

物理学史中的九月

1985年9月1日至11日：富勒烯的发现

萧如珀¹ 杨信男²

(1 自由业; 2 台湾大学物理系 10617)



有规则、具对称性的几何图形总是迷人，引人遐思。古希腊人以正四面体、立方体、正八面体、正十二面体，以及正二十面体分别代表组成宇宙万物的元素火、土、气、水和组成天上物质的以太，统称为柏拉图固体。开普勒也曾突发灵感，提出由五个柏拉图固体的内外切线组成的宇宙模型，认为这几个内外切球半径的比例就是当时已知六个行星轨道的比例，而称颂它是上帝在天上的伟大杰作。

所以当科学家在1985年9月宣布发现超级稳定、状如“截角的正二十面体”的 C_{60} 分子时，引起了很大的轰动。那11天的发现过程充满了惊奇和意外，令人津津乐道。

故事源自英国萨赛克斯大学的克罗托（Sir Harold Walter Kroto），他主要研究微波频谱学，用以分析太空星球大气层及星际气云的成分。当时他对碳含量高的巨星深感兴趣，在分析其大气谱线时，他发现可将其归因于氰基多炔烃，这是一种由碳和氮组成的长链分子，同样的分子也出现于星际气云中。克罗托认为这些碳化合物源自星球大气，而非星际气云，所以希望对这类长链分子的形成机制做进一步的研究。

1984年复活节，克罗托到美国莱斯大学访问科尔（Robert F. Curl, Jr.），科尔建议克罗托参观他同事暨研究伙伴斯莫利（Richard E. Smalley）所研发出的一套激光-超音速团簇束仪器（图1），可以将物质蒸发为原子气体，进而形成数十个原子聚合在一起的团簇。克罗托认为这套仪器或可用以仿真星球大气中的化学环境，以提供长链碳化合物会在星球大气高温区域形成的证据。他向科尔解释此想法，科尔提议大家一起合作研究。

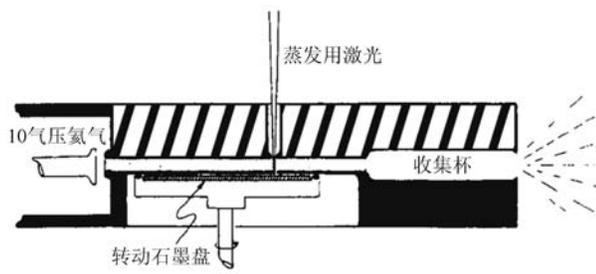


图1 激光-超音速团簇束仪。脉冲激光聚焦在石墨盘上，将碳原子打出，混入经小孔喷进的超音速、高密度氮气流束，形成碳团簇进入收集杯，再让其向外膨胀（克罗托提供修改而成）

经过了约一年半的准备，克罗托于1985年9月1日抵达休斯顿，立即与科尔、斯莫利，以及学生希斯、欧布莱恩、刘元等人（图2）全力投入实验工作，结果在短短10天之内就发现，采用固态的石墨为标靶时（图1），果然可以产生各种偶数碳原子合成的分子。意外的是，由60个原子组成的 C_{60} 最多，而且在一些特定情况下，几乎全是 C_{60} ，并极为稳定，活性极低。研究团队经过反复推敲讨论，终于在9月10日达成结论，推测其结构应为“截角的正二十面体”，如类球体的中空笼子，具有60个顶点和32面，其中12面为正五边形，20面为正六边形（图3）。他们决定取其名为富勒烯，以向1967年设计蒙特利尔世界博览会短程线拱顶的美国馆建筑师富勒（R. Buckminster Fuller）致敬。

研究团队于9月11日完成论文的撰写，并于次日投稿到《自然》期刊。《自然》于11月14日刊出，不到2页，标题为《 C_{60} : Buckminsterfullerene》（巴克明斯特·富勒烯），所以也被简称“巴基球”（Buckyballs）。

由于“截角的正二十面体”的结构极为对称、巧



图2 《自然》期刊，1985年论文 C_{60} : Buckminsterfullerene 作者群合影，左起：欧布莱恩、斯莫利、科尔、克罗托与希斯（克罗托提供）

妙，所以实验结果传开之后，引起了大家高度的兴趣。1990年，物理学家霍夫曼（Donald R. Huffman）和克列斯默（Wolfgang Krätschmer）宣布，将二支石墨棒置于氦气中，加电压产生电弧，以气化石墨将再凝结后的碳气溶解于有机溶液中，即可得到 C_{60} 的结晶，确认了 C_{60} 的推测。1996年，克罗托、斯莫利和科尔三人同获诺贝尔化学奖。

克罗托家族是波兰裔犹太人，原名克罗托斯纳（Krotoschiner），后来移居德国，父母在纳粹时期逃至英国。克罗托于1939年出生在剑桥郡，1964年于谢菲尔德大学（University of Sheffield）获得博士学位，3年后，获聘苏塞克斯大学。除了科学外，克罗托还醉心于绘图艺术，有职业的水平。1995年，他在皇家学会的赞助下，成立了贝加科学信托（Vega Science Trust），录制科学记录片，以推广科学。2005年，他离开萨塞克斯，在佛罗里达州立大学担任讲座教授迄今。

斯莫利于1943年出生在美国俄亥俄州艾克隆市，1973年在普林斯顿大学获得博士学位，1976年开始在莱斯大学的教研究生涯。斯莫利的研究主要以分子束及飞行时间质谱仪探讨非有机及半导体团簇的形成机制。发现富勒烯后，他开始研究以铁催化碳纳米管的合成方法，并于2000年催生美国国家纳米科技启动计划。2005年，他因慢性淋巴球性白血病过世。

科尔于1933年出生在美国德州阿利斯顿城，毕业于莱斯大学，后至加州伯克利大学深造，1957年获得

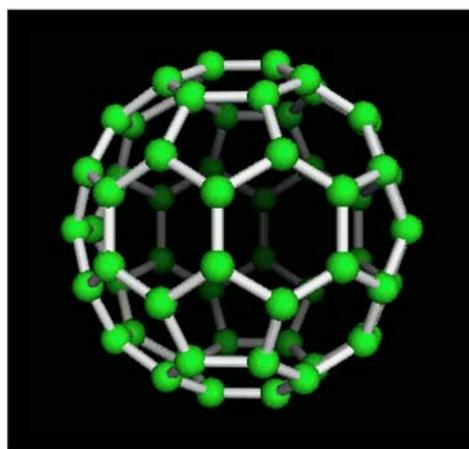


图3 “截角正二十面体”模型

博士学位，于1967年到莱斯大学任教职。获得诺贝尔奖后，他继续教研工作，他说：“获奖后，或可以成为科学教父，或就科学方向提出新看法，利用名气获取所需资源；但或也可以说：‘嗯，我要继续原来喜欢的工作’”。

富勒烯的研究在霍夫曼与克列斯默找出可以大量制造的合成方法后，研究成果突飞猛进，例如发现与富勒烯结构类似的碳纳米管，具有热与电的良好性与惊人的抗张强度等。做为继钻石与石墨之后的第三种碳物质，富勒烯的研究已成为化学的一个领域，它的应用价值有赖科学家进一步的探讨与努力。

从发现富勒烯的故事显示，当不同专长的科学家一起合作时，可能迸出的火花会有多么令人意外与难以置信；而成功的跨国合作也成为科学研究的新趋势。

（本文转载自2014年10月《物理双月刊》，网址：<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>；Email: snyang@phys.ntu.edu.tw）

