

# 高能所——我快乐学习 工作生活的地方

邹冰松

(中国科学院理论物理研究所 100190)

## 一、科研启蒙

1984年在北大核物理专业毕业后,我和大学同班同学张智庆、戴宏跃、郝伟、颜蜀平五人一起考入高能所读研究生,入住青年公寓9号楼,和目前还在高能所的姜鲁华、陈国明、张双南等同班。第一年在研究生院上基础课。印象比较深的一件事是:十月的一天邓小平来高能所为北京正负电子对撞机工程奠基。学完一年基础课后,成绩优秀,攒了点钱,1985年暑假,与大学同窗好友陶志坚、郝伟、惠维刚四人一起畅游西安兵马俑、华山、成都青城山、都江堰、峨嵋山、乐山大佛、九寨沟、重庆、三峡、洞庭湖岳阳楼,耗资近四百元,留下了一段美好的记忆。

暑假后,回到高能所理论室,接受刚从美国洛斯阿拉莫斯国家实验室工作归国的姜焕清老师的科研启蒙。姜老师待人和蔼可亲,循循善诱,是我学习和生活的良师益友。他指导我结合国际三大介子工厂(美国的LAMPF、瑞士的SIN和加拿大的TRIUMF)的最新实验结果开展了 $\pi$ -核双电荷交换反应的研究,1987年在《高能物理与核物理》发表了我的第一篇学术论文。姜老师当时担任核组组长,积极组织并鼓励我们参加学术会议,开拓思路,增强学习沟通交流能力。1986年主办的第四届全国中高能核物理会议在福建泉州召开,我第一次在全国性学术会议上做报告,在参会往返途中,与陆志诚等学友畅游美丽的厦门鼓浪屿和杭州西湖。

1987年姜老师又负责主办了国际中能核物理会议,我第一次与T.E.O.Ericson、M.B.Johnson、N.Isgur等业界国际名家面对面交流,并在学生专场工作介绍中被他们评价为最佳报告。1987年6月以优异成绩通过硕士论文答辩,答辩委员会由杨泽森(主席)、张宗焯、李扬国、庆承瑞、姜焕清五位教授组成。在高能所我度过了轻松愉快的三年求学生活。

硕士毕业后,尚未成为博导的姜老师推荐我到理论物理所,师从何祚庠院士和庆承瑞教授攻读博士学位,将两位老师在研究原子核双 $\beta$ 衰变过程中发展起来的算符展开方法推广应用到 $\pi$ -核双电荷交换反应的研究。在理论所的三年是我学习、生活比较紧张的一段时期。两位导师学习上严格要求。这三年使我生活、学习方面都成熟了不少。在此期间我时常回到高能所与姜老师交流合作。1989年经过六四事件后,经导师联系、推荐、担保,7月8日和庆老师、陶志坚一起赴美国西雅图华盛顿大学核理论研究所参加暑期工作月,结识了E.M. Henley、W.C.Haxton和Ulf-G.Meißner等业界名家,后者20年后成为了我目前的密切合作伙伴。这是我第一次出国,西雅图城市之优美给我留下深刻印象。工作月之后,我、陶志坚和在美国的大学同窗好友陈话、瞿谭峡、黄卫东五人驾车一星期穿越美国七个州,畅游了黄石公园、盐湖城等地。与此同时,国内研究所开始有人怀疑我们借六四之机滞留美国,但我们没有辜负何老师的信任,很快回到了

北京。在导师的言传身教、严格要求下,我1990年博士毕业时已完成十篇学术论文的工作,其中有五篇在国际一流刊物上发表,顺利地联系到瑞士国立粒子物理核物理研究所PSI的博士后工作。1990年7月以优异成绩通过博士论文答辩,答辩委员会由黄祖洽院士(主席)、何祚庥院士、庆承瑞、韩其智、姜焕清、赵恩广、刘寄星教授组成。毕业后经导师推荐获中科院院长奖学金优秀奖。三位导师的言传身教、严格要求、鼓励支持使我终生受益、衷心感谢。

## 二、欧洲八年科研之旅

1990年12月我来到了风景如画的瑞士,度过了轻松愉快的两年。老板洛可米兰教授待人和蔼可亲,粗通中文,夹克后背锈着他的中文名字。1991年底我回国探亲时给他带回一本英汉双解字典,一个月后他给我指出了其中的好几个错误。在PSI客座招待所住了两年,结识了一些中外朋友,包括曾在高能所工作过的赵政国。政国兄待人热诚、乐于助人,时常开车带我们购物、游玩,给予我很多关照。两年期间畅游了法国、西班牙、意大利、德国、奥地利、捷克、英国等地。瑞士人的认真和办事效率给我留下深刻的印象。洛可米兰也是苏黎世大学教授,有几位同事在欧洲核子研究中心开展新兴的低能反质子实验,通过与他们的交流并开展合作,我的研究重心转向反核子湮灭物理的研究。

1992年经过一番周折拿到英国的工作许可,于11月份受聘于伦敦大学玛丽女王学院,在卢瑟福实验室工作。已先期在此工作的有张杰和崔铮,对我多有关照。1993年6月妻子来英国团聚。1994年11月有了第一个儿子。张杰和崔铮也在几个月后各添一个女儿,几家人交往密切。1996年我们获得英国绿卡,准备定居英国,买了一套新建的带花园的三室两厅的二层小楼。次年,我们的次子诞生

了。我和爱人都喜欢孩子,孩子们给我们带来了欢乐。

由于我的英国老板博格教授是一位实验物理学家,我到英国后便开始了做一些与实验密切相关的理论工作,参加了在西欧核子中心开展的低能反核子实验,做出了一些有影响的成果,开始被邀请在国际会议上做特邀报告,并开始关注相关的北京正负电子对撞机(BEPC)上北京谱仪(BES)的强子物理实验。1996年、1997年两次回国合作、讲学,积极促成了BES与我所在的英国组的合作项目,高能所的祝玉灿、李金、胡敬亮、董燎原等先后来卢瑟福实验室与我们开展合作。通过合作使我认识到BES实验数据是好的,但比较缺乏物理分析人才。正好1997年高能所理论室招聘百人计划,引进国外杰出人才,沈彭年老师联系了我。何祚庥、姜焕清等老师也鼓励我回国效力。我也觉得BEPC需要我,是我为祖国出力的时候了,并且国家为我们提供了比较优厚的工作、生活条件,解除了我们的后顾之忧,就在1997年应聘面试答辩,于1998年6月回国了。面试答辩会由时任所长郑志鹏老师亲自主持。回国后,住房安置在19号楼新任所长陈和生老师的楼上,孩子可进入百米之内的高能幼儿园。

## 三、回国效力新征程

由于回国前对高能所的情况已比较了解,回国后工作起步就比较容易。当时,BES已积累了一批实验数据,数据重建、蒙特卡罗模拟等基础工作都已做好。在所领导和同事们的支持下,我回国后很快组织起了一个以青年人为主、粒子物理与核物理相结合、理论与实验相结合的百人计划课题组,成员包括后来先后成为BES合作组发言人的杰出青年沈肖雁、李海波,入选百人计划研究员的董燎原和获得王淦昌物理奖的王建雄。课题组紧密结合国家科学大工程-北京正负电子对撞机的高能物理

实验数据,开展物理分析和研究工作。首先,我们将先进的全张量振幅分波分析法<sup>[1]</sup>全面推广应用于 BEPC  $J/\psi$  衰变中的数据分析,开展胶球寻找和介子谱方面的研究,做出了一批在国际一流杂志上发表的工作,和胡敬亮、董燎原、郭子金、博格教授等人完成了最大的五个  $J/\psi$  辐射衰变道及一些纯强子道的分波分析工作<sup>[2-10]</sup>,被国际权威的粒子数据组收入粒子数据表数十条目;同时,提出并主持课题组开拓了在北京正负电子对撞机上开展核子和超子激发态研究的新项目,指出了通过粲偶素衰变研究重子谱有优于传统实验的2个重要特点:同位旋和低自旋的筛选作用<sup>[11]</sup>。首先与李海波等人完成了对  $J/\psi \rightarrow \bar{p}p\eta$  的分波分析工作,文章投稿6天就被 Phys. Lett.B 接受发表<sup>[12]</sup>,得到的核子激发态最新结果被国际权威的粒子数据组收入粒子数据表最新版,是我国在重子谱方面的第一项贡献。2000年初,当我赴美国第一次参加国际核子激发态系列会议,报告我们这方面的初步结果时,尽管这只是一个比大会特邀报告低一个档次的普通报告,当我说“我来自北京,代表 BES 合作组”时,我有一种由衷的自豪感,比我过去在国外工作时做大会特邀报告还感到自豪。我报告后,有好几位教授上前和我握手表示对我们工作的赞赏和惊讶。此后,我请我们的费曼图计算机自动化计算专家王建雄对我们的分波分析程序包进行了自动化升级,使 BES 合作组能够更简便地开展数据的分波分析。沈肖雁和我分别指导了博士生季晓斌完成了对  $J/\psi \rightarrow \bar{p}n\pi^+$  过程的数据筛选和分波分析,发现了  $N^*(2040)3/2^+$  新粒子,成为我国首项列入 PDG 具有确定量子数的新粒子,也是自 92 年以来,国际上首个被 PDG 收录的  $N^*$  新粒子<sup>[13]</sup>。这方面的工作引起国际关注和重视,十余次被邀请在国际会议上做大会报告。著名强子物理学家美国的 Barnes 教授在一篇综述中写到:“相当令人惊讶,邹等人利用 BEPC-BES 的  $J/\psi$  强子衰变

研究  $N^*$  谱。”;牛津大学 Close 教授在强子谱国际会议总结报告中写到:“ $\psi$  衰变提供了类时区域研究重子激发态的新颖的视角,与 JLAB 数据互补。”此后与 BESIII 实验组合作完成了对  $\psi' \rightarrow \bar{p}n\pi^0$  等过程的分波分析,发现了  $N^*(2300)1/2^+$  和  $N^*(2570)5/2^-$  两个新粒子。美国 JLAB 实验部主任 Burkert 教授在国际会议综述报告中评述到:“该反应令人感兴趣之处是不仅筛选同位旋 1/2 态还压低高自旋态贡献,极大地简化了分波分析”。核子激发态、介子核子物理、强子谱等国际系列会议相继邀请我担任其国际顾问委员会成员,推荐中国的代表做大会特邀报告,使我国在重子谱这一国际竞争激烈的、物质微观结构研究的前沿领域占有了重要的一席之地。

所里的领导和同事给了我很大的鼓励和支持,2000年,在我短期访问英国、不知情的情况下,为我申报争取了首届胡济民核教育科研奖。2001年和2003年所里又分别推荐我获得了中科院百人计划终期评估优秀奖和科技部、教育部等六部委授予的留学归国人员成就奖,受到了胡锦涛、温家宝等国家领导人的接见。2002年度获国家杰出青年科学基金资助,2004年入选国家七部委首批新世纪百千万人才工程国家级人选。

随着我们全张量振幅分波分析法在 BES 合作组的普及,我的研究重心逐渐转移到从理论上探讨强子内部的夸克-胶子结构以及可能存在的新型强子态。2003年 LEPS 等十个国际实验组报告观测到奇特的  $\theta^+ - \bar{s}uudd$  五夸克态,尽管有很多理论模型表示能够解释这个态的存在,张宗焯老师的课题组采用成功解释已有重子谱及重子散射实验数据的组分夸克模型却表示不能解释  $\theta^+(1540)$  的性质。后来高统计量实验结果否决了轰动一时的五夸克态  $\theta^+(1540)$  的存在。通过与张老师课题组的讨论合作,并研读更多的相关文献,我逐步坚信重子中的五夸克成分肯定存在,并很重要。即使对于质子,很多



性质也不能用三个夸克加胶子场来描述,必须考虑其中的多夸克成分。2005年我和芬兰的Riska教授合作对质子奇异磁矩和奇异半径为正的实验迹象进行了深入研究,指出相应的质子中的奇异夸克成分应该主要以反奇异夸克处于基态的有色集团的形式存在<sup>[14]</sup>。指导学生刘伯超对 $J/\psi$ 和 $pp$ 相关实验进行了对照性的分析,发现 $N^*(1535)$ 具有很大的 $K\Lambda$ 耦合,指出其含有很大的隐含奇异的五夸克成分,解释了传统的夸克模型遇到的一些突出的困难<sup>[15]</sup>。因此,2006年成为首位在IUPAP国际少体物理大会上做特邀大会报告的中国学者,应邀担任国际著名学术期刊Nucl.Phys.A的首位华人编委。2008年担任中国物理学会副理事长张闯副所长联合姜焕清老师主动建议并推荐我申报2009年度吴有训物理奖,成功获奖。

基于 $N^*(1535)$ 主要是隐含奇异夸克的五夸克态的观点,我意识到应存在相应的隐含 $c$ 或 $b$ 重味夸克、可衰变到重夸克偶素和质子的五夸克态,建议学生吴佳俊采用该领域2家国际著名研究组不同的方法研究了以重味介子-重子分子态形式存在的五夸克态,预言了在4.3 GeV和11 GeV附近分别存在隐含 $c$ 和 $b$ 重味的五夸克态,建议在筹建的PANDA反质子-质子碰撞及JLab的 $ep$ 碰撞等实验通过 $J/\psi p$ 衰变道寻找隐含粲味的五夸克态<sup>[16-18]</sup>。我还建议了张宗焯老师的课题组用他们的手征夸克模型方法研究了该类五夸克态,也预言了这类五夸克态的存在<sup>[19]</sup>。吴佳俊由于其出色的工作,2012年博士毕业获得中国科学院院长特别优秀奖和院优秀博士论文奖。2015年LHCb实验通过 $\Lambda_b$ 衰变数据观测到了衰变到 $J/\psi p$ 的该类粒子,入选美国和英国物理杂志评选的年度十大突破性进展之一。欧洲科学院院士、EPJA前主编Ulf-G.Meißner教授在关于LHCb五夸克态发现的焦点科学进展报道中评述:“关于该能区的这类粒子的预言来自于一个中国-

西班牙合作组,他们在五年前就发表了论文,认为这类粒子是D介子和粲超子相互作用形成的共振态”。2019年LHCb实验组在国际会议公布其发现的3个五夸克态的最新结果时明确指出其结果与我们的预言符合。在实验发现前后,我作为该类粒子理论预言合作组的代表在9个国际系列会议上做大会特邀报告。该类粒子的发现为五夸克态及重子中的五夸克成分的研究打开了全新窗口,得到了国际广泛关注。

回顾我在高能所工作的十四年,是十分愉快而富有成效的,这得益于理论室良好的学术氛围、和谐的同事关系及所有领导和支持。我刚回国起步、缺少学生的时候,理论室姜焕清、沈彭年、厉光烈、杜东生、吴济民、刘波等老师都派来学生及博士后与我合作,实验中心负责人李金、赵政国、祝玉灿等老师选派了几位强有力的年轻人与我合作开展分波分析工作。后来,张宗焯、余友文、赵强、彭光雄等老师及他们的学生也与我开展了富有成效的合作。

我自2001年接替沈彭年老师担任理论室副主任,开始承担一些组织管理工作,基本上都是大家推着我走。当年我便被推举担任了中国科学院知识创新工程重要方向项目“超重核性质及其合成途径与强子激发态、胶球性质的理论研究”首席科学家,研究队伍基本上是在理论所赵恩广、高能所沈彭年和近物所刘建业等老师负责的前一个结题项目的研究队伍增加年轻人加以扩充而成。2004年这支队伍中的高能所和近物所的老师又推动我牵头申请承担了国家自然科学基金重点项目“基于兰州冷却储存环上强子物理的理论研究”。2005年大家又推举我担任理论室主任。2006年张宗焯老师联合本所陈森玉、陈和生、兰州近物所魏宝文、詹文龙、上海应物所沈文庆共六位大核科学装置所在单位院士向院基础局局长张杰院士递交了组建《中国

科学院大核科学装置理论物理开放实验室》的建议报告,得到了院里的积极回应。由我具体负责申办组建。2007年9月6日中科院大科学装置理论物理研究中心由白春礼常务副院长、基金委沈文庆副主任共同揭牌。我担任第一届中心主任,直至2012年调离高能所,赴理论所任职。为配合中心的建设,我和张新民负责联合院内多个相关研究机构的理论队伍承担了中国科学院知识创新工程重要方向项目“依托国内大科学装置的粒子物理、核物理和宇宙学的前沿理论研究”,促进了研究所之间的合作、理论与实验的交叉,为大科学装置的实验和未来发展提供了理论指导。陈和生和王贻芳两位所长对中心都给予了大力支持,将图书馆半层楼划归了承办中心运营的理论室。张宗焯老师为理论室和学科的发展殚精竭虑使人敬佩,人教处郑文莉处长对引进人才的细心关照、科研处严贺文老师对基金申请和管理的认真协助都深得理论室同仁的好评,理论室秘书王玉敏配合沈彭年老师一起成功操办的在祖国各地风景秀丽的地方召开的很多次学术会议使人难忘,赵维勤老师每次见面的和善交谈和鼓励使人如沐春风……

我在高能所院内快乐地学习了三年、工作了十四年、生活了二十七年,经历了科研启蒙和科研精力及产出最旺盛的阶段,我的三个儿子也都经过高能幼儿园的熏陶、在 高能所院内长大成人进入北大,高能所科研硕果累累,祖国面貌日新月异,人民生活水平不断提高。我感到很幸运,赶上了好的时代、机遇、好的家人、好的导师、好的同事。值此高能所五十周年所庆之日,衷心感谢高能所所有给予我帮助和支持的人们,衷心祝愿高能所不断创造新的佳绩,国家稳步走向繁荣昌盛!

## 参考文献

- [1] B.S.Zou, D.V.Bugg, “Covariant tensor formalism for partial wave analyses of  $\psi$  decay to mesons”, *Eur. Phys. J. A*16 (2003) 537.
- [2] BES Collaboration, D.V.Bugg, A.Sarantsev, B.S.Zou, “Partial wave analysis of  $J/\psi \rightarrow \gamma K^+ K^- \pi^0$ ”, *Phys. Lett. B*440 (1998) 217.
- [3] BES Collaboration, D.V.Bugg, A.Sarantsev, B.S.Zou, “Partial wave analysis of  $J/\psi \rightarrow \gamma \eta \pi^+ \pi^-$ ”, *Phys. Lett. B*446 (1999) 356.
- [4] BES Collaboration, D.V.Bugg, B.S.Zou, “Partial wave analysis of  $J/\psi \rightarrow \gamma (K^+ K^- \pi^+ \pi^-)$ ”, *Phys. Lett. B*472 (2000) 200.
- [5] BES Collaboration, D.V.Bugg, B.S.Zou, “Partial wave analysis of  $J/\psi \rightarrow \gamma (\pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-)$ ”, *Phys. Lett. B*472 (2000) 208.
- [6] BES Collaboration, D.V.Bugg, B.S.Zou, “Partial wave analysis of  $J/\psi \rightarrow \gamma (K^+ K_s^- \pi^-)$ ”, *Phys. Lett. B*476 (2000) 25.
- [7] BES Collaboration, B.S.Zou, “Partial Wave Analyses of  $J/\psi \rightarrow \gamma K^+ K^-$  and  $\gamma K_s^+ K_s^-$ ”, *Phys. Rev. D*68 (2003) 05200.
- [8] BESII Collaboration, B.S.Zou, “The  $s$  pole in  $J/\psi \rightarrow \omega \pi^+ \pi^-$ ”, *Phys. Lett. B*598 (2004) 149.
- [9] BESII Collaboration, B.S.Zou, “Study of  $J/\psi \rightarrow \omega K^+ K^-$ ”, *Phys. Lett. B*603 (2004) 138.
- [10] BESII Collaboration, B.S.Zou, “Resonances in  $J/\psi \rightarrow \phi \pi^+ \pi^-$  and  $\phi K^+ K^-$ ”, *Phys. Lett. B*607 (2005) 243.
- [11] B.S.Zou, “ $N^*$ ,  $\Lambda^*$ ,  $\Sigma^*$  and  $\Xi^*$  resonances from  $J/\psi$  and  $\psi'$  decays”, *Nucl. Phys. A*684 (2001) 330.
- [12] BES Collaboration, B.S.Zou, H.C.Chiang, G.X.Peng, J.X.Wang, J.J.Zhu, “Study of  $N^*$  production from  $J/\psi \rightarrow \bar{p} p \eta$ ”, *Phys. Lett. B*510 (2001) 75.
- [13] BESII Collaboration, J.X.Wang, B.S.Zou, “Observation of two new  $N^*$  peaks in  $J/\psi \rightarrow \bar{n} p \pi^-$  and  $\bar{p} n \pi^+$  decays”, *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 062001.
- [14] B.S.Zou, D.O.Riska, “The  $\bar{s}s$  component of the proton and the strangeness magnetic moment”, *Phys. Rev. Lett.* 95 (2005) 072001.
- [15] B.C.Liu, B.S.Zou, “Mass and  $K\Lambda$  coupling of the  $N^*(1535)$ ”, *Phys. Rev. Lett.* 96 (2006) 042002.
- [16] J.J.Wu, R.Molina, E.Oset, B.S.Zou, “Prediction of narrow  $N^*$  and  $\Lambda^*$  resonances with hidden charm above 4 GeV”, *Phys. Rev. Lett.* 105 (2010) 232001.
- [17] J.J.Wu, T.S.H.Lee, B.S.Zou, “Nucleon resonances with hidden charm in coupled-channels models”, *Phys. Rev. C*85 (2012) 044002.
- [18] J.J.Wu, L.Zhao, B.S.Zou, “Prediction of super-heavy  $N^*$  and  $\Lambda^*$  resonances with hidden beauty”, *Phys. Lett. B*709 (2012) 70.
- [19] W.L. Wang, F. Huang, Z.Y. Zhang, B.S. Zou, “ $\bar{D} \Sigma_c$  and  $\bar{D} \Lambda_c$  states in a chiral quark model”, *Phys. Rev. C*84, 015203 (2011).