

拜访足球分子家族

20 世纪末，在我们最熟悉的碳化学领域，又意想不到地发现了一片新大陆，它不仅改写了碳化学篇章，而且影响着整个科学技术的发展。1985 年 11 月，在国际上最具影响力的英国《自然》（Nature）杂志刊登了题为“ C_{60} ：巴克明斯特富勒烯”的论文，作者是英国苏塞克斯大学的克罗托教授和美国赖斯大学的斯莫利教授等五人，他们宣告了一类新物质的诞生，开拓了一个崭新的领域。后来的实验完全证实了他们有关 C_{60} 分子足球结构的假说。1990 年，宏观量制取 C_{60} 成功，引发了世界性 C_{60} 研究竞赛。1991 年， C_{60} 超导体的发现又把人们对这一领域的关注再度升温， C_{60} 被美国《科学》（Science）杂志评为“名星分子”， C_{60} 超导体被评为 1991 年世界十大科技发现之一。

除了结构优美对称的 C_{60} 以外，还存在一系列中空全碳分子，这是一个人丁兴旺的足球分子家族，雅称“富勒烯家族”。它们的结构可谓鬼斧神工，自然天成，令人惊叹！它们由于具有独特的性质，在许多科学技术领域里显示出广阔的应用前景，令人着迷。公认已尽收眼底的碳元素，除金刚石和石墨之外，竟然还有如此美妙无比的 C_{60} 天地，自然真是无穷尽，科学与艺术一样，其魔力就在无限之中。

科学家不仅在实验室合成出了 C_{60} ，而且在沉睡了数亿年的岩石中，在星际尘埃中也相继找到了“名星”的踪迹，它们构成了宇宙的统一。 C_{60} 的球形对称、蒙特利尔博览会美国馆的富勒圆顶建筑与圆的天体星球构成了整个宇宙的和谐。在这统一与和谐中， C_{60} 掀起了宇宙奥秘的一角，带来了生命起源的信息，并为古老碳化学注入了新的生命。

英国的克罗托教授和美国的斯莫利和柯尔教授因发现富勒烯而荣获 1996 年诺贝尔化学奖。

本部分将再现这一划时代的发现，感受那激动人心的科学创造，领悟美妙的自然所给予人的启迪。

■ 碳族元老——石墨与金刚石

天然的石墨（图 1）常常不纯，灰分含量约占 10%。实际应用中需要的纯石墨，则是通过高温处理碳获得的。石墨色黑，不透明，有光泽，状层形。它质软，像云母，可一层层地剥离。层内导电性好，其导电性与金属性能相当。垂直于层的方向电导率很低，恰似半导体。石墨因能抗高温、抵腐蚀、可导电，被大量用来制作电极、坩埚、电刷等，如电解食盐与电炉炼钢用的石墨电极。应用其质软与层状结构的特点，石墨还可用来制造铅笔心、颜料和润滑剂。

金刚石（图 2）具有非常独特的性能。它作为一种珍贵宝石，大约已有 3000 余年的历史。古代人们出征佩带这种钻戒，认为宝石会赋予他们神奇的魔力。贵夫人以其作为饰品，显示她们的华贵。近代人们认为，订婚钻戒象征着婚姻的纯洁和永恒。纯的金刚石无色透明，带杂质后，呈现出红、黄、蓝、绿、黑等色彩，加上它的折光率非常大（2.4），对光的色散特别强，金刚石在光照时显得光彩夺目、变幻莫测。高透明度、

高折光率和耐久性使金刚石成为最有价值的宝石。

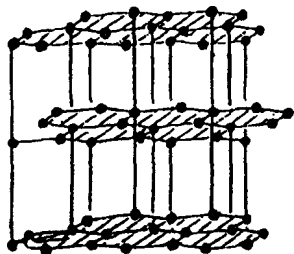


图 1 石墨的结构

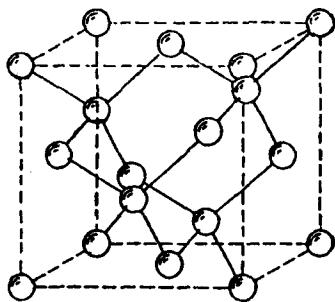


图 2 金刚石的结构

金刚石是迄今为止人们发现的最硬的物质，在莫氏硬度次序中，它名列最高的第十级（这个次序是滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、钾长石、石英、黄玉、刚玉和金刚石）。它几乎能划破任何东西，适于作研磨、切割、磨削与抛光工具，成为近代多种工业应用的理想材料。以金刚石制成的钻头，在石油和地质钻探中已被广泛使用。

天然金刚石在地球上的含量十分稀少，试图将石墨转变为稀世之宝就成为人们梦寐以求的事情。利用化学热力学可以定量计算出在什么条件下石墨方能转变为金刚石，在此仅给出定性说明：金刚石的密度是 3.51 克/厘米^3 ，石墨的密度仅为 2.22 克/厘米^3 ，由石墨转变为金刚石时体积将减少，增加压力将有助于反应向体积减少的方向进行。从燃烧热的数据得知，由石墨变为金刚石要吸收 1894 焦/克分子 的热量，升高温度不仅为反应提供了能量，还可以提高反应速度。高温、高压是石墨转变为金刚石的条件，这也正是金刚石在地球内部形成时的天然环境。

19世纪 80年代，汉纳（Hannay）将碳氢化合物与金属锂密封在厚钢管中烧至红热，声称他获得了 12 颗小金刚石。1894 年，莫瓦桑（Moissan）将碳溶于熔融铁中，然后让其在冷水中骤冷，据说也获得了几粒极硬的金刚石。20 世纪 20 年代，帕森（Parsons）重复所有前人的这些实验后，认为他们的结论皆不可靠。后来，高压物理学家布里奇曼（Bridgman）将石墨在 300 兆帕下加热至 2700K，也未能得到金刚石。直到 1955 年，邦迪（Bundy）等人在 1 万兆帕下，长期维持 2300K 的高温，在实验室将石墨变成了金刚石，经 X 射线结构分析、硬度比较及他人上百次的重复实验，证实了他们的结果是正确的，这是人类应用静压力法第一次获得了人造金刚石。后来，又发展了利用爆炸瞬间产生高温和冲击波的方法，逐步地使象征财富和权利的金金刚石变成成为一种工业材料，渗透到工业生产和科学研究的各个方面。

静压法和冲击波法设备昂贵、操作困难、生产成本低，而且所得金刚石极硬，难于加工，这便限制了金刚石的应用领域。这些问题诱发了人们研究在各种衬底上由碳原子直接沉积，生长出金刚石薄膜的技术。

70 年代末发展出化学气相沉积（CVD）金刚石薄膜的方法。近年来，等离子技术已应用在金刚石薄膜的制备中。以氦气或氢气稀释的甲烷气为碳气体源，利用激光（或射频电磁场等）技术，使气体离解、激发、电离产生等离子体，然后沉积生长出金刚石薄膜。

80 年代末，世界各国对金刚石膜的研制与开发投入了极大的热情，期待着 CVD 金刚石膜在工具、光学、声学 and 电子学等领域得到广泛应用，如各种大型光学系统、照相机镜头、眼镜片、火箭发动机、精密仪表、各种刀具及手表，甚至刮脸刀片也将因金刚石膜的表面改性而变得更加美观耐用。目前，

人类应用金刚石膜已制成新一代电子器件，如金刚石薄膜整流二极管、蓝色电致发光器件等。21 世纪，人类的梦想是利用金刚石的高导热性研制出大面积、可在高温下工作、速度极快的集成电路。

■ 太空分子与星际尘埃

正当金刚石低压合成技术受到各国关注之际，关于碳在宇宙演化中的作用的研究也拉开了序幕。1968 年，汤那斯（C. Townes）用射电天文望远镜发现了第一个多原子分子——氨。随后，又有水、甲醛、乙炔、氰化氢和丙炔腈（ HC_3N ）等 20 余种分子被相继在星际空间找到。星际介质展现出丰富的化学多样性，一门新学科——天体化学由此诞生。太空分子成为宇宙化石后，人类可以借助于宇宙化石探索宇宙进化、恒星诞生和生命起源的奥秘。

继 1971 年特纳（B. Turner）在星际空间发现 HC_3N （ $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{N}$ ）之后，英国苏塞克斯大学年轻的波谱学家克罗托（H. Kroto）对寻找更大的多原子分子产生了浓厚的兴趣。他试图发现 HC_5N （ $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{N}$ ）在宇宙的踪迹，他与合成化学家合作，在实验室制得 HC_5N 后，用微波谱仪测得了 HC_5N 的特征指纹。后又在加拿大天文学家们的协助下，于 1975 年 11 月，在人马座 B2 天区搜索到 HC_5N 的特征信号。 HC_5N 是当时星际空间中发现的最大分子。

星际空间中更长链的碳分子能否存在？克罗托与他的合作者于 1977 年在金牛座星云中找到了 HC_7N 。70 年代末，人们又找到了 HC_9N 。1982 年，射电天文学家贝尔等人从对富碳红巨星微波信号的观察中发现并确认了 HC_{11}N 的存在。这样的发现

还能走多远？这些碳链分子是如何形成的？为何它比带支链的分子更易生成？在星云的极低温度下，长链分子怎能从宇宙尘埃上脱离？

恒星在燃尽其核心储存的氢之后，可演化形成富碳红巨星，它不断产生烟尘和灰烬，并把它们抛向星际。从红巨星大气中已确认了 17 种分子，其中 7 种含有 C—C 键，10 种含有 C≡N 键。克罗托认为，在碳红巨星气体尘埃的温度、压力等条件下，可能产生出长碳链分子（如氰基聚炔烃），他将这些长链分子看成是 C_1 、 C_2 与 C_3 等小分子与碳尘颗粒之间的过渡，问题在于如何找到确凿证据。德国马克斯—普朗克化学研究所的欣滕贝格尔（H. Von Hintenberger）等人于 60 年代初，在两根石墨电极间高压放电，产生出了一系列碳分子（直到 C_{33} ）。克罗托认为，碳弧中的物理条件与红巨星大气中的状况相差无几，他梦想或许在太空中能找到 $HC_{33}N$ 。

当观察来自遥远恒星的星光光谱时，除了熟知的尖锐原子谱线外，还存在一些弥散的带状结构，其中有 3.1 毫米和 9.7 毫米处的红外吸收带、433 纳米处的可见吸收带及 217 纳米处的紫外吸收带（图 3）。早在 20 世纪 30 年代人们就已经知道它们来自星际空间，但这些漫射带的起源困扰了天文学家 50 年，这是“天文学中最后的一大难题”（克罗托）。1977 年，物理学家道格拉斯（Alec Douglas）提出由 C_n （ n 为 5~15）混合物的吸收来解释星际漫射带，虽然克罗托难以接受这一观点，80 年代初，碳长链分子仍是他关注的可能答案，他不断探寻太空分子，以求解开这最后的难题。

星际尘埃虽在星际空间物质总量中所占比例不到 1%，但它吸收和散射光线的能力强，相距 3000 光年的恒星所发出的可见光强度将因尘埃的遮挡减半。短波长的比长波长的光消光

强烈，使得星光穿越尘埃后，红光部分增加。消光曲线的形状为天体物理学家提供了尘埃颗粒尺寸的信息。宇宙演化理论表明新生的恒星及其行星正是由尘埃组成的星云中孕育的，另外，物理中超细微粒的研究也为星际尘埃的研究注入了活力，因此，到 70 年代中期，这一领域已变得炙手可热了。

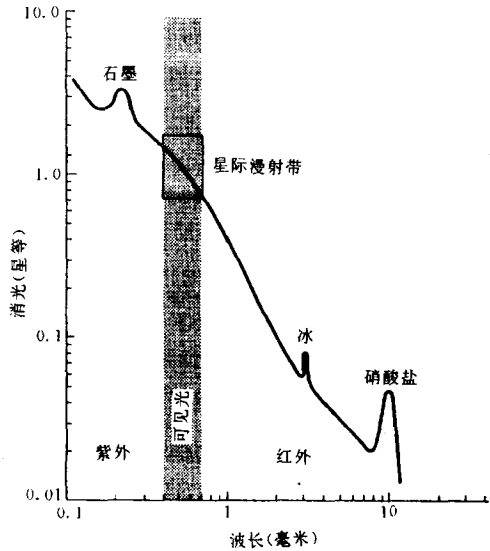


图 3 来自遥远恒星的星光光谱

来自遥远恒星的光的消光程度由低能区（长波）到高能区（短波）平滑地上升。在这个平滑的背景上，红外、可见和紫外区分别叠加有一些清晰的吸收结构。图中画出了 3.1 毫米和 9.7 毫米处的红外吸收带和 217 纳米处的紫外吸收带（可见光区域的星际漫射带未在图中画出）

1977 年，德国海德堡马克斯—普朗克核物理研究所的克雷奇默（W. Krätschmer）去美国亚利桑那大学，与物理系赫夫曼（D. Huffman）合作，研究叠加在平滑消光曲线上吸收谱

结构的来源。吸收曲线将依赖吸收物质的组成与结构、颗粒形状与大小、集结状态、结晶度等因素，他们的艰巨任务就是制备出能重现吸收带精确形状与强度的试样。他们采取由简入繁的步骤，选择 9.7 毫米吸收带作为突破口，决定先以橄榄石硅酸盐做实验。

橄榄石是由锰、铁、硅、氧组成的硅酸盐。橄榄石矿晶体在 10毫米波段处有一吸收带，但与观察测得的星际带不符合。他们用高能氢离子轰击晶态颗粒，使其非晶化，然后测量轰击后样品的光学常数，计算出消光曲线，与观测的星际带对比。经过半年的反复实验，终于获得了与 9.7 毫米星际漫射带十分吻合的结果。他们的实验证实了星际空间飞行着数十亿计的微小硅酸盐矿，1979 年，他们发表了这一研究成果。克雷奇默回到海德堡之后，独自在 1979 年开始了冰的光吸收研究，试图以此说明 3.1 毫米漫射带。但这次不像橄榄石矿实验那样幸运，未能得出令人信服的结论。赫夫曼希望与克雷奇默合作研究 217 纳米带的起源，后来把克雷奇默的注意引到了碳灰颗粒，那已是 1982 年的事情了。这次是赫夫曼获得洪堡基金经费资助，去海德堡马普所进行实验。

他们使用碳蒸发器制备石墨“灰”，蒸发器的密封钟形罩内有两根相互接触的石墨电极，电极间通过高压电流，在低压惰性气体气氛中产生高温电弧，石墨蒸发形成碳烟，冷凝在收集石英平台上（图 4），然后测量紫外—可见吸收谱，再与 217 纳米星际带比较。他们发现石墨颗粒间的凝聚对惰性气体压强很敏感，气压从低压变到 2.7 千帕，所得碳灰的紫外谱仍不能与星际带吻合。当气压维持在 2.7 千帕时，在普通碳灰特有的 220 纳米宽吸收带上，偶而出现 2 个或 3 个额外的“隆起”，它们分别位于 215 纳米、265 纳米和 340 纳米左右。他们称这些“隆起”为“驼峰”，具有这些奇怪“隆起”的碳灰称为“骆驼试样”。

他们本意追求的目标未能达到，却得到了令人困扰的光谱。

克雷奇默觉得这些“骆驼峰”是实验过程中的污染物引起的，赫夫曼的直觉判断这里可能包含着未曾抓住的重要东西，为了能在原订计划上有所突破，暂置“隆起”于不顾，开始了探索“基体隔离”技术，以防止石墨微粒的过早团聚，即让几千度高温下生成的微粒冻结在 10K 下的固态惰性基质上。可以想见，在不大的钟形罩内同时实现数千度高温到 10K 低温的条件是何等困难。他们获得了固态基体隔离的石墨颗粒样品，其紫外谱与 217 纳米

漫射带的符合程度并无明显改善。他们的目的又一次落空，但他们注意到基体隔离样品的可见光谱中有强吸收峰。

这些可见吸收峰与石墨颗粒无关，经鉴定是由 C_3 分子所特有的。使固态基体升温时， C_3 分子吸收逐渐消失，同时出现一系列新吸收峰。分析表明，在升温过程中，束缚的 C_3 被活化，转变成了更大的 C_4 到 C_9 分子。赫夫曼阅读过道格拉斯关于漫射带与 C_n 聚炔烃有关的论述，他注意到 C_7 的吸收波长与最强的可见星际漫射带很接近。研究 217 纳米星际带毫无结果，幸运的是，在基体隔离中他们发现了 C_n 分子，并从实践中认识到这是研究 C_n 分子光谱、检验道格拉斯设想的有效技

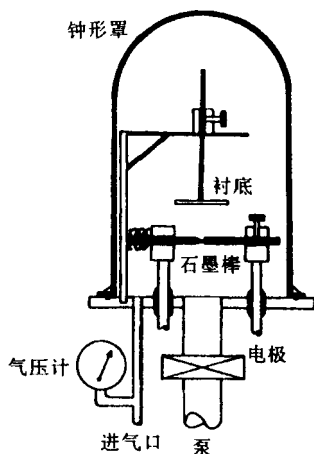


图 4 海德堡蒸发器

在接触的石墨棒之间通过一个电流将产生一个高温电弧。蒸发石墨产生的碳灰收集在衬底上（一块薄的石英片或其他合适的材料）

术。赫夫曼于 1983 年夏回到亚利桑那，他和克雷奇默商定要继续研究 C_n 分子。遗憾的是，他们未能抓住最重要的发现——神秘的骆驼峰。

■ 原子团簇

原子团簇（简称团簇）是由几个至上千个原子组成的相对稳定的物种。19 世纪 60 年代建立的胶体化学就是用来研究处于 $1 \sim 100$ 纳米范围的微粒。但只在近期，由于高分辨电子显微镜和制备纳米粒子技术的发展，方得以深入到对单个纳米颗粒进行研究的水平，揭示出这类物种的奇异性。人们终于认识到在介于原子、分子微观世界与客观物体之间，还存在一片尚待开垦的新天地，形成了研究原子团簇和纳米技术的新领域。

1981 年，有两个研究小组发明了激光气化金属的装置（图 5）他们分别是赖斯大学的斯莫利（R. Smalley）和贝尔实验室的庞帝别（V. E. Bondybey）。用一束激光脉冲照射金属，激光将金属原子气化形成温度极高的等离子体，将惰性气体氦吹入通道，使金属蒸气冷凝，凝聚形成团簇。氦气流将生成的团簇带入真空室。束流在压力差作用下，以超声速迅速膨胀，团簇冷却到接近绝对零度。此时，已趋于稳定的团簇受到紫外光照射而电离，在电场力作用下带电微粒加速飞行，质量差别的团簇因飞行速度不同，到达离子检测器的时间有先后之别，由此实现了团簇的分离和质量数分析。这一分析仪就是所谓时间飞行质谱。

斯莫利用此类设备研究铬、钒等高熔点材料的团簇，以及硅、锗及砷化镓等半导体材料的团簇，并在 SiC_2 分子的光谱研究中取得进展。1984 年 2 月，克罗托赴美国得克萨斯参加分子结构会议，会上他遇到了斯莫利的合作者柯尔（B. Curl），

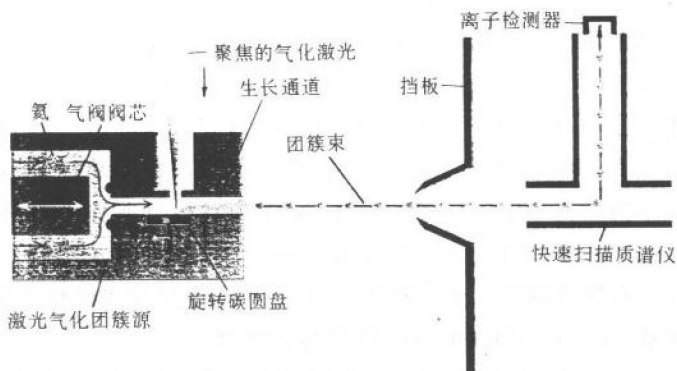


图 5 激光气化金属装置

斯莫利设计的团簇发生器最早证明富勒苯能由碳蒸气制成。一束脉冲激光使碳蒸发；然后一股氨风将碳蒸气刮进超声束中，超声束膨胀使碳原子冷却而冷凝

他也是位微波谱学家。克罗托与柯尔是七年前在国际会议上认识的老朋友。应柯尔邀请，克罗托参加了斯莫利实验室。

克罗托参观团簇束流发生器后，立即认识到仪器内产生团簇的条件与红巨星表面相似，若把 SiC_2 靶或金属靶换成石墨，就可在实验室再现红巨星表面的条件，在此仪器内就可能产生长链碳分子，当有氢和氮时，是否会生成链状氰基聚炔烃，验证道格拉斯设想，回答天文学中的最后难题？柯尔对克罗托的想法十分感兴趣，也感到团簇束流发生器很适合做寻找太空分子的研究，因为这套装置不仅可以在高温下产生团簇，还可以测出团簇的吸收谱，与漫射带对比。遗憾的是斯莫利对此没有多大热情，碳是一种无处不在的元素，人们对它已做过几个世纪的研究，他不相信碳原子簇会有什么新结果。他同意在他们原研究项目有空时再安排碳团簇的探索。

回到苏塞克斯不久，克罗托就看到了美国埃克森公司实验

室的罗尔芬等人关于碳原子团簇的结果。他们应用与斯莫利完全相似的仪器，制备并探测到原子数从 2 至 190 个碳原子的团簇（图 6）。在 C_{38} 以下的分布中，奇数原子团簇远多于偶数原子团簇，原子数为 3、11、15、19 和 23 的团簇信号较突出。 C_{38} 以上的团簇分布出人意料，根本不存在奇数团簇信号。埃克森小组的科学家不得不借用 1978 年加利福尼亚太空有限公司材料实验室的惠特克（A.G. Whittaker）提出的碳炔机制，他认为，石墨在温度大于 2600K 的条件下将转变为线性碳炔链。由炔基— $C\equiv C$ —构成的团簇自然是偶数原子。

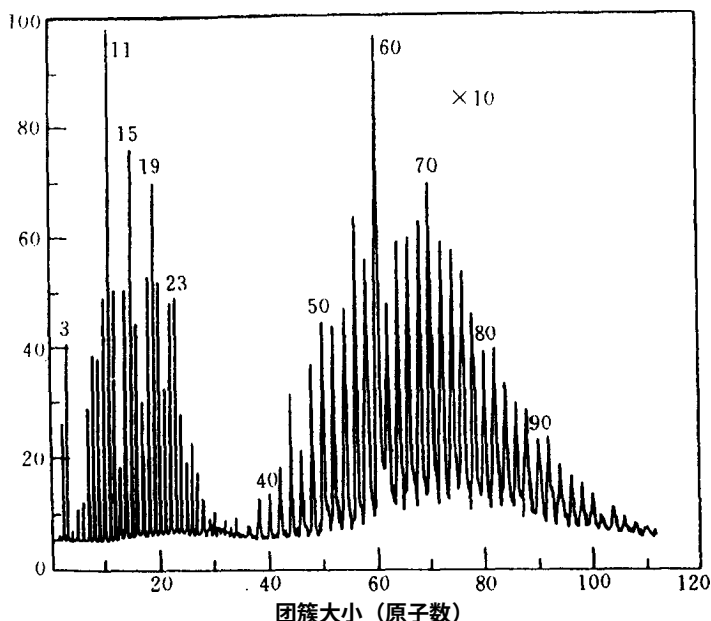


图 6 罗尔芬、考克斯和卡尔多报道的团簇分布
在这张谱中，信号的大小正比于探测到的正离子数
（注意， C_{38} 以上的信号被放大了 10 倍）

克罗托根本不相信有碳炔，他不同意罗尔芬等人的解释。虽然他们已做了当初克罗托劝说斯莫利想做的实验，但研究还有待深入。克罗托注意到他们的论文中并未探讨这些团簇在星际空间中的地位与作用。另外，罗尔芬等人还制得了含钾的 $K(C\equiv C)_nK$ 团簇，但却未用氢和氮来生成氰基聚炔烃，也未讨论它们与漫射带的关联，这些恰是克罗托着意追求的。埃克森小组的工作更促进了他想在碳团簇方面工作的热情，斯莫利的反应正相反，他认为自己不应卷入一场不必要的竞争，当然，最根本的还是他觉得在碳团簇方面不可能得出惊人结果，何况眼下尚有许多重要体系要研究。1984年5月，柯尔告诉克罗托，他想要做的实验还不能安排。

1984年7月，第三届国际微粒与无机团簇研究会在柏林自由大学举行。埃克森小组的工作和赫夫曼与克雷奇默基体隔离团簇的结果皆在会上做了交流。罗尔芬等人的工作自然引起了大会的关注。赫夫曼看到了 C_{190} 的质谱，他感到研究还刚开始。没有人追究这些“碳炔”与他们曾看到的“骆驼峰”的联系，也没有人多瞧 C_{60} 与 C_{70} 一眼。

■ 意外发现

克罗托接到柯尔通知，可在团簇发生器寻找他的太空分子时，已是一年以后的事情了。8月29日，他迫不及待地飞抵休斯敦。次日，他给斯莫利、柯尔及斯莫利的研究生希思和奥布赖恩介绍了星际分子、漫射带、恒星与碳尘的研究进展。然后，他与斯莫利讨论了实验方案。9月1日，他们开始了碳团簇实验。在克罗托到达前一周，斯莫利已换上石墨靶重复罗尔芬等人的实验，他的学生们很容易地观测到了双峰分布，信号比埃克森小组报道的质谱信号强很多。他们还做了共振加强双

光子电离实验，证实对 C_{14} 至 C_{25} 之间的团簇皆有效。

9月1日（星期日），首次实验，他们仍使用氦作载气，除了罗尔芬等人的结果外，没有发现什么新现象。

9月2日（星期一），他们改用氢气作载气，试图找到聚炔烃。实验表明，在此条件下偶数原子团的信号变突出了，他们观察到了 $H(C\equiv CH)_n$ ， $n=6\sim 20$ 。正如克罗托预计，富碳红巨星的外层大气中可能形成某些聚炔烃。

9月3日（星期二），修改计算机程序，未做团簇实验。

9月4日（星期三），改用氮气作载气，试图获得氰基碳团簇，结果未能如愿。当重新用氦作载气时，观察到了令人惊奇的现象，质谱图上几乎只有 C_{60} 和 C_{70} 的信号。当时，他们立即重复实验，仍然获得 C_{60} 和 C_{70} 非常强的信号（图7）。 $C_{60}/C_{62} \geq 30$ 。

9月5日（星期四），克罗托带着这些质谱结果与斯莫利和柯尔讨论。他们注意到，尽管 C_{60} 行踪不定，但它和 C_{70} 却是难兄难弟，相伴而行。如何解释在激光气化的混沌世界中，随机产生的原子或石墨碎片形成稳定的团簇？为什么 C_{60} 比其他团簇更稳定？

克罗托猜想 C_{60} 是由4块石墨碎片构成的三明治结构（图8），其他人则认为只有无悬空键的结构才最稳定，不敢苟同克罗托的模型。闭合环是一种没有悬空键的结构，但为何60个碳原子的环就比62个碳原子或其他数的环更稳定？若坚持无悬键作为构造准则，除环以外还能有其他结构形式吗？能否由石墨碎片形成闭合的笼子，甚至是一个对称的球？更一般地说，能否由石墨的结构单元六边形构成三维封闭结构？美国建筑师巴克明斯特·富勒设计的“网格球顶”也许可能作为 C_{60} 的模型，克罗托在1967年蒙特利尔博览会上亲眼目睹了这一

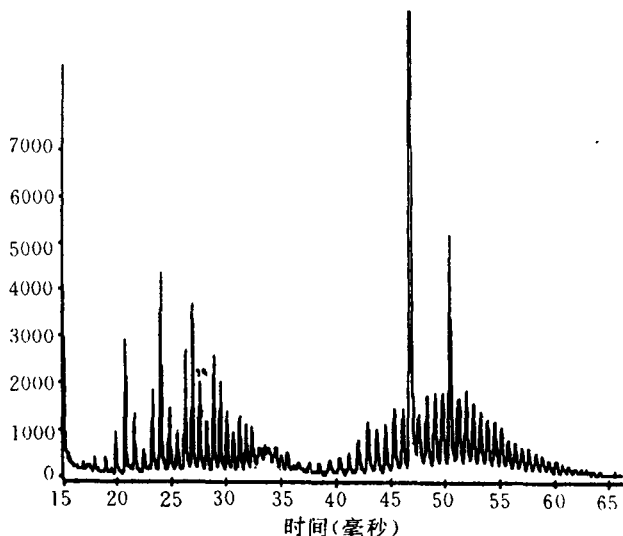


图 7 AP2 的飞行时间质谱

该谱记录于 1985 年 9 月 4 日，克罗托在上面做了注记。这张谱还没有从飞行时间（单位为毫秒）换算成团簇的大小。但 47 毫秒附近的强峰对应于 C_{60}^+ ，次强峰对应于 C_{70}^+ ，正是这张谱引起了科学家们的注意

令人入迷的建筑。后来，他还为他儿子用硬纸板做过一个网格球顶“星穹”模型，他还模糊记得不仅用了六边形，还有五边形，但不知顶点数目是多少。

他们尚不能得出结论，便决定将实验继续下去，以便发现更多的线索，克罗托寻找宇宙分子之梦远未了结。

9 月 6 日（星期五），再次用氮作载气，这次比较幸运，他们发现了较小的含氮的碳团簇，质谱确切地证明了 $C_{2n}N_2$ 团簇的存在。他们推测，这些团簇具有线性链状结构，其通式为 $N \equiv C - (C \equiv C)_{n-1} - C \equiv N$ 。克罗托 4 年前提出的设想，在斯

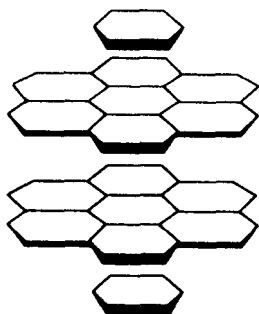


图 8 克罗托为 C_{60} 设想的
平展三明治结构

这个结构由 4 层网状碳原子
平面组成,以 $C_6 : C_{24} : C_{24} :$
 C_6 方式叠在一起

莫利的团簇发生器上花了 4 天时间就得到了证实,碳簇可以和氢及氮结合,形成 $H-(C\equiv C)_n-H$ 分子和 $N\equiv C-(C\equiv C)_n-C\equiv N$ 分子。这与克罗托想要寻找的太空分子 $H-(C\equiv C)_n-C\equiv N$ 十分接近了。

当天下午他们讨论了下阶段的研究计划。氰基碳团簇的研究已接近尾声,可达到克罗托原计划的目标。但 C_{60} 的奇异行为值得追究,他们决定周末加班,找出控制 C_{60} 行踪的各种实验因素,使产生 C_{60} 的实验能够重复。

当晚,奥布赖恩独自实验,核查各环节对 C_{60} 信号的影响。他排除了石墨靶老化的影响,发现改变气化激光器功率会影响 C_{60} 信号的相对大小。

9 月 7 日(星期六),希思接班,他重复了奥布赖恩用激光器功率调变 C_{60} 信号后,开始实验惰性气体氦压强的影响。发现随着氦气压强下降,团簇分布剧变。星期日,经过实验和推理分析,希思认识到增加碰撞频率可促进 C_{60} 的形成,这一观点在增加压强、缩短阀门开启和激光器点燃之间的时间间隔,以及延长成簇区的长度等方面皆得到证实。他已可重复获得 $C_{60}/C_{62} \geq 30$ 的惊人结果,对此,他无比激动,终于抓住了这行踪不定的幽灵。当克罗托度完周末晚上返回实验室,得知希思的结果后,十分兴奋。他意识到他们发现了一种全新的分子。

9 月 9 日(星期一),早晨,希思改装了团簇发生器,使它处在最佳状态,赶在研究小组例会之前,匆匆地做了一个实验,获得了 $C_{60}/C_{62} \approx 40$ 的令人难以置信的结果。斯莫利称它

为“旗杆谱”(图 9)。质谱图上只有 C_{60} 和伴随的矮小 C_{70} 峰。

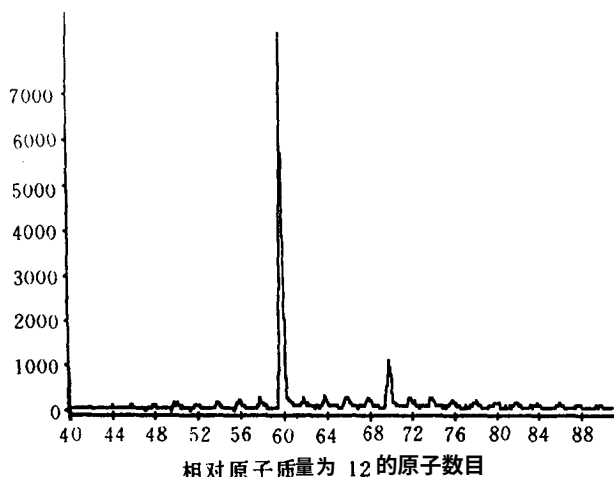


图 9 “旗杆”谱

这是 9 月 10 日星期二那天记录到的

研究组成员对令人震惊的结果展开了热烈的讨论。一周的团簇实验表明 C_{60} 特别稳定，它一旦形成，将不会再反应，也不会被氦原子轰击分裂。 C_{60} 的结构仍未能判定。斯莫利和克罗托就一周来的实验撰稿交换意见，决定将碳链与氦和氮的反应结果在《天体物理杂志》上发表。 C_{60} 旗杆谱也值得发表，但必须提出 C_{60} 的结构模型。

斯莫利去图书馆借出了介绍网格球顶建筑的图书《巴克明斯特·富勒的 Dymaxion 世界》，他们为联合罐车公司修建的球顶汽车大修厂的照片所吸引(图 10)，这张照片似乎表明六边形的网确实可以形成封闭的结构，但为什么正好是 60？从照片上看不出线索，他们讨论了一天仍无结果。