

# 电磁波在真空中的散射及对星际消光的影响

肖立业<sup>1,2</sup>, 伍岳<sup>1</sup>, 林良真<sup>1</sup>

(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:**现代宇宙学在研究星际消光、宇宙微波背景辐射(CMB)和宇宙红移时,没有考虑到真空的作用。但是,真空中时刻充满了大量的量子涨落或虚粒子对的产生和湮灭事件。因此,电磁波在真空中传播时,也可能会与真空发生相互作用,从而对星际消光、CMB 和宇宙红移产生影响。本文认为,电磁波在真空中传播时,会受到真虚空粒子的散射,从而对星际消光产生影响;同时,电磁波在散射过程中损失的能量会以产生新光子的形式放出,并对 CMB 产生贡献。基于上述理论,本文对天体的红移-视星等关系的曲线进行了修正,修正后的曲线能够较好地拟合已有 Ia 型超新星的红移-视星等实验观察结果;同时,也对散射损失的能量所释放出的光子对 CMB 的贡献等进行了初步的分析和估算。

**关键词:**虚粒子; 星际消光; 暗能量; 宇宙微波背景

**DOI:** 10. 12067/ATEEE1904047      **文章编号:** 1003-3076(2019)06-0001-07      **中图分类号:** P141. 91

## 1 引言

现代宇宙学认为,遥远天体的消光效应主要是由星际弥漫物质(主要包括尘埃、气体、弥漫星云和行星状星云等)造成的,宇宙学红移是由宇宙空间膨胀造成的,而宇宙微波背景辐射(Cosmic Microwave Background, CMB)则是宇宙大爆炸留下的余辉。由此可见,现代宇宙学在研究星际消光、宇宙红移和 CMB 时没有考虑到真空与电磁波之间的相互作用。然而,量子场论认为,真空并非是没有任何物质和能量的存在,而是时刻充满了能量量子涨落或虚粒子对的产生和湮灭事件。因此,电磁波在真空中经过数亿年乃至上百亿年的传播,将可能会与真空发生相互作用而导致散射,从而对星际消光、CMB 和宇宙学红移产生影响。有关真空对宇宙学红移的影响,本文作者已经撰文予以讨论<sup>[1]</sup>,而本文则在文献[1]的基础上进一步讨论电磁波在真空中的散射及其对星际消光的影响。

光在照射到物质上时会发生散射,其中,光子除了会与电子发生弹性散射(瑞利散射)之外,还会发生非弹性散射(康普顿散射),即光子将一部分能量

传递给电子,使得出射光子的波长大于入射光子的波长,波长的改变与散射角度有如下关系:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{2h}{m_0c} \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

式中, $\lambda$  为出射光的波长; $\lambda_0$  为入射光子波长; $h$  为普朗克常数; $m_0$  为电子静质量; $c$  为光速; $\theta$  为出射光和入射光的夹角。

由于真空中时刻充满了虚粒子对的产生及湮灭事件,假设电磁波在经过真空时,也可能与虚粒子对作用发生康普顿散射,其结果将使得真空对星际消光效应产生贡献,从而对于天体的视亮度产生影响。同时,在发生康普顿散射时,电磁波传递给虚粒子的能量在虚粒子对湮灭后会以辐射的形式释放,从而也会对 CMB 产生贡献。为此,本文就电磁波在真空传播过程中的散射及其对星际消光进行研究,并将模拟结果和有关实验观测结果对比。同时,本文也就该散射对 CMB 的贡献进行了讨论。

## 2 理论机制与计算模型

根据量子场论可知,处于基态的真空存在自发产生的量子涨落。涨落过程伴随着虚粒子对的产生

收稿日期: 2019-04-12

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。

和湮灭,因此光子在真空中传播时,就有可能与真空量子涨落过程中产生的虚粒子发生碰撞。同时,根据量子场论,涨落过程中产生的虚粒子对可以是一对正负电子,为此本文假定碰撞的机制与康普顿散射相同,而出射光子与入射光子的波长差也满足康普顿散射式(1)。同时,由于真空涨落产生的虚粒子对不稳定,会即刻湮灭,因此虚粒子吸收的能量也会在湮灭的过程中以辐射形式放出,并对 CMB 产生贡献。

由于虚粒子对的产生和湮灭是一个瞬态随机事件,光子在真空中传播时,与虚粒子对发生的散射也是概率事件,因此光子与虚粒子发生散射的概率应该与光子传播的距离相关。在这里,假定光子在真空中每传播百万秒差距(Mpc)的距离时,与虚粒子发生散射的概率为  $P_0$ ,则当传播距离为  $X$ (单位为百万秒差距,Mpc)时,不发生散射的概率为:

$$P = (1 - P_0)^X \quad (2)$$

基于上述假设,真空中的光子与虚粒子的散射作用将对星际消光产生影响,同时对 CMB 产生贡献,下面将分别进行讨论。

### 3 真空中光子-虚粒子散射对星际消光的影响

为了计算光子-虚粒子散射对星际消光的影响,首先需要得到星系的红移-距离关系,然后再对比天体的视星等-红移关系的理论计算结果与天文观测值来探讨其对星际消光的影响。文献[1]提出了一种红移-距离关系的计算方法,然而该方法是基于宇宙匀速膨胀假设(即膨胀速度不随时间变化)得到的结果,且未考虑光行距离和固有距离的差异,因此可作为低红移情况下的近似。在更一般的情况下,需要基于具体的宇宙学模型来计算红移-距离关系,并计及宇宙膨胀速度随时间的变化以及光行距离和固有距离的差异。本文选择爱因斯坦-德西特宇宙学模型作为参考模型,该模型认为宇宙学常数为零且宇宙空间是平直的(即欧氏空间),因此有红移-距离关系如下:

$$1 + z_0 = \frac{1}{\left(1 - \frac{H_0 R}{2c}\right)^2} \quad (3)$$

式中,  $z_0$  为宇宙膨胀红移量;  $R$  为星系今天距离观测者的固有距离;  $H_0$  为宇宙当今的膨胀速度;  $c$  为光速。该模型中,光行距离  $X$  与固有距离  $R$  的关系:

$$\begin{aligned} X(R) &= \frac{2}{3} \frac{c}{H_0} [1 - (1 + z_0)^{-1.5}] \\ &= \frac{2}{3} \frac{c}{H_0} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{H_0 R}{2c} \right)^3 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

因此,如果同时考虑文献[1]中的受激真空红移后,观测者实际观测到的红移-距离关系应修正为:

$$1 + z = \frac{e^{kX(R)}}{\left(1 - \frac{H_0 R}{2c}\right)^2} \quad (5)$$

式中,  $k$  的含义见文献[1]。

目前,在测定遥远天体距离的方法中,光度测距法的应用最为广泛。对于一个光源(例如恒星)来说,自身光度是其内禀性质。假设一颗天体的光度为  $L$ ,亮度为  $L_1$ ,固有距离为  $R$ ,则:

$$L_1 = \frac{L}{4\pi R^2} \quad (6)$$

天文学中常用绝对星等  $M$  表征光度,而亮度用视星等  $m$  表示,两者之间有如下关系:

$$m = M + 25 + 5 \lg R \quad (7)$$

由于  $m$  是观测量,只要确定了恒星的绝对星等  $M$ ,就可以算出距离。

考虑遥远天体发出的辐射在宇宙真空中传播时,除了星际弥漫物质的散射和吸收以外,还会受到真空量子涨落产生的虚粒子对的散射。因此,如果利用可见光波段进行测光,在静止坐标系且忽略星际弥漫物质散射效应的情况下,并考虑到光子-虚粒子的散射作用,则由式(2)和式(6)可知,可得距离为  $R$ 、可见光波段的光度为  $L_v$  的遥远天体的视亮度  $L'_1$  为:

$$\begin{aligned} L'_1 &= \frac{L_v}{4\pi R^2} P = \frac{L_v}{4\pi R^2} (1 - P_0)^{X(R)} \\ &= \frac{L_v}{4\pi [R(1 - P_0)^{-X(R)/2}]^2} \end{aligned} \quad (8)$$

从式(8)与式(6)对比可以看出,真空中虚粒子的散射会产生消光作用,使得电磁波的强度发生衰减。因此,当计及电磁波受到虚粒子的散射后,应对天体的视亮度与距离的关系进行修正,修正因子为  $(1 - P_0)^{-\frac{X(R)}{2}}$ 。经过修正后式(7)变为:

$$\begin{aligned} m &= M + 25 + 5 \lg [R(1 - P_0)^{-\frac{X(R)}{2}}] \\ &= M + 25 + 5 \lg R + 5 \lg (1 - P_0)^{-\frac{X(R)}{2}} \end{aligned} \quad (9)$$

对于 Ia 型超新星,极大亮度时  $M$  约为

-19.0<sup>[2]</sup>。根据爱因斯坦-德西特宇宙学模型和有关宇宙年龄的观测值(约130~140亿年),可得 $H_0$ 的取值约为50km/s/Mpc<sup>[3]</sup>;而根据近年来Ia超新星的观测结果,哈勃常数约为73km/s/Mpc<sup>[4]</sup>。本文认为,这个差异是由于文献[1]所描述的受激真空红移所致,因此式(5) $k$ 的取值约为23km/s/Mpc/ $c=7.667\times10^{-5}$ /Mpc。

以上述理论和数据为基础,为了获得光子与虚粒子发生散射的概率 $P_0$ ,本文对已有的Ia型超新星观测数据进行了拟合。本文采用Saul Perlmutter小组于1999年所发表的观测数据<sup>[5]</sup>与上述的理论模型计算结果进行对比。由于直接观测值中未包含 $K$ 改正( $K$ 改正:比较红移不同的河外天体在相同波段的连续谱性质所需进行的光度改正)、但包含了星际弥漫物质消光效应的影响,因此本文采用文献[5]中的直接观测值做归一化处理并考虑 $K$ 改正且消除星际弥漫物质消光后的结果与理论计算结果进行对比。需要说明的是,由于受激真空红移项不受膨胀速度的影响,因此在本文理论框架下的 $K$ 改正是需要重新考虑的,但是考虑到上述受激真空红移项对 $K$ 改正的影响不大(即对所拟合曲线的总体趋势没有显著的影响),因此本文直接采用了文献[5]的 $K$ 改正结果,而未根据所观察的Ia型超新星的原始辐射谱做详细修正。根据以上方式,得到的结果如图1所示,图1中圆点和方形数据点分别对应42颗高红移星和18颗低红移星的红移-视星等观测结果,曲线1(或曲线2)分别为考虑(或不考虑)光子-虚粒子散射作用时的红移-视星等理论计算曲线,曲线3为既不考虑受激真空红移项也不考虑光子-虚粒子散射项的结果也即爱因斯坦-德西特模型计算结果(其中 $H_0=73\text{km/s/Mpc}$ )。

从图1中可以看出,当不考虑电磁波和真空的相互作用时(图1中的曲线3),理论计算与实验观测结果在低红移段较为相符,但是在高红移段,理论计算与实验观测出现了明显偏差,理论计算得到的视星等明显低于观测值。对此,Saul Perlmutter等人解释为暗能量(或宇宙学常数项)导致宇宙加速膨胀所致。基于本文的理论模型,若计入电磁波与真空的相互作用,计算结果表明,当光子与虚粒子发生散射的概率 $P_0$ 取 $3\times10^{-4}$ ,即电磁波在真空中每传播百万秒差距(Mpc),与虚粒子发生散射的概率为0.03%、且受激真空红移项 $k$ 取值为 $7.667\times10^{-5}$ /Mpc时,理论计算与实验观测结果也能够很好地拟

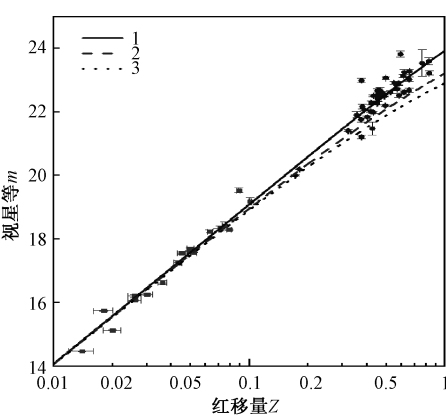


图1 Ia型超新星的视星等与红移的变化关系  
Fig. 1 Relationship between apparent magnitude of type Ia supernova and red shift

合(图1中的曲线1所示)。表1为Ia型超新星视星等和红移观测值与本文理论计算值的具体数据对比,可以看出,计算结果与观测值符合得很好。

为了进一步对比光子-虚粒子散射项和受激真空红移项对观测结果的影响,图2绘出三种情况下的红移-视星等曲线:曲线1为爱因斯坦-德西特模型;曲线2为曲线1的基础上增加光子-虚粒子散射作用(其中, $P_0$ 取 $5\times10^{-4}$ );曲线3为在曲线1的基础上综合考虑受激真空红移项和光子-虚粒子散射项的影响(其中, $P_0$ 取 $3\times10^{-4}$ )。可见,在 $z<0.9$ 的情况下,曲线2和3都能较好地拟合文献[5]的观测结果。由以上对比可知,我们需要更高红移的观测结果才能确认光子-虚粒子散射项和受激真空红移项的各自影响,同时也只有更高红移的观测结果才能确认宇宙是否在加速膨胀。

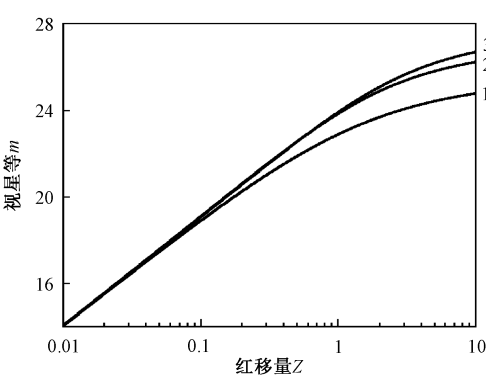


图2 三种不同情况的红移-视星等理论计算结果  
Fig. 2 Theoretical calculations of red shift-apparent magnitude in three different cases

表 1 Ia 超新星红移-视星等的观测结果 \*<sup>[5]</sup> 与理论计算结果的对比

Tab. 1 Comparison of observations \*<sup>[5]</sup> and theoretical calculation results of Ia supernova redshift- apparent magnitude relationship

Ia 超新星编号	红移量观测值	视星等观测结果 *	视星等计算结果	Ia 超新星编号	红移量观测值	视星等观测结果 *	视星等计算结果	Ia 超新星编号	红移量观测值	视星等观测结果 *	视星等计算结果
1992bi	0.458	22.42	22.34	1996cl	0.828	23.60	23.72	1997O	0.374	22.99	21.91
1994F	0.354	21.91	21.79	1990O	0.030	16.26	16.35	1997P	0.472	22.49	22.44
1994G	0.425	21.48	22.18	1990af	0.050	17.63	17.47	1997Q	0.430	21.98	22.22
1994H	0.374	21.21	21.91	1992P	0.026	16.08	16.04	1997R	0.657	23.28	23.18
1994al	0.420	22.29	22.17	1992ae	0.075	18.43	18.37	1997S	0.612	23.13	23.02
1994am	0.372	21.76	21.91	1992ag	0.026	16.22	16.04	1997ac	0.320	21.41	21.55
1994an	0.378	22.17	21.93	1992al	0.014	14.48	14.70	1997af	0.579	22.90	22.90
1995aq	0.453	22.53	22.35	1992aq	0.101	19.19	19.01	1997ai	0.450	22.27	22.33
1995ar	0.465	22.69	22.41	1992bc	0.020	15.13	15.47	1997aj	0.581	22.52	22.92
1995as	0.498	23.07	22.57	1992bg	0.036	16.63	16.75	1997am	0.416	22.02	22.15
1995at	0.655	22.68	23.17	1996cm	0.450	22.67	22.33	1997ap	0.830	23.22	23.73
1995aw	0.400	21.84	22.06	1996cn	0.430	22.51	22.23	1992bh	0.045	17.56	17.24
1995ax	0.615	22.62	23.03	1997F	0.580	22.91	22.90	1992bl	0.043	17.26	17.14
1995ay	0.480	22.60	22.47	1997G	0.763	23.54	23.53	1992bo	0.018	15.75	15.24
1995az	0.450	22.42	22.33	1997H	0.526	22.62	22.69	1992bp	0.079	18.30	18.48
1995ba	0.388	22.07	21.99	1997I	0.172	20.01	20.17	1992Br	0.088	19.54	18.71
1996cf	0.570	22.72	22.88	1997J	0.619	23.25	23.05	1992bs	0.063	18.24	17.98
1996cg	0.490	22.50	22.52	1997K	0.592	23.82	22.95	1993B	0.071	18.34	18.25
1996ci	0.495	22.20	22.54	1997L	0.550	22.91	22.79	1993O	0.052	17.58	17.57
1996ck	0.656	23.03	23.18	1997N	0.180	20.20	20.27	1993ag	0.050	17.71	17.47

注：\* 表示 Ia 超新星的视星等观测值为做归一化处理后, 并做 K 更正和减去星际弥漫物质消光效应后的结果。

4 真空中光子-虚粒子散射对宇宙微波背景辐射的贡献

根据目前已有的观测结果, 宇宙空间中存在各向同性的宇宙微波背景辐射 (CMB)。按照目前公认的大爆炸理论, 在大爆炸发生 38 万年之后, 光波开始在空间中自由传播, 在这之后的 130 多亿年里, 光波因空间膨胀被拉长而形成今天的宇宙微波背景辐射, CMB 对应绝对温度为 2.725K 的黑体辐射。前文中提到, 真空中电磁波受到虚粒子散射损失的能量会被虚粒子对吸收, 并在随后湮灭时将吸收的能量以辐射的形式释放, 而这一部分释放的辐射也将对 CMB 产生贡献。在此, 本文对虚粒子对吸收并释放的辐射能谱 (以下简称真空散射能谱, Vacuum Scattering Spectrum, VSS) 关系进行了计算。

虚粒子对经光子散射后吸收并释放的电磁波波长为  $\lambda$ , 由式(1)可得:

$$\lambda = \frac{\lambda_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)}{\Delta\lambda} \approx \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}} \tag{10}$$

式中,  $\lambda_c$  为 2 倍康普顿波长;  $\lambda_0$  为入射光子波长。真空中传播的电磁波主要由宇宙中各个星系发出, 根据哈佛光谱分类法, 星光光波波长范围主要集中在 100~1400nm 的红外到紫外波段。这一波段的电磁波与虚粒子发生散射时的能量损失可由式 (10) 得到, 该能量损失以辐射形式释放后, 其辐射光子的波长范围约为 2.0mm~4.0m。若将该波长对应到黑体单色辐出度峰值波长, 利用黑体辐射的维恩位移定律:

$$T = \frac{b}{\lambda_m} \tag{11}$$

式中,  $T$  为黑体温度;  $b$  为维恩位移常量,  $b = 2.897\text{mm} \cdot \text{K}$ ;  $\lambda_m$  为黑体单色辐出度峰值对应波长, 则对应的黑体温度范围为 0.72mK~1.4K。该温度范围处于 CMB 的温度以内, 说明真空中若存在光子-虚粒子散射时, 将会对 CMB 产生贡献。

考虑真空中传播的电磁波主要由宇宙中各个星系发出, 假设恒星温度为  $T$ , 其单色辐出度满足黑体辐射公式:



$$M(\lambda_0, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda_0^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda_0 kT}} - 1} \quad (12)$$

式中,  $h$  为普朗克常数;  $k$  为玻尔兹曼常数。假设虚粒子吸收并释放的波长为  $\lambda$  的单色辐出度为  $m_\lambda$ , 则  $m_\lambda$  应正比于恒星单位时间内发出的对应入射波长的光子数。假设发生光子-虚粒子散射的概率为  $P$ , 同时我们假定散射沿空间各方位角的散射概率相同, 那么 VSS 的单色辐出度为不同能量的入射光子以不同角度散射得到的具有相同散射能量光子的总和, 根据式 (10)、式 (12) 并对空间所有角度进行积分, 则有:

$$\begin{aligned} m_\lambda &= \int_0^\pi \frac{M(\lambda_0, T)}{hc/\lambda_0} \frac{hc}{\lambda} P \sin\theta \frac{d\theta}{4\pi} \\ &= \int_0^\pi \frac{2hc^2 P}{\lambda^3 \lambda_c^2 \sin^3 \frac{\theta}{2}} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda^{1/2}\lambda_c^{1/2}\sin\frac{\theta}{2}}} - 1} d\sin \frac{\theta}{2} \end{aligned} \quad (13)$$

通过积分运算, 有:

$$m_\lambda = \sum_{n=1}^{+\infty} \left( \frac{C_1 T}{nC_2} + \frac{C_1 T^2}{n^2 C_2^2} \right) e^{-\frac{nC_2}{T}} \quad (14)$$

式中,  $C_1 = \frac{2hc^2 P}{\lambda^3 \lambda_c^2}$ ,  $C_2 = \frac{hc}{\lambda^{1/2} \lambda_c^{1/2} k}$ 。在一级近似下, 只考虑  $n=1$  的项, 可以得出:

$$m_\lambda \approx \left( \frac{C_1 T}{C_2} + \frac{C_1 T^2}{C_2^2} \right) e^{-\frac{C_2}{T}} \quad (15)$$

式 (15) 便是光子-虚粒子发生散射后, 由虚粒子释放的电磁波的单色辐出度与波长的关系, 也即 VSS, 也就是光子-虚粒子散射对 CMB 所产生的贡献。

真空中传播的电磁波主要由宇宙中各个恒星发出, 各恒星表面温度范围主要集中在 2000~30000K 的范围。在此, 以典型恒星太阳 (黑体辐射温度  $T=5770\text{K}$ , 半径  $R_0$  为  $6.96 \times 10^5 \text{km}$ ) 为例, 来初步估算恒星光因光子-虚粒子散射对 CMB 的贡献。设  $T=5770\text{K}$ ,  $P$  为从观测者角度来看恒星光发生散射的概率。例如, 如果恒星与观测者的固有距离  $R$  为 32.6 亿光年 (即 1000Mpc), 根据式 (2) 和式 (4) 可以得到  $P=0.2410$  ( $P$  的不同取值, 不影响 VSS 分布曲线的形状), 则由观测者可观测到的  $m_\lambda$  的分布如图 3(a) 所示。宇宙中大约有  $10^{23}$  个恒星, 实际观测到的 VSS 将是所有恒星和其他天体对 VSS 贡献的总和。由图 3 可以看出, 在较短波长部分, 光子-

虚粒子散射对 CMB 贡献较小, 而在 0.01~1.0m 左右的较长波长部分, 对 CMB 的贡献较大。由于目前 CMB 的观测主要来自毫米~厘米波段, 对于波长大于 1m 的射电波段会受到银河系的超高频辐射而无法直接测量。因此, 只有对射电波段更为精细的观测, 才能得到光子-虚粒子散射的证据。

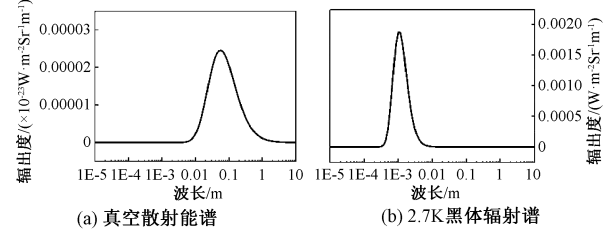


图3 典型恒星光真空散射能谱的初步估算及其与 2.7K 黑体辐射谱的对比

Fig. 3 Preliminary estimation of typical stellar light vacuum scattering spectrum and its comparison with 2.7K black-body radiation spectrum

## 5 讨论

(1) 对于 Ia 超新星观测结果表明, 基于红移得到的距离与基于光度测距法得到的距离, 在高红移部分出现偏差, 目前的主流观点认为, 这是由于在宇宙大尺度存在暗能量 (或宇宙学常数项) 导致宇宙加速膨胀引起的。然而, 暗能量只是人们为解释已有实验结果所提出的理论, 有关暗能量的理论也是百家争鸣、没有统一的看法<sup>[6]</sup>。本文认为造成上述偏差的主要原因是没有考虑电磁波与真空的相互作用, 并由此得到以下拟合结果: 即电磁波在真空中每传播 1Mpc 与虚粒子发生散射的概率为 0.03%、且受激真空红移项  $k$  取值为  $7.667 \times 10^{-5}/\text{Mpc}$  时, 不仅 Saul Perlmutter 小组的观测结果<sup>[5]</sup>可以得到很好的解释, 而且还能使目前宇宙年龄观测结果与爱因斯坦-德西特宇宙学模型较好地吻合。当然, 宇宙空间还存在大量的宇宙粒子, 如  $\alpha$  粒子、质子、正负电子和其他宇宙射线等, 这些宇宙粒子也会对光子造成散射作用。如果能对星光-宇宙粒子的散射概率有一个恰当的估计, 则大致能够得到其对散射消光的贡献, 从而根据观测结果, 就可以确定光子-虚粒子散射消光的贡献。

(2) 由于光子-虚粒子散射所造成的 VSS 会对 CMB 起到一定的贡献, 同时, 由于星光密度在大尺度上大体上呈均匀和各向同性分布, 且由于散射角也是完全随机的, 表现为在各个角度有均等的散射

概率,因而 VSS 也大体上是各向同性的。由于宇宙中的星光密度存在局部涨落,因而也会导致 CMB 出现局部涨落。此外,遥远的光子被虚粒子散射后,除了损失的部分能量会形成 VSS 外,其自身也可能会因膨胀红移而成为 CMB 可观测波段的一部分。因此,本文认为 CMB 的来源是多方面的,大爆炸不是其唯一来源,为此需要更加精确的 CMB 测量结果才能对现有宇宙学理论做出严格的验证。本文就 VSS 做了一个简要的估算,但在星光行程过程中,在不同距离上产生的 VSS 也具有不同的红移,因此能够观测到的 VSS 将会是不同距离上 VSS 的综合效应。考虑 CMB 来源的多样性,只有通过对 CMB 更进一步的精细观测,才能确定 VSS、大爆炸余辉和其他因素等对 CMB 的各自贡献。

(3)根据本文的研究结果,可以认为,在系统考虑真空与电磁波的相互作用后,对宇宙红移、CMB、星际消光效应等问题的认识就需要重新审视,从而对基于传统认识所导致的宇宙加速膨胀和暗能量问题,就会有更加适当的解释。例如,近年来,由不同的观测手段得到了不同的哈勃常数:利用 Ia 超新星观测得到的哈勃常数约为  $73\text{km/s/Mpc}^{[4]}$ ,普兰克卫星通过分析 CMB 得到的哈勃常数约为  $67.8\text{km/s/Mpc}^{[7]}$ ,而基于爱因斯坦-德西特宇宙学模型和宇宙年龄观测结果可得哈勃常数大约为  $50\text{km/s/Mpc}^{[3]}$ 。本文认为,造成这些差异的原因是没有考虑电磁波与真空的相互作用。如果计及这个相互作用,那么就不能再认为宇宙学红移和 CMB 的观测结果全部都由宇宙膨胀引起,因而基于红移测量得到的哈勃常数就不能完全体现为宇宙膨胀的贡献。同时,由于受激真空辐射和光子-虚粒子散射等对 CMB 产生了贡献,因而基于现有的宇宙学模型来分析 CMB 难以得到合理的宇宙膨胀速度。可见,在考虑电磁波与真空的相互作用后,不同观测方法得到

的哈勃常数之间的差异可以得到适当的解释。有关这方面的详细讨论,本文作者拟另外撰文予以讨论。  
**致谢:**诚挚感谢美国劳伦斯伯克利实验室的 Saul Perlmutter 提供了有关 Ia 超新星观测数据和文献,感谢中国科学院天文台的田文武研究员有益讨论。

### 参考文献 (References):

- [1] 肖立业, 伍岳 (Xiao Liye, Wu Yue). 电磁波在真真空中的衰变与宇宙学红移 (Decay of electromagnetic waves in vacuum and cosmological redshift) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2019, 38 (4): 1-5.
- [2] Perlmutter S, Gabi S, Goldhaber G, et al. Measurements of the cosmological parameters Omega and Lambda from the first seven supernovae at  $z > 0.35$  [J]. Astrophysical Journal, 1997, 483 (2): 565-581.
- [3] 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, 54-56.
- [4] 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.
- [5] Perlmutter S, Aldering G, Goldhaber G, et al. Measurements of Omega and Lambda from 42 high-redshift supernovae [J]. Astrophysical Journal, 1999, 517 (2): 565-586.
- [6] 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.
- [7] DiValentino 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.

## Scattering of electromagnetic waves in vacuum and its effect on interstellar extinction

XIAO Li-ye<sup>1,2</sup>, WU Yue<sup>1</sup>, LIN Liang-zhen<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** Modern cosmology does not consider the role of vacuum when studying interstellar extinction, cosmic background radiation, and cosmic redshift. However, the vacuum is filled with a large number of quantum fluctua-

tions or the generation and annihilation of virtual particle pairs. Therefore, we believe that when the electromagnetic waves propagate in a vacuum, they may interact with vacuum, which has an effect on interstellar extinction, cosmic background radiation, and cosmological redshift. This paper mainly studies the scattering of electromagnetic waves in vacuum and its influence on interstellar extinction. We consider that electromagnetic waves will be scattered by vacuum virtual particle pairs when they propagate in the universe, which will affect the interstellar extinction. At the same time, the energy of the electromagnetic waves will be lost during the scattering process. The lost energy is emitted in the form of photons and contributes to microwave background radiation (CMB). Based on this theory, we have revised the theoretical curve of the redshift- apparent magnitude relationship, which can better fit the experimental observations. At the same time, we also calculate the contribution of the released photons to the microwave background radiation.

**Key words:** virtual particle; interstellar extinction; dark energy; cosmic microwave background(CMB)