

利用河外暂现源对爱因斯坦弱等效原理进行最精确检验

等效原理是爱因斯坦建立广义相对论和引力理论的重要基石。爱因斯坦等效原理预言，无静止质量或静止质量可以忽略的中性粒子在引力场中传播，穿越的时间和没有引力场情况是不同的，该效应也被称为 Shapiro 延迟。等效原理可以通过对比河外暂现源同时释放的不同能量光子在通过同一个引力场所用的时间差来检验，即比较不同能量光子在银河系引力场中传播对应的后牛顿参数 γ 值（单位质量引起的空间弯曲）的差别是否为零（见图 1）。紫金山天文台吴雪峰研究员及其合作团组（主要包括魏俊杰助理研究员、北京师范大学高鹤副教授以及中科院爱因斯坦讲席教授 Peter Mészáros 教授）最近利用不同种类的河外暂现源，对爱因斯坦弱等效原理进行了最精确的检验。

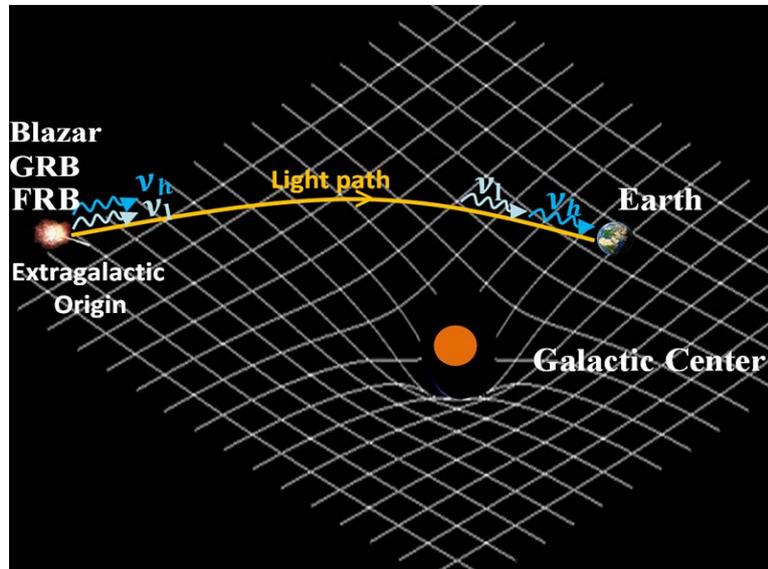


图 1: 河外暂现源同时发出的不同能量光子（若 γ 值存在差异）在银河系引力场中传播最后到达地球时间不同。

我们首先利用伽玛射线暴不同能量光子的到达时间差，证明能量为 eV（光学波段）、MeV 甚至 GeV（伽玛射线波段）的光子，其对应的后牛顿参数 γ 值差别小于 10^{-7} 。该结果比之前相关限制至少提高了 1 个量级。目前在 eV 能级上的 γ 绝对值最好限制结果是在 10^{-3} 量级上符合广义相对论 ($\gamma=1$)，该研究结果将这一结论在电磁波谱上从光学一直延伸到了 GeV 能级 (Gao, Wu*, & Mészáros, 2015, ApJ, 810, 121)。

我们首次提出河外或宇宙学起源的快速射电暴可以被用来精确检验爱因斯坦等效原理。该工作发现以不同频率的射电光子为检验粒子时，后牛顿参数 γ 的差值上限被限制到 10^{-8} 量级（见图 2）。这一结果是迄今为止的最好限制结果，比之前相关限制至少要提高了 1-2 个量

级，并且把对等效原理的检验扩展到了射电波段，从而进一步证明了等效原理假设的正确性。这一研究论文以主编推荐（**Editors' Suggestion**）形式于2015年12月发表在顶级物理学期刊 *Physical Review Letters* 上（Wei, Gao, Wu*, & Mészáros, 2015, PRL, 115, 261101）。该成果被《中国科学报》（2015年12月29日第6448期）在头版以“要闻”形式进行报道，此外还被多家国内知名媒体和网络（如《新华社》）报导。在国际上，此工作被包括 **Phys.org**、**ScienceDaily** 等10多家具有广泛影响力的国外媒体所报导。该工作近期还被国际著名射电天文学家、快速射电暴第一个发现者 Duncan Lorimer 在2016年2月25日出版的 *Nature* 杂志“News & Views” (vol.530, p.427) 中提到：“A large census of FRBs will not only ..., but also map out the cosmic web in great detail¹¹, provide stringent tests of general relativity¹²,...”（其中引文¹²就是我们文章）。。

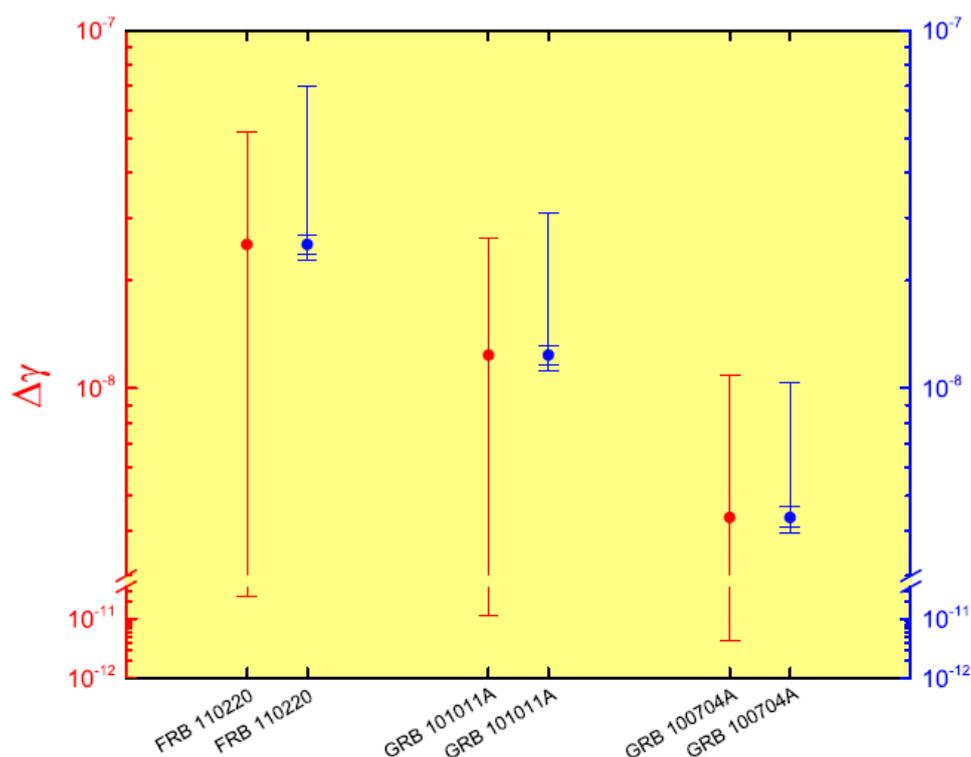


图 2: 快速射电暴检验爱因斯坦等效原理的结果。

最后，我们还利用 TeV blazars 将这类检验推广到 TeV 能段，相关结果发表在 *The Astrophysical Journal Letters* 上（Wei*, Wang, Gao, Wu*, 2016, ApJL, 818, L2）。