



张焕乔文集

COLLECTED PAPERS
OF ZHANG HUANQIAO

张焕乔
编



科学出版社

张焕乔文集

张焕乔 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书汇集了张焕乔院士发表的 159 篇学术论文。内容涉及：中子物理实验，发现压电振动石英单晶中子衍射增强；配合核武器研制，测量重核对裂变谱中子的裂变截面、异形 α 放射源强度及 ^{239}Pu 快中子裂变的中子平均数随能量的变化；系统研究自发和中子诱发裂变的中子平均数与碎片质量、电荷和总动能的关联，提供高精度 ^{252}Cf 自裂中子平均数；系统研究垒下熔合裂变反应，首先采用折叠角技术将熔合裂变与转移裂变分开，确证垒下熔合裂变碎片角异性异常和发现异常峰；在垒下熔合研究中，揭示了核表面振动、正 Q 值中子转移和弹核破裂对垒下熔合过程的影响；提出用转移反应为探针，发展 ANC 方法，首次在稳定核激发态发现中子晕态；在质子滴线区研究了质子晕核和双质子发射，观测到 ^{18}Ne 和 ^{29}S 的 ^2He 发射；研究张量力对原子核激发态性质的影响，观测到明显效应；与俄罗斯理论家合作，用扩散模型研究近垒熔合反应。本书还收录了作者经历概况和纪念中国核物理前辈的文章，具有重要历史价值。

本书适合核物理专业读者阅读学习，也可供相关领域的科技工作者查阅参考。

图书在版编目(CIP)数据

张焕乔文集 / 张焕乔编. —北京：科学出版社，2017.1

ISBN 978-7-03-051507-0

I. ①张… II. ①张… III. ①张焕乔-文集 ②核物理学-文集 IV. ①O571-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第323298号

责任编辑：钱 俊 周 涵 / 责任校对：邹慧卿
责任印制：肖 兴 / 封面设计：耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 2 月第 一 版 开本：889×1194 1/16

2017 年 2 月第一次印刷 印张：69 1/2 插页：4

字数：1 495 000

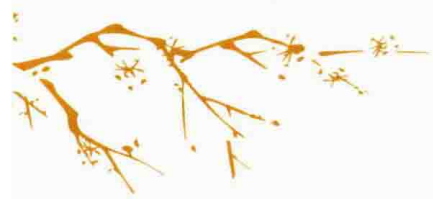
定价：398.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）



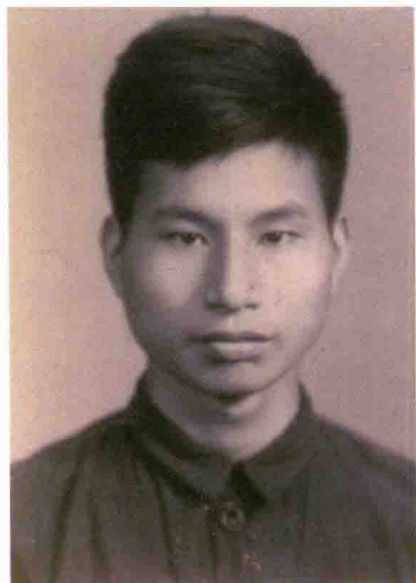
张焕乔

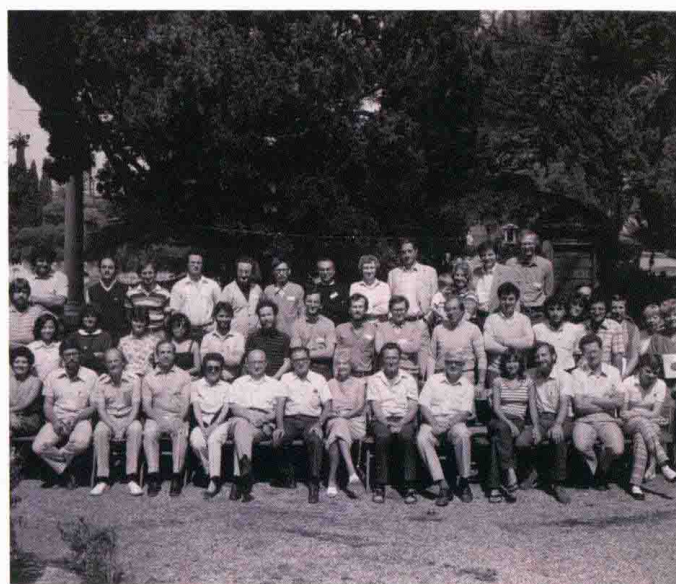
张焕乔（1933—），重庆人，核物理学家，中国科学院院士，中国原子能科学研究院研究员。1956年北京大学毕业。曾任“北京串列加速器国家实验室”主任；中国物理学会核物理分会主任委员。参与中国第一台中子晶体谱仪和中子衍射仪的建立，以及参与发现压电振动石英单晶中子衍射增强现象。负责测量了国防需要的部分重要核数据，提供一些测量手段和方法；主持研究了自发裂变和中子诱发裂变的瞬发中子平均数及其与碎片特性的关联，提供高精度的 ^{253}Cf 自发裂变瞬发中子平均数，被国际上作为初级标准原始数据收录；主持测量了垒下重离子熔合裂变反应角分布，发现碎片各向异性的异常现象，参与提出新的预平衡裂变模型的理论解释；提出用测量转移反应角分布探寻晕核的方法，首次揭示了稳定核激发态中子晕；在近滴线区开展了探寻质子晕核及丰质子核激发态的双质子发射实验；研究了弱束缚核破裂和中子转移对垒下熔合过程的影响；首次观测到熔合势垒劈裂成三个峰，揭示了核表面振动对垒下熔合增强的贡献。获中国物理学会1990—1991年吴有训物理奖；1982年、1999年两次获国家自然科学奖三等奖；2004年获何梁何利基金科学与技术进步奖。



①	②
③	
④	⑤

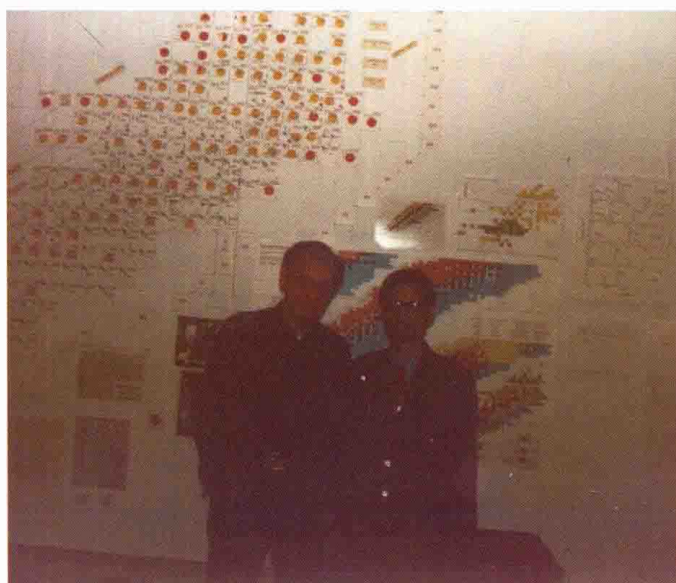
- ① 1944年在四川巴县兴隆场张焕乔（前排右1）与大哥张钧陶抱着他女儿及其同学在读书
- ② 1945年在重庆兴隆小学照片
- ③ 1948年在重庆读初中的照片
- ④ 1953年在武汉大学的照片
- ⑤ 1958年在库尔恰托夫所实习游莫斯科红场

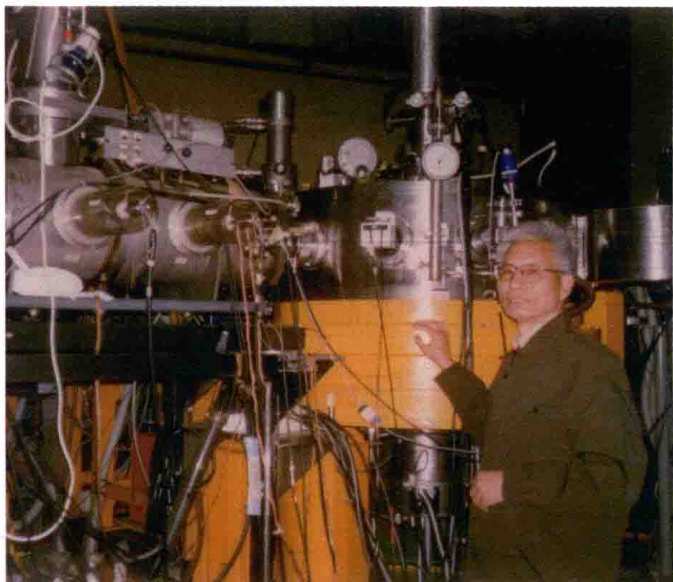




①	②
③	④
	⑤

- ① 1960年与组里部分同志在中国原子能科学研究院（右2张焕乔）
- ② 1972年在兰州参加第一届全国核物理大会与卓益忠留影
- ③ 1978年8月在江西庐山参加全国物理大会在五老峰与何泽慧先生（前排右1），王淦昌先生（前排右2），李寿楠（前排右3），顾以藩（前排右4），洪润生（后排右1），张焕乔（后排右2）合影
- ④ 1982年夏天参加费米暑期学校
- ⑤ 1983年4月在美国LBNL访问A.Ghiorso教授





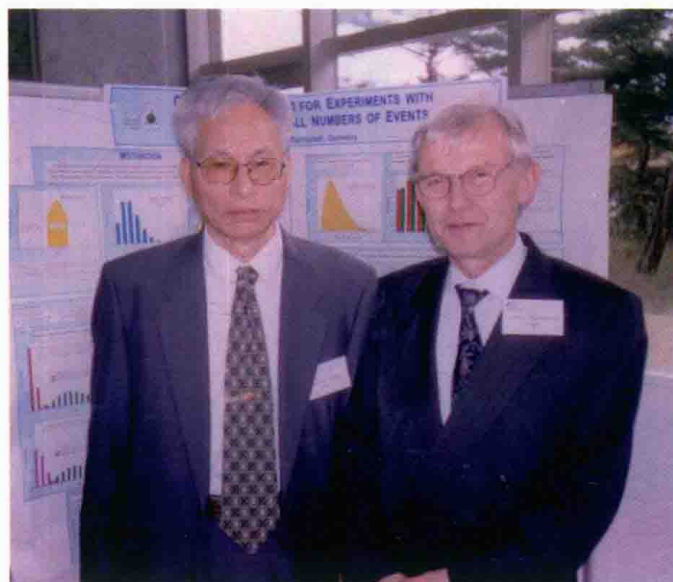
①	②
③	④
⑤	

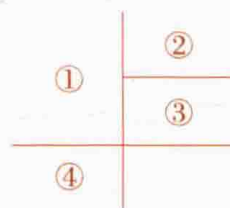
- ① 20世纪80年代在意大利Legnano National Laboratory (LNL)参加该实验室串列加速器落成典礼（前排左4张焕乔）
- ② 20世纪80年代在意大利LNL用的实验装置
- ③ 1984年5月在瑞典乌普萨拉参加IAEA超铀系核数据顾问组会
- ④ 1984年8月在日本富士参加国际重离子核物理讨论会与法国恩哥（NGO）教授在一起
- ⑤ 1984年在意大利里亚诺国家实验室工作留影



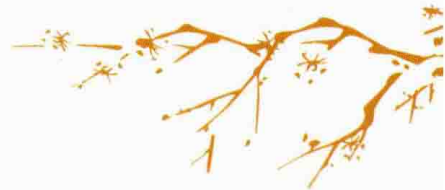
①	②
③	④
	⑤

- ① 1985年在北京参加串列加速器物理国际讨论会
 ② 1985年在北京国际串列加速器物理讨论会上张焕乔（右1），美籍华人李一阳（右2），杨春祥（右3）
 ③ 1995年8月在北京国际核物理大会上与Henning教授在一起
 ④ 2001年8月在青海西宁核数据大会上做邀请报告
 ⑤ 2001年在日本原子能所第二次ASR国际会上与德国Munzenberg教授合影





-
- ① 2005年在北京世界物理年中美物理学家联谊会上与 M.Blume教授交谈
 - ② 2005年在威尼斯国际熔合会与挚友斯约里尼 (Signorini) 教授和他夫人露易莎 (Luisa) 在一起
 - ③ 2007年在北京中关村探望何泽慧先生
 - ④ 2009年11月在日本筑波大学出席日中核物理双边会与 有马·朗人 (Arima) 教授交谈
-



①	②
③	④

-
- ① 2009年在北京国际核核碰撞会上与德国格雷纳 (Greiner) 教授合影
- ② 2009年在北京主持国际核-核碰撞会上致辞
- ③ 2010年在意大利密苏里国际准裂变会上与美国同行贝克 (Back) 教授合影
- ④ 2012年6月与出席国际核核碰撞会的同行在一起, 左起: 斯特发尼尼 (Stefanini)、亨德 (Hinde)、张焕乔、梁君健 (美籍)、蒙塔略莉 (Montagnoli)
-



①	②
③	④

-
- ① 2012年6月在美国圣安东尼奥参加核-核碰撞会与俄罗斯扎格里巴耶夫 (Zagrebaev) 教授在一起
- ② 2012年在北京大学与俄罗斯奥格讷荪 (Oganessian) 教授合影
- ③ 2014年9月在中国原子能科学研究院与自己设计建造的靶室和静电偏转分离器留影
- ④ 2015年10月在桂林中俄核物理研讨会上做邀请报告
-

自序

在中国科学技术协会开展“老科学家学术成长资料采集工程”活动中，今年我被选作对象，其中包括收集一生学术文章的内容。采访组有同志建议将文章编成文集，这样既方便保存，也方便查找和交流。我接受他们的意见，请科学出版社付梓。

经过收集有 241 篇文章，约 1600 页，为了控制本书篇幅，删除了其中 82 篇文章。好在总体不影响文集内容，大多是学术会议报告文章，这都有正式发表文章收录，还有个别专著文章，已有图书在那里。这样，本文集涉及我的主要工作有：

(1) 早期开展中子物理方面的工作，包括建立中子晶体谱仪和中子衍射仪，有关中子截面和中子能谱测量。

(2) 建立大型载钷液体闪烁体中子探测器开展瞬发裂变中子平均数及数目分布的测量，提供高精度 ^{252}Cf 自发裂变的瞬发中子平均数精确值，被国际收入《热中子常数和 ^{252}Cf 自发裂变中子产额》这组标准的原始数据的唯一中国数据；系统研究 ^{252}Cf 自发裂变中子数与碎片质量、电荷数和总动能的关联，得到一些规律性的结果，揭示了 4π 几何与 $\pi/3$ 几何实验测量中存在的一些问题。

(3) 系统研究近垒和垒下重离子熔合裂变反应的碎片角分布，首先采用裂变碎片折叠角分布将全熔合裂变与转移裂变分开，从而确证垒下熔合裂变碎片角异性普遍存在，并发现异常峰的结构。提出新的低角动量相依的预平衡裂变模型，解释了碎片角异性的异常。

(4) 系统研究近垒和垒下重离子熔合反应，包括截面激发函数和平均角动量激发函数及势垒分布，揭示了核表面振动和正 Q 值中子转移对垒下熔合增强的影响。在弱束缚弹核引起的熔合反应中研究了弹核破裂对熔合过程的影响，发现背角准弹激发函数抽取的势垒分布与熔合激发函数抽取的势垒分布不一致，这时需要考虑破裂效应将常规的 $T=1-R$ 用 $T=1-R-B$ 代替（ T 是透射系数， R 是反射系数， B 是破裂系数）。

(5) 探寻中子晕核与质子晕核。提出用转移反应角分布做探针，发展 ANC 方法，用于寻找原子核激发态的中子晕态，发现稳定核 ^{12}B 和 ^{13}C 激发态的单中子晕态；用透射法测量相互作用截面研究质子晕核，观测到 ^{27}P 和 ^{29}S 为质子晕核，首次揭示 $^{27,28}\text{P}$ 核心增大现象。开展在质子滴线区寻找丰质子核 2 质子发射，发现 ^{18}Ne 和 ^{29}S 的 ^2He 发射。

(6) 后期与理论家合作，首次把张量力加入到 Skyrme 力的自洽 HF+RPA 理论框架，研究了张量力对 ^{90}Zr 和 ^{208}Pb 中 Gamow-Teller (GT) 跃迁的影响，发现强度函数主峰下移约 2MeV 和近 10% 跃迁强度移到 40MeV 以上的高能区，后者对 GT 跃迁中存在的淬灭效应有重要影响，并找

出产生这些效应的机制是来自于 GT 和自旋四级 1^+ 跃迁的耦合。在对 ^{90}Zr 和 ^{208}Pb 自旋偶级跃迁研究中, 预言张量力对不同分波有非常不同的影响, 得到实验证实。与俄罗斯理论家合作, 用他们的扩散模型计算近垒重离子熔合反应, 研究了正 Q 值中子转移和弹核破裂对垒下熔合增强的影响以及对极深垒下熔合障碍的重现等。

所有这些文章都是与我的合作者及学生们一起共同齐心协力和团结合作的结晶, 没有他们的参与和支持, 是不可能有这本文集的。应当说, 这本文集是我们共享的, 我衷心感谢他们的大力合作。在我成长的过程中, 得到老一辈科学家的热情指导和培养, 特别是何泽慧先生和戴传曾先生的直接领导, 我深深地感谢他们亲切的指导和培养。最后, 我也感谢我的学生张春雷博士, 他为我收集这些文章, 付出了大量劳动。

張煥喬

2016 年 10 月 16 日

目 录

自 序

第一篇 张焕乔传记	1
第二篇 纪念文章	13
为核物理发展殚精竭虑	15
王淦昌先生与核物理基础研究	17
深切怀念尊敬的戴传曾院士	19
深切怀念我所尊敬的虞福春老师	21
钱三强院士的指点与教导	23
花中真君子 风姿寄高雅——感念恩师何泽慧先生	26
第三篇 主要研究论文	37
“跃进一号”中子晶体谱仪	39
中子衍射仪的构造与性能	44
中子平面晶体谱仪的分辨宽度	51
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	57
裂变谱中子对铀-238 的全截面测量	61
裂变谱中子对铀-238 的平均裂变截面测量	71
用小立体角法测量 α 放射源的强度	85
铀-235 和钚-239 对裂变谱中子的平均裂变截面的测量	96
^{240}Pu 自发裂变瞬时平均中子数的绝对测量	106
^{238}U 瞬发裂变平均中子数在快中子能区随入射中子能量的变化	113
测量天然硼与天然锂的热中子吸收截面	117
^{239}Pu 快裂变室	128
^{252}Cf 自发裂变瞬发中子平均数及中子数目分布的测量	137

^{239}Pu 瞬发裂变中子平均数随入射快中子能量的变化	148
^{252}Cf 长程 α 伴随裂变瞬发中子数目分布	160
用蒙特卡罗方法计算大体积载钚液体闪烁探测器的效率	165
^{240}Pu , ^{242}Cm 和 ^{244}Cm 自发裂变瞬发中子平均数及中子数目分布	175
^{252}Cf 三分裂瞬发中子平均数与长程 α 粒子动能的关联	181
^{252}Cf 自发裂变中高能 γ 射线的搜索	186
蒙特卡罗方法计算铅玻璃探测器对高能 γ 射线探测效率	190
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	199
在不同碎片质量比和总动能下 ^{252}Cf 自发裂变瞬发中子多重性	204
^{252}Cf 自发裂变 $\bar{\nu}(Z)$ 的测量	212
Study of prompt neutrons from ^{252}Cf spontaneous fission fragments	218
能量从 10 keV 到 300 MeV 的电子和光子在物质中若干物理参数计算程序	229
Activities of transactinium isotope nuclear data at the Chinese Nuclear Data Centre (CNDC)	236
裂变瞬发中子多重性研究	244
Study of heavy-ion fusion-evaporation reactions at 0° by an electrostatic beam separator	249
Exchange processes in the $^6\text{Li}(\alpha, d)^8\text{Be}$ reaction	252
The importance of exchange processes in the $^6\text{Li}(\alpha, p)^9\text{Be}$ reaction	262
Influence of complex surface vibrations on the fusion of $^{58}\text{Ni} + ^{60}\text{Ni}$	270
Mean angular momenta in heavy ion fusion	274
Cross sections and average angular momenta in the fusion of $^{28}\text{Si} + ^{94,100}\text{Mo}$ and $^{58,64}\text{Ni} + ^{64}\text{Ni}$	280
$^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ 近垒及垒下准弹反应	297
$^{16}\text{O} + ^{152}\text{Sm}$ 、 ^{184}W 准弹和弹性散射的位垒分布	306
Barrier distributions for $^{16}\text{O} + ^{152}\text{Sm}$ quasielastic and elastic scattering	317
Does break-up affect $^9\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ fusion at the barrier?	321
Fusion barrier distribution in $^9\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$	326
Subbarrier fusion reaction of $^{19}\text{F} + ^{232}\text{Th}$	329
Anomalous anisotropies of fission fragment angular distributions in sub-barrier fusion-fission reaction	333
Fission-fragment angular distributions for the $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ near- and sub-barrier fusion-fission reaction	337
Anomalous anisotropies of fission fragments for the $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$ sub-barrier fusion-fission reaction	347

Test of the coupled channels model for sub-barrier fusion reactions.....	353
A systematic study of anomalous anisotropies of fission fragments in near- and sub-barrier fusion-fission reactions	355
$^{16}\text{O}+^{238}\text{U}$ 垒下熔合裂变碎片角分布.....	365
Fragment anisotropy of complete fusion-fission at subbarrier energies for the $^{11}\text{B}+^{238}\text{U}$ and $^{12}\text{C}+^{237}\text{Np}$ reactions	371
Anomalous anisotropies of fission fragments in near- and sub-barrier fusion-fission reactions	375
Anomalous anisotropy of fission fragments in near- and sub-barrier complete fusion-fission reactions of $^{16}\text{O}+^{232}\text{Th}$, $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$, and $^{16}\text{O}+^{238}\text{U}$	386
Anomalous anisotropy of fission fragments in near- and sub-barrier complete fusion-fission reactions	392
Signature of non-compound-nucleus fission at sub-barrier energies	398
Probing the non-equilibration component of tilting spin mode	401
Interplay between scission-point model and experimental data for sub-barrier fusion-fission	405
Preequilibrium fission for low angular momentum	410
Fission before K equilibration.....	416
Barrier distributions for quasi-elastic and elastic scattering of $^{16}\text{O}+^{152}\text{Sm}$ and ^{184}W	422
^{13}C 激发态中子晕.....	433
Threshold anomaly in the $^{19}\text{F}+^{208}\text{Pb}$ system	437
Excitation halo states of ^{12}B	444
Extraction of the rms radii of ^{13}C from asymptotic normalization coefficients	447
Asymptotic normalization coefficients and neutron halo of the excited states in ^{12}B and ^{13}C	450
核 ANC 和激发态中子晕	455
Scaling laws of valence nucleon distributions for single-particle states.....	462
单粒子势模型下价核子的密度分布.....	466
Nonresonant capture cross sections of $^{11}\text{B}(n, \gamma)$ and $^{12}\text{C}(n, \gamma)$ at stellar energies.....	473
Scaling laws and occurrence conditions of nuclear halo	477
二体和三体晕核.....	481
Nuclear halo and its scaling laws.....	487
Near barrier fusion excitation function of $^6\text{Li}+^{208}\text{Pb}$	492
Evidence for enhancement of the total reaction cross sections for $^{27,28}\text{P}$ with a ^{28}Si target and examination of possibly relevant mechanisms	497

Direct radiative capture of neutron in drip-line nuclei.....	503
Possible experimental evidence of a moderate proton halo in ^{29}S	506
Dynamical structure of nuclear excitation in continuum	509
Dynamical effects on sub-barrier fusion of $^{40,48}\text{Ca}+^{90,96}\text{Zr}$	512
Partial fusion of a weakly bound projectile with heavy target at energies above the Coulomb barrier.....	516
Nuclear halo and its related reactions	521
Fusion of $^{48}\text{Ca}+^{90,96}\text{Zr}$ above and below the Coulomb barrier.....	527
Unusual threshold anomaly in the $^6\text{Li}+^{208}\text{Pb}$ system.....	535
Polarization charge of O isotopes	539
Optical potentials of exotic nuclear systems extracted from transfer reactions.....	550
Effects of breakup of weakly bound projectile and neutron transfer on fusion reactions around Coulomb barrier.....	555
Calculation of interaction potentials between spherical and deformed nuclei.....	563
Double folding model calculation applied to the real part of interaction potential	566
Low-lying $E1$ strength in light drip-line nuclei	574
Two-proton halo and two-proton emission nucleus: ^{29}S	580
Barrier distributions from $^{32}\text{S}+^{90,96}\text{Zr}$ quasi-elastic scattering: Investigation of the role of neutron transfer in sub-barrier fusion reactions	583
Surface diffuseness anomaly in $^{16}\text{O}+^{208}\text{Pb}$ quasi-elastic scattering at backward angle.....	588
Optical potential parameters of weakly bound nuclear system $^{17}\text{F}+^{13}\text{C}$	591
Optical potential parameters for halo nucleus system $^6\text{He}+^{12}\text{C}$ from transfer reaction $^{11}\text{B}({}^7\text{Li}, {}^6\text{He})^{12}\text{C}$	594
Experimental evidence of two-proton emissions from ^{18}Ne excited state	597
Determination of α preformation for heavy nuclei	599
Effect of tensor correlations on Gamow-Teller states in ^{90}Zr and ^{208}Pb	609
Quenching of Gamow-Teller strength due to tensor correlations in ^{90}Zr and ^{208}Pb	613
Systematic study of the surface properties of the nuclear potential with high precision large-angle quasi-elastic scatterings	617
Experimental study of two-proton correlated emission from ^{29}S excited states	622
Calculation of α preformation for nuclei near $N=162$ and $N=184$	630
Three-body Faddeev approach to two-proton emissions from ^{18}Ne excited state	635