

# 记朱洪元教授在粒子物理学的贡献

何祚庥

## 诲人不倦的朱洪元教授

旧中国的大学物理系，并不是每年都开有量子力学的课程。直到1950年，教育部请了彭桓武教授给全国高等学校教师系统地讲了量子力学以后，才在我国解决这一课程问题。至于量子场论，尤其是费曼图理论，就更是讲台上的阳春白雪。

1958年，朱洪元教授毅然决然地挑起了这副重担，——这便是他在青岛和张宗燧教授合办了量子场论讲习班。朱洪元教授以他的物理概念的明白透彻，数学推导的严密细致的讲学，给当年还是风华正茂、如今却白发苍苍的各高等学校的教授们留下了深刻的印象。那时，朱洪元教授以只争朝夕的拼搏精神，每天上午向听众讲课4小时，每天下午就集中精力备课和撰写讲义。整整一个暑假，前后共讲了7—8个星期之久！从场方程式的量子化，一直讲到普遍的能消去无穷阶发散的重正化理论。这给了与班学习的“同学们”极大的帮助！可以毫不夸大的说，如果不是朱洪元教授以跃进的风格，讲了8个星期的课。（甚而连海滩都难得抽空去游览一下！至于崂山则根本没有去。）量子场论是绝不可能在短期内而普及到全国各主要的物理部门的。后来朱洪元教授又将他的讲稿整理出来，这便是在我国各高等学校内使用了长达20—25年之久的《量子场论》一书。现在在我国活跃于理论物理领域内的工作者，没有不从此书得到教益！

朱洪元教授对于后辈科学工作者更是采取循循善诱、诲人不倦的态度，后辈科学工作者的算稿，朱洪元教授常常亲自为之验算，以保证所用近似以及计算上正确性；后辈科学工作者所写论文，常常是逐字逐句的推敲，彻头彻尾地修改。对于他直接指导的研究生，更是非常具体地耐心地进行帮助，可以在一篇未定稿的论文中为学生具体找出20—30处错误之多，使学生们深受教益。尤其是和后辈工作者共同探讨研究中的物理问题，朱洪元教授常以他的敏锐的感觉而抓住问题的关键。现在朱洪元教授已是73岁的高龄，但至今仍不断向他请教，获得不少有益的启示。

## 卓有成效的科学研究工作

朱洪元教授在粒子物理方面广为人知的最重要的贡献是层子模型。层子模型不仅统一地解释了有关强子的结构及其相互作用，而且为粒子物理的更深层次

的突破，如量子色动力学的建立，弱电统一理论的建立，提供了物质的前提。在层子模型酝酿及提出过程中，他以熟练的技巧，敏捷的计算，构造了有关介子的 $SU(6)$ 模型。他又请原子能所、中国科技大学的青年同志们学习置换群的群表示论，指导他们利用置换群的办法求出了在静止状态的重子的 $SU(6)$ 对称的波函数。他又对这些“静止”的波函数，来一个相对论的“推动”，从而就又从结构的观点解释了强子为什么具有 $SU(12)$ 对称性。这样，不论是介子体系，或是重子体系，得到了能够统一解释具有 $SU(3)$ ， $SU(6)$ ， $SU(12)$ 对称性的强子结构模型。利用所引进的强子波函数，系统地解释了当时实验上测得的强子的电磁作用和弱作用性质和转化过程。原来看来彼此间没有什么联系的现象，现在通过强子的内部结构波函数彼此联系起来，呈现出强子不同多重态之间以及介子和重子的性质和现象之间的联系，呈现出电磁性质、电磁过程和弱作用过程之间的联系。纷繁的粒子物理现象开始呈现出一幅有机的、统一的图象。除了层子模型以外，朱洪元教授还有好几项很重要甚而是极为重要但鲜为人知的工作。

首先是朱洪元教授为近10年来迅速发展的一個新领域，同步辐射的应用，所做的奠基性的工作。早在1940年，苏联物理学家波密朗丘克指出，宇宙线中的电子的能量大于 $10^{11}$ eV时，在达到大气顶层以前，在地球磁场中将放出电磁辐射而失去其大部份能量。1944年，波密朗丘克和伊万年科对这种辐射的频谱范围和角分布范围作了估计。为了研究这种辐射过程如何影响广延大气簇射现象，朱洪元在1947年系统地推导出这种辐射的频谱、角分布和极化状态的具体表式，并将所得成果写成论文《快速带电粒子在磁场中所放出的辐射》，于1948年2月4日在英国皇家学会会志上发表[Proc. Roy. Soc. A 192(1948) 231] 论文指出：地球的磁场既不能对广延簇射的能谱，也不能对其空间范围产生可观的影响。它的主要效应在于将簇射发展到最大时的高度提高。朱洪元所得到的这种辐射的频谱、角分布和极化状态的表式，实际上就是在高能电子环形加速器里用以计算同步辐射的各种算式，从理论上说，似乎本文未考虑量子修正，然而这是微不足道的。所以，此工作确实是同步辐射这一领域中的开创性的工作之一。

值得回顾的是：实验上首先观察到同步电子加速

器上的同步辐射是在 1947 年 4 月 24 日。那时为了检查加速器有无毛病，波洛克博士命其助手用镜子在屏蔽墙转角处观察，看到了由电子束流发生的弧光。早在 1945 年布莱瓦特曾设法检测和电子回转周期相应的电磁辐射及其高次谐波而未能探测到。这是因为在未做理论分析以前，人们很难预想到频谱竟会在可见光或紫外辐射范围。尤为有趣的是：朱洪元教授这篇有关磁场中辐射的论文的由编辑部收到的日期，是在 1947 年 3 月 24 日，即比第一次看到同步辐射还要早一个月！所以，有关同步辐射的频谱、角分布以及极化方向的取向等等性质，实在是应该认为这首先是理论上做出预言，然后才是实验上加以证实的。虽然在一般有关同步辐射的文献或专著中，人们常常认为，同步辐射首先是波洛克先观测到，然后才由美国著名理论物理学家许温格教授加以解释，即在 1949 年 6 月 15 日在物理评论上发表的著名文章（1949 年 3 月收到）。在苏联文献中却认为依万宁柯和索柯洛夫在 1948 年 3 月 21 日在苏联科学院报告发表的编辑部在 1948 年 2 月 25 日收到的那篇论文“首先”给出计算结果。然而这两篇理论文章不论从收到日期或发表日期来说，都在朱洪元教授文章之后，也在实验发现之后！关于朱洪元教授在同步辐射这一领域所做基本而又重要的开拓性工作，长期以来一直为人们所遗忘，直到 1988 年在北京召开的同步辐射应用的国际会议上，才引起国际上的注意。显然，我们在叙述这件事情的历史时，不能不澄清有关历史的真实情况！

朱洪元教授所做另一贡献是由双重色散关系推导出  $\pi-\pi$ 、 $\pi-N$  方程以及其它方程等的系统研究。50 年代以来，由我国著名粒子物理学家胡宁教授所开拓的量子力学里的色散关系理论有重要发展，首先是将色散关系理论扩充到量子场论的领域，其次是将量子场论中的色散关系和量子场论中的微观因果律相联系起来，认为由微观因果律出发，可以严格地证明在某些区域内的  $\pi-N$  的散射振幅存在着色散关系。接着由对  $\pi-N$  散射截面的精密的实验测量而证实了色散关系的正确性。一些理论工作者更发展了系统的方法，将色散关系的理论具体应用于各种物理过程。例如，我国著名学者周光召教授就曾将色散关系的理论应用于探讨光子对核子对氦核的散射过程，应用于推导出赝矢量流部分守恒律等，——至今仍是这一领域中奠基性的工作。既然色散关系的理论获得多方面的成功，因而就引起进一步的推测：那些由微观因果律所决定的散射振幅的解析区域，是否可以扩展到由散射、湮灭、产生过程相联系起来的更大的区域上？这些不同的散射，湮灭，产生等物理过程的振幅能否将由一个统一的满足一定特点的解析函数相联系？这就是门德尔斯坦所猜测的双重色散关系，又称为门德尔斯坦表示。但是，门德尔斯坦的表示是一个过于宽泛的表示，并

不能用来计算具体问题。如何从这一普遍的表达中求出具体的可求解的方程式，就成为那一时代的中心问题。

邱和门德尔斯坦等人利用勒让德函数的解析延拓的表示式，求出了一系列“可解”的  $\pi-\pi$ 、 $\pi-N$ 、 $N-N$  等方程。朱洪元教授等人却利用在复平面上两个垂直的振幅而求出另一组方程。有趣的是，朱洪元教授等人在推导这些方程的同时，却发现邱和门德尔斯坦所导出的积分方程中包含有许多发散积分！因而朱洪元教授等人所发展的方法和导出的积分方程就成为这一领域中唯一的可以用来计算具体过程的方程。关于朱洪元教授等人发现的邱和门德尔斯坦方程中的错误，曾由苏联学者带到 1960 年的国际高能会议上，这成为当时这一会议上的爆炸性的新闻！

朱洪元教授对粒子物理的另一贡献是对普适费米弱相互作用的研究。1958 年，由马夏克和苏达香等人提出的  $V-A$  的普适费米弱相互作用为许多核物理的实验所证实，这就激发起两种可能的研究：1) 将  $V-A$  的理论扩大应用到核子和核以外的弱相互作用领域；2) 探索强相互作用对弱相互作用所引起的修正项，或又称为重正化效应。朱洪元教授在这两个方向上均做了有价值的研究。尤其值得略为详细一些介绍的是  $\mu^-$  子在质子上的辐射俘获的研究。

1958 年，盖尔曼，哥德柏格等人均致力于探索强相互作用对  $V-A$  弱相互作用的重正效应的研究，他们先后引进了“弱磁项”和“赝标项”的修正项。周光召教授指出，这些修正项将在  $\mu^-$  俘获过程，如

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$$

过程有较大的改正，因而实验应着重在  $\mu^-$  子对质子的俘获的研究。朱洪元教授等却认为同样值得注意的过程，是

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu + \gamma$$

$\mu^-$  子在质子上的辐射俘获。乍一看来，这只是一个“计算”。但是朱洪元教授却发现，如果  $\mu^-$  子在液氢中有极强的整极化效应，亦即  $\mu^-$  子最终和质子形成自旋为零的类氢原子的话，那末在“理想”的  $V-A$  弱相互作用情形下， $\mu^-$  子的辐射俘获的几率是零！只有当强相互作用对普适费米弱相互作用有“修正”的情况下，这一辐射俘获的跃迁几率才不等于零！

这当然是一个比较“稀奇”的发现，从物理的直观上是很难预想到这一结果的。1959 年，朱洪元教授将这一结果带到在基辅召开的国际高能会议上，预审者不相信这一意外的结果，朱洪元教授当场即以熟练的运算技巧而计算出这一结果。后来在和莫斯科大学沙比罗教授交谈时，他又怀疑是不是“算错”了。基辅会议以后，朱洪元即留在苏联的杜布诺的联合核子研究所任研究教授，他又进一步分析了他的计算，结果发现在应用了菲尔兹变换以后，将能明显地看出为什么  $V-$

# 相对论重离子碰撞中 会产生夸克胶子等离子体吗？

赵维勤

现在人们认为：在我们周围物质世界中的强子-质子、中子、其他重子及介子等都是由夸克与胶子构成的。强子的夸克结构理论成功地解释了它们的各种静态性质。用高能轻子(电子、 $\mu$ 子等)轰击核子,甚至能定出内部夸克的动量分布。自从夸克、胶子的概念为人们所接受,科学家就在努力寻找自由的夸克与胶子。但是,迄今为止,不论在自然界或通过实验手段都没有成功,它们一直被牢牢地禁闭在每个强子“口袋”中,不能自由存在。

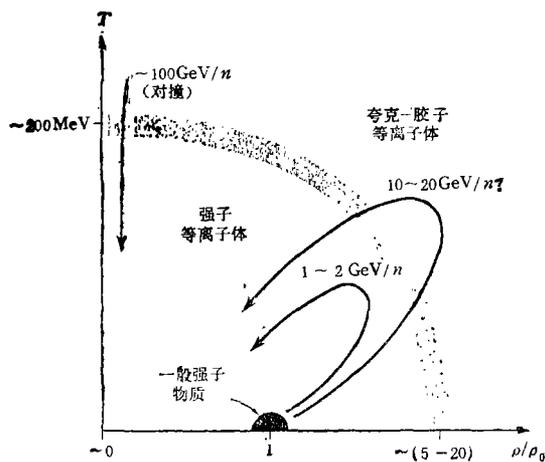


图 1

有什么办法让夸克与胶子冲破强子的禁闭呢! 理论家经过艰苦的努力,预言了一种可能的解除禁闭的状态,这就是夸克-胶子等离子体(QGP)。让我们结

合图 1 所示的相图看一看这种状态是如何实现的。图 1 中靠近横轴(密度轴)的小半圆表示我们周围存在的一般强子物质。它的温度约为  $0\text{MeV}$ , 重子数密度约为  $\rho_0 \sim 0.15/\text{fm}^3$ , 能量密度约为  $\epsilon_0 \sim 0.15\text{GeV}/\text{fm}^3$ 。设想将强子物质不断压缩(即沿图中横轴向右), 密度不断加大, 有一定大小的强子最终将互相重叠渗透, 将夸克与胶子禁闭在每个强子中的“口袋”已不复存在, 它们便可能在强子物质存在的空间范围内自由运动, 形成新的物质状态——QGP 夸克胶子等离子体。另一种途径是将强子物质加热(即沿图中纵轴向上), 在真空中激发产生大量的夸克对与胶子。它们在一定空间范围内自由运动, 也可能形成 QGP。为了确定这种相变产生的温度( $\sim 200\text{GeV}$ )与密度( $\sim 5\text{--}20\rho_0$ ), 理论物理学家用格点规范理论的蒙特卡洛方法进行了大量的计算。按照这种相变的预言, 天体中存在的极高密度的中子星或宇宙大爆炸初期的高温状态都可能是 QGP 状态。可惜它们在时空上距我们太远了, 很难仔细研究与确定它们的存在, 人们希望寻找在实验室形成 QGP 状态的现实可能性。

八十年代初, 相信 QGP 相变的理论家们预言, 当两个重原子核以极高能量相撞时, 比如选择激烈碰撞的事例, 有尽可能多的能量贮存在碰撞区。如果我们引入碰撞的几何图象, 认为两个核以碰撞参数相碰, 相撞的区域发生激烈作用, 该区域内的核子叫作“参加者”。其余部分的核子为“旁观者”, 几乎不参与作用。显然, 接近对心碰撞( $b=0$ )时, 有较多的核子参与相互作用, 就能在较大范围内形成高温高密度区域, 从

4 普适费米弱相互作用将使得  $\mu^-$  子辐射俘获的跃迁几率为零。因为在费米兹变换以后, 这里起作用的将是标量和赝标量的相互作用, 而这对辐射俘获恰好是禁戒的。朱洪元教授就又到莫斯科大学做辐射俘获的报告, 这时, 沙比罗教授当即表示现在他已完全相信了这一漂亮的意想不到的结果!

朱洪元教授还在核物理方面做过基本的贡献。这就是他在建国初期所做的核内中子跃迁时放出的电多极辐射及相应的内转换方面的工作。这些工作都是有关在这一领域内的实验工作者所不能不参考的工作。

敏锐而准确的科学批评家

除了以上这些见诸文献的理论上的贡献以外, 我们在这里不能不提到的: 朱洪元教授具有丰富的实验的知识, 他对粒子物理各有关实验新结果的“评论”, 对 BEPC 面临的实验形势的“分析”, 对国内有关实验的“讨论”, 等等, 都对实验工作者以及我们这些后学以很大的启发。如果说推动文学前进的除了那些从事文艺创作的作家以外, 还有文学批评家的贡献; 那末朱洪元教授就是有关这些领域内的优秀的科学批评家。朱洪元教授对科学工作的评审, 一向以严格而准确而著名。“一经品题, 便成定论”! 这也是朱洪元教授在推动我国科学前进的一项贡献。