



物理所实验室天体物理研究取得新进展

文章来源: 物理研究所

发布时间: 2010-03-02

【字号: 小 中 大】

近日,中科院物理研究所张杰研究团队与国内外科学家合作,利用高能激光系统,在实验室内实现了黑洞等致密天体周围的辐射场条件,对发生在黑洞周围的光电离过程以及发出的X光辐射进行了细致的实验室研究,获得新的结果。

对天体物理的研究,传统方法主要包括观测与理论模拟。对天体不同波段的观测,必须借助于地面大型望远镜或者空间望远镜。在过去的20年里,以1990年Hubble望远镜的入轨观测为标志,人类对天文和天体物理学的研究进入到一个新的阶段。比如,借助Hubble望远镜以及其他空间望远镜,人类第一次能够在红外波段、可见光波段以及x/γ波段对超新星(SN1987A)爆发早期演化进行观测。科学家们对海量观测数据进行综合,在已知的天体物理基本规律的基础上,借助于大型计算机,可以推知天体的演化历程。然而,对于很多天体和天文现象的研究,有些是由于观测资料太匮乏,对其特性的研究仅限于推测;有些是由于距离地球太远,不易观测;有些则是由于演化时间太长,在有限的时间内,很难对其有一个比较全面的认识。对天体物理的研究,仅靠观测和理论模拟是远远不够的。

随着高能激光系统投入使用,科学家能够在实验室内获得极端的物理实验条件。这样的实验条件是前所未有的,可以用于模拟与某些有代表性的天体内部或周边条件,从而使得科学家可以在实验室内对天体物理中诸多重要的、关键的问题进行深入细致的研究。由此出现了一个新兴的研究领域——高能密度实验室天体物理学(HEDLA)。HEDLA领域从出现便展示出极强的生命力,在多个方面做出了激动人心的探索。例如,对行星内部结构有重要意义的物质状态方程研究,超新星爆发过程中的流体力学研究,对天文观测到的喷流现象的物理机制研究等。最近HEDLA的热点之一是研究致密天体,如吸积盘,附近存在的光电离等离子体。这些致密天体可能是黑洞或者中子星,因此受到特别关注。鉴于高能密度实验室天体物理学的重要性,美国政府的国家点火装置计划(NIF计划)也把实验室天体物理学当作几个重要的研究方向之一。

国内早在2000年,物理所张杰院士与中科院国家天文台赵刚研究员共同提出,利用高功率密度激光产生类似天体物理条件,在实验室中深入细致地研究天体物理现象及规律。在过去几年里,张杰院士及赵刚研究员带领的研究组与国际合作者一起,针对诸多课题开展了实验、理论和数值模拟的研究。譬如他们利用神光产生对流等离子体,研究等离子体碰撞产生的冲击波行为;研究由于等离子体自生磁场重联释能产生的高马赫等离子体喷流;利用激光与平板薄靶相互作用产生接近Planck分布的X射线辐射场加热产生等离子体,消除了等离子体的温度和密度梯度,使等离子体维持在局部热动平衡状态;通过采用金腔靶产生均匀X射线场来辐照样品,他们研究了SiO₂泡沫等离子体随时间的演化特征。在相同领域,有的科学家采用z-pinch装置,产生X射线辐射源,来研究光离化等离子体的特性。但这些X射线辐射源的温度多在100-200eV。在天体物理研究中,一般来讲恒星内部及冕区均是碰撞主导电离过程。这样条件的等离子体,最高电离态电离能仅是其电子温度的几倍。但在致密天体周围的冷等离子体的电离过程是由光离化过程主导的,其离化态主要取决于其所处的辐射场,而不是其自身的电子温度。由于实验室中不存在现成的高温x射线辐射源,科学家们不能产生合适波段的标准谱,因此x射线卫星来自不同致密天体周围发射谱的结构不一致问题很难解决。这种情形阻碍了科学家们对吸积盘基本特性的认识。

物理所张杰院士研究团队在过去几年与日本和国内的科学家合作,利用上海高功率激光物理国家实验室的“神光II”和日本大阪大学的“Gekko XII”等强激光装置,在实验室中产生了类似黑洞或者其它致密天体周边的物理条件,对发生在黑洞周围的光电离过程以及发出的X光辐射进行了细致的实验室研究。这使得科学家们能够在实验室中细致地研究极端条件下各种可能的相互竞争的物理过程,为天文学家解释观测到的X射线光谱提供了有力依据,也为天体物理有关计算机程序提供了一个验证平台。

图一给出了GEKKO-XII实验布局。实验重要的突破是利用该装置12路, 共 4 ± 0.2 kJ, 3TW的激光束对称驱动直径 $505 \pm 5 \mu\text{m}$, 壁厚 $6.4 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 的CH靶球, 产生峰值温度接近1keV, 平均温度约0.48keV的x射线辐射场, 从而在实验室内实现了黑洞等致密天体周围的辐射场条件, 如图二。致密天体周围的气体则利用一束10ns, 低光强 $5 \times 10^{10} \text{W}/\text{cm}^2$ 的激光脉冲辐照平板Si靶产生的等离子体来模拟。经过8ns—10ns膨胀后, 等离子体电子温度降低至约25eV, 电子密度降低至约 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。这样低的电子密度和温度, 粒子与粒子之间的碰撞过程在短的时间尺度内不占主导地位; 膨胀后等离子体的平均离化态在 Si^{6+} 到 Si^{8+} 之间。在经CH靶球内爆产生的温度为0.48keV的x射线辐射场辐照后, 实验测量到了以类He硅离子K α 线 (1.860 keV) 为主的x射线发射谱, 如图三。这个谱线与观测到的双星系统的X射线谱对应部分极其相似, 如Cygnus X-3和Vela X-1。但实验科学家们利用细致Non-LTE模型对谱线成分特征的分析, 却给出了与天体物理学家不同解释。科学家们相信, 根据实验结果, 人们对致密天体周围物质结构的认识或许需要做一定的修正。

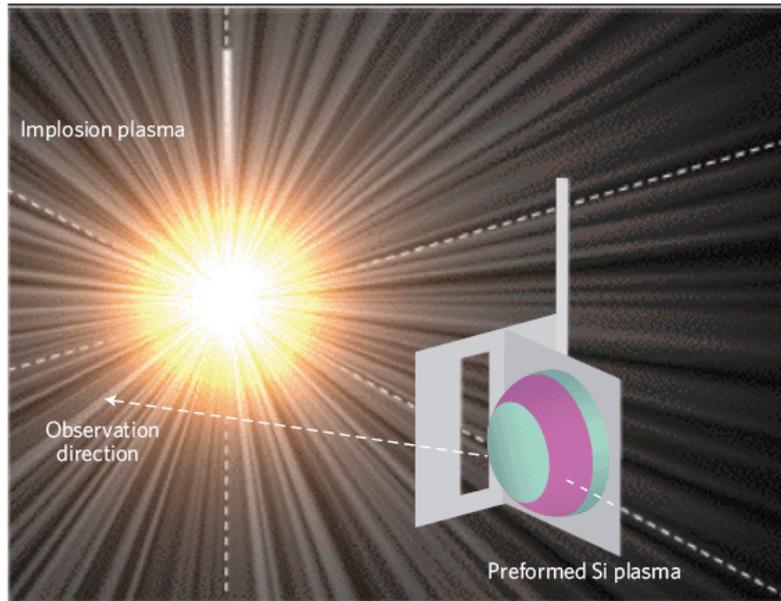


图1: 实验布局: 激光驱动球靶辐射场, 预等离子体以及各实验元素位置

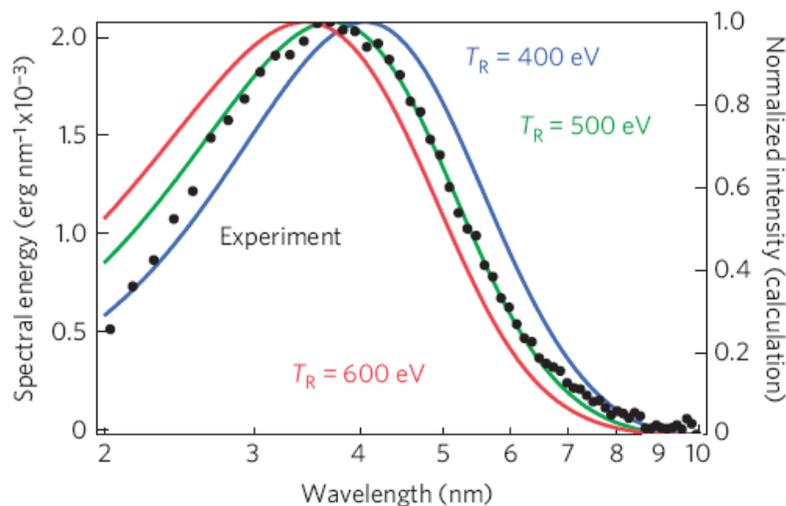


图2: 辐射场平均温度

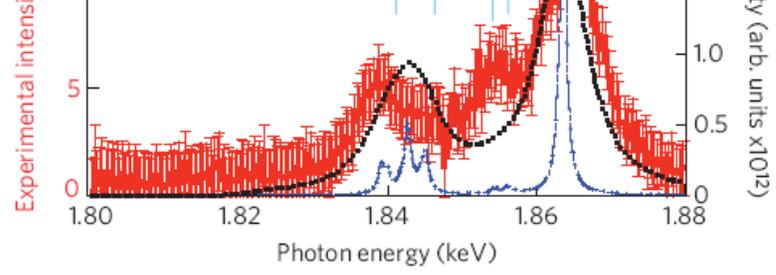


图3: 实验测到的光离化等离子体谱线 (点及误差), 与理论计算曲线 (点化线)

打印本页

关闭本页