

关于电磁波与真空的相互作用及当前几个宇宙学问题的探讨

肖立业^{1,2}, 伍岳¹, 林良真¹

(1. 中国科学院电工研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:当前,国内外同行普遍接受的 Λ CDM宇宙学模型(也即宇宙学常数或暗能量-冷暗物质模型)可以很好地解释涡旋星系自转速度曲线和宇宙学红移-距离关系的超新星观测结果。然而,目前不仅还没有直接探测到暗能量和暗物质粒子,而且在理论上对暗能量和暗物质的本质是什么也还存在较大的争议,其他修正引力理论也尚未取得共识。本文作者在前期的论文中,通过假设真空虚粒子对可以对电磁波(或光子)造成散射并结合Einstein-de Sitter模型,也可对宇宙学红移-距离关系的超新星观测结果进行很好的拟合,但进一步的分析表明,基于上述假设和其他宇宙学模型,也可对超新星观测结果进行适当的拟合。因此,有必要对宇宙学红移-距离关系的物理机制进行进一步的研究,其中,建立合理的引力理论仍然是研究的重点之一。本文试图提出一个修正引力势方程并得到相应的修正引力方程,并以此为基础对暗物质、暗能量等问题进行初步的探讨。

关键词:电磁波;真空散射;宇宙学红移;哈勃常数;修正牛顿势;修正牛顿引力方程;暗物质;暗能量

DOI: 10.12067/ATEEE2003010 **文章编号:** 1003-3076(2020)04-0001-07 **中图分类号:** P141.91

1 引言

为了解释涡旋星系自转速度曲线和宇宙学红移-距离关系的超新星观测结果与经典引力理论的显著偏差,物理学家先后分别提出了暗物质(Dark Matter)假设^[1,2]、暗能量(Dark Energy)假设或再次引入由爱因斯坦提出并放弃了宇宙学常数 Λ (Cosmological Constant)^[1-3],由此在经典宇宙学标准模型基础上形成了 Λ CDM宇宙学模型。该模型不仅能够很好地解释上述宇宙观测结果,而且还可以结合宇宙微波背景辐射(Cosmic Microwave Background radiation, CMB)观测结果推算出普通物质、暗物质和暗能量在宇宙中的占比,以及推算得到与观测结果比较吻合的宇宙年龄^[4,5]。然而,到目前为止,对暗物质粒子探测的一切尝试尚未得到肯定性的结论,理论界对于暗物质、暗能量或宇宙学常数项 Λ 的本质是什么,也还存在较大的争议^[6-8],其中如果假设暗能量为真空零点能的话,则理论计算值与观测值相差达到惊人的120个数量级。此外,

基于上述模型,分别由宇宙学红移-距离关系的超新星观测结果与由分析CMB观测结果得到的哈勃常数也存在不可解释的差异^[9-11]。总之, Λ CDM宇宙学模型虽然已经得到比较普遍的认可,但仍然存在一些根本性问题需要解决。

事实上,暗物质和暗能量都是为解释星系和宇宙大尺度情况下的运动与经典引力理论出现的偏差而引入的假设,在暗物质暗能量没有直接观测证据的情况下,也可以将暗物质暗能量问题本质上归结为引力理论的修正问题。对暗物质的一个替代理论是由Milgrom提出的修正牛顿动力学理论(MODified Newtonian Dynamics, MOND)^[12,13]。MOND假设在加速度非常小的情况下,物体在重力场中自由运动的加速度满足关系 $a^2/a_0 \approx GM/r^2$,其中 $a_0 \approx 1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$,为一个新的物理常数; G 为万有引力常数; M 为产生重力场的天体质量; r 为运动物体到天体质心的径向距离。MOND理论可以很好地解释涡旋星系自转速度曲线,但MOND不能解释星系团的引力等问题,因此天文学家并不看好此理论的发展

收稿日期: 2020-03-05

作者简介: 肖立业(1966-),男,湖南籍,研究员,博导,博士,研究方向为电工理论与新技术;
伍岳(1987-),男,湖北籍,助理研究员,博士,研究方向为电工理论与新技术。

前景^[6]。此外,还有众多学者提出了其他多种修正引力理论,其中 $f(R)$ 修正引力理论最具代表性, $f(R)$ 理论可以解释宇宙加速膨胀而不需要引入暗能量^[14,15],但目前尚未形成有共识的修正引力理论。本文作者曾基于真空零点涨落提出了电磁波(或光子)与真空相互作用的机制^[16],即真空中虚粒子对电磁波(或光子)的散射机制。基于以上机制,并结合 Einstein-de Sitter 宇宙模型(经典标准宇宙学模型的一种情况),也可拟合宇宙学红移-距离关系的超新星观测结果。但是,进一步的分析表明,结合真空散射机制和其他宇宙模型,也可以适当拟合宇宙学红移-距离关系的超新星观测结果。

由此可见,争议和问题依然存在,其中建立合理的引力理论仍然是值得研究的重要方向之一。为此,本文试图提出一个新的修正引力方程来解决上述问题,并对暗物质、暗能量等问题进行了初步的讨论。

2 修正牛顿引力势方程与修正牛顿引力方程

在牛顿引力理论中,引力势 $V(r) = -GM/r$ (也称为牛顿势)。根据相对论量子理论,在假定引力子的质量为零的情况下,牛顿势也可以由汤川势导出。汤川势具有如下形式:

$$V_Y(r) = -g \frac{e^{-r/\lambda}}{r} \quad (1)$$

式中, g 为相互作用的耦合参数; $\lambda = h/(2\pi mc)$,称为相互作用势程,也即传递相互作用的玻色子的波长, m 为玻色子的质量。汤川势是汤川秀树用于描述强相互作用而提出的,当把汤川势推广至电磁相互作用和引力相互作用时,只要令光子和引力子的质量为零,则式(1)可以退化为库伦作用势或牛顿势(如式(2)所示)的形式。

$$V(r) = -\frac{GM}{r} \quad (2)$$

如第1节所述,为解释宇宙学观测结果,在牛顿引力理论或广义相对论框架下需要引入暗物质和暗能量或宇宙学常数项,但仍存在一些不可回避的矛盾。为此,本文假设引力子质量不为零,并假设引力相互作用可以有如下修正牛顿势形式:

$$\begin{aligned} V(r) &= -GM \left(\frac{e^{-r/\lambda}}{r} - \frac{1}{r_c} \int \frac{e^{-r/\lambda}}{r} dr \right) \\ &= -GM \left(\frac{e^{-r/\lambda}}{r} + q \int \frac{e^{-r/\lambda}}{r} dr \right) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, r_c 为某一特征距离参数; $-q = 1/r_c$ 。通过式(3)的修正牛顿势去改造爱因斯坦引力场方程,将涉及大量复杂的数学运算。但是,如果仅仅考虑弱场近似情况,则仍然可以简单地根据式(3)得到修正牛顿引力方程(Modified Newtonian Gravitation, MNG)为:

$$F = -\frac{dV(r)}{dr} m = -GMm \left(\frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} \right) e^{-kr} \quad (4)$$

式中, $k = 1/\lambda$; $q = -1/r_c$ 。

在此,本文不妨做一个延伸讨论,如果把四种相互作用力都看成是某种“作用荷”导致的^[17,18],则可以将式(3)改写为通用的作用势形式,而式(4)可以改写为通用的作用力形式,即:

$$V(r) = -g \left(\frac{e^{-r/\lambda}}{r} + q \int \frac{e^{-r/\lambda}}{r} dr \right) \quad (5)$$

$$F = \pm g^2 \left(\frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} \right) e^{-kr} \quad (6)$$

式中, \pm 符号对应于斥力或吸引力分别选取正或负,且 $k \geq 0$ 。由于传递四种相互作用的玻色子各不相同,因此对于不同的相互作用,不仅其耦合参数本质不同,其 k 、 q 的取值也相差很大,但是可以依据 k 、 q 的取值及其关系对每一种相互作用做出某种限制。

(1)电磁相互作用: $k=q=0$,符号的选取视作用电荷的情况而定,则式(6)可以退化为电磁相互作用力的形式。

(2)引力相互作用: $k>0, q<0$,且取负号,式(6)即为本文的修正牛顿引力形式。

(3)强相互作用: $k>0, q=0$,且取负号,式(6)即退化为强相互作用的汤川形式。当 $q>0$ 且 $q \leq k$ 时,可以视为强力的另外一种形式。当 $q>0$ 且 $q>k$ 时,存在以下两种情况:

$$1) \frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} > 0, \text{也即 } r < \frac{1}{q-k}, \text{为吸引力,也可视为}$$

强力的另一种形式。

$$2) \frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} < 0, \text{也即 } r > \frac{1}{q-k}, \text{为斥力,此种情况可}$$

以理解为在超过一定的尺度下,强力将演变为斥力,从而对强力的作用范围做出了某种限制。

(4)弱相互作用: $k>0, q>0$,且 $q \leq k$ 时并取正号,式(6)可对应弱相互作用力。当 $q>0$ 且 $q>k$ 时,存在以下两种情况:

$$1) \frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} > 0, \text{也即 } r < \frac{1}{q-k}, \text{为斥力,也可视为弱}$$

相互作用力的另一种形式。

$$2) \frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} < 0, \text{也即 } r > \frac{1}{q-k}, \text{为吸引力, 此种情况}$$

可以理解为超过一定的尺度时, 弱作用力将演变为吸引力, 从而也对弱力的作用范围做出了某种限制。

3 基于修正牛顿引力方程对几个宇宙学问题的讨论

基于式(4)的修正牛顿引力方程, 本节试图对暗物质、暗能量等问题进行讨论。

3.1 关于暗物质问题的讨论

宇宙观测表明^[1,2]: 在大约距离涡旋星系中心约 2.0 万光年以外的天体的旋转速度基本上约为恒定值, 而普通星系的中心核球半径约为 1~2 万光年; 宇宙存在着星系团和超星系团等大尺度结构, 星系团的尺度半径大约为 1500 万光年及以上, 而超星系团的尺度可达到 1 亿光年甚至更大。基于这些观测数据, 本文假定引力子的波长大约为星系团尺度的 1/3 即 500 万光年(约 5×10^{22} m, 也即 k 约为 2.0×10^{-23} /m), 而取式(4)的特征距离参量 r_c 大约为 2.5 万光年(约 2.5×10^{20} m, 也即 $-q$ 约为 4.0×10^{-21} /m)。普通星系的尺度约 10~20 万光年(即 r 约为 10^{21} m), 在星系尺度上, $e^{-kr} \approx 1.0$, $k - q \approx -q$, 则式(4)可以近似表达为:

$$F \approx -GMm\left(\frac{1}{r^2} + \frac{-q}{r}\right) \quad (7)$$

在大于 2.5 万光年的尺度以外, 随着 r 增大, 逐步有 $1/r^2 \ll -q/r$, 式(7)可以进一步近似为:

$$F \approx -GMm \frac{-q}{r} \quad (8)$$

由于有:

$$GMm \frac{-q}{r} = \frac{v^2}{r} m \quad (9)$$

由式(9)可得:

$$v = \sqrt{-GMq} = \text{const.} \quad (10)$$

对于普通星系, 重子物质质量 M 约为 1000 亿个太阳的质量, 采用质心等效做简单估算, 则 $v \approx 225$ km/s。上述质心等效估算会造成一定的计算误差, 对于式(7)中的距离平方反比项(牛顿项)而言, 可以做出这种等效, 但是对于修正项(即距离反比项)而言, 在距离接近特征距离参量时, 质心等效估算方法得到的结果会偏大一些, 但总体上不影响结果的性质和趋势。对于星系团外围引力的估算, 本

文直接采用式(4)求积分的方式, 可得到其引力是牛顿引力的大约 40 倍; 考虑到重子物质的质量是发光物质质量的大约 10 倍^[6], 则从牛顿引力角度来看, 由引力反映出来的星系团质量是其发光物质质量的 400 倍。以上估算结果与文献[1,2,6]所提及的观测结果大体上比较吻合。

此外, 对于矮星系, 其半光半径大约为 1 kpc(即约 3000 光年)^[19], 只有银河系的 1/10 左右, 而重子物质质量大约为 30 亿个太阳质量, 有的矮星系尺度更小。可见, 矮星系的尺度小于或接近特征距离 r_c , 因此式(7)中的 $1/r^2$ 项不可忽略甚至占主导, 也就是说其引力更接近经典牛顿引力, 因而从中性氢的自转速度曲线来看, 就等效为“暗物质”偏少, 这也许就是相对孤立的矮星系内所观测到的“暗物质偏少”^[19]的原因。例如, 如果仍然采用质心等效方法做简单估算, 取中性氢距离矮星系中心的距离为 2.5 万光年, 则其受到的引力约为牛顿引力的 2.0 倍, 考虑到在此距离上采用质心等效方法会导致估算结果稍偏大, 实际引力将小于牛顿引力的 2.0 倍, 因此从牛顿引力角度来看, 似乎“暗物质”质量小于重子物质质量, 也远小于 Λ CDM 宇宙学模型估计值(约为 10~1000 倍)。由此可见, 本文不需要引入暗物质假设, 也可大体上对有关星系运动的观测结果做出较为适当的解释。

3.2 关于暗能量问题的讨论

宇宙观测表明^[1,2,20], 宇宙空间中有直径达 1~3 亿光年的星系很少的区域, 称为巨洞, 巨洞占据宇宙空间的绝大部分(约 90%), 而超星系团与巨洞交织在一起, 构成了宇宙大尺度结构的基本图像, 其中超星系团和星系团分布在这些空洞的周围, 形成相对薄的片状结构, 而宇宙在 10 亿光年的尺度上大体满足均匀各向同性的宇宙学原理。为此, 本文首先分别基于经典牛顿引力方程和修正牛顿引力方程, 对超星系团之间的引力做一个大体上的估算, 此处仍然采用质心等效方法, 则两种估算方法得到的引力之比为:

$$\alpha \approx \frac{1}{(1 - qr)e^{-kr}} \quad (11)$$

在超星系团尺度的情况下, $-qr \gg 1.0$, 则式(11)可近似简化为:

$$\alpha = \frac{1}{-qre^{-kr}} \quad (12)$$

令 $-q = 4.0 \times 10^{-21}$ /m, $k = 2.0 \times 10^{-23}$ /m, $r = 10^{24}$ m,

则有 $\alpha \approx 1.2 \times 10^5$, 即牛顿引力是修正牛顿引力的 12 万倍。由于修正牛顿引力随距离呈指数衰减, 因此随着距离的增加, 修正牛顿引力将更加远小于牛顿引力。例如, 如果取巨洞的尺度为 $r = 1.5 \times 10^{24} \text{ m}$, 则 $\alpha \approx 1.8 \times 10^9$, 即超星系团之间的修正牛顿引力实际上只有牛顿引力的十八亿分之一!

由此可见, 与 Einstein-de Sitter 模型相比, 在宇宙大尺度上, 本文采用的修正牛顿引力将得到一个更加缓慢减速的宇宙, 这也许能够解释宇宙观测结果与 Einstein-de Sitter 模型预言的哈勃常数和宇宙年龄观测结果之间的矛盾问题^[5]。如上所述, 由于在宇宙大尺度上采用修正牛顿引力得到的引力远小于牛顿引力, 因而可以近似地认为减速大尺度宇宙膨胀的力实际上可以忽略不计, 由此可以设想目前的宇宙接近于匀速膨胀。根据哈勃定律, 星系的相互退行速度与距离成正比, 即有:

$$v(t) = H(t)D(t) \quad (13)$$

式中, $v(t)$ 为星系的退行速度随时间的变化关系; $H(t)$ 为哈勃常数随时间的变化关系; $D(t)$ 为相互退行星系的固有距离随时间的变化关系。对式 (13) 求微分, 即有:

$$\frac{dv}{dt} = (H^2 + \frac{dH}{dt})D(t) \quad (14)$$

如果宇宙接近匀速膨胀, 则有 $dv/dt \approx 0$, 因此可得:

$$H^2 + \frac{dH}{dt} \approx 0 \quad (15)$$

由 (15) 式可得:

$$H(t) \approx \frac{1}{t} \quad (16)$$

即如果不考察宇宙早期的演化而假设宇宙一直匀速膨胀的话, 哈勃常数与宇宙年龄的关系满足式 (16)。根据超新星距离-红移关系的观测结果, 可得当今的哈勃常数约为 $H_0 = 73.0 (\text{km/s})/\text{Mpc}$ ^[10], 由此可得宇宙年龄约为 $1/H_0 = 137$ 亿年 (对比 Einstein-de Sitter 模型给出的宇宙年龄为 $2/(3H_0)$), 如果宇宙年龄为 137 亿年, 则要求 H_0 约为 $50.0 (\text{km/s})/\text{Mpc}$ 。这就解释了哈勃常数观测结果与宇宙年龄观测结果之间的矛盾问题, 而并不需要引入暗能量假设。

由于宇宙匀速膨胀, 因而基于本文的模型得到的星系距离-红移关系应该与 Milne 宇宙模型得到的形式^[1,21] 完全相同, 即有:

$$D_p = D_H \ln(1+z) \quad (17)$$

式中, D_p 为星系现在时刻距离观测者的固有距离; D_H 为哈勃距离, $D_H = c/H_0$; z 为观测者观测到的星系红移值。同时, 光从所观测的星系到达观测者所经过的距离即光行距离 D_{li} 为:

$$D_{li} = \frac{z}{1+z} D_H \quad (18)$$

由 Perlmutter 发表的距离-红移关系的超新星观测结果^[3] 可以看出, 其观测结果与 Milne 模型 (即空宇宙模型) 的结果比较接近, 也就是说与本文得到的结果也比较接近。

本文作者曾提出真虚空粒子对光子的散射机制^[16], 当然其他宇宙粒子对光子也存在散射作用, 即使其散射概率极低, 在宇宙大尺度上也不能完全忽视这些光子的散射机制。基于这些散射机制并结合本文的宇宙匀速膨胀模型, 可以对星系的可视星等-红移关系进行拟合。图 1 显示了在哈勃常数 $H_0 = 73.0 (\text{km/s})/\text{Mpc}$, 真空散射加上宇宙粒子散射的总概率分别为 $0\%/\text{Mpc}$ 、 $0.015\%/\text{Mpc}$ 、 $0.03\%/\text{Mpc}$ 的情况下的星等-红移关系曲线。图 1 中的数据点取自文献^[3] 中归一化后的视星等观测值减去星际尘埃消光项以后的结果 (也即无星际尘埃消光情况下的视星等), 而曲线是采用光度距离 $D_L (D_L = D_p(1+z))$ 与视星等的关系加上真空散射消光后的模拟结果。由图 1 可见, 加入真虚空粒子和宇宙粒子散射项以后的星等-红移关系与观测结果较为一致 (曲线 2 符合得最好)。以上计算结果表明, 即使不引入暗能量, 本文也可以很好地解释 Perlmutter 等的

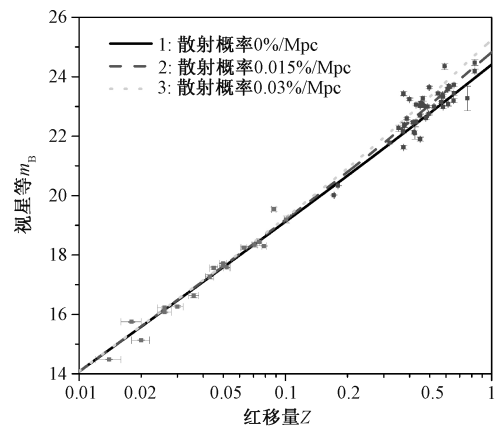


图 1 根据本文理论的模拟结果与观测结果^[3] 的对比

Fig.1 Comparison of observations^[3] and simulation results based on theory of this article

超新星观测结果。最近, 韩国科学家团队发表的观测结果认为超新星的绝对亮度与寄主星系的年龄等参数和性质有关^[22], 如果该结果能够被确认, 则应在此基础上进一步调整真空散射概率参数。

此外, 由于不需要引入暗物质和暗能量假设, 因而由 Λ CDM 宇宙学模型和分析 CMB 观测结果得到的哈勃常数也是不正确的, 从而导致了其得到的哈勃常数与超新星观测得到的哈勃常数之间的差异。

4 讨论

(1) 本文第 3 节基于所提出的修正牛顿引力方程对当前的暗物质暗能量问题进行了分析和讨论, 并在不需要引入暗物质暗能量假设的情况下, 得到了与宇宙观测结果大体上相吻合的估算结果。事实上, 本文所提出的修正引力理论是否正确, 还需要结合详细的观测数据做进一步的精确计算才能合理确定。特别是, 在本文的估算中, 把星系简化为质点, 虽然在计算上简化了, 但仍然会造成一定的误差。此外, 文中 q, λ 的取值是根据宇宙观测结果而粗略设定的, 其真实取值需要根据大量的观测数据进行修订。

(2) 根据本文的修正牛顿引力理论, 在宇宙大尺度上, 超星系团之间的修正引力趋近于零, 因而宇宙膨胀状态既不是 Einstein-de Sitter 模型所预计的减速膨胀, 也不是 Λ CDM 宇宙学模型所解释的加速膨胀, 而是接近于匀速膨胀。此外, 也正是因为超星系团之间的引力接近于零, 所以时空的曲率也接近零, 由此可以认为宇宙在大尺度上是近似平坦的, 这也与当前的宇宙学观测结果一致。

(3) 由于修正牛顿引力势满足式(3)的形式, 因此利用广义相对论场方程进行计算时, 需要根据式(3)进行修正, 特别是在大尺度情况下更是如此。在极小尺度超高能密度状态下(如宇宙早期的情况), 式(3)中的 q, λ 或许需要做出进一步的更正。

5 结论

本文假设引力子的质量不为零, 并提出了修正牛顿引力势方程和修正牛顿引力方程。基于修正的牛顿引力方程, 可以对暗物质暗能量问题、哈勃常数测量差异问题、宇宙大尺度平坦性等给出较为适当的解释。同时, 本文预计宇宙接近于匀速膨胀。然而, 本文引入了积分项(零阶项), 但尚未阐明其物理本质; 此外, 如何根据本文提出的修正引力势对基

于广义相对论的计算过程进行修正也是一个重要问题。因此, 有关修正引力理论问题仍有待于进一步的研究。

致谢:衷心感谢中国科学院国家天文台的郭琦研究员提供了有关矮星系观测方面的最新研究进展, 感谢魏建彦研究员和田文武研究员的有益帮助。

参考文献 (References):

- [1] 何香涛 (He Xiangtao). 观测宇宙学 (Observational cosmology) [M]. 北京: 北京师范大学出版社 (Beijing: Beijing Normal University Publishing Group), 2007.
- [2] 瓦尼安 H C, 鲁菲尼 R (Ohanian H C, Ruffini R). 引力与时空 (Gravitation and space) [M]. 向守平, 冯珑珑 (Xiang Shouping, Feng Longlong) 译. 北京: 科学出版社 (Beijing: Science Press), 2006.
- [3] Perlmutter S, Aldering G, Goldhaber G, et. al. Measurements of Ω and Λ from high red-shift supernovae [J]. The Astrophysical Journal, 1999, 517 (2): 565-586.
- [4] 罗杰-彭罗斯 (Roger Penrose). 通向实在之路: 宇宙法则的完全指南 (The road to reality: A complete guide to the laws of the universe) [M]. 王文浩 (Wang Wenhao) 译. 长沙: 湖南科学技术出版社 (Changsha: Hunan Science & Technology Press), 2016. 552-557.
- [5] 李宗伟 (Li Zongwei). 哈勃常数与现代宇宙学 (Hubble constant and modern cosmology) [J]. 大学物理 (College Physics), 2010, 29 (4): 1-7.
- [6] 武向平 (Wu Xiangping). 天文学中的暗物质和暗能量问题之由来与困惑 (The origin and perplexity of dark matter and dark energy in Astronomy) [J]. 物理 (Physics), 2015, 44 (6): 411-417.
- [7] 张新民, 陈学雷 (Zhang Xinmin, Chen Xuelei). 暗物质、暗能量研究进展及中国的机遇 (Progresses in the studies of dark matter and dark energy and China's opportunities) [J]. 中国科学院院刊 (Periodicals of Chinese Academy of Sciences), 2011, 26 (5): 496-503.
- [8] 夏俊卿, 张新民 (Xia Junqing, Zhang Xinmin). 暗能量研究进展 (Current status on dark energy study) [J]. 物理学进展 (Progress in Physics), 2008, 28 (3): 263-273.
- [9] Di Valentino E, Melchiorri A, Silk J. Reconciling Planck with the local value of H-0 in extended parameter space [J]. Physics Letters B, 2016, 761: 242-246.
- [10] Riess A G, Macri L M, Hoffmann S L, et al. A 2.4% determination of the local value of the Hubble constant [J]. Astrophysical Journal, 2016, 826 (1): 56.
- [11] Freedman W L. Cosmology at crossroads [J]. Nature As-

- tronomy, 2017, 1 (5): 0121.
- [12] Milgrom M. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis [J]. The Astrophysical Journal, 1983, 270 (2): 365-370.
- [13] Milgrom M. Dynamics with a nonstandard inertia-acceleration relation: An alternative to dark matter in Galactic systems [J]. Annals of Physics, 1994, 229: 384-415.
- [14] Buchdahl H A. Non-linear Lagrangians and cosmological theory [J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1970, 150: 1-8.
- [15] Carroll S M, Duvvuri V, Trodden M, et al. Is cosmic speed-up due to new gravitational physics [J]. Physics Review D, 2004, 70: 043528.
- [16] 肖立业, 伍岳, 林良真 (Xiao Liye, Wu Yue, Lin Liangzhen). 电磁波在真空中散射及对星际消光的影响 (Scattering of electromagnetic waves in vacuum and its effect on interstellar extinction) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2019, 38 (6): 1-7.
- [17] Ma Tian, Wang Shouhong. Duality theory of strong interaction [J]. Electronic Journal of Theoretical Physics, 2014, 11 (31): 101-124.
- [18] Ma Tian, Wang Shouhong. Unified field theory and principle of representation invariance [J]. Applied Mathematics Optimization, 2014, 69 (3): 359-392.
- [19] Guo Qi, Hu Huijie, Zheng Zheng, et al. Further evidence for a population of dark-matter-deficient dwarf galaxies [J]. Nature Astronomy, 2020, 4: 246-251.
- [20] 刘永镇, 邓祖淦, 曹盛林 (Liu Yongzhen, Deng Zugan, Cao shenglin). 宇宙大尺度结构 (The large-scale structure of the universe) [J]. 天文学进展 (Progress in Astronomy), 1984, 2 (4): 365-377.
- [21] 傅承启 (Fu Chengqi). 宇宙膨胀与宇宙学距离 (Cosmic expansion and cosmological distance) [J]. 世界科技研究与发展 (World Sci-Tech R&D), 2005, 27 (5): 16-20.
- [22] Kang Yijung, Lee Young-Wook, Kim Young-Lo, et al. Early-type host galaxies of type Ia supernovae - II: Evidence for luminosity evolution in supernovae cosmology [EB/OL]. <https://arxiv.org/pdf/1912.04903.pdf>.

Discussion on interaction between electromagnetic wave and vacuum space and some cosmology issues

XIAO Li-ye^{1,2}, WU Yue¹, LIN Liang-zhen¹

(1. Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: At present, the Λ CDM cosmological model (the cosmological constant or dark energy-cold dark matter model) can well explain the spiral galaxy's rotation speed curve and the cosmological redshift-distance relationship by supernovae observations. However, the dark energy and dark matter particles has not been detected directly, and there is still much controversy about the nature of dark energy and dark matter in theory, and some modified gravitation theories have not obtained common agreement. In author's previous paper, by assuming that vacuum virtual particle pairs can scatter electromagnetic waves (or photons), combined with the Einstein-de Sitter model, the cosmological redshift-distance relationship of supernova observations can be fitted well. However, further analysis shows that based on the above assumptions and other cosmological models, redshift-distance relationship of supernova observations can also be appropriately fitted. Therefore, it is necessary to further study the physical mechanism of the cosmological redshift-distance relationship. Among them, establishing a reasonable theory of gravity is still one of the focused researches. This paper attempts to propose a modified gravitational potential equation and the corresponding modified gravitational equation. Based on this, the issues of dark matter and dark energy are discussed preliminarily.

Based on the assumption which the mass of graviton is not zero, this article assumes that the gravitational interaction potential can be modified as follows:

$$V(r) = -GM \left(\frac{e^{-r/\lambda}}{r} - \frac{1}{r_c} \int \frac{e^{-r/\lambda}}{r} dr \right) = -GM \left(\frac{e^{-r/\lambda}}{r} + q \int \frac{e^{-r/\lambda}}{r} dr \right) \quad (1)$$

Among them, r_c is a characteristic distance constant, and here $-q=1/r_c$. This article does not consider the modification of general relativity according to formula (1), and only considers the weak field approximation, and then the modified Newtonian gravitation (MNG) equation can be simply expressed as:

$$F = - \frac{dV(r)}{dr} m = - GMm \left(\frac{1}{r^2} + \frac{k-q}{r} \right) e^{-kr} \quad (2)$$

from which $k = 1/\lambda$, $-q = 1/r_c$.

Based on the modified Newtonian gravitational equation (2), and let $q = -4.0 \times 10^{-21}/\text{m}$, $k = 2.0 \times 10^{-23}/\text{m}$, the qualitative estimation shows that without the introduction of the dark matter and dark energy assumptions, the observations of rotation speed curve of the spiral galaxy, the cosmological redshift-distance relationship, the problem of “deficient dark matter” in dwarf galaxies, the difference of Hubble constant measurements by different methods, and the flatness of the universe in large scale could be explained appropriately. In addition, this article also attempts to extend equation (1) as a general potential field equation (3) ($q \geq 0$) for the other three interactions. Here, the q , λ values are different for different interactions.

$$V(r) = -g \left(\frac{e^{-r/\lambda}}{r} + q \int \frac{e^{-r/\lambda}}{r} dr \right) \quad (3)$$

Key words: electromagnetic wave; vacuum scattering; cosmological redshift; Hubble constant; modified Newton's gravitation (MNG); modified Newton's gravitational equation; dark matter; dark energy