

以及 CHIME 的天空覆盖面积、精度和观测时间。我们对这些因素进行了定量的分析。简要结果见图 1。

以上方法提供了一种全新的直接探测宇宙膨胀加速度的方法，并通过计算给出该方法用于类似 CHIME 巡天的现实可能性。由于实际观测存在很多不确定的因素，包括 21 cm 中性氢和射电源的分布和性质，本文给出的观测精度只是定性的估计：若宇宙加速膨胀

的理论是正确的，那么通过 10 年的观测我们可以给出 5σ 的宇宙加速膨胀的置信度。尽管这样的结果还没有精确到可以精确的定量测量宇宙膨胀的历史，但一种低精度却直接的测量更能让人信服宇宙的加速膨胀状态。相对于间接地推测出暗能量的精确状态方程，通过直接的观测手段让人类信服宇宙加速膨胀的存在具有更重要的意义。



获奖论文

全息对偶 ——理解强关联磁性体系的新途径

蔡荣根 杨润秋

(中国科学院理论物理研究所 100190)

磁性材料所表现出的磁力以及宏观的磁现象，在人类社会当中有着悠久的历史。然而磁性材料中磁性的起源却是在最近一百年、伴随着量子力学的诞生以及关于材料的量子理论的建立和完善而逐步被人们所了解。在 1928 年第一个描述自发磁化的量子模型由德国物理学家海森伯首先提出后，各种基于交换相互作用描述自发磁有序的模型相继被提出。这些模型的共同特点是假设每个电子只与少量的电子发生关联，或者虽然每个电子都与大量电子发生关联，但是关联强度很弱。基于这些理论计算得到的结果和实验测量相符得非常的好。然而随着人们对材料加工和控制技术的不断进步、新型奇异磁性材料的涌现，传统的磁性理论日益面临挑战。尤其是在强关联巡游电子体系中，由于大量电子强烈的关联效应，使得传统基于微扰的计算手段基本失效。寻找一个合适的非微扰理论框架来理解强关联电子体系是当今凝聚态物理的重要问题之一。

为了理解强关联电子体系中自发磁有序相关的物理问题，根据由特霍夫特 (G. 't Hooft)、威滕 (E. Witten) 和著名超弦物理学家马尔德斯纳 (J. Maldacena) 等人提出的“全息对偶原理”，我们在论文中首次提出了一个描述强关联电子体系中自发磁有序的全息对偶模型。这一全息对偶模型的关键点在于采用一个反对称

的张量场的空间分量来描述磁矩，而不是直接采用一个矢量来描述。这样做的原因在于，电场和磁场作为电磁场张量的分量、组成一个不可分割的整体，其对应的极化（即电偶极矩和磁矩）也应该组成一个不可分割的整体。因此在一个协变的理论中，我们需要采用一个反对称的张量场来整体地描述电磁场的极化。基于这一点考虑，作者在一个带磁荷和电荷的反德西特黑洞背景中引入一个和电磁场场强耦合的反对称张量场，从而实现强耦合体系中自发磁有序的全息对偶描述。

首先在没有外磁场的时候，这一个模型在低温的时候能够实现“时间反演”对称性的自发破缺与自发磁化，从而实现了“顺磁——铁磁”相变的全息描述。产生这一相变的原因是由于在黑洞视界附近引力的相互吸引和反对称张量场自身的排斥两种作用力之间竞争的结果。这和材料中热涨落导致的无序化和交换相互作用引起的有序化之间的竞争相对应。这一点可以由图 1 来定性的说明。根据黑洞热力学的相关理论，较高霍金温度的黑洞具有较大的表面引力。在高于相变临界温度的时候，黑洞的引力起主导作用。因此在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会感受到黑洞较大的引力，从而迅速的落入黑洞消失掉。这对应于在材料中，在高于相变温度

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

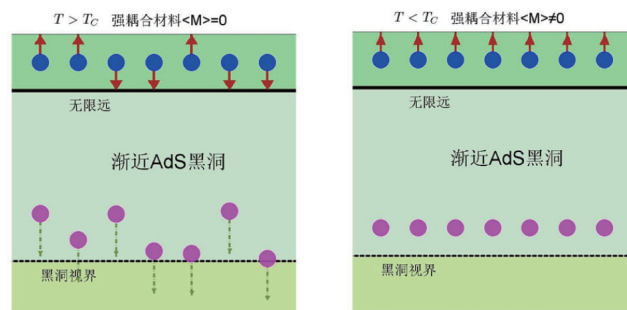


图 1 不同温度下，真实材料中磁矩的排列与全息对偶模型中反对称张量场的空间分量在黑洞附近凝聚的示意图。图中粉红色的点代表黑洞视界附近由于真空涨落产生的张量场的空间分量，蓝色的点代表材料中晶格格点上的微观磁矩、箭头表示其指向。图中 $\langle M \rangle$ 表示磁矩的平均值， T 表示体系的温度， T_c 是发生铁磁相变的临界温度。

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常规超导体、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