2 轨道天体的附加引力势. 实际上还要考虑引力势传播需要时间, 我们现在观测到的某星系的旋转曲线是几年到几万年甚至几十万年前由其中各个轨道天体运动发出的引力势作用的结果. 另外, 牛顿引力势沿三维方向传播, 而 r_k 轨道上的天体轨道运动产生

的附加引力势是沿轨道平面二维方向传播.

天体和星际物质的自转运动以及象太阳系这样的天体系统的整体自转运动都会产生附加引力势, 这部分附加引力势也是沿二维方向传播的, 但它们的整体旋转赤道平面方向是随机分布的, 只在其赤道平面上的点贡献附加引力势. 与式(7)的推导方法相同, 作用于 r_2 轨道上某一点处天体的这部分附加引力势为

$$\delta\Phi(|r_2 - r_j|, r_{ji}) = - \sum_j \sum_i v_{ji2}^2 \frac{r_{ji}}{|r_2 - r_j|} P(r_{ji}, t) \quad (8)$$

加和指标 j 表示第 j 个天体或天体系统, r_j 表示第 j 个天体或天体系统的轨道中心, r_{ji} 表示其相应的第 i 个微分轨道半径, v_{ji2} 表示 r_{ji} 轨道上粒子相对于所考虑的 r_2 轨道上所考虑点之间的相对运动速度. 式(8)只包括附加引力势源的赤道平面过 r_2 轨道上所考虑的那些天体或星际物质的情况. 同样也要注意引力势传播需要时间.

牛顿引力势 $\Phi_N(r_2)$ 、轨道运动产生的附加引力势 $\delta\Phi(r_2)$ 和天体、以及象太阳系这样的天体系统的整体自转运动产生的附加引力势 $\delta\Phi(|r_2 - r_j|, r_{ji})$ 这三项的加和为星系周围的附加局域宇宙引力势

$$\begin{aligned} \delta\Phi_u(r_2) &= \Phi_N(r_2) + \delta\Phi(r_2) + \delta\Phi(|r_2 - r_j|, r_{ji}) = \\ &= -\frac{GM(r_2)}{r_2} - \sum_{k=1}^n (\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2} P(r_k, t) - \\ &= \sum_j \sum_i v_{ji2}^2 \frac{r_{ji}}{|r_2 - r_j|} P(r_{ji}, t) \end{aligned}$$

代入引力常数 G 的表达式得^[8]

$$\begin{aligned} \delta\Phi_u(r_2) &= -\frac{N(r_2)}{r_2} \left(v_i^2 r_{ai} \alpha_i + \sum_j v_{ij}^2 r_{aij} \alpha_{ij} + \cdots + \right. \\ &= B_{mi} \left. \right) - \sum_{k=1}^n (\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2} P(r_k, t) - \\ &= \sum_j \sum_i v_{ji2}^2 \frac{r_{ji}}{|r_2 - r_j|} P(r_{ji}, t) \\ \delta\Phi(r_k, r_2) &= -(\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2} P(r_k, t) \quad r_2 > r_k \\ \delta\Phi(r_k, r_2) &= 0 \quad r_2 \leq r_k \end{aligned}$$

式中: $N(r_2)$ 是 $M(r_2)$ 中包含的核子数.

由上式可以得到漩涡星系沿其盘面径向的引力场强(引力势负梯度)为

$$\begin{aligned} -\nabla\delta\Phi_u(r_2) &= -\frac{N(r_2)}{r_2^2} r_2 \left(v_i^2 r_{ai} \alpha_i + \sum_j v_{ij}^2 r_{aij} \alpha_{ij} + \cdots + \right. \\ &= B_{mi} \left. \right) - \sum_{k=1}^n (\delta\omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2^2} P(r_k, t) - \end{aligned}$$

$$\sum_j \sum_i v_{ji}^2 \frac{r_{ji}}{|r_2 - r_j|^3} (r_2 - r_j) P(r_{ji}, t) \\ - \nabla \delta \Phi(r_k, r_2) = -(\delta \omega_{k2})^2 \frac{r_k^3}{r_2^3} r_2 P(r_k, t) \quad r_2 > r_k \\ - \nabla \delta \Phi(r_k, r_2) = 0 \quad r_2 \leq r_k \quad (7)$$

漩涡星系在 r_2 处的引力场强由三部分组成. 其中, 牛顿引力是由物质中的微观粒子运动贡献的, 沿三维方向. 而漩涡星系中的天体和星际物质围绕星系中心的轨道运动贡献的附加引力沿其盘面径向方向. 天体和星际物质自转运动以及象太阳系这样的天体系统的整体自转运动的附加引力也是沿二维方向的, 但它们的赤道平面是无规分布的.

附加引力与附加引力势源和被作用物质之间的相对运动速度的平方成正比. 一般在星系可视外缘以远处 r_2 越大角速度差 $\delta \omega_{k2}$ 就越大, 同时在星系可视外缘以远处大体上附加引力随着 r_2 的平方成反比, 但随着 r_k 的三次方成正比. 漩涡星系从侧面看像一个中间隆起的圆盘, 从中心到可视外缘, 天体和星际物质有一个从密集到稀疏的分布, 从距离可视外缘内侧相当远处开始, 天体和星际物质就相当稀疏而且逐渐稀少. 通常每一个漩涡星系有若干条悬臂结构, 所以各个轨道上天体和星际物质的分布是不均匀的, 因此在可视外缘以远处旋转曲线并不是完全平直的. 另外, 直到在漩涡星系可视外缘以远处, 仍然有少量稀疏分布的天体和稀薄的气体星际物质(漩涡星系的旋转曲线就是通过测定它们在那里的速度或者特征原子谱线的 Doppler 频移确定的), 它们不但使得那里的牛顿引力随 r_2 增大下降的相对缓慢, 而且其轨道运动也在产生附加引力, 虽然那里的天体和气体星际物质很稀疏, 但是它们可以延续到非常远的距离, 由于它们的轨道半径大而且一般在那里轨道角速度差 $\delta \omega_{k2}$ 也随 r_2 逐渐增大, 其作用是使附加引力随 r_2 逐渐增大, 与使附加引力随 r_2 逐渐减小的因素(例如牛顿引力)相抵消, 维持总的引力势基本不随 r_2 变化, 所以漩涡星系旋转曲线大体上平直.

综上所述, 漩涡星系旋转曲线平直问题可以由星系中所有天体和星际物质的整体轨道运动和自转运动产生的附加引力势的作用来解释, 不需要假设存在“暗物质”来解释. 以上推导过程不涉及直接修正牛顿引力理论, 自然也就不存在相应的边界条件问题, 即不存在有些研究者为了解释漩涡星系旋转曲线平直问题而直接修正牛顿引力理论引起的外解

和内解的连接问题. 以上结果与在太阳系范围的针对广义相对论的四个经典检验不矛盾^[3].

银河系中有非常大量的象太阳系这样的恒星系统, 它们在各自轨道上的公转和自转运动会相应地产生附加引力势, 这至少可以部分地解释万有引力常数的测定精度一直很差的原因.

“先驱者号异常”可以由围绕太阳运行的天体和星际物质的轨道运动产生的附加引力势的作用来解释.

飞临地球的外太空飞行器, 当其进入轨道和脱离轨道相对于地球赤道的方位不对称时, 就会发生明显的“飞行异常”现象, 这可以由地球整体运动产生的附加引力势的作用来解释, 与“先驱者号异常”的原因略有区别.

轨道上运行的天体产生的附加引力势进一步严重地扭曲了外部空间. 例如, 在沿着轨道平面方向一定距离以外, 太阳系的轨道运动在那里引起的附加引力势比太阳系的物质在那里产生的牛顿引力势大得多, 但是两者的性质不同. 轨道运动产生的附加引力势是各向异性的, 即平行于物质运动方向(对于轨道上的一个天体来说, 其轨道运动产生的附加引力势是一维双向传播且随着轨道运动逐渐改变方向), 并且相对来说在传播方向上随距离变化的梯度非常小, 所以它能够传播到非常远的距离而变化不大. 而物质产生的牛顿引力势是向三维方向传播, 它的梯度相对来说非常大, 而在远处保留得相对很少. 一个星系中有非常大量的天体和像太阳系这样的天体系统, 这些天体和天体系统的轨道平面的朝向是无规分布的. 当所有这些附加引力势波向外部空间传播时, 它们可以传播到非常远的距离而变化相对不很大. 这些大量的附加局域宇宙引力势使得星系附近外部空间严重“扭曲”, 导致星系的附加引力透镜效应, 也导致了星系团中星系的运动速度远远超出由牛顿引力估算的结果, 这也自然导致星系团的引力透镜效应远远超出由广义相对论估算的结果. 另外, 宇宙中大尺度结构的形成、微波背景辐射等也都会受到这些附加引力势的作用. 所有这些宇宙中正常的自然现象, 被人们误以为是存在“暗物质”作用的结果.

所谓的“暗物质”和“Higgs 势”, 实际上分别是不同层次物质运动与宇宙引力势相互作用的结果, 它们具有同一自然本质, 在宇宙的演化过程中一直在起着非常重要的作用.

(下转第132页)

对立统一.

-117

参考文献:

- [1] 范 勇. 引力势、物质运动与时空结构. 物质运动与引力势之间的基本关系 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010, 15(4): 103

- [2] 范 勇. 引力势、物质运动与时空结构. 强相互作用力、弱相互作用力和引力 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010, 15(4): 118-124

(编辑: 温泽宇)

(上接第128页)

由于不掌握第一手相关的实验或天文观测数据, 本文只能是对相关问题的纯理论推导, 难免疏漏. 而上述结果可由实测天文数据具体检验和修正.

引力势作用的结果.

2 结 论

本文通过分析天体轨道运动和天体(或天体系统)整体自转运动产生的附加引力势, 揭示了漩涡星系旋转曲线平直问题和引力透镜效应异常的本质, 以及星系团中星系的运动速度远远超出由牛顿引力估算的结果的原因, 从而澄清了“暗物质”的本质是天体和星际物质的整体和轨道运动产生的附加

参考文献:

- [1] 范 勇. 引力势、物质运动与时空结构—物质运动与引力势之间的基本关系 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010, 15(4): 103-117.
- [2] 范 勇. 引力势、物质运动与时空结构—强相互作用力、弱相互作用力和引力 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010, 15(4): 118-124.
- [3] 须重明, 吴雪君. 广义相对论与现代宇宙学 [M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999: 188.

(编辑: 温泽宇)

附录与说明: 关于《非惯性参考系与惯性力》

物理学认为“虚拟力”与“真实力”的区别: (1) 不能指出是哪个物体作用; (2) 没有反作用力; (3) 所有质点都受惯性力; (4) 虚拟力可以消除.

惯性力是真还是假? 在导出非惯性系中运动定律的形式表示的过程中, 不时冠以虚拟力或假想力之定语于惯性力, 以与真实作用力相区别, 那是为了免除初学时概念上的混淆. 其实, 惯性力所产生的物理后果是真实的, 惯性力也可以由测力器测出, 过分强调惯性力的假想性, 这在物理思想上是要被质疑的.

爱因斯坦于1915年创立了广义相对论的理论基础, 其基本原理之一——等效原理, 最初表述是, 引力与惯性力实际上是等效的.

弱等效原理被表述为: 惯性力场与引力场的动力学效应局部不可区分. 而强等效原理认为: 引力与惯性力在物理效果上完全没有区别.

由文中揭示的惯性力的本质, 可以彻底理解一个非常简单的物理实验, 桌面上放一张纸, 在纸上放一物体, 当缓慢地拉动纸的时候, 物体随着纸一起移动, 当足够迅速地拉动纸的时候, 纸被抽出, 物体几乎不随纸移动, 这表明在低速范围, 同一物体的惯性与加速度有关, 加速度越大, 物体的惯性就越大, 这是由于加速度引起了局域宇宙引力势相对于它形成了相应的梯度. 进一步分析可知, 这梯度与加速度的方向一致, 加速运动会引起局域宇宙引力势的梯度和恒速运动会引起附加局域宇宙引力势, 两者在物理意义上是一致的. 因为纸受到的该物体的压力并不随加速度变化, 这表明垂直于加速度的方向没有引起惯性力, 这意味着文中提出的“由于没有发现地球周围的引力势存在明显的连续环向梯度, 这可以证明在其外部空间, M_1 的整体运动只在其平行于 v_1 方向的前后才产生附加引力势, 应该是由 M_1 在运动中向外传播的引力势与外来宇宙引力势之间相互作用的结果.”的推断是符合客观实际的. 若测力器吊一个物体, 向上移动测力器的一瞬间, 测力器显示的重量比其静止时的显示要大, 静止时的重量是由地球牛顿引力势梯度作用的结果, 向上移动的一瞬间, 附加的重量是由物体的加速运动引起的局域宇宙引力势的附加梯度对物体作用的结果.