
理论物理所提出一类产生强各向异性的随机引力波背景模型

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14081.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

2015年9月，美国LIGO（激光干涉引力波天文台）团队对双黑洞并合事件产生引力波的直接探测，开启了引力波天文学的新时代。宇宙早期暴胀是现代宇宙学标准模型中的核心组成部分。宇宙早期暴胀时期真空量子涨落导致的原初引力波可以通过宇宙微波背景辐射（CMB）温度扰动的B模极化来观测，进而可以对暴胀模型构造提供重要的物理信息，如暴胀发生的时间和能量标度。然而，原初引力波尚未被观测到，目前对此严格的限制来自于普朗克卫星研究组2018年的结果，在95%的水平上张标比 r 小于0.09。原初引力波背景是引力波探测的另一重要科学目标。由于原初引力波功率谱正比于暴胀能标的四次方，因而低能标暴胀模型预言的原初引力波较难被观测到。因此，需要寻找新的理论和观测方法对构造早期宇宙演化的暴胀模型提供帮助。

与CMB类似，暴胀结束后产生的引力波在传播过程中振幅相互叠加，形成方向随机的引力波背景（SGWB），其各向异性中也蕴含着暴胀模型的关键信息。在早期宇宙的一些剧烈过程中，如相变、预加热、拓扑缺陷的产生和演化，哈勃视界内往往存在能量密度大的涨落，由于其横向无迹分量非零，这些扰动将产生可观测的引力波。引力波在宇宙中传播时几乎不与其他物质相互作用，能量几乎不衰减，这使引力波成为直接探测早期宇宙演化的理想探针，并将对新物理提供独特的线索。这些随机引力波的频率可以落在多种探测器的敏感区间中，如地基引力波探测器LIGO、空间引力波探测器LISA和Taiji、脉冲星测时阵列SKA等。此外，SGWB也可以解释北美纳赫兹引力波纳米天文台（NANOGrav）合作组发现的随机共谱过程。

SGWB和CMB同样是随机背景，从对CMB观测的历史可以发现，随着探测手段的进步，从测量能量谱到观测各向异性并提高角分辨率是发展趋势，对SGWB各向异性的研究得到越来越多的关注。近日，中国科学院理论物理研究所研究员蔡荣根、郭宗宽，以及理论所博士后（已毕业）刘京，探究宇宙畴壁塌缩产生的SGWB，并提出一种新的机制产生SGWB的强各向异性，进而观测这一强各向异性的SGWB可以限制暴胀的能标。畴壁是一种片状的拓扑缺陷，产生于具有离散对称性自发破缺的粒子物理模型中。畴壁的运动和塌缩会产生可观的引力波。科研人员考虑了一类暴胀时期的轻标量场。这类轻标量场可以是希格斯场、轴子场等，其势函数具有多个非简并真空（图1），标量场有效质量小于暴胀时期的哈勃参量。暴胀时期的真空量子扰动导致标量场跨越势垒。在暴胀结束后，哈勃参量逐渐减小到标量场有效质量以下，标量场稳定在不同的真空附近，畴壁形成。虽然畴壁的能量密度所占比例随时间增大，由于真空非简并，畴壁将在其能量主导宇宙之前塌缩，引力波也主要产生于畴壁塌缩前后。由于标量场在暴胀时期是轻场，其大尺度扰动在出视界后保持不变，造成畴壁能量密度的大尺度扰动和SGWB的各向异性。

该研究利用半解析方法得到预言的引力波能量谱和各向异性（图2）。与以前研究的不同是，这

类模型产生的随机引力波背景各向异性很大，在大尺度上角功率谱可达到大于0.01，这有望被SK A等探测器观测到。通过SWB的角功率谱的观测，可以对暴胀能标提供更严格的限制。该模型也可以解释NANOGrav合作组12.5年的观测结果。

相关研究成果发表在Physical Review Letters

126.141303(2021)上。研究工作获得国家自然科学基金委员会、科学技术部和中科院的资助。

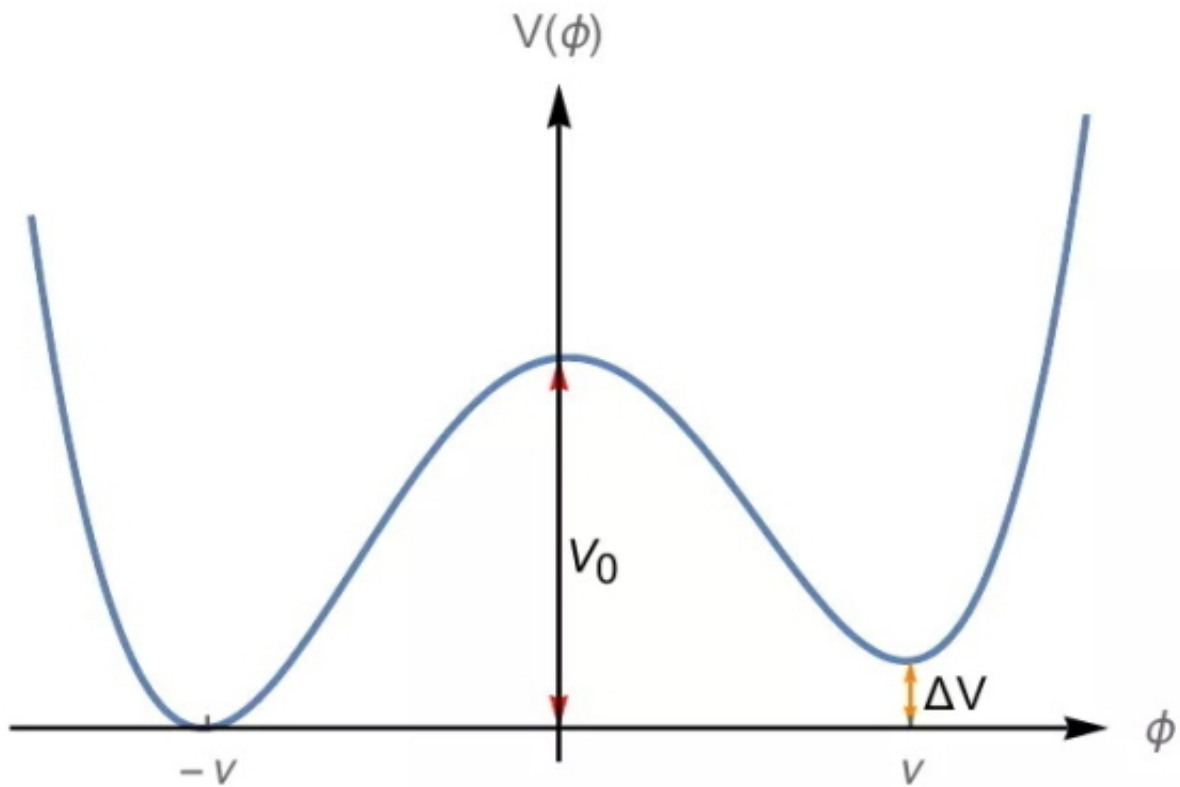


图1.一个典型的非简并标量场势函数

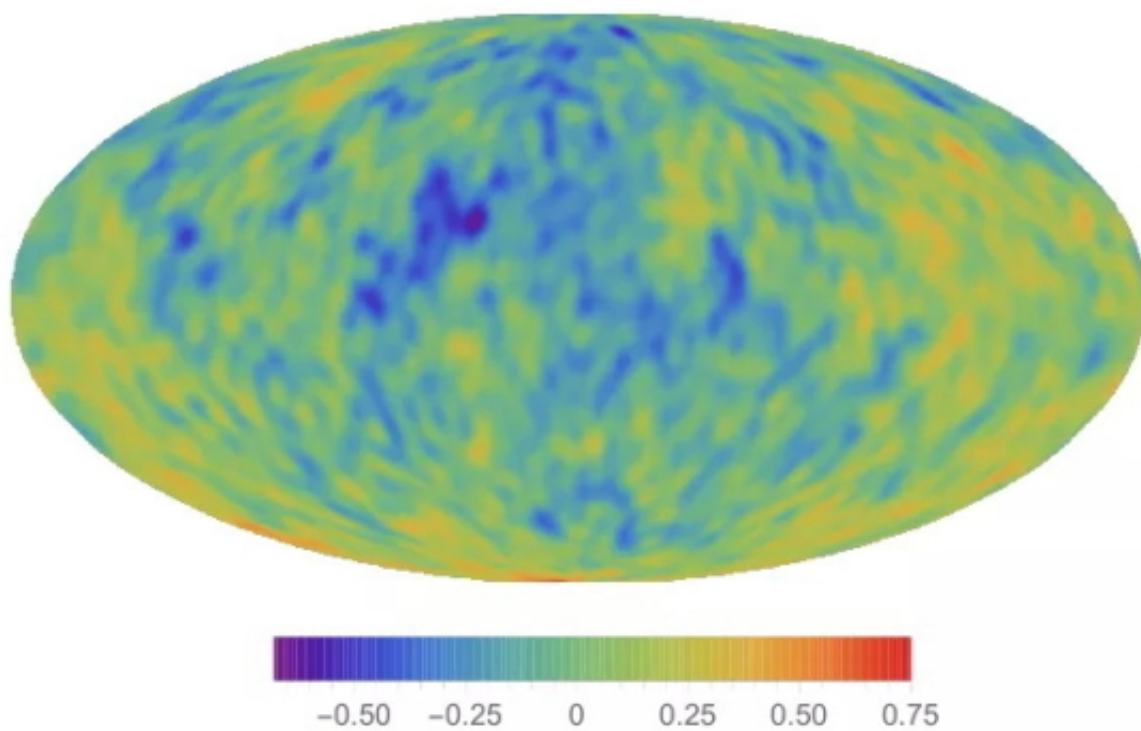
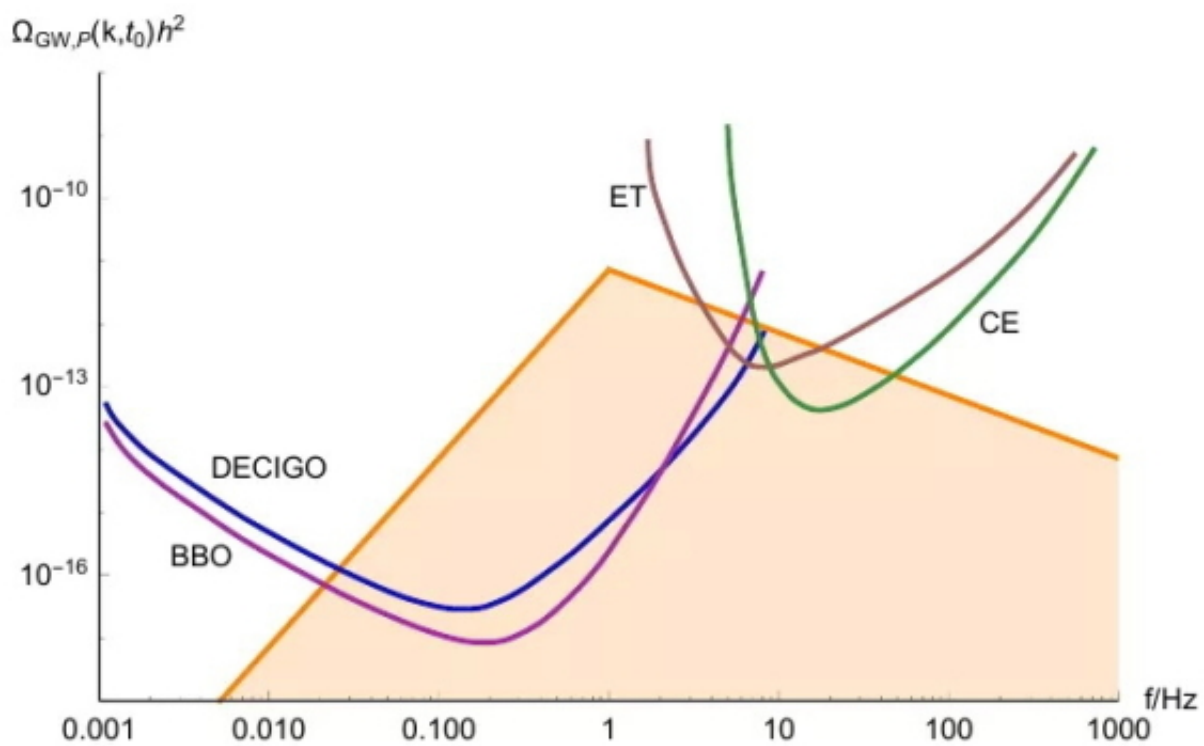


图2.畴壁塌缩产生的随机引力波背景强度和强的各向异性

研究团队单位：理论物理研究所

更多科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发