

# 陕西省自然科学奖申报项目公示

项目名称	近玻尔速度高电荷态离子碰撞产生内壳层空穴过程机理研究
申报奖种	陕西省自然科学奖
完成单位	咸阳师范学院；中国科学院近代物理研究所
完成人	周贤明；曾利霞；梅策香；程锐；张小安；梁昌慧
项目简介（限 500 字）	
<p>本项目利用 Si 漂移 X 射线探测器，通过 X 射线辐射测量的方法，对近玻尔速度 HCI 碰撞产生内壳层空穴过程进行了研究，较为系统的分析了入射离子能量、电荷态以及靶原子序数等参量对 X 射线辐射和电子发射的影响，并计算比较了相关 X 射线的发射截面和电子发射产额。主要的创新点和成果如下：</p> <p>1) 明确了近玻尔速度 HCI 形成多电离态的产生机制。近玻尔速度 HCI 形成区别于初始电荷态的多电离态是电子俘获和电离的双重作用结果；其与入射离子的能量、电荷态基本无关，但与靶原子序数成线性关系。</p> <p>2) 确认了适用于近玻尔速度能区碰撞电离的理论模型。近玻尔速度 HCI 产生内壳层的电离，可以用 BEA 理论进行模拟，但是要考考虑库伦偏转、束缚能等修正；对 X 射线发射截面的估算，需要考虑多电离对荧光产额的影响。</p> <p>3) 对比论证了高能重离子产生的多电离现象。得到了 X 射线产生截面与靶原子电离能的线性减小关系，根据 BEA 公式，在低能区，X 射线的产生截面与电离能的四次方成反比，已经给出了相应的实验验证；但是在高能区，由于 G 函数比较复杂，不能简单的从公式给出截面与电离能之间的关系。</p> <p>4) 阐述了电子发射的温度效应。升高靶温度可以减少高电荷态离子引起的电子发射产额，且高电荷态离子入射时电子发射的温度效应明显高于单电荷或低电荷离子所引起的结果。因为功函数对动能电子发射和势能电子发射均有影响，电子发射产额对温度的依赖性可以通过功函数对温度的依赖性定性地解释。</p> <p>5) 研究了 X 射线辐射与电子发射之间的能损分配关系。在 50-250keV 能区范围内，质子主要通过靶原子的壳层电子发生非</p>	

弹性碰撞的方式损失其能量，相关的过程可以用两体碰撞近似来处理。

主要代表性论文成果见附件 1。

完成人对项目主要贡献

姓名	排名	职称	单位	主要贡献
周贤明	1	副教授	咸阳师范学院	负责实验终端的升级与维护，搭建了高效、高分辨 X 射线测量系统；系统研究了近玻尔速度高电荷态离子碰撞产生多电离及内壳层空穴过程的 X 射线辐射、质子碰撞产生多电离、电子辐射的能量相关性等问题；负责 X 射线数据处理与文章撰写。
曾利霞	2	副教授	咸阳师范学院	参与实验终端的建设，负责搭建了电子发射温度效应的实验测量系通；系统研究了高电荷态离子入射固体表面引起电子发射的温度效应、动能效应、势能效应，靶材掺杂类型影响等问题；负责电子发射部分数据处理与文章撰写。
梅策香	3	副教授	咸阳师范学院	参与 X 射线辐射测量实验装置的建设，负责晶体谱仪的调试和适用；研究了高能重离子轰击中 Z 元素产生 K 壳层 X 射线辐射、BEA 模型在能区的修正、ECPSSR 模型的适用性等问题；负责高能部分 X 射线的数据处理与文章撰写，
程锐	4	副研究员	近代物理研究所	负责实验平台的建设与束流供应，束线真空系统的建设与维护，搭建了束流实时检测与数据获取系统，研究了 PWBA、ECPSSR 理论模型在近玻尔速度能区的适用性，以及相关计算软件的调试使用问题；负责部分数据处理与文章撰写，
张小安	5	教授	咸阳师范学院	总体负责 X 射线辐射与电子发射测量的实验设计；研究了低能质子、He 离子，高能重离子碰撞产生高 Z 元素 M 壳层 X 射线的辐射机制、以及高电荷态离子碰撞产生禁戒跃迁等问题；负责部分 X 射线数据的处理与文章撰写，
梁昌慧	6	教授	咸阳师范学院	参与电子辐射测量实验系统建设，负责 Si 漂移 X 射线探测器的使用与维护，研究了近玻尔速度高电荷态离子碰撞产生靶原子多电离对高 Z 元素 M 壳层 X 射线的辐射影响，炮弹离子退激双电子单光子过程等问题；负责部分数据的处理与文章撰写，

## 附件 1

## 代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	知识产权是否归国内所有
1	Ionization of highly charged iodine ions near the Bohr velocity	Nucl. Instr. Meth . B	Xianming Zhou, Rui Cheng, Yu Lei, Yuanbo Sun, Jieru Ren, Shidong Liu, Jiachuan Deng, Yongtao Zhao, Guoqing Xiao	2015年342卷133-136页	2015年01月01日	赵永涛	周贤明	周贤明, 程锐, 雷瑜, 孙渊博, 任洁茹, 刘世东, 邓佳川, 赵永涛, 肖国青	0	Web Of Science	是
2	不同离子激发Au靶的多电离效应	物理学报	梁昌慧, 张小安, 李耀宗, 赵永涛, 周贤明, 王兴, 梅	2018年67卷24期243201	2018年12月22日	张小安	梁昌慧	梁昌慧, 张小安,	0	Web of Science	是

			策香, 肖国青					李耀宗, 赵永涛, 周贤明, 王兴, 梅策香, 肖国青			
3	X-ray and kinetic electron emission by keV proton impacting on fusion-relevant tungsten	Nucl. Instr. Meth. B	Xianming Zhou, Lixia Zeng, Rui Chen, g, Yu Lei, Yanhong Chen, Zhongfeng Xu, Ximeng Chen, Yuyu Wang, Yongtao Zhao, Guoqing Xiao	2017年406卷491-495页	2017年09月01日	赵永涛	周贤明	周贤明, 曾利霞, 程锐, 雷瑜, 陈燕红, 徐忠锋, 陈熙萌, 王瑜玉, 赵永涛, 肖国	0	Web of Science	是

4	K and Lshell X-ray production cross sections for 50–250 keV proton impact on elements with Z =26–30	Nucl. Instr. Meth. B	Xianming Zhou, Yongtao Zhao, Rui Cheng, Yuyu Wang, Yu Lei , Xing Wang, Yuanbo Sun	2013年 299卷 61-67	2013年 03月 15日	赵永涛	周贤明	周贤明, 赵永涛, 程锐, 王瑜玉, 雷瑜, 王兴, 孙渊博	11	Web of Science	是
5	M-shell X-ray production induced by H1+ and He2+ on Au	中国科学: 物理学天文学	张小安, 梅策香, 张颖, 赵永涛, 徐忠锋, 周贤明, 任洁茹, 程锐, 梁昌慧, 李耀宗, 曾利霞, 杨治虎, 陈熙萌, 李福利, 肖国青	2016年 46卷 073006	2016年 06月 08日	张小安	张小安	张小安, 梅策香, 张颖, 赵永涛, 徐忠锋, 周贤明, 任洁茹, 程锐, 梁昌慧,	0	CC D	是

								李耀宗, 曾利霞, 杨治虎, 陈熙萌, 李福利, 肖国青			
--	--	--	--	--	--	--	--	------------------------------	--	--	--