理论物理所等在暗物质研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/11371.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！

暗物质直接探测实验XENON1T位于意大利格兰萨索国家实验室地下，利用2吨重的液氙作为探测器，试图捕捉穿行其中和原子核或电子反应的暗物质踪迹。拥有较低的本底噪声及吨级的靶，使XENON1T给出过世界上较领先的暗物质限制。前期研究表明，对于电子反冲信号的搜索超过本底的预期。在反冲能量低于7千电子伏特的区域，有大约53个事例超出本底的232个。这些信号是否来源于背景的低估或暗物质等新物理，成为高能物理研究的热点话题。科研人员尝试利用太阳中跑出的轴子、暗光子或携带反常电偶极矩的中微子进行解释，然而，天体物理（如红巨星或白矮星）冷却带来的限制和这些解释不兼容。

近期，中国科学院理论物理研究所研究员舒菁和美国犹他大学助理教授赵悦研究团队的研究表明，该溢出可被一种加速的暗物质解释。该加速后的暗物质从某个特点方向穿过探测器，将液氙的核外电子电离产生超出的事例数。研究人员预言，暗物质在穿行地球的过程中，和地球内物质发生同样的相互作用而损失能量，且穿行距离随地球自传而呈现出以天为单位的周期性。因此，加速暗物质来源的方向蕴含在以天为周期震荡的事例数中。

传统暗物质在太阳系附近的运动速度由维里定理通过星系引力势能决定，大约是光速的一千分之一。该速度的暗物质和氙原子外电子散射时，其反冲能量较难达到XENON1T实验的阈值（即1千电子伏特）。若想产生超过阈值的信号，需给暗物质加速，让其动能提高一千倍左右。暗物质加速机制在粒子物理模型中较为普遍，比如在银河系中心，暗物质有较高能量密度，可相互之间湮灭产生较轻的粒子；如果湮灭后的产物仍有部分是标准模型外的粒子，湮灭前粒子的较大质量会贡献到其动能上，使之比其他暗粒子跑得更快。此外，高能宇宙线碰撞和太阳中高温的电子反应均可提高暗物质粒子的动能，使其速度大于维里速度，这可解释XENON1T实验发现的反常溢出信号（图1）。

和传统维里化暗物质不同的是，这些加速了的暗物质从某一固定方向而来。银河系中心是较为自然的加速暗物质起源，但是不能忽略从太阳而来的可能，甚至星系中一些不发光的成团物质也可成为其真正的来源。学界有一个独特的预言——可通过信号在每天不同时刻的堆积情况来判定其来源方向。由于加速暗物质模型拥有和电子较大的相互作用截面，其在地球内部的穿行会经历多次类似的散射。为屏蔽背景噪声，XENON1T探测器位于意大利Gran Sasso国家实验室地下1.4千米，因此，加速暗物质和地球内部物质有一定程度的碰撞。由于地球自传，从某一固定方向传来的加速暗物质在地球内部的穿行距离随时间而变化（图2）。从探测器背后穿行过来的小于正面对着时候的暗物质流，如果能观察到以天为周期的曲线，就可从一定程度上重建出暗物质的来源。一般来说，能谱峰值的恒星时刻对应暗物质方向在赤道坐标系上的经度，而谱型的形状可反映其纬度。这些信息在一定程度上可弥补现有观测无法判断信号方向的限制，用以区分其是否是加速暗物质亦或只是错误的背景估算。

相关研究成果发表在*Physical Review Letters*上，并得到编辑推荐（Editor ’ s Suggestion），美国物理学会（APS）在*Physics*上对该研究成果撰写专题报道以向公众加以解读。研究工作得到国家自然科学基金重大项目和面上项目、“ 中国-以色列 ”国际合作研究项目、国家自然科学基金委员会理论物理专款“ 彭桓武理论物理创新研究中心 ”、中科院战略性先导科技专项（B类）的支持。

论文链接

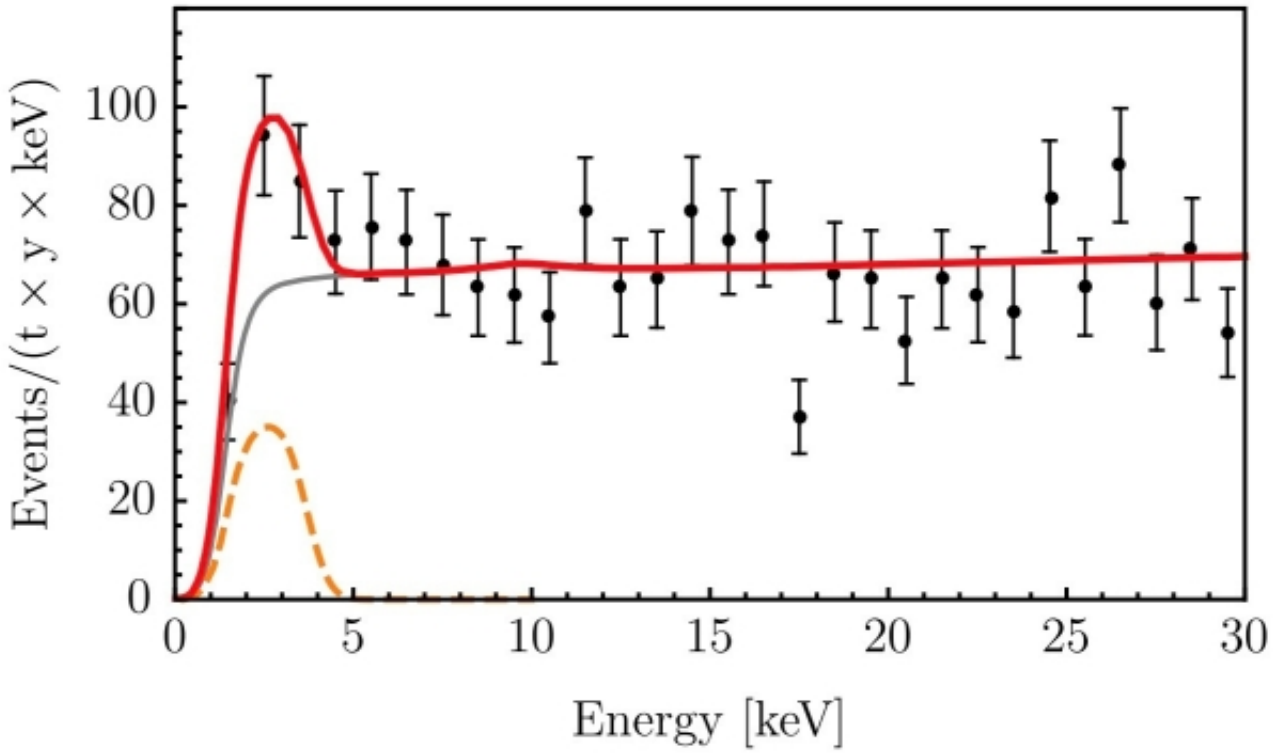


图1.加速暗物质解释XENON1T事例的例子能谱。其中，黑色格点为事例数，灰色线为预计的背景，橙色为拥有0.06倍光速暗物质电离核外电子产生的反常能谱，红色为预言的总事例数

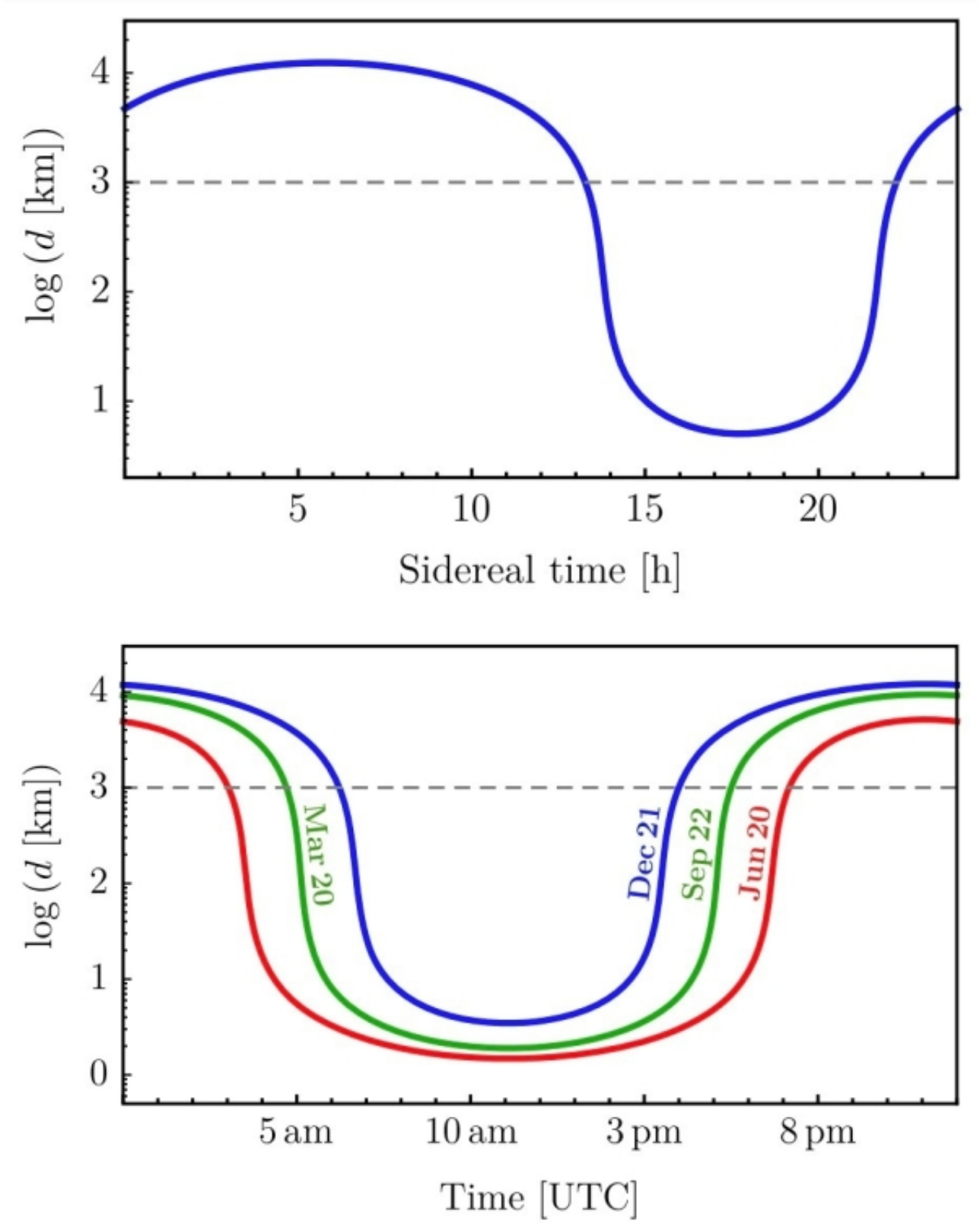


图2.物质从银河中心传播到达格兰萨索国家实验室时穿越地球的距离在一个恒星日内的变化。下方为从太阳方向过来的加速暗物质穿行地球距离在一个太阳日的变化，同时随季节不同而变

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转发