

2012 的实验结果,进行了一个联合的数据分析,首次实现了对 14 个破缺系数的独立测量,在 10^{-9} m^2 的水平下仍然没有观测到粒子洛伦兹对称性破缺效应,这是目前国际上给出的最好的粒子洛伦兹对称

性破缺系数限制。鉴于在现有的实验精度下所有的实验均显示粒子洛伦兹对称性没有破缺,这将推动人们开展更高精度的“粒子洛伦兹对称性”实验检验,从而探究超越广义相对论的新物理。



利用强引力透镜检验 宇宙距离对偶关系

廖 恺¹ 朱宗宏^{2,3}

(1. 武汉理工大学 430070; 2. 武汉大学 430072; 3. 北京师范大学 100875)

宇宙学近年来发展迅速,人们对宇宙的物质组份、宇宙的形成与演化等都有了更加精准而深刻的认识。这些很大程度上都得益于对宇宙学距离的测量。不同于日常生活中测量距离的直观性,在宇宙大尺度上考虑到时空效应,距离的概念变得不同,具体地,要想测量宇宙学距离必须给定一个方案,这就好比日常生活上要想测量距离就需要得到尺子两段的刻度差。宇宙学上通常有两种测量距离的方案:光度距离和角直径距离。

首先,对于光度距离,打个比方,如果我们知道了一根蜡烛的绝对亮度,要想知道它离我们的距离,只需要看它有多亮,越亮则离我们越近,反之越暗则离我们越远。注意,这里的核心是同一个蜡烛并且知道了它的绝对亮度,如果蜡烛本身绝对亮度不知道,我们是无法通过观测亮暗来判断绝对距离的。天体物理中存在一种特殊的天体现象:Ia 型超新星,简单来说,它是由于白矮星吸积伴星质量达到强德拉塞卡极限后引发的爆炸,在物理上,这种爆炸机制决定了每一颗超新星的亮度总是一样的。因此我们可以认为 Ia 型超新星是一类标准烛光。通过对它的亮暗进行观测,就可以知道它们离我们的相对远近,即可以测量光度距离。

其次,对于角直径距离,打个比方,如果我们知道了一根垂直于视向摆放的尺子的绝对长度,要想知道它离我们的距离,只需要看它的两端相对于我们形成的张角即可,角度越大则离我们越近,反之则越远。同理,这里的核心是我们已知了尺子的绝对长度。天文上一个常用的做法是通过其他办法知道了一类星系团的绝对大小,通过测量它张角的大小来确定它的远近,即通常所说的角直径距离。其他常见的办法还有测量重子声学振荡,即声波在早期宇宙中传播而在一定尺度上形成的重子密度变化团。

由于在宇宙学大尺度下必须考虑时空效应,上述测量的两种距离通常是不相等的,这与日常的直觉矛盾,我们日常的直觉只是宇宙学的极限近似。宇宙学研究通常有三个非常基本的假设:1. 宇宙学原理成立,时空由度规理论描述(例如广义相对论就是度规理论的一种);2. 光子沿着零测地线运动(类比于地球的大圆弧);3. 光子数守恒。一般而言,前两个假设是非常基本的,有着很强的物理动机。第三个假设涉及宇宙是否透明的概念:宇宙中间介质可能会吸收,散射光子,使得 Ia 型超新星看起来更暗弱,即光度距离增大。同时,光子也可能在宇

宙电磁场中转变为轻的轴子、引力子等。如果这三个假设成立,同一红移处的光度距离和角直径距离通过如下距离对偶关系联系:光度距离=角直径距离 $\times(1+\text{红移})^2$,红移指的是源发射的某个波长的光子经过宇宙膨胀到达地球波长变长而变红,是通过谱线精确测量的。光度距离和角直径距离都是红移的函数。

当前的研究旨在通过天文观测来验证距离对偶关系,或者说是验证上述的三个假设。任何距离对偶关系不成立的观测证据将可能导致已有的基础物理的动摇,或者是发现新的物理机制,因此有效的观测与检验方案尤为重要。国际上最为主流的方案是通过Ia型超新星得到光度距离,通过星系团观测得到角直径距离,在红移差别可以忽略的情况下将两者进行比较。这个方案中存在如下问题:首先星系团测角直径距离十分依赖于模型假设,即星系团的热气体密度分布的假设能够影响测量结果;其次星系团的个数相对于超新星十分少;最后在技术处理上,存在逻辑问题,超新星的数据都是在假设了标准宇宙学模型下得到的。总之,当前的处理方案远远达不到准确验证距离对偶关系的程度,存在很大的系统误差。

我们提出利用类星体-椭圆星系形成的强引力透镜系统来检验距离对偶关系的方法。类似于在不均匀介质中的几何光学,光子在引力场中会发生偏转,在宇宙学尺度上,典型的强引力透镜系统由遥远的类星体观测得到,类星体中心是一个大质量黑洞,作为活动星系核,可以吸积物质形成吸积盘,吸积盘十分明亮并且以几天为特征时间尺度进行结构变化。类星体(源)发出的光经过前景的椭圆星系(透镜)影响发生偏转,如果两者在视向上足够接近,强大的引力场会把类星体源透镜化为多像,称为强引力透镜效应。这些多像的路径都是由费马

原理决定的,即同时考虑几何和引力势效应,保证时间取极值的路径。一般情况下,我们可以用一个叫做“奇异等温球”的模型来描述椭圆星系。这个模型重要的参数为星系中心弥散速度,它可以反映星系的引力场强弱,是可以透过光谱观测得到的。另一个重要的观测量是强引力透镜多像之间的分离角。根据引力透镜理论,这两个观测量可以用来决定源到透镜的角直径距离和源到地球的角直径距离之比。具体的关系表现为,角直径距离比正比于分离角,反比于弥散速度的平方。

我们假设距离对偶关系随着红移而线性演化,即令角直径距离 $\times(1+\text{红移})^2/\text{光度距离}=1+a\times\text{红移}$,其中a是否为零是检验的核心。值得强调的是,对于一个强引力透镜系统,我们得到了的是一个距离比值,因此我们在用超新星的光度距离时,我们也需要对应红移处的两个测量。经过一些数学变化,我们证明了通过这个方法能够有效地在不同红移处比对光度距离和角直径距离,进而对距离对偶关系进行检测。

我们的数据包括了当前最完整的超新星数据库JLA,有740颗Ia型超新星的观测。我们直接用到了测光数据,而不是先假设宇宙学模型得到距离模数,因此我们的方法是独立于宇宙学模型的。另一面,我们用到了118个强引力透镜系统的观测数据,作为一种新的方案,它可以有效的消除之前单一方案带来的系统误差,同时也可以打破相关的参数简并。我们得到了初步的结论:当前的观测精度下,距离对偶关系是成立的。

马上要到来的下一代巡天项目如EUCLID计划,Pan-STARRS,LSST,JDEM等将会发现成千上万的强引力透镜系统,这会让我们的方法变得更加切实可行。我们将会更高精度下对距离对偶关系进行检测。