

利用脉冲星测到引力波了？

(北京大学 徐仁新 编译自 Michael Schirber. *Physics*, January 28, 2021)

想象一下，能将引力波探测器延伸至银河系的边缘吗？北美纳赫兹引力波天文台(NANOGrav)正是这样的组织，通过监测河内若干脉冲星的脉冲到达时间来测量距离的改变。2020年NANOGrav宣称发现脉冲到达时间出现涨落，可能是纳赫兹引力波的证据。黑洞合并可产生这种引力波，但不排除其他波源，包括宇宙弦、宇宙早期黑洞形成等。若NANOGrav信号确实源于引力波，则未来5年进一步观测或能区分这些模型。

脉冲星是快速旋转的中子星，其辐射束等间隔地扫过地球，恰如灯塔。1974年，Hulse和Taylor发现双中子星辐射引力波导致轨道改变的观测证据。2015年，激光干涉仪LIGO成功探测到臂长的微小变化，从而直接测量引力波¹⁾。NANOGrav监测天区内45颗脉冲星，寻找几光年距离上空间扭曲而产生的类似效应。当引力波在地球和一颗



通过监测多颗脉冲星的射电脉冲，天文学家可能发现了背景引力波信号

毫秒脉冲星之间穿越时，距离的改变将影响那颗脉冲星辐射束到达地球的时间。

基于12.5年数据的分析，NANOGrav于2020年给出年尺度上的计时涨落。所有脉冲星均显示这一涨落，因而排除脉冲星自身计时噪声。NANOGrav的Joseph Simon说：“脉冲星无法相互沟通来协调它们的行为”，而宇宙随机背景引力波可能导致这种涨落。“测量背景引力波将是引力波天文学的重要里程碑”，CERN的Kai Schmitz说。

NANOGrav结果仍然存疑。Simon说：“我有信心信号是真实的”，但坦承引力波的解释还需进一步研究。只有引力波才会导致脉冲到达时间残差的四极关联。

若信号确实来自引力波，那自然的解释就是黑洞并合。为产生纳赫兹引力波，并合黑洞的质量要比LIGO/Virgo测得的黑洞重数百万倍。天文学家知道，多数星系的中心存在超大质量黑洞。由于星系并合，超大质量黑洞也会并合。Schmitz认为这里存在不确定性，如黑洞能否形成密近轨道产生引力波。

其他引力波源也是可能的。Schmitz及其同事认为，NANOGrav数据可用宇宙弦解释。宇宙弦为一维致密物体，预计在早期宇宙相变时产生，在空间纵横交错。随着时间的演化，宇宙弦相互碰撞或相交，形成闭环并振荡而产生引力波。模型认为，闭环会在宇宙历史

中形成，至今将延展至数光年并产生低频引力波。华沙大学的Marek Lewicki说：“如果您看到纳赫兹信号，很可能是宇宙弦”；他和伦敦国王学院John Ellis合作对宇宙弦引力波背景进行了建模，与Schmitz等人结果一致。

第三种解释涉及原初黑洞。推测它可能在早期宇宙形成，并辐射引力波。日内瓦大学Gabriele Franciolini解释说，引力波频率与黑洞质量有关。NANOGrav看到的纳赫兹信号对应于0.1至0.01倍太阳质量范围内的黑洞。Franciolini等建立了一个模型，所形成的原初黑洞质量可分布在太阳到小行星的质量之间，其总质量与暗物质成分相当。此建议的诱人之处在于：它不仅解释NANOGrav观测结果，还可以解释暗物质。也有模型认为，原初黑洞的质量分布于上千到百万倍太阳质量之间；它们不太可能是暗物质，但帮助解决超大质量黑洞形成之谜。

NANOGrav团队还将确认信号的真实性。2020年12月Arecibo望远镜的倒塌导致合作中断。团队正在跟欧洲及澳大利亚的脉冲星计时阵成员进行数据比对。利用500米望远镜FAST，中国脉冲星计时阵(CPTA)自2019年开始积累数据。Simon认为，若信号是真的，则未来5年积累更多的数据将会区分不同模型。Schmitz说：“脉冲星计时天文前途光明”；如果年轻学生谋划职业生涯，他会建议从事这一研究。

1) 详见：徐仁新译. 首次测到引力波. 物理, 2016, 45(3): 195.