

的时候，热涨落起主导作用。这时，偶发的磁矩有序排列会因为较大的热涨落而迅速变得无序。在低于相变临界温度的时候，张量场之间排斥力起主导作用。此时黑洞外由于量子涨落而偶然凝聚起来的反对称张量场的空间分量并不会落入黑洞，而是在黑洞视界附近凝聚起来、产生非零的期望值。这对应于铁磁材料在低温的时候，热涨落不足以破坏偶发的磁矩排列有序化，从而使得材料磁矩产生有序的定向、表现出宏观磁矩。另外通过研究在相变点附近反对称张量场的空间分量的凝聚行为，作者还发现全息模型给出的相变临界指数和平均场理论给出的结果一致。

此外，在添加外磁场后，由于磁场作为反对称张量场空间分量的源出现，这使得黑洞外张量场空间分量即便在高温的时候其期望值也是非零的。这正好对应于铁磁材料在其顺磁相的时候，外磁场会诱导产生磁矩。通过研究反对称张量场的空间分量对外磁场的响应，作者发现在高温的时候，诱导磁矩与外磁场呈现出单值的关系；但是当温度低于铁磁转变温度的时候，磁矩和外场就不再是单值关系了，并呈现出所谓的“磁滞”现象。当磁场连续变化的时候，诱导磁矩呈现出一个单磁畴的磁滞回线。同时在温度高于临界温度，但是距离临界温度不太远的时候，磁化率的倒数与温度呈现线性关系、并且在临界温度上发散。这一结果也符合铁磁材料的居里-外斯定律。这些现象说明，这一个全息对偶模型能够抓住铁磁相变的主要

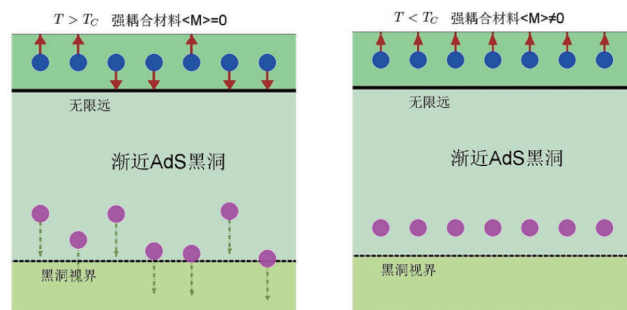


图 1 不同温度下，真实材料中磁矩的排列与全息对偶模型中反对称张量场的空间分量在黑洞附近凝聚的示意图。图中粉红色的点代表黑洞视界附近由于真空涨落产生的张量场的空间分量，蓝色的点代表材料中晶格格点上的微观磁矩、箭头表示其指向。图中 $\langle M \rangle$ 表示磁矩的平均值， T 表示体系的温度， T_c 是发生铁磁相变的临界温度。

特点。

作者的这一工作以“快报”（Rapid Communications）的形式发表在美国物理学会刊物 Physical Review D90 (2014) 081901 上。这项工作的重要意义在于它提供了一个研究强关联电子体系中自发磁化的新途径。由于这个模型和已有全息超导、全息费米液体等理论在框架上是独立的，这使得我们能将其和这些理论中的某些进行合并，从而为研究自发磁有序行为在非规范超导体、奇异金属等材料中的作用开辟新的途径。相信在不久的将来，随着研究工作的不断深入，人们对于磁性相关的强关联电子体系以及对于全息对偶原理本身将会有更本质的了解。

获奖论文

引力波多信息天文学

范锡龙

（湖北第二师范学院 430205）

引力波是广义相对论所预言的“时空的涟漪”——时空本身以光速传播的扰动。所有非球对称分布的物体的运动都可以产生引力波。但是时空是非常“硬”的，要想让时空的振动幅度（引力波振幅）大到能被我们观测到，所需要的能量需要两个黑洞碰撞，或者

一颗恒星爆炸这种剧烈天体变化过程才能释放。区别于电磁波的传播，几乎没有什么能阻挡、改变引力波的传播。这样，引力波就携带了天体本身整体结构及其演化过程最本质的信息。实际上，在遥远的宇宙深处，类似于上面提到的两种天体剧烈演化每天都在发

生。就像远处的汽笛我们很难听到一样，要想“听到”那些遥远天体剧变发出的引力波信号，需要安静的环境和灵敏的“耳朵”。

目前世界上有四个正在运转的“耳朵”——地面引力波干涉仪探测器：在美国 Hanford 和 Livingston 的激光干涉仪引力波天文台 (LIGO)，在德国的 GEO600 和在意大利的 VIRGO。另外日本的 KAGRA 和印度的 LIGO-India gravitational-wave observatory 也正在计划建造中。引力波干涉仪探测器对天空中几乎所有位置的信号都响应，这带来的后果是我们很难靠单个探测器确定引力波源的方位。通过分析引力波信号到达地面上不同位置处探测器的时间，联合探测器组成网络可以提高引力波源的定位能力。然而地球的尺度限制了这项技术的能力：计划中的探测器网络也只能把引力波源定位在数十平方度之内。于是，我们面临着一个重要的问题：引力波波源在哪里？

传统天文学能帮助我们克服这个问题。首先，几乎所有的天体都被认为在星系里面。如果我们能看到引力波波源的宿主星系，那么我们也就能更好的确定引力波源的位置。实际上，地球上绝大部分光学望远镜都还不能分辨遥远星系的结构，在它们看来，所有的星系都是一个点。另外剧烈天体演化过程在发射引力波的同时往往也发射电磁辐射。比如两个中子星并合过程除去发射引力波，并合后会发射 γ 射线、X 射线、可见光等电磁波。如果我们探测到伴随着引力波信号的电磁波信号，那么有着良好空间定位能力的电磁波望远镜（从光学到 γ 射线探测器）将大大提高波源的定位能力。另外联合电磁波和引力波对同一个天体过程进行观测（多信息天文学）将会更深刻地揭示天体演化涉及的天文学、物理学规律，这也是多信息天文学的核心目标。

基于上述目标，我们在贝叶斯概率理论框架下，提出了一个联合两个独立观测量来限制理论参数的基本表达式。首先我们指出一个事实：如果想确定两个独立观测量对应于同一个物理事件（例如天体源），那么一定要有共同的参数来描述这两个观测量（例如引力波源和电磁波源的空间位置和距离）。通过计算，我们发现，共同参数的总后验概率正比于此

参数分别用两个独立观测量获得的后验概率之积再除以它的先验概率：先验概率只能使用一次！这个表达式有如下优点：（1）两个独立观测量的数据处理可以分别独立进行；（2）某一个观测量的数据结果可以及时更新而不需要处理另一个观测量的结果来得到总后验概率。

引力波定位问题是我们这个一般表达式的第一个应用例子：两个独立观测量为引力波数据和星系列表，共同的参数就是引力波源和其宿主星系的空间位置和距离。我们数值模拟了 8000 个对于第二代探测器网络来说探测概率最大的中子星对并合发射的引力波信号。我们的数值模拟结果显示：（1）我们可以 $\sim 99\%$ 的确定某些引力波源的宿主星系，其空间位置和距离也就随之确定。（2）我们必须建立一个新的全天、更深的星系列表以满足即将到来的引力波天文学时代的需求。（3）宿主星系候选体的距离分布能提高引力波波源光度距离的参数估计精度，这有助于打破引力波数据处理中“光度距离-视向夹角”这对简并参数。

这种引力波-星系联合观测的结果还可以被用于宇宙学中：引力波波源宿主星系确定后，我们就能利用光学望远镜观测到其红移。这个红移和从引力波数据得到光度距离是利用“距离-红移关系”研究宇宙学问题的基本要素。在大量引力波波源宿主星系被观测到后，我们的贝叶斯引力波天文学框架还能回答另外一个更有趣的问题：什么样的星系更可能是引力波波源的宿主星系？我们目前正在测试此基本框架在引力波-伽马爆联合观测的应用。最终目的是建立并且测试引力波-伽马爆-宿主星系这个观测三角关系。

