

E G 塞格雷: 探求电荷对称性的先驱者之一

程民治 戴风华

在 20 世纪的物理学精英中, 埃米利奥·金奥·塞格雷(Emilio Gino Segrè, 1905~ 1989) 可谓是一位幸运者了。由于加入为重振意大利物理学“昔日的雄风”而创建的“费米学派”, 使他有幸拜包括费米在内的诸位世界顶尖物理学家为师, 并一举在光谱线的禁戒跃迁、里德伯态、分子束研究、中子慢化、新化学元素和反质子的发现以及核子碰撞等广阔领域, 取得诸多显赫的业绩。与此同时, 他还以一位极具性格魅力的教师和科学史的终身爱好者而闻名于世。甚至到了古稀之年老骥伏枥, 作为一位勤勉的科学文化使者, 赢得世界各国朋友的厚爱、钦佩和景仰。

在名师的教导下初露锋芒

塞格雷于 1905 年 2 月 1 日出生在意大利罗马附近的古镇蒂沃利(Tivoli)的犹太家庭。父亲是意大利著名的工业企业家, 母亲从小就受过良好的教育, 家境殷实、教子有方。在家庭浓郁人文氛围的影响下, 塞格雷自少年时代就酷爱科学史。1922 年 7 月, 塞格雷中学毕业, 遵从父母的意愿进入罗马大学学习工程学。后经好友拉赛蒂(Franco Rasetti)鼎力相助, 塞格雷结识了堪称科学天才、意大利最早懂得量子论和相对论的年轻学者、25 岁就担任罗马大学理论物理学教授的费米。在费米的指导下, 塞格雷和拉赛蒂迅速对科学产生了难以置信的热情, 他们对物理的热爱程度可以与热恋相比——每天想的、谈的全是物理。1927 年, 塞格雷转入物理系, 并于翌年以题为《水银和锂蒸汽的反常色散》的论文, 从费米手里第一个获得博士学位。嗣后, 塞格雷加入在国际科学界享有崇高声誉的“罗马小组”, 即“费米学派”。就这样, 在费米渊博的学识、精湛的教学方法、有口皆碑的个人品德和人格魅力的影响下, 塞格雷逐步成长、成熟起来。1930 年 11 月, 他以短信形式给《自然》寄去自己第一篇完全出自于独立思考的论文。塞格雷在文中指出: 碱金属光谱中的某些(S-D)禁戒跃迁, 起因于通常一级近似计算所忽略的电四极辐射, 这可通过观察这些谱线的塞曼效应来证明。沿着这个思路, 他使用罗马大学一部大型希尔格棱镜光谱仪, 终于观察辨认出自己预言为四极辐射的那类塞曼效应, 并就此写成题为《四极线中

的塞曼效应》的论文, 经费米推荐在德国《物理学杂志》上刊出。这个成就使塞格雷在朋友圈中得了“四极爵士”的绰号。但鉴于当时罗马大学实验条件的限制, 信心百倍的塞格雷在深入研究塞曼效应时, 难以获得进一步的成果。于是, 他采纳杰出的荷兰物理学家德拜(P. Dedye)的建议, 受邀于 1931 年初夏来到阿姆斯特丹, 投入塞曼效应的发现者彼得·塞曼(Pieter Zeeman)门下, 参与合作研究。和蔼可亲、彬彬有礼、习惯于从创新角度考虑每一项实验的塞曼, 非常赏识塞格雷。不仅为他申请到洛克菲勒奖学金, 并接纳他为退休前的关门外家弟子。塞格雷果然不负众望, 在阿姆斯特丹很快就取得了所有预期结果以及其他几项成果, 为合作研究划上了圆满句号。返回罗马后, 塞格雷继续研究禁线, 并发现和揭示了塞曼效应中的其他一些有趣特点决非起因于四极辐射的禁线, 还从理论上证明 X 射线光谱中也应有四极禁线。这些成果曾被索末菲(A. Sommerfeld)在其再版的著作《原子与光谱》中所引用。

1931 年底, 受费米派遣, 塞格雷又来到汉堡, 师从当时德国少有的既有财富、又有声望的实验理论家斯特恩(Otto Stern)学习真空技术和分子束。斯特恩很快就让他独立工作, 并建议其完成量子化空间动力学的实验。深受麦克斯韦(J. C. Maxwell)《论电与磁》书中一张插图启发的塞格雷, 根据斯特恩的基本研究框架, 用自己重新制作的仪器完美实现了这一实验构想, 得到了令人满意的结果。不久, 拉比(I. Rabi)在深刻领会塞格雷这一实验的重要价值后, 将其与自己的研究成果一起发表在美国《物理评论》上。

1932 年 10 月, 塞格雷学成回到罗马, 和费米一起研究原子超精细结构, 并共同署名发表了包括标准的费米-塞格雷公式的著名论文。不久, 塞格雷又回到光谱禁线的四极辐射研究上, 并在实验中观测到诸如钾和钠这样的碱金属原子的“里德伯态”, 并依然从事阿姆斯特丹工作期间的一些延续课题, 例如谱线位移、二阶塞曼效应等等。特别值得一提的是, 这些课题现已成为光谱学的重要分支。

紧接着, 塞格雷参与了“费米小组”一系列成果

现代物理知识

卓著的研究工作。其中主要有：用中子轰击靶核产生 40 种放射性元素^①，提出了慢中子理论^②，对“超铀元素”进行系统的探索和研究^③。

任职西西里后步入科研颠峰期

除了在成才道路上有幸得到费米、塞曼和斯特恩等名师的精心栽培以外，塞格雷一生中的重大转折点就是于 1935 年被委任为西西里岛巴勒莫 (Palermo) 大学的教授，当时风华正茂的塞格雷年仅 30 岁。一到这所大学，塞格雷就以改善和提高这里的物理学水准为宗旨，竭尽全力地开展工作。首先，他将组织安排好工科学生的主要公共课、讲授高等物理学和改革考试制度作为第一要务。塞格雷不仅利用研究所长期弃置的仪器和重新制作的新仪器做了很多演示实验，而且还引入当时对于意大利各大学还是新生事物的笔试。与此同时，针对巴勒莫大学物理系的培养目标——多数学生将成为中学教师，塞格雷编撰了《初等物理学——从高等物理学的观点看》一书给学生参考。该书创意新颖，效果颇佳。为了启动和推进新的科研工作，塞格雷自制了一台标准电离室，并购买了佩鲁佳式静电计和研究放射现象所需要的其他设备，另外还聘用年轻人做助理教授等等。终于将巴勒莫大学的教学质量和科研水平推上一个新台阶，塞格雷的声望也由此名扬四海。

1936 年学年结束时，塞格雷利用重访美国加州伯克利的机会，弄到了经高能加速器轰击过并富含放射性物质的材料。他回去后，立即用常规放射技术进行了化学分离，并率先想到将其中所含的放射性物质³²P 用于生物学实验。于是塞格雷就向生理学教授阿托姆 (Camillo Artom) 介绍了当时非常新颖的放射性磷示踪技术，阿托姆将这种技术用于磷脂代谢研究，他们也从此开始卓有成效的合作。1937 年，塞格雷还和佩里埃合作，正确分析了“第 43 号元素”（即第一个人造化学元素）的主要性质，并将其命名为“镅”，从不恭维人的费米认为这是该年度最出色的物理学成果。

墨索里尼的上台使意大利国内政治形势日趋恶化，迫于法西斯种族主义的直接威胁，塞格雷不得不做出离开祖国的痛苦选择。1938 年 6 月 25 日，他踏上了赴美的流亡旅程，决定投奔伯克利辐射实验室的劳伦斯 (Ernest Lawrence) 门下，并于 1944 年正式成为美国公民。

当时的伯克利辐射实验室在劳伦斯的鼓舞与启

发下，人才济济、硕果累累，已成为一个团结奋进的集体和国际物理学界的一个重要研究中心。劳伦斯所创立的“大科学”和大规模物理学研究风格，成为二战后大科学研究的样板。来到辐射实验室几天之后，塞格雷就与年轻有为的化学家西博格 (Glenn Seaborg) 一起寻找铀的短寿命同位素，这是塞格雷在巴勒莫研究工作的自然延伸，也是他选择伯克利的首要原因。嗣后，塞格雷与其合作者以精湛娴熟的实验技巧在其他方面又取得了一系列成果。其一，1938 年 9 月 14 日，塞格雷与西博格写信给《物理评论》杂志社，报告了他们的重大发现，即找到了冯魏克 (C. F. Weizsäcker) 在同核异能的激发态理论解释中所预言的核素内存在着的反转电子^④。其二，塞格雷与吴健雄等合作，对裂变产物作进一步研究后发现¹³⁵Xe 是海量的中子吸收者。其三，塞格雷和科森 (Dale Corson) 等合作，发现卤族元素中最末的 85 号元素“砹” (At)。其四，塞格雷与西博格、肯尼迪 (Joseph Kennedy) 等合作，发现钷 (Pu) 可用作核燃料或核爆物，开辟了释放核能的一种新途径。其五，塞格雷接受奥本海默的邀请，参与“曼哈顿计划”（研制原子弹工程）的核心工作。而最为卓越的是，他还和他的学生张伯伦共同发现了质子的镜像粒子——反质子，塞格雷的科学人生因此到达巅峰。

正电子的发现和狄拉克 (P. A. M. Dirac) 理论的成功，给人们很大的启发和鼓舞，使人们清楚地认识到物理学中的对称性是丰富多彩的。它可以分为两个大层次：定性对称性（含形象对称性和抽象对称性）和定量的数学对称性。其中仅就形象对称性而言，它包括分界线或中央平面两侧各部分在大小、形状和相对位置中的对应性；适当的或平衡的比例；平移的（线性重复）、转动的（绕圈的 n 次重复）、或螺旋形的对称性（前两者的组合），以及中心的对称性（通过一点的重复）。此外，形象对称性还包括这样一些对称性，它们并非发生在空间，但是就某些别的维度来说却是有效的。有一种“镜”对称性是就时间的维度来说的，它断言基本的自然过程在时间上沿一个方向进行，这同沿反方向进行没有什么两样。还有一种电荷对称性，它意味着具有相反电荷（反质子、正电子）的反世界同我们这个世界是等价的。因而寻找和发现粒子的反粒子、反物质甚至反世界就成为物理学家不断追求的目标。多少年来，实验物理学家们一直致力于寻找反质子，却没有结果。

1955年,伯克利有若干个研究小组参与了搜索反质子的行动,塞格雷是其中的主将。他决定向两个方向进攻:一个方向着眼于确定粒子的电荷和质量,另一个则是集中力量观察趋于静止的反质子在湮灭时的伴生现象。塞格雷-张伯伦实验小组利用当时加利福尼亚大学自制的一台能量为 $6.2 \times 10^9 \text{eV}$ 的高能质子同步稳相加速器,将能量为 $6.2 \times 10^9 \text{eV}$ 的质子射在铜靶上,产生了反质子。但是由于出射束中的大部分粒子是质子、中子和介子,要从这么多的粒子中检测出反质子,需要相当高明的实验技巧。理论所预言的反质子的负电荷可以通过它在磁场中的偏转来验证,而要确定它的质量,至少必须对同一粒子测量出两个独立的量:动量和能量或速度与射程。测量是运用磁装置和12m外的契仑科夫速度选择计数器来完成的。在照相乳胶中,由反质子轰击原子核所产生的爆炸蜕变的“量”形径迹证实了反质子的存在。从包含着许多其他粒子的射束中辨别出极稀少的反质子^⑤,这种高超绝妙的实验技巧正是塞格雷和张伯伦取得成功的标志。并且“在允许的极限误差范围内,当记录了约40件符合反质子的事件后,人们才能完全确认反质子被‘发现’了”。正是这一突破性的发现,使塞格雷和张伯伦共同摘取了1959年度诺贝尔物理学奖的桂冠。发现反质子也就成了继发现正电子以后人类揭示反物质世界奥秘的又一重大成就。所以,塞格雷是当之无愧的探求电荷对称性的先驱者之一。

知天命之年以后的角色转换

20世纪50年代后期,已过知天命之年的塞格雷深深意识到,大科学研究已经成了年轻人的使命,他应该转变角色了。于是,他把主要精力投入教学和传播科学文化方面。

作为一位出色的教育工作者,执教多年的塞格雷曾主讲物理光学、量子力学、光谱学、热力学和原子物理学等多门课程。其讲课风格不像恩师费米那样清晰透彻、精雕细琢,而是很有创意。他总是在较高层次甚至是研究生水平上,讲授物理学各分支学科的内容,颇像一个实干科学家的经验之谈。这不仅为学生提供了技术性的具体信息,而且将学生的理解力提高到他们从未达到的高度,进而使他们在接受所学知识内容的过程中,受到了作为一个科学家应有的各种素质的教育。因此,他的授课方法获得了很好的效果,深受学生们的欢迎。

50年代后期的塞格雷还是热心而卓越的科学传播者。他不仅以其主要的科学著作——《反质子的观测》(1955)、《用乳胶感光照片观测反质子星》(1956)、《在约120MeV散射时质子-反质子弹性和电荷交换》(1958)、《反核子的性质》(1964)等,深刻影响和指导着一代又一代的核物理学工作者;而由他担任主编并组织专家组完成的三卷本《实验核物理学》(1953~1959),也受到核物理学界的青睐,成为该领域研究人员案头必备的工具书。同时,塞格雷于1963年出版的《原子核和粒子》一书,现已被译成多种文字,并于1978年重新修订再版,如今已被世界各国视为精品教材。另外,塞格雷还是《原子核科学年鉴》的创始人和骨干人物,自1952年成为编辑开始,直到1977年卸任为止。

具有较高人文素养,从小就阅读大量物理学史、化学史、数学史书籍的塞格雷,在20世纪50年代以后把科学史研究作为自己的使命之一。1960年前后,塞格雷开始作科学史方面的演讲,如参加在纽约召开的第10届国际科学史大会,并做了萨顿(Sarton)演讲,主题为《发现中子的后果》。接着又在伯克利做了一系列有关20世纪物理学发展史的演说。塞格雷还编著出版了数本物理学史方面的书籍,如《从X射线到夸克》《恩里克·费米》《从落体到无线电波》以及一部自传体科学著作《永动的心智》。

即使到了古稀之年,塞格雷仍频繁应邀到南美、北欧、亚洲、非洲、前苏联等不同信仰、制度的国家和地区进行学术交流和访问。他是一位不可多得的勤勉的科学文化的行者。

1989年4月22日,这位伟大而杰出的意大利裔美国物理学家与世长辞,享年84岁。塞格雷是20世纪物理学界里程碑式的卓越大师,他的丰功伟绩将永载史册。

(安徽省巢湖学院物理系 238000)

巢湖学院科研基金资助项目XLZ 200402。

^①这一成果既为研究原子的分类提供了大量材料,又对改革化学和生物技术大有裨益,还为以后更好地进行中子物理研究奠定了基础。

^②慢中子理论为人类和平利用核能打开了大门。

^③探索和研究“超铀元素”为日后哈恩等发现核裂变现象夯实了基础。

^④核素的同核异能若干年后成为核医学的主要支柱。

^⑤3万个粒子中只有一个反质子,每15分钟才能记录1个反质子。