

## 附件 3:

## 合肥研究院研究生因公出国（境）事后公示表

姓 名	陈夏华	部 门	十二室		
学 号	BA16168011	在 读 学 位	博 士	出 访 国 家	意大利
计划出访任务	参加 ICTP-IAEA 举办的等离子体光谱学校				
计划日程	2019-05-04 到达目的地 2019-05-05 Poster 展示 2019-05-05 至 2019-05-10 讲座报告 2019-05-11 返回国内				
计划往返路线	合肥-上海-威尼斯-的里雅斯特-威尼斯-上海-合肥				
邀请单位介绍	ICTP 全称为 International Center of Theoretical Physics, 位于意大利的里雅斯特, 由诺贝尔奖得主 Abdus Salam 发起成立, 中心主要目的在于为发展中国家的科研人员提供一流的培训。				
费用来源	须列出哪类经费（如：自然科学基金课题支付） 费用课题来源：国家重点研发计划磁约束聚变能发展研究专项，课题号：Y85GZ16564				
预算经费支出	国际旅费	交通费	住宿费	伙食费	其他
	5000	500	1700	1200	0
实际费用来源及支付金额	<input checked="" type="checkbox"/> 课题组 _____ 8400 _____ <input type="checkbox"/> 学校 _____ <input type="checkbox"/> 国外资助单位 _____ <input type="checkbox"/> 其他资助单位 _____				
实际开始日期	2019 年 05 月 04 日	实际结束日期	2019 年 05 月 11 日		
实际往返路线	合肥-上海-威尼斯-的里雅斯特-威尼斯-上海-合肥				

实际经费支出	国际旅费	交通费	住宿费	伙食费	其他
	4984	500	1627	1162	

实际出访单位名称及主要日程安排：

出访单位 International Center of Theoretical Physics

日程

2019-05-04 到达目的地

2019-05-05 Poster 展示

2019-05-05 至 2019-05-10 讲座报告

2019-05-11 返回国内

### 出访总结

出访主要学习、工作、生活内容、取得成果等（体裁不限，1500 字以上，可另附页）  
见附页

公示情况：

签字：

日期：

## 出访总结

本次出访目的为参加国际理论物理研究中心（ICTP）和国际原子能机构（IAEA）联合举办的等离子体原子分子光谱学校。通过学习和学术交流了解目前等离子体光谱的研究方法和前沿进展。

ICTP 主要安排了四个部分的内容。

第一项内容为学术交流，通过海报的方式展示各学员和老师的研究成果，通过学术交流不仅了解了聚变界其它国外同行利用光谱的研究的成果，还了解了其它学科方面如天文，工业等离子体等的研究内容。

第二部分内容为基本理论学习，学习内容包括以下几个方面；

1. 由 Yuri Ralchenko 教授介绍了原子光谱的相关理论，Yuri Ralchenko 为美国国家标准技术研究院（NIST）的光谱数据的主要负责人之一，他对光谱的相关理论有着深刻的理解。Yuri Ralchenko 介绍了首先介绍了原子激发的基础理论，其余的主要部分集中在等离子体环境中原子/离子光谱的特殊性，这种特殊性表现在两个方面，在等离子体中原子被电离为一系列价态，一些较重的原子的谱线呈现出与轻元素相似的特性，另一方面由于等离子体内电子与核外电子碰撞更为剧烈，禁忌跃迁所占的比重增加。除此之外还介绍了目前基本单位制存在的问题，位于巴黎的质量原型由于其质量一直在发生漂移因此不再考虑将其作为 kg 的度量，而是采用普兰克常数来定义。
2. 来自 IAEA 的 Christian Hill 教授讲解了分子光谱的基本理论，分子光谱和原子光谱的差别在于，分子光谱还需考虑分子的振动和转动所产生的影响。
3. Hyun-Kyung Chung 教授讲解了关于辐射碰撞模型的基本理论。辐射碰撞模型是理解等离子体中分子/原子光谱的重要模型，该模型考虑了原子产生辐射到辐射在等离子体中运输的所有因素，这样造成了该模型十分复杂，目前还获得通用的辐射碰撞模型。但是，在一定的条件下可以得到一定的简化，在碰撞率较高时简化为热平衡或局部热平衡模型，在高温低碰撞率条件下可简化为日冕模型。在应用方面，可以利用辐射碰撞模型获得等离子体密度和温度的信息。通过辐射碰撞模型可以获知，禁忌跃迁与电子密度紧密相关，因此可以利用禁忌跃迁的谱线来测量等离子体温度和密度。
4. Eugene Churazov 教授讲解了天体等离子体光谱的主要内容。测量天体等离子体中的光谱是理解天体运动的重要手段。在宇宙中，氢的丰度是最高的，因此氢的谱线是重要的测量谱线。此外 Fe, He 等谱线也是天文学中常见的谱线。利用光谱可以获得天体质量信息，在所观测范围内，利用光谱数据和质量守恒定律可以推断出暗物质和暗能量的存在。此外还介绍了目前的一些研究进展。天体等离子体光谱星系团是一个理想的 X 光源，而 X 射线在大气中衰减强烈，因此只能在外太空中进行观测。为此，一些机构设计了安装在卫星上的 X 射线望远镜，如钱德拉号，Newton 号等。
5. Sandrine Ferri 教授讲解了关于谱线展宽的相关内容，简要介绍了发射光谱中常见的展宽及机制，如多普勒展宽，自然展宽等。主要介绍了斯塔克展宽的基本理论和应用。斯塔克展宽本质上也是一种禁忌跃迁，因此可以用于等离子体密度测量。计算斯塔克展宽可以利用简化的理论方法或数值模拟方法，二者在实际中需要相互借鉴。

第三部分内容为光谱研究的相关进展

1. Sebastiján Brezinseks 讲解了光谱在聚变领域的研究内容和进展。利用光谱的方法可以获得等离子体的温度，密度等信息，同时还能获得等离子体与壁相

互作用的信息。目前由于钨作为较为理想的聚变堆材料，关于钨的光谱也是目前研究的重要内容。另一方面边界局域模的研究也是目前光谱研究所感兴趣的内容，当边界局域模发生时，会发生强烈的等离子体与壁相互作用，高能粒子将注入到材料中，同时还会引起强烈的材料溅射，还发现了在高能量粒子作用下产生WD分子，这些均需要光谱的方法来加以研究。

2. Christopher Fontes 教授讲解了关于光谱的透过性在天体物理中的应用，在某一天体发出的辐射信号，在被探测器接收之前需要通过许多星云或星系团，因此需要对其中通过的物质的影响进行分析，主要的分析工具采用辐射碰撞模型。在应用方面可以用于引力波的探测，引力波在激发后随后还会产生电磁辐射，在测量和解析光谱信号中，需要了解辐射在传输路径的透过性。

3. Sam Vinco 讲解了关于获取高亮度单色 X 射线的相关知识和方法，以及利用贝叶斯方法处理光谱的数据。

第四部分的内容为实践环节

1. 来自 IAEA 的 Kalle Heinola 介绍了等离子相关的光谱数据库，目前提供的光谱数据库的机构有美国的 NIST，日本的 NIFS，俄罗斯的 VNIITF，中国的北京应用物理与计算数学研究所，IAEA 等，其中常用的有 NIFS 数据库，其收集了大量的未经评价的光谱数据，而 NIST 则是经过评价的数据库，ADAS 数据库主要服务于聚变等离子体领域的相关光谱数据库，IAEA 也提供了 AMNDS 等数据查询检索系统。

2. 来自 NIST 的 Yuri 介绍了 NIST 光谱数据库的应用，NIST 不仅可以提供原子谱线，电离能等信息，同时还具有文献检索功能，其能够提供特定原子谱线或线型对应文献的查询检索功能。

3. 来自 NIST 的 Chung 介绍了 NIST 中 FLYCHK 在线计算程序的使用方法，FLYCHK 采用了辐射碰撞模型，并结合数据库能够得到特定等离子体条件下的谱线结构，同时光谱所获的数据可以判断可以采用哪种类型的理论简化方式，也能欧获得禁忌跃迁的发生条件。目前 FLYCHK 可以较好低模拟中低原子系数的原子谱线，对于重原子则误差较大。

通过这次学习，了解了在等离子体光谱在一些学术前沿的应用，同时学习使用的技术技巧，掌握了各大数据库的使用方法，进一步巩固了基础理论知识。