

张宗燧与科学大师们*

尹晓冬^{1,†} 朱重远²

(1 首都师范大学物理系 北京 100048)

(2 中国科学院理论物理研究所 北京 100190)

2015-06-05 收到

† email: xiaodongstone@139.com

DOI: 10.7693/wl20150706

摘要 张宗燧先生是中国著名物理学家, 国内最早从事统计物理和量子场论研究的科学家之一, 第一位在英国剑桥大学开课的中国人。他的人生虽然短暂, 却在中国科学发展史上留下了不可磨灭的足迹。在张宗燧先生不平凡的学术生涯中, 数位著名国际科学大师起到了极为重要的引领作用。文章较为详细地记述了这些鲜为人知的交往, 作为对张宗燧先生百年诞辰的纪念。

关键词 张宗燧, 福勒, 尼尔斯·玻尔, 狄拉克, 奥格·玻尔, 李约瑟, 穆勒

2015年7月12日(农历6月1日)是中国统计物理学和量子场论研究的先驱及开拓者之一的张宗燧先生100年诞辰。

张宗燧在统计物理学方面, 提出了在有合作现象的系统中求出与贝特理论相应的系统配分函数中组态因子的方法, 给出了著名的“张组合公式”, 并由此证明了贝特近似与准化学近似的完全等价。他是研

究次近邻近似的第一人, 是最早提出吸附作用中可能存在超晶格相变的先驱, 是研究成果被写进国际著名专著和教科书的第一位中国统计物理学家。在量子场论方面, 他在约束系统正则量子化的研究中, 最早认识到由于经典规范理论中任意时空函数以及一般系统中不定乘子出现带来的量子化问题, 并提出了一种初步的解决方法。他发现了存在两种不同类型的约束并分别提出了对其中一大类模型可以使用的量子化方法, 对于约束系统的正则量子化作出了重大贡献。张宗燧是高级微商场论最早的系统研究者之一, 在国际上有较大影响力。他为中国理论物理研究队伍的建设作出了突出贡献^[1-3]。张先生先后在重庆中央大学、北京大学、北京师范大学、中国科学院数学研究所任教授或研究员, 并曾兼任中国科技大学教授, 1957年当选中国科学院学部委员(现称院士)。

张宗燧1915年出生于浙江省杭县(今杭州)的一个仕宦世家, 父亲张东荪是毕业于日本东京帝国大学哲学系的哲学家, 曾是中国民主同

盟的领导成员之一, 解放初期担任过中央人民政府委员, 但于1952年思想改造运动中受到批判, 最后因“美国间谍案”被撤销一切职务, 开除出民盟, 成为“按人民内部矛盾处理, 保留北京大学教授职务”的平民。文化大革命中, 于1968年被捕, 1973年病逝于监禁中。张东荪跌宕起伏的一生对张宗燧的人生有着相当大的影响。

张宗燧自幼聪明, 好学上进, 不甘人后, 个性要强, 独立自信。家庭为其提供了良好而宽松的教育环境, 最为重要的是, 父母放手让子女自由发展自己的兴趣, 选择自己受教育的道路。这些综合因素造就了张宗燧: 他15岁考入燕京大学物理系, 次年转学清华大学, 19岁获得理学学士学位, 21岁远赴英国剑桥大学读研究生, 23岁取得博士学位, 24岁得到中央大学教授的聘请, 25岁正式就任当时最年轻的教授, 研究成果蜚声国际。这是一段不平凡的人生足迹。张宗燧能够成为卓有建树的杰出科学家, 除了天资聪颖, 勤奋努力之外, 还有一个非常重要的因素是, 得到了数位著



图1 年轻时的张宗燧

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 11205105), 北京市属高等学校青年拔尖人才研究项目

名国际科学大师的指导。张宗燧曾先后两次出国：1936—1939年，在英国剑桥大学攻读博士及在丹麦、瑞士、法国科研机构做研究；1945—1948年，再赴英国剑桥做访问学者，随后赴美国和丹麦访学。这期间结识的福勒、尼尔斯·玻尔一家(包括奥格·玻尔)、狄拉克、李约瑟等科学巨匠，在不同时期、不同方面、以不同形式的帮助和支持，对张宗燧的学术生涯有着重大的影响。文章中，我们将这些经历比较详细地记述下来，以表达对先生的纪念。

1 福勒与张宗燧

1936年张宗燧考取了第四届庚子赔款数学专业留英生，于同年9月进入英国剑桥大学菲茨威廉学院(Fitzwilliam House College)，在剑桥大学数学系师从福勒，学习统计物理学^[4]。

在20世纪20—40年代的英国，拉尔夫·霍华德·福勒(Ralph Howard Fowler, 1889—1944)是推动剑桥数学物理及量子理论发展的一位非常重要的人物。他于1914年被选为剑桥大学三一学院院士，“一战”期间，福勒服役于英国皇家海军陆战队炮兵队。在战争中接触应用数学的经历，让他对物理问题发生兴趣。1919年返回剑桥后，与新任卡文迪什实验室主任的卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937)成为好友，并于1921年成为卢瑟福的独生女婿。1922年，福勒发表了一系列统计力学的论文，发展了量子系统中能量分布的计算方法。

福勒创立了英国最早的近代理论物理学派——福勒学派。由于行政方面的规定，当时剑桥的理论物

理学家都在数学系，与卡文迪什实验室不大往来，但因为福勒与卢瑟福的特殊关系，使其成为剑桥理论工作者和卡文迪什实验工作者之间独特而重要的纽带。他既是剑桥理论物理与实验物理的联系人，也是量子理论的积极传播者^[5-9]。正是福勒1923年介绍学生狄拉克(Paul Adrie Maurice Dirac, 1902—1984)看了德布罗意关于物质波的论文，鼓励和引导狄拉克走入量子力学领域，并通过玻尔(Niels Bohr, 1885—1962)使狄拉克与海森堡(W.Heisenberg)相识，从而成就了1925年量子力学的发现。1925年福勒当选为英国皇家学会会员，次年他率先将费米和狄拉克创立的新的量子统计应用于白矮星的研究，因而成为现代理论天体物理学的创始人之一。其学生S.钱德拉赛卡(S.Chandrasekhar)正是在这一理论的基础上，于1930年给出了白矮星的钱德拉赛卡限，获得了1983年诺贝尔物理学奖。1932年，福勒被选为新创建的热力学物理的普鲁默讲席教授(Plummer Chair)，1938年接替劳伦斯·布拉格出任国家物理实验室主任。他于1929年出版的《统计力学》及1939年出版的《统计热力学》，长期被统计物理界作为主要参考书。

福勒是一位杰出并富有成效的导师。1922年他成为剑桥新设立的数学物理博士学位中唯一一位研究生导师。1922至1939年担任导师期间，根据注册记录，他共有64名研究生。其中包括至少15名英国皇家学会会员和3位诺贝尔奖获得者——P.A.M.狄拉克、N.F.莫特(N.F. Mott)、S.钱德拉赛卡^[10]。

张宗燧到达剑桥时，福勒刚从普林斯顿大学讲学回来不久。据文献[9]描述，福勒门生众多，十分繁

忙，很少有时间具体指导学生，学生想见到他都很难。但是，从张宗燧在剑桥所完成的研究论文中可以清楚地看出，他很适应福勒的指导，很快就进入了统计物理研究的最前沿。

20世纪30年代中期，统计物理学研究重点正处在从理想气体和低温固体等准自由粒子系统转向有比较强的相互作用的合作系统，合金及溶体的合作现象和相变问题成为研究热点。1935年贝特(H.Bethe)提出的处理方法是十分重要的进展。此前，1934年，布拉格(Bragg W.L)和威廉姆斯(Williams.E.J)作了一个非常简化的假定，对给定的物理参数(例如序参数)，将原子在格点上的能量用所有具备该序不同组态能量的平均值代替，也就是说，对该格点的作用能以整个晶体所有原子在该点的平均场去描述，完全忽略组态的具体形式不同造成的相互作用能的变化。贝特则提出，将一个格点及与其最近邻的格点看成一个小集体，只考虑最近邻原子对之间的相互作用，将更远的原子的影响，以作用于最近邻原子的有效场代替，同时这个有效场不在此小集体的中心原子作用，由此成功给出了超晶格相变的统计理论，计算了序参数、比热等量。这些研究非常重要，可以说开创了统计力学研究的新领域。

从文献中，我们看到，张宗燧的论文中有两篇是福勒建议研究的。第一篇是研究由于分子转动带来固体比热的反常行为。这个问题福勒在1935年曾研究过。他用的方法假定了分子在一个有效场作用下转动，本质上与布拉格和威廉姆斯近似。张宗燧成功地将处于中心的分子加上其最近邻的分子看成贝特

方法中的小集体，将外面分子的转动对小集体的作用，用作用于小集体中的最近邻分子的有效场去补偿，出色地完成了计算。结果显示了临界温度的存在，以及由于转动自由度在临界点的突然加入造成比热的不连续性，得到了同行们的重视。这篇论文写得很快，1936年6月就已经投稿。论文末尾，他感谢了“福勒建议做这个问题以及写论文时的帮助”。间接说明了张宗燧在确定题目后，基本是独立完成了具体的研究工作。另一篇关于双分子气体吸附于固体的统计理论的论文也用了这样的致谢语。

思维敏捷是张宗燧的一大特点。因此，他能做到在应用贝特方法完成福勒建议的研究的同时，又发挥自己数学好的特长，进一步发展贝特方法。

他推广贝特方法到包括次近邻

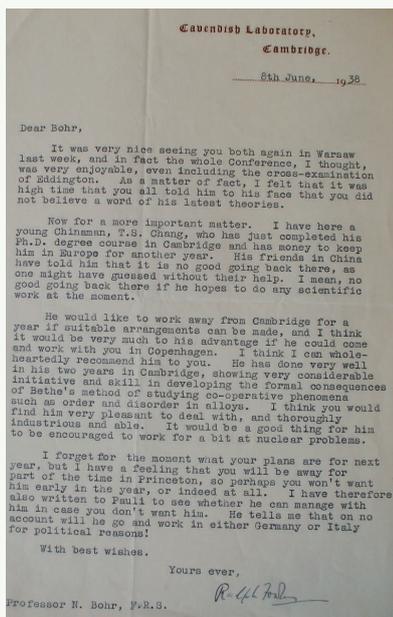


图2 福勒给玻尔的推荐信(1938年6月8日)

格点间相互作用的贡献，明显地改进了合金有序—无序相变的贝特理论与实验符合的程度，成为成功研究次近邻近似的第一人。他讨论了二元合金在所有组分浓度比的情形下，形成AB型合金的超晶格临界点附近的有序化特性，以及AB₃型的超晶格存在的可能性。在分析这些结果时，他敏锐地发现，这些计算完全可以直接应用于气体在固体表面上的吸附。张宗燧指出，可以把被吸附的原子看成二元合作系统中的一种组分，固体吸附层中规则地排列着的，可以吸收气体原子的未被占据的格点，看成另一种组分原子。于是，此系统统计力学方程组及计算方法可以套用二元合金的研究，只是各物理量改为吸附现象中对应的量。他应用这种方法证明了，在一定条件下，在吸附层中，可能形成超晶格，成为提出吸附中可能形成超晶格理论的第一人。

在统计力学中，研究物理系统平衡态性质的标准方法是构造系统的配分函数(或巨配分函数)，然后从这些函数直接导出平衡态的性质。因此，给出配分函数具有基本的重要性。贝特方法没有直接给出配分函数，而是用一些间接的方法去计算系统的平衡性质。张宗燧觉得，既然贝特方法给出了平衡性质，是不是可以反过来由此导出相应的配分函数。这里的关键是，要求出配分函数表达式中的组态数。他首先以吸附问题为例，将由贝特方法得到的平衡性质与用巨配分函数给出的进行比较，导出了相关的表达式。后来，又考虑多种更复杂的情形。这些关于组态数的式子被

称为“张组合公式”(Chang's Combinatory Formula)。有了这样得到的巨配分函数，人们就可以应用它们去导出系统的各种特性，一个很重要结果就是，由此证明了贝特近似与准化学方法完全等价。

张宗燧的这些工作表明了，他在迅速完成福勒研究建议的同时，勇于提出新想法，发挥长处，从而做出了具有特色的重要工作。这几篇论文的末尾都感谢福勒的“感兴趣”，这不是客套话。从张宗燧只用了二年就获得了其他人要三、四年才能得到的博士学位，可以清楚地看到福勒对其工作及能力的赞赏。此外，在随后出版的福勒和盖根海姆(A. Guggenheim, 1901—1970)的名著《统计热力学》一书中，对张宗燧的工作有十多次的实质性引用，而且书中专门有一个章节讲述“张组合公式”^[11]。这也是中国统计物理学家的成果第一次写入国际著名的专著和教科书。

1938年10月25日^[1]，张宗燧获得博士学位，与比他早一年到剑桥留学的王竹溪一起，成为中国最早的统计物理领域的博士。王竹溪先生是福勒名下，由罗伯茨(John Keith Roberts, 1897—1944)博士实际指导的研究生^[12]，也是中国统计物理研究的开拓者之一。福勒以其特有的方式指引了中国统计物理研究的起步。

庚款留英提供3年经费，张宗燧提前获得博士学位，还剩一年的费用可用。他想很好地利用这个条件，在继续研究统计力学的同时，拓宽到开展量子场论和粒子物理(时称“基本粒子物理”，分类归属“核

1) 剑桥大学的学生档案一般不允许第三方查阅，笔者2008年得到剑桥大学高等哲学与神学研究中心主任戴维·汤姆逊教授的帮助，他查阅后回复：“He (Chang) was obviously successful in gaining his PhD in two years, since he was approved on 25 October 1938”。由此可知，张宗燧于1938年10月获得博士学位

物理”)的研究。他的计划得到了福勒的大力支持,1938年6月8日,福勒写信将他推荐给了尼尔斯·玻尔(图2)。信中说:“我想我可以全心全意把他推荐给您。他在剑桥两年中,在研究合作现象诸如合金的有序与无序的贝特方法中,显示了相当好的首创精神和技能。我想你会发现他很好相处,非常勤奋并且能干。对他来说,鼓励他做一点原子核方面的研究是个好主意。”^[13]玻尔很快做了答复,表示非常欢迎。

2 尼尔斯·玻尔、穆勒、泡利、奥格·玻尔等与张宗燧

1938年10月,张宗燧抵达丹麦哥本哈根大学理论物理研究所,受到玻尔非常热情的欢迎并请他住在自己家里。当时与玻尔一起从事基本粒子理论研究的,有以导出电子—电子的穆勒散射截面闻名的穆勒(C.Møller)、对量子电动力学早期研究有重要贡献,后来又以提出lepton(轻子)的名字闻名的罗森菲尔德(L.Rosenfeld)、以量子场论中的维克定理著称的维克(Wick)等人(图3)。玻尔安排穆勒指导张宗燧。1939年2月玻尔去普林斯顿访问时,又推荐他到苏黎世理工学院泡利(W.Pauli)处工作。在苏黎世,张宗燧还结识了菲尔茨(M.Fierz,因导出量子场论中的费尔兹变换而闻名)。他再次表现出进入新领域的超强能力,短短9个月,他完成了两篇论文,并很快寄给了玻尔和穆勒^[14]。论文研究的问题围绕的是当时最前沿的热点汤川粒子。

第一篇论文《包含介子的过程对于方位角的依赖》,原为研究汤川粒子与电场的相互作用。由于当时



图3 1938年10月玻尔研究所全体成员合影(前排右一为张宗燧,左四为Wick,左七为N.Bohr,右三为Møller)

人们心目中汤川粒子是矢量粒子,所以这篇文章中的介子是矢量粒子。有趣的是,当张宗燧到苏黎世不久,泡利就告诉他注意弹性散射中自旋与方位角关系,并说容易计算。张宗燧却不这样想,写信告诉穆勒说,他“觉得很难,需要真正的努力一把”。不过实际上,他还是很快就完成了这项工作^[15]。论文就任意极化的情形讨论了弹性散射及辐射量子过程的角分布,由穆勒和罗森菲尔德帮助修改,并经玻尔同意,寄至《剑桥哲学学会学报》发表^[16]。

另外一篇论文是《赝标波函数描写的介子的性质》,内容涵括赝标介子被静电场的散射、被核子吸收并辐射出光子、被核子散射及 β 衰变寿命的公式。当时还没有任何粒子被确定为赝标介子,所以这篇文章实际上是指向发现新粒子的。此时的张宗燧并没有意识到这篇文章很有用,由于时局的影响,文章的发表过程也非常曲折。那时的中国,日本已于1938年12月13日占领了南京,张宗燧的父母亲及小妹所在的北平早已沦陷。张宗燧希望

继续留在哥本哈根工作一段时间,玻尔很支持他的想法。张宗燧一方面向国内申请资助,同时依照玻尔的建议申请洛克菲勒基金^[17],不过由于后者支持的是实验工作,所以他向玻尔表示可能难以中选。到下半年,他已经知道这二份申请都没有成功。虽然玻尔曾谈及可以帮助张宗燧申请丹麦的资助,但欧洲的形势急剧变化,第二次世界大战正在逼近。玻尔在给张宗燧的一封信中写道:“……所有事情在当前紧张的局势情况下都很困难,任何人都不确定将来会发生什么事情,这也是我为何迟迟没给你回信的原因,因为我不知道该给你什么样的建议,以及在危急情况下我能够给你提供何种帮助”^[18]。此信发出之前,玻尔曾数度修改,反映出了玻尔的斟酌与犹豫。事实证明,玻尔的判断是对的。1939年9月1日,第二次世界大战爆发,致使张宗燧计划回到哥本哈根再工作一段时间的愿望落空,当时亦已无法从法国返回丹麦。鉴于他在1939年4月就已经收到了重庆中央大学物理系聘请他为教授的邀请^[19],10月他便从

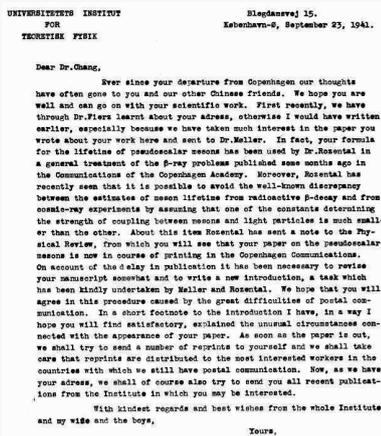


图4 玻尔写给张宗燧关于《赝标波函数描写的介子的性质》论文发表事宜的信件(1941年9月23日)

Being informed that Dr. T. S. Chang is applying for a scholarship to allow him to continue his studies and research work in European Universities I take great pleasure in recommending his application most heartily. As well through letters from Prof. R. Fowler in Cambridge where Dr. Chang worked before he came to Copenhagen as through personal contact with my collaborators and myself during his stay in this Institute for the last six months I have indeed learned most highly to appreciate his scientific and personal qualifications. Besides conducting the investigations on problems of statistical mechanics carried out in Cambridge under the direction of Prof. Fowler, he worked in Copenhagen, especially under the direction of Prof. Heiler, on various problems arising out of the recent development of nuclear theory, especially as regards phenomena connected with γ -ray disintegrations. In this work, which is nearing its completion, Dr. Chang showed a quite unusual ability as well in mastering the new intricate mathematical methods involved as in grasping their physical implications most thoroughly. His enthusiasm and keen insight in problems of theoretical physics permit in fact to entertain great expectations as to his future scientific activity, and if, after the continuation of his studies under Prof. Heiler in Zürich during my absence from Copenhagen this term on a journey to America, he wishes to return to this Institute, he will be very welcome indeed.

N. B.
(Niels B. Bohr)

图5 玻尔为张宗燧写的推荐信(1939年1月23日)

法国马赛乘船回国,先到上海稍作停留,然后取道越南,经过昆明,辗转到达重庆中央大学。不久,丹麦被法西斯占领,玻尔与他的联系中断了,这篇论文没能马上发表。1941年,玻尔研究所的罗森塔尔(Rozental)在研究著名的宇宙线中发现“介子”的问题,之前在此问题上考虑的都是矢量介子,罗森塔尔则使用了张宗燧导出的赝标介子寿命的公式,去讨论它们是不是赝标介子的可能性。玻尔非常重视张宗燧的这篇论文,认为应当马上发表,苦于无法联系到作者,而时间又已迟了两年,于是玻尔就请穆勒

和罗森塔尔为该文写了新的引言,作了一些必要的修改,并亲自写了一段脚注,说明了情况,准备发表在《丹麦皇家科学院数学—物理》杂志上。在付印期间,玻尔从菲尔茨处得知了张宗燧的联系方式,1941年9月23日他致信张宗燧详细告知了上述处理过程,并表示会将文章的复印本寄给所有与丹麦有邮政通信国家的有关科学家(图4)^[20]。张宗燧的《赝标波函数描写的介子的性质》一文,就以这样一种曲折的方式发挥了作用,玻尔对后学如此深切的关怀也令人感动。

对于张宗燧的工作,玻尔给予了高度评价。他在推荐信(图5)中写道:“通过张博士来哥本哈根以前工作的剑桥福勒教授的来信,以及他在这里过去6个月中与我的合作者和我本人的个人接触,我非常欣赏张的科学的以及个人的才能。除在剑桥福勒先生指导下的统计力学领域的研究以外,他在哥本哈根,在穆勒教授指导下,工作于核理论最近的发展提出的各种问题,尤其是,有关 β 射线衰变的现象。在这个即将完成的工作中,张在精通新的数学方法又能最透彻地理解其物理含意方面显现了非凡的能力。事实上他对理论物理的热情与敏锐的洞察力允许对他未来的科学活动怀有巨大的期望。”^[21]

张宗燧在丹麦的半年时间里,由于一直住在玻尔家,与他的家人也建立了深厚的友谊。张宗燧与玻尔的孩子,包括比他小几岁的奥格·玻尔(Aage Bohr, 1922—2009, 1975年诺贝尔物理学奖得主,在中国人称“小玻尔”)成为好友。在玻尔档案馆里看到的19封张宗燧与玻尔夫人的通信中,有5封是张宗燧与玻尔夫人玛格丽特(Margrethe

Norlund, 1890—1984)的通信,其中4封集中在1939年的9—10月,乃张宗燧在法国准备回国期间所写,他留在玻尔家的行李也是玛格丽特通过船运,邮寄给他当时在上海的大哥张宗炳的^[22]。

1945年张宗燧第二次出访欧洲,他到达英国后马上给玻尔写信,急切地了解玻尔以及穆勒、罗森菲尔德的研究工作^[23]。玻尔的回信如亲人一般,对张宗燧“安全地度过艰难的岁月,现在再次在英国与狄拉克一起工作”表示“极为高兴”。并表示他们“马上会有一个有关原子问题的通常会见许多老朋友的年会,希望也能有幸见到你。”在谈到家庭时,玻尔写道:“我们都很好并为在经过战争后期多年的长期分离之后再次团聚而高兴。我们所有人向你致最衷心的问候和最好的祝愿。”^[24]

1958年,在西方与中国的科学交流完全中断的时代,先是老玻尔与杨振宁、李政道商议,后由小玻尔给杨振宁写信,表示希望以邀请资深物理学家作短期访问和年轻的方式,与中国进行科研合作。信中提到了三位物理学家,特别是张宗燧:“我们从战争前夕起认识张宗燧,对于他,我们有一个很好的印象。我想他在美国度过了一些年,但现在回到了中国。”^[25]杨振宁回信说:“张宗燧、胡宁、彭桓武都是很好的人选。”信中还提出了黄昆^[26]。不过由于政治形势的复杂性,最终只有年轻人的访问实现了。

1962年,小玻尔与夫人首次访华^[27],指名要见张宗燧,老友重逢,相谈甚欢。张宗燧本就是一个书生气十足的人,表里如一,直言不讳。比如他说:“丹麦人的生活水

平是高,生活水平高就一切问题都解决了?”据说,当时小玻尔夫人曾问他中国每个人的布票有多少,他并不知道,就估测了一个足够用的数字,回家问了爱人后才知数字差别比较大,认真的他又到旅馆去纠正,违反了不准私自会见外宾的外交纪律。这些不合时宜的言行使他差点不能出席丹麦大使的招待会。对大使的邀请,曾有批示“需要斟酌,如张宗燧教授就不再出面为好”^[28],不过最后还是让他参加了。有意思的是,小玻尔在讲学中提了一个核理论的研究题目,中国科学院原子能所将其交给了张宗燧的妹妹张宗焯,最后由她完成并发表在《物理学报》上。

3 狄拉克与张宗燧

抗战期间,在十分困难的条件下,张宗燧在重庆中央大学坚持了统计物理和量子场论的研究,完成了7篇论文,这都是在十分闭塞的情形下进行的。他迫切地期望与高水平的科学家,就他从1944年起便进行的约束系统量子化方向开展讨论与交流。这一愿望由中英文化协会帮助实现了。张宗燧作为该协会当年资助的3名教授之一,于1946年1月到1947年9月以高级研究员的身份到剑桥大学访问讲学,邀请人是狄拉克。他与狄拉克同为福勒学生,是师兄弟,不过当1936年—1938年张宗燧在剑桥攻读博士的时候,狄拉克已经是大名鼎鼎的教授了。狄拉克1926年获得剑桥大学博士学位,因建立狄拉克方程获得1933年诺贝尔物理学奖。

狄拉克性格温和,沉默寡言,思想深邃而逻辑清晰简洁,喜欢独立思考,有些回忆录说他不好接近^[29]。

不过,张宗燧与他却合得来。他们经常在一起吃饭下棋,学术讨论。1947年狄拉克去美国普林斯顿高等研究所作访问研究,也介绍他同去,所以,二人还在普林斯顿一起工作过半年。1946年秋季,狄拉克邀请张宗燧在剑桥大学讲授《量子场论》课程(Quantum Mechanics of Fields),张宗燧欣然接受。剑桥大学1946—1947年的年报中,清楚记录着张宗燧上课的课程名称、时间、教室、教师名字^[30]。这是中国人第一次在剑桥大学授课。这段时间是张宗燧学术生涯中又一个重要的阶段,他在约束系统正则量子化方向做出了重要成果。

最早人们面对的需要量子化的约束系统是电磁场,狄拉克、海森堡、费米和泡利提出了一些方法,使得电磁场的量子化可以进行,但都有不满意之处。首先从理论角度对于更一般的具有多种类型约束的系统进行研究的是狄拉克。他在1933年的文章中试图用不定乘子去写出有约束的系统的哈密顿形式(此前1930年罗森菲尔德(L.Rosenfeld)在对电磁场量子化时,也用了任意时空函数乘子,不过张宗燧不知道)。在文献中,张宗燧第一个指出,这些乘子的存在给量子化带来了问题。他发现了存在着不同类型的约束,需要采取不同的解决方法。他认为,对于有一类系统,约束相当于可以通过消去某些正则自由度去解决。张宗燧证明了在这类模型中,与约束相乘的函数可能与动力学变量有关,量子化后会不平凡。这实际上是狄拉克后来所称的第二类约束。另一类是经典规范理论。张宗燧首先提出了这类理论采用的形式中,如果存在着任意时空函数,量子化时会有问题,并提出

了初步的解决方案。他发展了对一类比电磁场情形更广泛的协变规范模型适用的量子化技巧,并提出了将规范条件不是作为算符方程,而是作为加到态上的初始条件的方案。张宗燧对约束系统的正则量子化作出了突出贡献^[31, 32]。此外,他是对于含有高阶导数量子理论最早的研究者之一,比较系统地导出了运动方程的正则形式,建立了流、能量动量张量、角动量张量以及对称的能量动量张量的规范不变的表达式,其中应用了他的约束系统量子化方法。张宗燧的这些研究成果都是与狄拉克讨论过,或者由狄拉克推荐发表的。

张宗燧回国以后,仍然与狄拉克保持通信。可惜的是,经过这么多年,特别是“文化大革命”,他家中已经没有任何有关与外国科学家交往的资料。不过,我们前几年在剑桥发现了4封张宗燧写给狄拉克的信,时间分别是1949年9月18日,1950年1月31日,1950年2月1日和1950年9月13日。仅从这些信已经清楚地表明他们相处的特点:没有客套,直截了当,主要讨论具体的物理问题。

他在1949年9月18日的信说:“亲爱的狄拉克教授:或许你会高兴地听到,在世界的这一部分生活正在回复正常,并且人们可以坐下来工作。过去两个月,我写了一篇短文,发展你的局域化动力学系统的量子力学理论,并表明它不比魏斯理论大很多……”接着,他告诉狄拉克附上了文章的草稿。他还说:“二月以来,世界的这一部分与其它地方没有正常的邮政,(从那时起没有期刊到达我们这里),从二月以来我不能知道物理方面发生了什么。这是最让人不愉快的。我希望情况

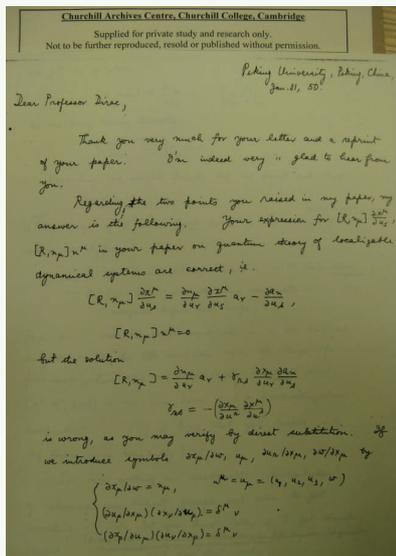


图6 张宗燧给狄拉克的信
(1950年1月31日)

不会持续太久”。他请狄拉克“如果有机会通过英国文化协会寄给我一些值得读的文章”，最后张宗燧问道：“你那里条件怎样？现在对什么感兴趣？对解决量子电动力学的困难有没有做任何新的探索？”^[33]

1950年1月30日的信中，完全是讨论具体的物理问题。张宗燧直言不讳地说狄拉克寄给他的文章中的一个公式是错的(图6)^[34]。但是，第二天，他又致信狄拉克，说自己错了，他们两人的公式都是对的，昨天将狄拉克用的符号理解错了。1950年9月12日的信也完全是张宗燧就新写的一篇文章征求狄拉克的意见，同时也问是否可以向西方形刊投稿的问题^[35]。

这样的通信很快就完全停止了。我们知道，在1952年思想改造运动中，张宗燧受到了批判，其中包括他解放后还在西方期刊发表文章的事。

4 李约瑟与张宗燧

张宗燧第二次出国到剑桥及美国，能得到中英文化协会的资助，

得益于一位在中国和英国科学文化交流史上十分重要的人物——李约瑟的鼎力相助。

李约瑟(Joseph Needham, 1900—1995)，英国皇家学会会员、英国学术院院士(FBA)、剑桥大学李约瑟研究所名誉所长。1950年亲自发起并兼任英中友好协会会长，1965年任英中了解协会会长。1954年，李约瑟开始出版巨著《中国科学技术史》引起轰动，被誉为“20世纪的伟大学者”、“百科全书式的人物”。1994年当选中国科学院首批外籍院士。1943年至1946年李约瑟来华，在他的建议下成立了中英科学合作馆。他与文化界、科学界多方人士接触交往，其中就包括张宗燧的父亲张东荪、大哥张宗炳及张宗燧^[36, 37]。

李约瑟有记录人名的习惯，在记录张宗燧的卡片上写着：张宗燧，CHANG Tsung-sui Math. physicist, Chungyang Ta. 2 papers sent for him to Fowler met @ Ox & Camb. Dinner (张宗燧，中央大学物理学家。2篇文章送福勒。在牛津剑桥见过。正餐)。因为福勒于1944年去世，可以猜测，此卡片大约写于1943—1944年。“在牛津剑桥见过”，意味着他们可能在1936—1938年期间就认识了。在他1944年10月25日的日志里记录着与张宗燧共进午餐^[38]。李约瑟向中英文化协会推荐了3名1945—1946年访问英国的教授，其中一位就是张宗燧。1945—1947年，中英文化协会协助送出中国学者战争期间的138篇论文到西方国家期刊发表，物理类有21篇^[39]，其中张宗燧6篇。张宗燧到英国后，与狄拉克的学术交流非常成功。后来狄拉克要去普林斯顿，邀张宗燧一同前往。经狄拉克介绍，美国普林斯顿高等研究院邀请张宗燧作短

期访问，任研究员。张宗燧向中英文化协会提出希望能够延长一年^[40]，但对方提出的要求使他觉得为难。李约瑟知道后马上联系伦敦的英国文化协会，并建议张宗燧尽快给时任中央大学校长的吴有训发电报，请他们与英国文化协会沟通^[41]。遵循李约瑟的建议使得事情得以圆满解决，张宗燧如期与狄拉克一同前往美国。

抗战胜利以后，中国有了发展原子能的议论。一些科学家们商量，认为应该把相关的第一流物理学家集中起来。1947年，胡适写信给最高层，建议在北京大学设立原子物理中心。信中列出了9位海内外物理学家的名字，张宗燧也在其中，并注明他在剑桥，已同意到北大^[42]。1947年9月24日，在从剑桥赴美的前一天，张宗燧写信给李约瑟夫人道别并感谢李约瑟夫妇对他的关照。信中说：“我现在渴望以某种不是教书，而是做更多与实际生活有关的事的方式为祖国服务。但是说真的，十有八九，我会发现自己还是在一个大学。尽管无论何时，时机来临我将一刻也不犹豫地走出大学，但在此发生以前，我将留下来教书和做研究。”^[43]我们判断，张宗燧所说的话即隐指原子物理中心的事。后来胡适信中提到的9位科学家大部分参加了中国的两弹研究，张宗燧没有。不过，有趣的是，张宗燧回北大以后的第一个研究生于敏为中国的氢弹研究作出了重大贡献。

1950年末以后，张宗燧与西方科学家朋友的联系就停止了。在这里，有一件与外国朋友有关的小事可以一提。1952年思想改造运动中，张宗燧在北大受到批判，事后在院系调整中，从北大调到北京师

范大学。对此,他是不高兴的。直到后来波兰科学院院长、著名的理论物理学家英费尔德(L. Infeld)到北京访问,知道张宗燧调到北师大表示很奇怪。接待人员如实向上作了汇报,促成了张宗燧在1956年7月工作调动至中国科学院数学研究所。

5 结束语

在中国建立现代物理研究的起步阶段,一批投身相关研究的先驱与国际顶尖科学家学习和交

流,对这门学科的发展起到了十分重要的奠基及推动作用。张宗燧与国际著名科学大师们的交往,无论在人数和密切程度上,还是学术效果上,都是十分突出的,为物理研究的中外交流史留下了一段令人难忘的佳话。

“文化大革命”中张宗燧一家遭遇了极大的不幸。弟弟张宗颖夫妻二人自杀身亡,父亲病逝于监禁中。张宗燧先生于1969年6月30日服用大量安眠药自尽,年仅54岁,令人万分痛惜。“文化大革命”后彻

底平反并举行了追悼会。2005年,举行了规模相当大的“张宗燧先生诞辰九十周年纪念会”,大家聚集在一起,畅谈他的贡献,缅怀他的风范。2015年,《现代物理知识》杂志出版了纪念专刊。在这里,我们希望通过发表在《物理》杂志上的这篇文章,再次表达对张宗燧先生衷心的纪念。

致谢 感谢英国丘吉尔档案馆、剑桥大学档案馆、东亚图书馆、丹麦玻尔档案馆、中国外交部档案馆惠允查阅有关档案文献。

参考文献

- [1] 朱重远. 张宗燧. 20世纪中国知名科学家学术成就概览(物理学卷第二分册). 北京: 科学出版社, 2015. 92—105
- [2] 张宗焯. 张宗燧. 中国现代数学家传(第四卷). 南京: 江苏教育出版社, 2000. 206—218
- [3] 朱重远. 现代物理知识, 2015, (2): 6
- [4] Cambridge University Reporter. Reporter Issues for the Academic Year 1936—1937, Vol. 67, 682; Reporter Issues for the Academic Year 1937—1938, Vol. 68, 633
- [5] 尹沛, 尹晓冬. 自然辩证法通讯, 2011, (5): 118
- [6] Milne E A. Ralph Howard Fowler(1889—1944). Obituary Notices of Fellows of the Royal Society, 1945, 5(9): 61
- [7] Fowler, Ralph Howard. In: Complete Dictionary of Scientific Biography(Vol. 5). Detroit: Charles Scribner's Sons, 2008, 102—103; Rutherford, Ernest. In: Complete Dictionary of Scientific Biography(Vol. 12). Detroit: Charles Scribner's Sons, 2008, 34
- [8] Kragh H. Dirac: a scientific biography. New York: Cambridge University Press, 2005. 6—8
- [9] Hendry J. Cambridge Physics in the Thirties. Bristol: Adam Hilger Ltd, 1984. 104—105
- [10] McCrea W. Sir Ralph Howard Fowler (1889—1944): A Centenary Lecture. Notes and Records of the Royal Society of London, 1993, 47(1): 73—74
- [11] Fowler R H, Guggenheim A. Statistical Thermodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 1936. 595—599 (该专著引用张宗燧5篇论文的十多处地方分别为397, 594, 578, 588, 597, 605, 690, 691页)
- [12] 尹晓冬, 胡大年. 自然科学史研究, 2014, (4): 445
- [13] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1938年6月8日, 福勒给玻尔的信
- [14] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年(具体日期不详), 张宗燧给穆勒的信
- [15] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年2月24日, 张宗燧给穆勒的信
- [16] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年6月24日, 穆勒给玻尔的信
- [17] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年6月(具体日期不详), 张宗燧给玻尔的信
- [18] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年8月25日, 玻尔给张宗燧的信
- [19] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年4月(具体日期不详), 张宗燧给玻尔的信
- [20] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1941年9月23日, 玻尔给张宗燧的信
- [21] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年1月23日, 张宗燧给玻尔的信
- [22] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1939年10月22日, 张宗燧给玻尔夫人的信
- [23] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1946年1月29日, 张宗燧给玻尔的信
- [24] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1946年3月7日, 玻尔给张宗燧的信
- [25] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1958年4月10日, 奥格·玻尔给杨振宁的信
- [26] 尼尔斯·玻尔档案馆, 1958年4月14日, 杨振宁给奥格·玻尔的信
- [27] 尹晓冬. 自然科学史研究, 2012, (3): 329
- [28] 关于丹麦大使为玻尔教授访华设宴事, 见北京: 外交部档案, 110-01478-01
- [29] Farmelo G. The Strangest Man: The Hidden Life of Paul Dirac, Mystic of the Atom. New York: Basic Books, 2009. 272—273
- [30] Cambridge University Reporter. Reporter Issues for the Academic Year 1947—1948, Vol. 78, 470
- [31] 尹晓冬, 朱重远. 自然科学史研究, 2011, (3): 357
- [32] Yin Xiao-Dong, Zhu Zhong-Yuan, Salisbury D. Chang's Contribution to the Quantization of Constrained Hamiltonian System. In: Shaul K, Christoph L, Juergen R(eds.). Traditional and Transformations in the History of Quantum Physics. Berlin: Edition Open Access,

2013. 249—268
- [33] 丘吉尔档案馆狄拉克档案, 1949年9月18日, 张宗燧给狄拉克的信
- [34] 丘吉尔档案馆狄拉克档案, 1950年1月31日, 张宗燧给狄拉克的信
- [35] 丘吉尔档案馆狄拉克档案, 1950年9月12日, 张宗燧给狄拉克的信
- [36] 尹晓冬. 自然辩证法通讯, 2012, (4): 31
- [37] 尹晓冬. 自然辩证法通讯, 2010, (2): 59
- [38] 剑桥大学图书馆李约瑟档案 A897, 李约瑟 1944 年日记
- [39] Joseph N. Chinese Papers 1942—1946 by Joseph Needham, Report of the Second and Third years' working of the Sino-British Science C-operation Bureau. Calcutta of India: The Statesman Press, 1946, 50—56. (此为李约瑟研究所东亚图书馆编辑的李约瑟论文集, 未正式出版)
- [40] 剑桥大学图书馆李约瑟档案 C39, 1946年12月13日, 张宗燧给李约瑟夫人的信
- [41] 剑桥大学图书馆李约瑟档案 C40, 1947年1月23日, 李约瑟给张宗燧的信
- [42] 葛能全, 钱三强. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2008.9, 89
- [43] 剑桥大学图书馆李约瑟档案 C41, 1947年9月24日, 张宗燧给李约瑟夫人的信

转动环状玻色—爱因斯坦 超流体开发高精度旋转敏感器

处于玻色—爱因斯坦(Bose—Einstein)凝聚态(BEC)的超冷原子云, 在物理性质上与超导电子具有许多相似之处。具体说, 在超导系统中, 磁场对带电粒子的影响类似于BEC系统中旋转对中性冷原子的影响。最近, 来自美国马里兰 Gaithersburg 联合量子研究所的 Eckel 等, 完成了一项相关研究, 并在 *Nature* 上撰文报道: 加工成圆环形状的 BEC 超流体, 有可能被发展成与单结超导量子干涉器件(SQUID)相类似的原子器件。单结 SQUID(又称为射频 SQUID)通常用于对外磁场进行精密测量, 而模拟单结 SQUID 的原子器件则有可能在旋转的精密测量中发挥独特的作用。

单结 SQUID 的基本构成是一个超导环, 在环上有一处被加工处理, 形成圆周上唯一的隧道结势垒。超导库珀(Cooper)对波函数 $\psi(r)=|\psi(r)|\times\exp i\phi(r)$, 其中包含有位相因子 $\phi(r)$ 。超流库珀对动量的表达式为 $m^*v=h\nabla\phi(r)$, 其中 m^* 是库珀对的有效质量, h 是普朗克常数除以 2π 。显然, 超流流速 v 正比于位相 $\phi(r)$ 的梯度, 同时流速 v 也决定了在隧道结上的位相差。另一方面, 超导环中位相因子 $\phi(r)$ 的空间分布又与外磁场有关。于是可以说, 位相由超导电子的环行流动和外加磁场共同决定。然而, 波函数的单值性要求环行一周位相的变化只能是 2π 的整数倍。因此, 实验者可以通过观测外磁场移入过程中超导电子环流的跳变次数,

物理新闻和动态

来计数外磁场引入的磁通量子数。跳变是因环行电流超越隧道结的临界电流而产生的, 跳变过程包含有迟滞现象。

如前所述, BEC 原子系统与单结 SQUID 系统在数学描述上有相似之处。因此人们期望, 在单势垒超冷原子云的实验中, 应该看到环行流动的迟滞现象。在 Eckel 等的实验中, 环形的超流原子云开始处于静止状态, 整体具有相同的量子力学位相。尽管使用环中收缩限制作为搅动桨(速度从 0 开始), 试图推动原子云绕中心转动, 冷原子因处于超流态将对低速的推动不予理会, 继续保持静止。只有当搅动桨的速度增加, 明显超越临界速度 v_c (即 $v_c^+ > v_c$) 时, 才会导致量子化的超流环流(circulation, 它等于流速 v 沿圆环绕行一周的路径积分)从 0 单位跳变到 1 单位; 沿圆环绕行一周, 位相从 0 连续增至 2π 。之后, 当搅动桨的速度减小, 回到 v_c 以下时, 超流环流并不会立即从 1 单位跳回到 0 单位, 而是要等到搅动桨的速度明显低于临界速度 v_c (即 $v_c^- < v_c$), 超流环流才会从 1 单位跳回到 0 单位。总之, 超流环流在量子化单位之间的跳变具有迟滞属性, 对迟滞予以计数, 可以反推出圆环旋转的参数。利用这一平台研究迟滞的微观起源, 还将有助于发展玻色—爱因斯坦凝聚体中的耗散动力学, 例如, 作为粒子, 它们之间的相互作用是时间反转可逆的, 而粒子的集体行为却不是。

(戴 闻 编译自 *Nature*, 2014, 506: 166, 200)