

# 值得怀念的合作经历

于 淦<sup>†</sup>

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2014-03-10收到

† email: lyu@aphy.iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20140607

1969年6月,我被派到湖北潜江“五七”干校接受“再教育”,1971年7月回到中国科学院物理研究所(以下简称物理所)。当时的“军代表”已解散了物理所的理论室,我被分到超导实验室的超导天线组向实验同行学做实验,1972年,我参加了郝柏林在磁学室重新组织的理论与计算组。当时成立这个组有两方面的原因:一是郝柏林、蒲富恪等同事已经有相当长一段时间从事天线研究,大量使用计算机;更直接的原因是郝柏林等利用外国公司在天津开展览、座谈的机会,从日本武田理研公司引进了一台美国的NOVA 1200小型计算机,需要人掌握硬件、软件和推广应用,郝柏林负责FORTRAN,我负责BASIC,诸克弘负责ALGOL。在后来的十多年中,我国小型计算机的发展从“剖析”这台计算机中受益良多。

这段时间国内的氛围发生了一些变化,林彪事件后周总理主持工作,大力抓经济和科技工作。杨振宁先生在1971年首次到国内访问,1972年再次访问。第一次毛主席接见他,第二次周总理接见他。总理接见他的时候,周培源先生作陪,杨先生主要谈基础研究如何重要,得到周总理的认同。周培源先生根据这次谈话的精神,在《光明日报》上发表一篇整版的文章,说明基础研究的重要性。我们读了非常兴奋,感觉到应从“应用型”问

题,如天线计算、推广计算机应用等转到“基础型”问题。就在这段时间,郝柏林有机会去加拿大参加那里的物理学会年会,直接听到M. E. Fisher关于相变和K. G. Wilson工作的报告,他回来后我们就到图书馆去查文献。幸运的是,“文革”期间中国科学院图书馆和物理所图书馆期刊虽未上架,但没有断,有影印本,还有些是原版。

通过对期刊的浏览,我们惊讶地发现,在中国“闹革命”的那些年,国际上在相变和临界现象理论方面发生了翻天覆地的革命。普通物理课程中描述的范德瓦耳斯方程,是描述相变现象最早的平均场理论,后来又以不同的形式被多次“重新发现”过。朗道把它归结成非常简洁的唯象理论:在相变点附近可以把自由能按照序参量展开,再作一些物理上合理的假定,就可以推算出描述相变点临界行为的“临界指数”。平均场理论物理图像直观,给出的临界指数与测量值大体符合。可是,到了上世纪60年代,实验精度大大提高,测量结果与平均场理论预言的差别超出了误差范围,对理论提出了根本性的挑战。经过许多科学家的共同努力,在总结实验的基础上提出了许多新的概念,如“标度律”、“普适性”等,逐渐形成了相变新理论的基础。1971年,一位搞场论的物理学家K. G. Wilson采用“重正化群”的办法最终解决了这个问题,提出了计算

临界指数的新方法,因此获得1982年的诺贝尔物理学奖。他先把大动量、小尺度的涨落积掉,推导出描述较大尺度上涨落行为的有效哈密顿量,再作标度变换,退回原来尺度。这一系列变换在“参数空间”构成“重正化群”,根据它在“不动点(对应物理上的临界点)”附近的展开,可以算出临界指数,与实验完全符合,并从理论上论证了“标度律”、“普适性”等重要概念。当时我们与外界隔绝,没有任何直接交流,只能如饥似渴地分工阅读重要的文献,一篇、一篇地“抠”,在组里仔细讲,反复讨论。不记得讲过多少次,但讲稿叠起来超过一尺。通过这种互教互学的办法,我们较快地跟上了统计物理领域的这一重大进展。后来,郝柏林提议,我们在讲稿的基础上提炼出一些内容,先在《物理》杂志上发表了三篇综述性短文,后来扩充成一本小书,叫《相变与临界现象》,由科学出版社出版。前些年,这本小书又再版了一次,陈晓松教授也参与了。

那时我们是“边学边干”,一方面“啃”K. G. Wilson在*Physical Review*发表的两篇长文(说实话很难读,物理图像还清楚,但计算细节很难重复);一方面试图用自己熟悉的方法独立地推导别人的一些结果。核心问题是计算连续相变的临界指数,就是找出各种热力学量在临界点的奇异行为。Wilson指出,空间维数超过4时,平均场理论是正确的,

可以利用 $\varepsilon=4-d$ ( $d$ 是物理体系的空间维数)作小参量,计算临界指数。他和M.E. Fisher用重正化群的方法计算,而T. Tsuneto和E. Abrahams用“拼花图”(parquet diagram)的办法,都算到了 $\varepsilon$ 的二阶。Tsuneto和Abrahams还宣称,他们的方法可以推广到高阶。郝柏林和我分别用“矩的微扰论”和“拼花图”的方法对序参量有 $n$ 个分量的一般情形推导Tsuneto和Abrahams的结果,发现他们讨论的是 $n=2$ 的特殊情形(用的是复数玻色场),而且并不了解任意 $n$ 时的拼图规则,所以不能简单推广到高阶。我们认真研究了“拼图”的规则,抓紧计算高阶效应,经过近半年的奋斗,终于将临界指数的计算推到了 $\varepsilon$ 的三阶。这个计算比较复杂,有一个高阶多维积分就算了两个月,当时用A3纸当算稿,放在一起有好几十公分厚。在计算的关键时刻,郝柏林的腰椎间盘突出犯病,卧床不起,但他坚持工作,隔一段时间我就去他床边核对独立计算的结果。虽然我们具体计算途径不同,但绝大多

数情况结果都一致,当然很高兴。整个过程中就两次发现差别,经过反复核对,一次是我的错,一次是他出了点问题。这种并肩战斗、紧密合作的乐趣很难用语言描述。

1973年底,就在我们准备整理计算结果的时候,在图书馆新收到的*Physics Letters*上,看到Edouard Brezin和他的同事用场论中的Callan—Symanzik方程也做了这个计算,结果是一样的,但方法不同。他们的文章总共2页,没有任何推导。我们当然有些气馁,但可慰藉的是我们的结果得到了检验。由于是相互独立的计算,方法和途径不同,我们还是把它送去发表了。我们还直接计算了比热的临界指数,这是他们文章中没有的。他们的文章是1973年9月份出版,我们收到发表他们文章的杂志肯定要晚;我们的文章是1973年12月投的稿,但直到1975年才出版,连英文标题和摘要都没有。由于与外界隔绝,当时没有人了解,也不可能在国际上有影响。但是,这段合作的成果对后来的学术交流和传承都发

挥了作用。

1975年,在美中学术交流协会支持下,美国物理学会组织了一个固体物理代表团到中国访问,调查、了解“文革”期间中国物理研究和教学的实际情况,团长是伊利诺大学的Charles Slichter,他是做核磁共振实验的,成员中有John Bardeen, Nicolaas Bloembergen, Ivar Giaever和Bob Schrieffer等诺贝尔奖得主。他们在日本先开预备会,后开总结会,前后超过一个月,形成了219页的正式报告《中华人民共和国的固体物理学》,由美国国家科学院出版社出版。那时郝柏林去河北文安的“五七”干校劳动锻炼,我向代表团介绍了我们的计算。他们在这份正式出版的报告中说:“物理所磁学组的理论学家向我们描述了相当复杂、有想象力的连续相变临界指数计算,用的是重正化群和图解分析法,与西方及苏联当代最先进的研究类似。……我们看到中国多数固体理论学家关注经典及半经典唯象理论,这项研究是引人注目的例外。”这些交流对后来我们重回国际学术界起了一些作用,包括1978年到比利时参加著名的Solvay会议,1979年至1981年去美国当访问学者,以及后来邀请我到意大利的国际理论物理研究中心(ICTP)工作。图1为1982年我与郝柏林等人的合影。

除了在《物理学报》上发表文章外,郝柏林和我还花了不少时间学习、研究量子场论及重正化群方法在凝聚态和统计物理中的应用,先后在1978年的中国物理学会庐山会议上和1982年华中工学院的讲习班上与苏肇冰等其他同事一起向年青的研究生和同行们比较系统地介



图1 1982年,(左起)于淦、周光召、伍法岳、郝柏林、蒲富恪合影

绍了“文革”期间国际上有关研究的进展，对填补“文革”造成的空白发挥了一定的作用。后来，经郝柏林提议，将这些课程的讲义编写成《统计物理学进展》一书，由科学出版社正式出版。最近到台湾去才得知，这本书出了繁体字本，在那里还有相当影响。由于过去两岸

关系紧张，这是一本“无头书”，没有作者姓名。这些年陆续在各地遇到不少国内的和海外的华人物理学家，有些已很有影响，都提到这本书和《相变与临界现象》的小册子，略感欣慰。

1956年，我去前苏联哈尔科夫大学读物理时就认识郝柏林，

他是从哈尔科夫工程经济学院转学来的高年级插班生，我们的友谊至今已近六十载。我们共同经历了许多事情，分享过许多美好的时光。我从他这位学长那里学到很多东西，得到很多帮助。这篇短文记述的就是一段值得怀念的合作经历。

## 新型热电子发电机

德国和美国的研究人员开发出一种将热或光转换成电能的新型热电子发电机。新的设计克服了“空间电荷效应问题”，这个问题阻碍着实用设备的研制。新型发电机的效率大约是以前的发电机效率的4倍。这种新技术可应用于太阳能发电及废热利用等方面。

热电子发电机利用由真空隔开的两块金属板之间的温差来将热或光转换成电流。热的那块金属板由入射光或热传导来加热，使得电子从金属板的表面蒸发出来，并聚集在冷的那块金属板的表面。由此造成两块金属板之间的电荷差，这种电荷差可以产生有用的电流。

由于热电子发电机直接将热或光转换成电能，因而具有很大的实际应用价值。例如，如果用于燃煤的发电站，热电子发电机原则上比蒸汽轮机效率更高。热电子发电机还可用于各种低温情况，如收集太阳能或汽车发动机中废热的再利用等。

尽管这种高效率转换的潜在价值在上世纪50年代末期就已知道了，但是实际的应用却受到所谓的空间电荷问题严重的限制。对于相隔间隙为3—5  $\mu\text{m}$  以上的两块金属板，在间隙中形成的电子“云”的负电荷抑制着随后的电子从热的金属板发射。实际上这就阻止了金属板之间电子的流动。虽然减小金属板之间的间隙可能解决这一问题，但是在高温下使金属板之间

### 物理新闻和动态

的距离保持在3  $\mu\text{m}$  以下是极为困难的。

以前解决空间电荷问题的方法主要是将铯离子放入两块金属板之间的间隙中。带正电的铯离子可以中和间隙中的一些电子，这样使得更多的电子可以从热的金属板释放出来。当这种方法用于为前苏联的卫星供电的轻型TOPAZ核反应堆时，其输出功率降低50%。

Max Planck 固态研究所的 Jochen Mannhart 与 Augsburg 和 Stanford 大学的同事，通过在金属板之间的空间中产生一个电场的方法来克服空间电荷问题。这个电场首先加速离开热金属板的电子，然后，当这些电子接近冷金属板时，再使这些电子减速。电荷云随之运动，分布在距离热金属板较远处，而不会排斥随后发射的电子，从而可以形成连续的电流。所采用的电场是由具有六角形孔的蜂巢形的栅门产生的。金属板之间施加的磁场引导电子通过这些孔。

研究者认为，他们的设计商业化需要5—20年的时间，有赖于用于高温还是低温的情况。研究团队目前正在两个方面改进设计，以提高这种发电机的效率。首先是利用现有的半导体技术构建高性能转换器，其次是通过使用新材料，特别是氧化物和纳米技术，来优化电极。有关论文发表在 *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2013, 5: 043127 上。

(树华 编译自 *Physics World News*, 9 December 2013)