

# 冰霜历尽心不移——记张焕乔院士

贾会明 林承键 谢翊 焦学胜 张凯

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

张焕乔院士是我国20世纪50年代培养的优秀科学家。旧中国积贫羸弱的战乱环境和新中国艰苦创业的时代造就了他立志报效祖国的情怀。他坚守科研一线,心无旁骛潜心科研,研究领域跨越中子物理、裂变物理和重离子核物理,在艰苦的条件下做出了优秀的成果。他以身许国,为配合国家核武器研制测量了急需的核数据;他严谨求实,反复推敲,验证实验结果务求准确;他敢为人先,不断涉足新的研究领域。点点滴滴折射着对祖国和科学的无声忠诚与热爱,是老一辈科学家科研精神的传承者和宣讲者,是新中国科学家精神和科技事业发展的一个缩影。值此张焕乔院士90华诞之际,特撰写本文与大家共勉。

## Immovable heart after experiencing hardships - salute academician ZHANG Huanqiao

JIA Huiming LIN Chengjian XIE Yi JIAO Xuesheng ZHANG Kai

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Academician ZHANG Huanqiao is an outstanding scientist cultivated by the new China in the 1950s. The impoverished and weak war environment of the old China and the hardship era of the new China have nurtured his patriotic determination to serve his motherland. He adhered to the frontline of scientific research and devoted himself wholeheartedly to it. His research fields spanned neutron physics, fission physics and heavy-ion nuclear physics, and he has achieved excellent results under difficult conditions. He committed himself to the country and measured the urgently needed nuclear data to cooperate with nuclear weapon development. He is rigorous and realistic, and repeatedly verifies the experimental results to ensure accuracy. He dares to take the lead and constantly delves into new research fields. All his actions reflect a silent loyalty and love for his motherland and science. He is an inheritor and speaker of the older generation scientists' spirit, and a microcosm of the scientist's spirit and the development of science and technology in the new China. We write this article for sharing on the occasion of academician ZHANG Huanqiao's 90th birthday.

## 1 生平简历

1933年12月23日,张焕乔出生于重庆市沙坪坝区(原四川省巴县)。其父亲经商有道,乐善好施,重视教育,曾出资创办“中和中学”<sup>[1]</sup>。

张焕乔从小就对大自然充满好奇和探索之心。1939年进入土主镇小学(图1)。1946年进入巴蜀中学,期间喜欢上了物理。1952年考入武汉大学物理系,考虑到就业问题,选择了金属物理专业,1953年

听钱三强报告时坚定了自己学习核物理的信心。大学三年级自学了弗拉索夫著的俄文版《中子》。大学四年级迎来了学习核物理的机会,1955年秋被选入北京大学,进入胡济民、虞福春、朱光亚和卢鹤绂等名师云集的物理研究室,学习原子核物理,实现了从对核物理的“梦寐以求”到“心想事成”的转变,并由此开启了他的核物理人生。

1956年秋张焕乔从北京大学毕业后,被分配到中国原子能科学研究院(当时名称为中国科学院物

第一作者:贾会明,男,1979年出生,2008年于中国原子能科学研究院获博士学位,研究领域为实验核物理

通信作者:林承键, E-mail: [cjlin@ciae.ac.cn](mailto:cjlin@ciae.ac.cn)

收稿日期:2023-06-13, 修回日期:2023-07-03

First author: JIA Huiming, male, born in 1979, graduated from China Institute of Atomic Energy with a doctoral degree in 2008, focusing on experimental nuclear physics

Corresponding author: LIN Chengjian, E-mail: [cjlin@ciae.ac.cn](mailto:cjlin@ciae.ac.cn)

Received date: 2023-06-13, revised date: 2023-07-03

理研究所)工作,一直至今。先后师从戴传曾和何泽慧等名师,从事中子物理、裂变物理和重离子核物理研究,在艰苦的条件下做出了优秀的成果。1997年当选中国科学院院士。



图1 1945年儿时的张焕乔  
Fig.1 A childhood photo in 1945

## 2 早期基于核反应堆的中子物理研究(1956年9月~1960年9月)

张焕乔于1956年9月开始工作,被分配到中子物理研究室(二室),在组长戴传曾领导下从事中子物理实验研究,首先参加了重水反应堆上国内首台中子晶体谱仪的建立。1958年,在第二台中子晶体谱仪的建造中,去长春光机所负责组装调试,对于参加工作不久的他如负重千钧。去后仔细测量钢带轮发现问题,反复修改仍达不到要求,最后采用钢箔补

偿钢带厚度的窍门,解决了2:1传动误差的问题,保证了谱仪的精密联动,精度达到当时国际最佳水平。1958年10月~1960年1月,被派往苏联科学院库尔恰托夫原子能研究所实习,期间参与测量了 $^{229}\text{Th}$ 和 $^{241}\text{Am}$ 的中子裂变截面,参加了用中子非弹性散射研究固体声子谱的实验。还在苏联实验与理论物理研究所参加了液氦低温Fe-Co合金反铁磁性的实验,极大拓宽了视野。当时他是在国内“大跃进”的形势下前往苏联实习,因此头脑发热,曾向何泽慧先生提出要求回国,参加献礼活动。何先生写信告诫他留下学习苏联的先进科学经验,注意吸取科学方法和思维。张焕乔回国后,1960年秋负责将与长春光机所合作建造的一台中子晶体谱仪改建为中子衍射仪。后来在这台衍射仪上完成了第一颗原子弹点火中子源均匀性的检验和在外场作用下 $\alpha$ 碘酸锂中子衍射增强现象。

1960~1961年间,杨楨等在重水堆“跃进一号”中子晶体谱仪<sup>[2]</sup>上发现了高频压电振荡石英单晶中子衍射强度增强现象<sup>[3]</sup>。图2(a)为晶体振荡器线路,探测器为浓缩硼 $\text{BF}_3$ 正比计数管;图2(b)为所测量到的衍射中子增强倍数与晶体振荡功率的关系。之后,何泽慧先生提出用载硼核乳胶代替 $\text{BF}_3$ 正比计数管进行了确证。随后张焕乔经过定量计算,提出了实验验证方案,明确了增强的原因是中子消光效应,直到1966年国际上才有类似文章。在张焕乔科研生涯之初,体验了如何思考自己完全不熟悉领域里的科学问题,并尝试从机制上解释。

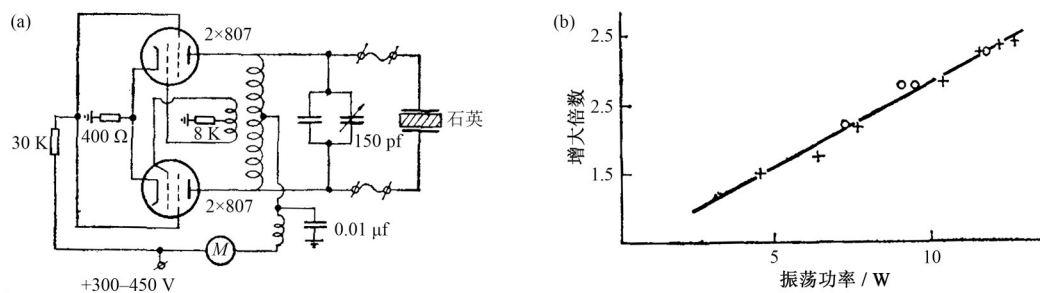


图2 晶体振荡器线路(a),中子衍射增强倍数与晶体振荡功率的关系(b)<sup>[3]</sup>  
Fig.2 Circuit of crystal oscillator (a), the variation of the enhancement factor of neutron diffraction with the crystal oscillator power (b)<sup>[3]</sup>

## 3 裂变物理研究(1960年9月~1982年1月)

1960年秋,为了我国核武器研制中急需裂变数据的测量,时任中国科学院物理研究所所长钱三强知道张焕乔曾在苏联参加过中子诱发裂变截面的测量,遂将他从中子衍射组调到裂变物理组。在随后

的二十多年间,科研小组发扬“任务第一,科研入迷”的传统,在十分有限的条件下,自主研制实验设备,开拓测量方法,完成了一系列高精度裂变数据的测量,提供了重要的核数据。1960年底~1964年,负责完成了裂变谱中子诱发 $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 和 $^{239}\text{Pu}$ 的裂变截面测量;1963年春,负责异形针 $\alpha$ 放射源绝对强度测量;1965年底,承担检验国产核用石墨性能的任务,

为军用天然铀石墨生产堆的安全运行提供了必要的  
数据；1966年5月和12月，分别在含热核材料的原  
子弹和氢弹原理爆炸试验中，负责测量现场取样中  
的铀含量，为确定爆炸当量提供了所需要的可靠数  
据。20世纪70年代中期，为核武器小型化，负责完  
成了快中子诱发 $^{239}\text{Pu}$ 裂变瞬发中子平均数随入射能  
量变化的精确测量。

上述工作为我国核武器研制提供了数据。  
 $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{242,244}\text{Cm}$ 和 $^{252}\text{Cf}$ 自发裂变瞬发中子平均数和  
多重数分布的结果在国内发表<sup>[4]</sup>后，被选登到美国核  
学会的研究期刊《核科学与工程》<sup>[5]</sup>。

1960年底，下达测量 $^{238}\text{U}$ 裂变谱中子平均裂  
变截面的任务，当时中子物理研究室初建，中子源强  
度标定工作刚刚开始，中子通量测量技术还未开展。  
在何泽慧先生领导下，张焕乔提出用精确已知的  
 $^{235}\text{U}$ 热中子裂变平均中子数为基准的巧妙方法，  
同时采用了双电离室方法，给出了高精度 $^{238}\text{U}$ 裂

变谱中子裂变截面。

$^{252}\text{Cf}$ 自发裂变平均瞬发中子数是中子物理的基  
准参数之一，是国际上测量重核裂变中子数的通用  
标准。当时长期存在不同方法间有高达约2%的系  
统偏差，如闪烁液体法测量的结果比硼堆法和锰浴  
法高约2%，此外闪烁液体方法测量的结果之间也不  
一致。为了澄清该分歧，张焕乔与老一代科学家许  
谨诚和刘祖华等紧密配合，制作了测量所需的关键  
设备，用苾晶体在不同中子能量刻度了闪烁液体中  
子探测器的效率，最后得到了精确结果<sup>[6]</sup>，如图3  
所示。与澳大利亚博尔德曼等人测量的结果一致，  
澄清了裂变瞬发中子数的分歧。该结果是国际核数  
据委员会推荐13个数据中最精确的4个数据之一，  
成为国际上“热中子截面和 $^{252}\text{Cf}$ 自发裂变中子产额”  
基准数据中唯一收入的中国数据，并被国际称为“高  
质量测量”。

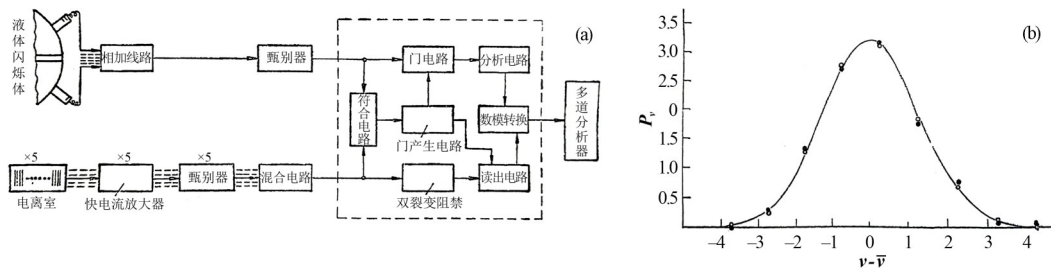


图3 测量裂变瞬发中子数的线路框图(虚线方框内是中子数分析器的主要部分)(a),  $^{252}\text{Cf}$ 自发裂变瞬发中子数分布  $P_n$  (b)<sup>[6]</sup>  
Fig.3 The circuit diagram for the measurement of prompt neutrons in fission (the main part of neutron multiplicity analyzer is in the  
dashed box) (a), multiplicity distribution  $P_n$  of prompt neutrons in  $^{252}\text{Cf}$  spontaneous fission (b)<sup>[6]</sup>

#### 4 重离子核物理研究(1982年1月至今)

20世纪80年代初，中国原子能科学研究院拟引  
进HI-13串列加速器，张焕乔开始关注重离子物理  
中的前沿基础研究。1982年1月~1984年1月他访  
问意大利核物理研究院里亚洛国家实验室(The  
Laboratori Nazionali di Legnaro, LNL)。回国后提出  
了“垒下能区重离子熔合裂变碎片角分布、重离子熔  
合裂变的中子多重性和垒下熔合激发函数”三个研  
究方向，开创了国内垒下和近垒能区重离子熔合反  
应研究。首先对裂变碎片角分布进行了系统研究<sup>[7]</sup>，  
发现了 $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$ 等体系的垒下熔合裂变碎片角分  
布的各向异性异常现象，进一步提出低角动量相  
依的预平衡裂变模型<sup>[8]</sup>来解释。后来转向原子核激  
发态晕结构和晕核的标度规律、核反应<sup>[9-10]</sup>与核结  
构<sup>[11]</sup>的研究。经过三十多年的发展，课题组的研究  
领域已经拓展到包括重离子核反应、奇特核结构和  
奇异衰变等方向的近垒重离子核反应与核衰变

研究。

此期间的典型系统工作为垒下熔合裂变碎片角  
分布的各向异性异常。北京HI-13串列加速器于  
1987年出束，张焕乔课题组的第一个实验结果于  
1989年<sup>[7]</sup>发表，取得了开门红。后来经过8年的坚  
持研究，从最初利用云母径迹探测器的单举测量，  
到后来发展采用平行板雪崩计数器(Parallel-plate  
Avalanche Counter, PPAC)符合测量，提出利用裂  
变折叠角(实验室下两个裂变碎片沿束流方向的角度)  
技术来区分全熔合裂变与转移跟随裂变。系统研究  
了 $^{11}\text{B}$ 、 $^{12}\text{C}+^{237}\text{Np}$ 、 $^{11}\text{B}$ 、 $^{16}\text{O}+^{238}\text{U}$ 和 $^{16}\text{O}$ 、 $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$   
等体系的裂变碎片角分布，发表了一系列高水平文  
章。起初国际上Vandenbosch和Ramamurthy对折  
叠角技术提出了质疑，经过解释后他们两个研究小  
组和其他小组也采用该方法来进行实验测量。张  
焕乔等从实验上探寻了物理原因，发现 $\alpha < \alpha_{\text{BC}}$ 体  
系存在各向异性异常，如图4(b)所示，其中，点  
线是鞍点过渡态理论的计算值，明显偏离了实验  
结果。基于实验结果和



间,为后续的持续合作实验研究奠定了基础;2007年2月14日,与俄罗斯库尔恰托夫研究所Ogloblin小组签订合作协议,开展合作实验研究;2010年起与俄罗斯杜布纳联合核研究所波戈留波夫实验室的理论家合作研究熔合反应<sup>[13]</sup>。2016年2月申请在意大利LNL实验室装置上开展带电粒子- $\gamma$ 符合测量的实验研究,参加PAC meeting,与该组顺利建立了合作关系。目前,由张高龙带领团队主持实验,已经成功完成多次实验,取得了一系列成果。他积极申办核-核碰撞国际会议(NN2009),扩大我国核物理基础研究的国际影响力。图7为2009年8月16~21日在北京主持第10届国际核-核碰撞会议,任会议主席和国际顾问委员会成员。

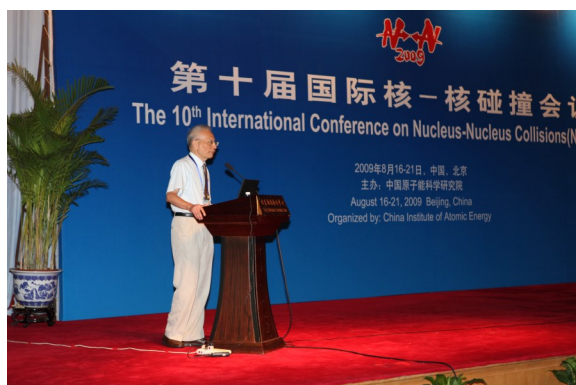


图7 2009年,在北京主持第十届国际核-核碰撞会议(NN2009)

Fig.7 Taking charge of the 10<sup>th</sup> international conference on nucleus-nucleus collision (NN2009) held in Beijing in 2009

积极参与学术评审和香山会议等,在各种评审中,不流于形式,而是仔细研究分析其中的问题,并提出中肯意见。1992~2011年,先后任“吴有训物理奖”评审委员会的秘书和主任。从1999年设立“胡济民教育科学奖”到2019年5月任评选委员会主任。2016年起任《中国大百科全书·物理卷》(第二版)副主编,负责核物理条目的编审。参加《物理学名词》(第三版,2019出版)核物理部分,接手时已年近八旬,持续时间长达8年,做了大量具体工作。那时他的视力已经严重下降,需要凑近电脑屏幕,有时还需要借助放大镜才能看清,他以惊人的毅力坚持完成。后来聊起此事戏谑为“八年抗战”,坦言“如果当初知道要这么长时间,就不一定敢接手了”。

## 6 尊师重教道德楷模

张焕乔在道德方面也堪称楷模。他勤俭节约,年过八旬仍坚持骑自行车上班,最近几年上下班才开始用车接送(至2022年底与徐铄院士共用)。贾会明从2005年9月师从张老师至今,有几次共同参

加国际会议,尽管他年事已高,长途旅行中仍然坚持选择经济舱,比如2015年赴意大利卡塔尼亚参加国际核-核碰撞会议(NN2015),选择经土耳其转机的廉价经济舱,十分劳累。

张焕乔尊师重教,所写回忆何泽慧老师的文章<sup>[14]</sup>中,收集了何先生各个时期的照片,详细记录了先生对自己的谆谆教诲,字里行间洋溢着对老师的尊敬和怀念。他晚年曾回访母校,感叹学校的变化,并勉励孩子们努力学习科学知识,为祖国争光。

张焕乔言传身教,用自己的言行举止感染着身边人。教书育人,鼓励一代代学子勇攀科学高峰。他始终关心着年轻人的成长,既有大方向上高屋建瓴的指导,又有细节上见微知著的提醒。教育学生“中国人不比外国人差”;“不能自以为是,也不能妄自菲薄”;“实验前要有足够细心和精心的准备,在束实验如同打仗一样,不能浪费宝贵的束流时间”。在喻宁读博士期间,发现喻宁擅长推导公式和编写程序,于是让他学习求解Faddeev方程,结果最后发表文章时受阻。张老师意识到国内在这方面的落后,于是推荐喻宁去葡萄牙里斯本科技大学跟Lidia Ferreira学习。另外,建议张高龙用LNL的装置做粒子-伽马符合测量实验,提升研究工作水平。贾会明回忆了两件印象深刻的事情:在2012年贾会明去意大利LNL实验室前夕,张老师特意请他去生活区食堂吃饭,张老师老伴的腰不方便也破例参加了,饭间长谈,张老师虽然没有叮咛嘱咐,但教诲之心不言而喻。2016年张老师写的纪念何泽慧先生的文章<sup>[14]</sup>出版后,特赠予贾会明一本当期《物理》杂志,并对他说“带回家请你夫人看看,对教育孩子很有好处”。

## 7 结语

张焕乔院士家风淳朴、平易近人、尊师重教、提携后人、亦师亦友。他强记博闻,治学态度非常严谨,与核物理相伴一生,成果丰硕。他始终热爱和关心科学事业,爱祖国,爱科学,道德上堪称楷模。他常说“我骨子里很要强,遇到挫折后,从不会气馁,到现在,我觉得我一生都在不停地拼命奋斗”。

提到张焕乔,浮现在大家眼前的是一位精神矍铄,声音洪亮、喜欢“挑刺”的长者。最近写此文期间,也曾找先生请教问题,他依然思维敏捷,豁达开朗,正所谓“仁者寿、智者乐”。图8为2023年4月16日张焕乔院士在北京串列加速器核物理国家实验室35周年活动上发言。“冰霜历尽心不移”,一路走来,自然是酸甜苦辣咸五味杂陈,但岁月的沧桑无法抹去他对科学研究的挚爱之心。他一丝不苟严谨治学的态度和对实验工作的认真敬畏、精益求精的精神

时刻在影响着我们。在学术活动中,直言不讳,提出问题,维护学术会议和学术研讨的本色。他敢为人先、严谨求实和潜心研究的科研精神,时刻鞭策和鼓舞着后来之人,也终将成为积淀我国科学文化传统的一块奠基石。



图8 2023年4月16日,张焕乔院士在北京串列加速器核物理国家实验室35周年活动上发言

Fig.8 Academician ZHANG Huanqiao is making a speech at the 35<sup>th</sup> anniversary celebration of Beijing tandem accelerator national laboratory on April 16, 2023

**作者贡献声明** 贾会明完成了初稿撰写;林承键、谢翊、焦学胜和张凯审阅和修订了全文。所有作者都已经审阅了最终版本,并同意其内容。

### 参考文献

- 唐洪庆, 谢翊, 焦学胜. 冰霜历尽心不移——核物理学家张焕乔[M]. 知识产权出版社, 2023.  
TANG Hongqing, XIE Yi, JIAO Xuesheng. Immovable heart after experiencing hardships - Nuclear physicist ZHANG Huanqiao[M]. Intellectual Property Press, 2023.
- 戴传曾, 叶春堂, 张焕乔, 等. “跃进一号”中子晶体谱仪[J]. 原子能科学技术, 1959, 1(2): 100-104. DOI: 10.7538/yzk.1959.1.02.0100.  
DAI Chuanzeng, YE Chuntang, ZHANG Huanqiao, *et al.* "Yuejin No. 1" neutron crystal spectrometer[J]. Atomic Energy Science and Technology, 1959, 1(2): 100 - 104. DOI: 10.7538/yzk.1959.1.02.0100.
- 杨楨, 张焕乔, 周友仆. 1960—1961年观察到的压电振荡对石英单晶片进行中子衍射的影响[J]. 物理学报, 1974, 23(6): 69 - 72. DOI: 10.7498/aps.23.69-2.  
YANG Zhen, ZHANG Huanqiao, ZHOU Youpu. Studies conducted during 1960 - 1961 on the increase of neutron diffraction intensity in vibrating quartz plates[J]. Acta Physica Sinica, 1974, 23(6): 69 - 72. DOI: 10.7498/aps.23.69-2.
- 张焕乔, 刘祖华, 丁声跃, 等.  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Cm}$  和  $^{244}\text{Cm}$  自发裂变瞬发中子平均数及中子数目分布[J]. 原子核物理, 1979, 3: 149 - 155.  
ZHANG Huanqiao, LIU Zuhua, DING Shengyue, *et al.* The average number of prompt neutrons and the distributions of prompt neutron emission number for spontaneous fission of  $^{240}\text{plutonium}$ ,  $^{242}\text{curium}$ , and  $^{244}\text{curium}$ [J]. Nuclear Physics, 1979, 3: 149 - 155.
- Zhang H Q, Liu Z H, Ding S Y, *et al.* The average number of prompt neutrons and the distributions of prompt neutron emission number for spontaneous fission of plutonium-240, curium-242, and curium-244[J]. Nuclear Science and Engineering, 1984, 86(3): 315 - 319. DOI: 10.13182/nse84-a17560.
- 张焕乔, 刘祖华.  $^{252}\text{Cf}$ 自发裂变瞬发中子平均数及中子数目分布的测量[J]. 原子核物理, 1979, 1(1): 9 - 19.  
ZHANG Huanqiao, LIU Zuhua. Measurement for the average number of prompt neutrons and the distribution of the neutron multiplicity in spontaneous of  $^{252}\text{Cf}$ [J]. Nuclear Physics, 1979, 1(1): 9 - 19.
- Zhang H Q, Xu J C, Liu Z H, *et al.* Anomalous anisotropies of fission fragment angular distributions in sub-barrier fusion-fission reaction[J]. Physics Letters B, 1989, 218(2): 133 - 136. DOI: 10.1016/0370-2693(89)91407-X.
- Liu Z H, Zhang H Q, Xu J C, *et al.* Preequilibrium fission for low angular momentum[J]. Physics Letters B, 1995, 353(2 - 3): 173 - 178. DOI: 10.1016/0370-2693(95)00461-S.
- Zhang H Q, Lin C J, Yang F, *et al.* Near-barrier fusion of  $^{32}\text{S}+^{90,96}\text{Zr}$ : the effect of multi-neutron transfers in sub-barrier fusion reactions[J]. Physical Review C, 2010, 82(5): 054609. DOI: 10.1103/physrevc.82.054609.
- Zhang H Q, Zhang C L, Lin C J, *et al.* Competition between fusion-fission and quasi-fission processes in the  $^{32}\text{S}+^{184}\text{W}$  reaction[J]. Physical Review C, 2010, 81(3): 034611. DOI: 10.1103/PhysRevC.81.034611.
- Bai C L, Zhang H Q, Sagawa H, *et al.* Effect of the tensor force on the charge exchange spin-dipole excitations of  $^{208}\text{Pb}$ [J]. Physical Review Letters, 2010, 105(7): 072501. DOI: 10.1103/physrevlett.105.072501.
- Døssing T, Randrup J. Dynamical evolution of angular momentum in damped nuclear reactions[J]. Nuclear Physics A, 1985, 433(2): 215 - 279. DOI: 10.1016/0375-9474(85)90178-2.
- Sargsyan V V, Adamian G G, Antonenko N V, *et al.* Effects of nuclear deformation and neutron transfer in

- capture processes, and fusion hindrance at deep sub-barrier energies[J]. *Physical Review C*, 2011, **84**(6): 064614. DOI: [10.1103/physrevc.84.064614](https://doi.org/10.1103/physrevc.84.064614).
- 14 张焕乔. 花中真君子 风姿寄高雅: 感念恩师何泽慧先生[J]. *物理*, 2016, **45**(3): 155 - 161. DOI: [10.7693/wl20160302](https://doi.org/10.7693/wl20160302).
- ZHANG Huanqiao. The true gentleman in the flowers exudes elegance—remember my mentor Mr. HE Zehui with gratitude[J]. *Physics*, 2016, **45**(3): 155 - 161. DOI: [10.7693/wl20160302](https://doi.org/10.7693/wl20160302).