

# 中国量子场论研究的初期

戴元本

量子力学是微观物理的基本理论。它的建立是物理学中划时代的成就。1925年 Heisenberg 和 1926年 Schrödinger 的工作奠定了量子力学的基础。这个理论开始时被应用于原子的能级。在这类工作中电子满足量子力学，电磁场则仍是经典的。这样的理论虽然很好地给出了氢原子的能级公式，但是它不能反映光的量子性。人们立刻认识到，它不能计算光电效应和原子的自发辐射这类包含光子的消灭和产生的问题。因此量子力学的先驱们很快就着手研究场的量子理论。这导致量子场论的建立。

量子场论把场作为力学体系应用量子力学，统一处理粒子和场，粒子是场的激发。它更完整地表述了微观粒子的波粒二象性，是亚原子层次的基本理论。Dirac (1927)、Jordan-Pauli (1928) 和 Jordan-Wigner (1928)的工作是建立量子场论的开始。1929年 Heisenberg-Pauli 的工作在形式体系上奠定了量子场论的基础。

但是很快就发现相对论性的量子场论存在发散困难。考虑粒子与它自身产生的场的作用后，计算出的物理量是无穷大。这个原则性难题曾长期困扰物理学家。直到 1948 年以后发展出重整化理论，以及更晚发展的有效场论概念，才使人们可以由量子场论中抽取确定的关于微观过程的理论预言。经过许多年的发展，量子场论成功地描述了迄今实验室中观察到的粒子物理现象。

本文的主要目的是通过介绍几位老一辈物理学家的代表性工作，使大家了解我国第一代量子场论研究的历史（主要是解放以前）。这几位物理学家大多有其他方面的成就，本文主要介绍量子场论方面，略及其他，以时间先后为序。

张宗燧 张先生的研究领域是统计物理和量子场论。他在统计物理中的合作现象（固溶体、吸附）方面做过重要的工作，被 1949 年 Fowler-Guggenheim、1956 年 Munster 及以后的几本专著引用很多次。

张先生在量子场论方面的工作是 1939 年做博士后期间开始的，当年完成了两篇文章。第一篇发表于 1940 年。由于回国和战时通讯的困难，第二篇

被延误到 1942 年才发表。这是一篇关于赝标介子性质的文章<sup>[1]</sup>，其中包括寿命公式。以前汤川-坂田-武谷（1938）和 Bethe（1940）的工作都是对矢量介子做的。1941 年这篇尚未发表的文章曾被 Rozenal 引用，讨论了当时宇宙射线中发现的粒子是不是汤川预言的介子。后来在宇宙射线中发现的  $\pi$  介子是赝标的。

张先生 1939 年回国，在当时国内抗日战争的困难条件下，继续从事统计物理和量子场论的研究工作。解放前仅有张先生和马仕俊及合作者是在国内做量子场论工作，而在国外期刊上发表文章的人。1945 年至 1948 年第二次出国，期间主要研究量子场论。

1945 年他首先给出有约束的哈密顿系统的量子化方案<sup>[2][3]</sup>。这是一个理论上很重要的问题。描述亚原子粒子的基本相互作用的规范场论就是一种有约束的哈密顿系统。他把这个理论用于电磁场在 Lorentz 条件下的量子化和高阶微商场论<sup>[4]</sup>。后来狄拉克发展了包含所谓“第二类约束”的更普遍的有约束的哈密顿系统量子化方案，那是在 1950 年以后了。他还给出高阶微商场论的系统理论<sup>[4][5]</sup>，包括正则量子化方案、拉氏体系、能量-动量张量等物理量的表示式等。他是这方面的工作最早研究者之一，在国际上有比较大的影响。

马仕俊 马先生的研究工作集中在量子场论领域。1940 年他在英国发表两篇文章，与 Heitler 有合作。回国后在西南联大工作，杨振宁曾听过他讲量子场论课，在国内与学生合作在 Physical Review 上发表了 4 篇文章。1942 年计算了氦核内质子和中子交换的介子场对氦核磁矩和电矩的贡献<sup>[6]</sup>。1945 年第二次出国，再没有回来。

马先生在 S 矩阵方面有著名的工作。1946 年发表过关于 S 矩阵多余极点的文章<sup>[7]</sup>。

1943 年海森堡提出 S 矩阵理论以后，1945 年 Møller 提出，S 矩阵动量复平面的负虚轴上的零点对应于束缚态。马先生的文章指出对指数位势情况负虚轴上有多余的零点不对应于束缚态。这个结果在文献上引起很多讨论。1947 年他指出，如果位势

在无穷远处足够快地趋于零，多余的零点不存在<sup>[8]</sup>。后来他还指出 *virtue state*（存在于质子-中子系统的 *s* 波单态）对应于 *S* 矩阵（严格地说是 *Jost* 函数）在动量复平面正虚轴上的零点。

他在量子电动力学的协变形式等方面也做过受到关注的工作<sup>[9]</sup>。

彭桓武 彭先生是一位在固体物理、量子场论、核物理和国防等广泛的领域有重要贡献的物理学家。在量子力学方面，彭先生于 1941 年首先给出多体问题自洽场的微扰论公式。这个工作有很大影响。他在量子场论方面的工作是在 1941 年到 *Dublin Institute* 后开始的。

1942 年他和 *Heitler* 合作发展了辐射阻尼理论<sup>[10]</sup>。在忽略可能引起发散的粒子通过辐射场的自作用以后，对任意跃迁过程他们得到量子场态

*Schrödinger* 方程的解，其中入射波正比于  $e^{-\frac{\gamma}{2}t} e^{-iEt}$ ， $\gamma$  的虚部代表辐射对粒子的阻尼作用。这个解不同于微扰论。他们把这个理论用于宇宙射线的多重产生过程。1943 年 *Hamilton-Heitler-Peng*（彭桓武）<sup>[11]</sup> 写了一篇很长的文章，用这个理论详细计算了宇宙射线中介子的能量、高度和纬度的分布。稍后彭桓武又对计算作了改进<sup>[12]</sup>。与微扰论相比，这个理论与宇宙射线的实验结果在定性上符合得更好，因此当时是很有名的。

胡宁 胡先生的研究领域是量子场论和引力理论。引力理论方面他首先计算了双星系统的辐射阻尼。这个现象对广义相对论有重要意义。它后来的天文观测证实得到了诺贝尔奖。

1944~1945 年他在核力的介子理论方面发表了三篇文章<sup>[13][14][15]</sup>，被 *Wentzel* 的专著《*Quantum Theory of Fields*》（1949）引用。1948 年他证明短程位势的散射中 *S* 矩阵作为动量的复平面上的解析函数，只有单极点，没有高阶极点或支点，给出了 *S* 矩阵的一个简单的表示式，还指出下半平面的复数极点可导出共振公式（与 *Breit-Wigner* 公式相似）<sup>[16]</sup>。这个工作是色散关系的基础性工作之一。色散关系现在仍旧是量子场论的重要工具。

他还论证了在 *Tomonaga-Schwinger* 的量子电动力学微扰论中附加条件的满足不需消去横场<sup>[17]</sup>。

朱洪元 1947 年朱先生得到高速电子在磁场中偏转时辐射电磁波的频率谱和角分布公式，也就是同步辐射公式，现在有重要应用。虽然这个公式本身只用了经典电磁场论，但朱先生用它分析宇宙射线中的广延大气簇射，物理分析中用了量子力学和量子场论<sup>[18]</sup>。他指出宇宙射线在地球磁场中辐射的光子和由它产生的电子对只集中在很小角度内，地球磁场不会在地球表面产生大范围的广延大气簇射。这个结果出乎 *Blacket* 和 *Bhabha* 的预料之外，但被证明是正确的。关于同步辐射公式，国际文献上大多引用 *Schwinger* 1949 年的文章，这比朱先生的文章晚了两年。

1949 年他分析了两个介子通过产生和吸收核子对的相互作用<sup>[19]</sup>。

解放后朱洪元和胡宁、张宗燧三位先生对量子场论方面培养人才、建设队伍和指导研究起了重要的作用。

吴式枢和程开甲在解放前也曾在国外发表过量子场论的文章，在文献中受到关注。

（中国科学院理论物理所 100190）

---

注：本文是戴元本院士在《量子力学在中国》研讨会上的报告

[1] T. S. Chang, K. Dansk. Vidensk. Selsk. Mat-Phys. Medd. 19 (1942) 17-19.

[2] T. S. Chang, Proc. Roy. Soc. of London, A183 (1945) 316-328.

[3] T. S. Chang, Proc. Camb. Phil. Soc. 43 (1946) 196-204.

[4] T. S. Chang, Proc. Camb. Phil. Soc. 42 (1946) 132-138.

[5] T. S. Chang, Proc. Camb. Phil. Soc. 44 (1947) 76-86.

[6] S. T. Ma and F. C. Yu, Phys. Rev. 62 (1942) 118; Phys. Rev. 74 (1948) 500.

[7] S. T. Ma, Phys. Rev. 69 (1946) 668.

[8] S. T. Ma, Phys. Rev. 71 (1947) 195.

[9] S. T. Ma, Phys. Rev. 75 (1949) 535.

[10] H. Heitler and H. W. Peng, Proc. Cam. Phil. Soc. 38 (1942) 296-312.

[11] J. Hamilton, H. Heitler and H. W. Peng, Phys. Rev. 64 (1943) 78-94.

[12] H. W. Peng, Proc. Roy. Irish Acad. 49A (1944) 245.

[13] J. M. Jauch and Ning Hu, Phys. Rev. 65 (1944) 289.

[14] Ning Hu, Phys. Rev. 67 (1945) 339.

[15] W. Pauli and N. Hu, Rev. Mod. Phys. 17 (1945) 267.

[16] Ning Hu, Phys. Rev. 74 (1948) 131.

[17] Ning Hu, Phys. Rev. 76 (1949) 391, Phys. Rev. 77 (1949) 150.

[18] H. Y. Tzu, Proc. Roy. Soc. of London, A192(1948) 231-246.

[19] H. Y. Tzu, thesis for Ph. D. degree, University of Manchester. H. Y. Tzu, Phil. Mag. Ser. 7 40 (1949) 717-732.