

C-60 的发现

郭奕玲

(清华大学物理系 北京 100084)

瑞典皇家科学院 1996 年 10 月 9 日宣布, 把该年度诺贝尔化学奖授予美国得克萨斯州休斯敦的莱斯大学的小柯尔教授, 英国萨塞克斯大学的克罗托教授和莱斯大学的斯莫利教授, 以表彰他们在 1985 年发现了富勒烯。

富勒烯是碳分子的一种新结构, 是继石墨、金刚石之后新发现的第三类碳的同素异构体。其中最引人注目的是碳-60 (C_{60})。它是一种球状分子, 每个分子内含 60 个碳原子, 外形酷似现代的足球, 所以也叫足球烯。研究人员则把这类分子命名为巴基敏斯特·富勒烯。烯是有机化学中泛指分子式为 C_nH_{2n} 之类的化合物。这种碳分子一旦被发现, 就马上显示出其超乎寻常的独特性能和广阔前景, 迅即发展成为一门新兴学科——富勒烯化学。这是凝聚态物理的一项新成就。十几年来许多物理学家、化学家和材料学家蜂拥于这一领域, 兴起了一股研究富勒烯科学的热潮。

巴基敏斯特·富勒本是一个人的名字, 为什么竟成了化学分子的代号呢? 这件事要从 C_{60} 的发现讲起。

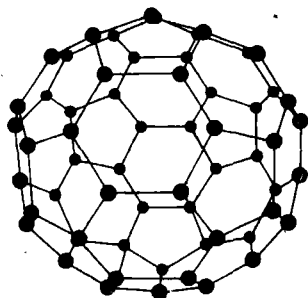


图1 C_{60} 的分子结构象足球

C_{60} 是用高功率的激光蒸发石墨, 蒸发出来的碳蒸气在惰性气体的气氛中冷凝, 形成大量

原子紧密结合的凝聚体(团簇), 然后把碳团簇束导至真空室膨胀, 并冷却到比绝对零度高几度的低温, 就可以分离出 C_{60} 。经质谱仪分析, 即可检定其成分。

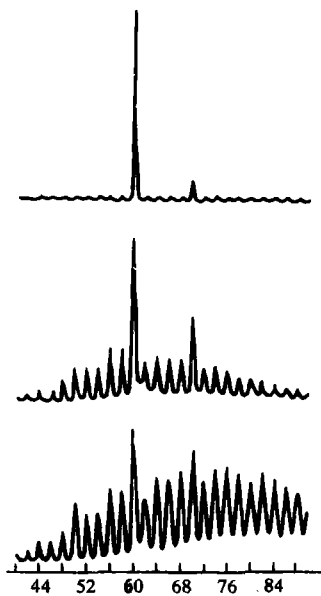


图2 碳团簇的质量谱图

人们对碳团簇发生兴趣起源于天体物理学的研究。为了研究星体的形成和灭亡, 天体物理学很早就有意识地收集宇宙尘埃。1970 年宇宙尘埃开始得到鉴别, 其后陆续发现几十种星际间环星球团簇, 基本上都是 H、C、N 的化合物。人们立刻致力于用人工方法在实验室里复制这些材料, 用了各种实验手段。可以说, 没有一种不能在实验室里复制。团簇科学是 70 年代开始的新课题, 是天文学家、化学家和物理学家, 特别是从事凝聚态物理的物理学家共同关心的课题, 到 80 年代已经发展成为一门实验和理论都趋于成熟的新兴学科。

克罗托, 1939 年生于英国剑桥郡. 1964 年在谢菲尔德大学获博士学位. 1967 年转到萨塞克斯大学, 1985 当了化学教授, 1991 年成为皇家学会研究教授. 他从 70 年代起一直从事团簇的研究. 他从射电天文学得知, 宇宙空间存在的反常红外吸收很可能与碳团簇的形成有关, 因此很希望找到一种实验方法能对碳团簇进行有效的研究. 1984 年他从英国萨塞克斯大学专程来到美国休斯敦的莱斯大学访问. 柯尔接待了他, 并介绍他参观斯莫利的实验室. 斯莫利和他的合作者正在用一台新设备研究 SiC_2 谱, 发现 SiC_2 分子有一特殊结构, 呈三角形. 引起克罗托极大兴趣的是斯莫利亲手创制的这台仪器, 这是一套用激光蒸发团簇束的设备, 巨大的真空室, 循序连接一串分析仪器, 再加上超声装置, 庞然大物, 简直象个火车头. 这是斯莫利 1976 年到莱斯大学以后建造的. 后来斯莫利曾协助埃克森公司建造过一台小型的复制品. 他回顾这台设备的作用时说: “我真无法想象, 假如没有它, 我们怎样能够发现 C_{60} ”.

这台设备并非专门为研究碳而设计, 斯莫利说: “我可以做周期表上任何元素的工作, 研究几十个到几百个原子组成的团簇的化学和物理特性.” 与碳有关的研究实际上是 1984 年在埃克森公司才开始的.

斯莫利产生激光蒸发团簇束的设备启发了克罗托和柯尔, 他们想到用这台设备来制备长链碳分子. 克罗托回忆道: “最使我激动的是, 出现了一种思想, 把碳放在激光的聚焦处, 就有可能激发出碳-星气氛, 并产生出长链.” 但是, 柯尔和斯莫利正在用这台设备研究硅和锗的团簇, 必须等 17 个月才能轮到碳的试验. 三个人一商议, 都觉得是一个好课题, 值得一试. 于是相约来年再聚专门进行此项研究. 在这之前, 请斯莫利调整仪器, 做好准备.

1985 年 9 月 1 日, 这是一个星期天, 克罗托再次访问莱斯, 就在斯莫利的实验室里开始了实验. 斯莫利的研究生海斯和奥布赖恩协助克罗托工作, 柯尔和斯莫利也常过问实验的进程.

这 11 天在休斯敦的合作研究得到了重大

成果. 他们在质量分析谱仪记录的质量曲线中看到了清晰的尖峰, 峰值的质量数是 720. 这正好相当于 60 个碳原子, 说明有包含 60 个碳原子的稳定分子存在. 对于这突然出现的新结果, 实验小组展开了热烈的讨论. 他们知道一年前埃克森公司的罗尔芬也曾用超声法得到碳团簇, 并解释其为线性链状簇, 并没有作出存在 60 个碳原子的团簇的结论. 在 9 月 6 日的会议上, 柯尔建议必须找到合适的工艺条件, 以保证 60 个碳原子的峰更为突出. 在柯尔的建议下, 大家齐心协力, 反复调整超声喷嘴里吹出的压力, 细心控制簇与簇间相互碰撞的空间, 使分子束更接近热平衡状态, 这样就有可能更容易产生 C_{60} . 最后, 他们得到了如图 2 的质量谱, 其中第一个较强的峰相当于 $\text{C}-60$, 第二个较弱的峰, 相当于 $\text{C}-70$.

克罗托、柯尔和斯莫利都是对分子的振动-转动动力学有很高造诣的科学家, 他们一致认为, 这样的分子结构, 其状态如此之稳定, 不可能是链状结构, 一定是球状结构. 然而是什么样的球状呢? 60 个完全相同的原子怎样才能搭成形状稳定的分子? 大家为此想了很长时间, 有的用硬纸板, 有的用橡皮泥球, 用手工做成各种形状, 条件是要使 60 个同样的原子对称地分布在球体表面上. 这时克罗托突然想起了 1967 年在蒙特利尔的万国博览会上, 按美国设计师巴基敏斯特·富勒的设计建造的圆穹顶形建筑, 正是用许多六边形和五边形搭接而成. 斯莫利曾为此询问该校数学系系主任, 是否熟悉这种结构. 那位数学教授笑着回答说: “这就是你家孩子玩的足球!” 当斯莫利告诉克罗托这一有趣的事情时, 克罗托表示怀疑: 克罗托是欧洲人, 的确没有见过六边形和五边形搭接的足球, 只好表示歉意, 说: “我多年前玩过的足球不是这个样子, 要比这个简单.” 后来, 斯莫利对人们说: “我们确曾打算把新发现的碳团簇称为足球烯”. 但是最后还是决定正式取名为巴基敏斯特·富勒烯. 克罗托说: “这名字非常长, 但我们觉得更为恰当”.

判定 C_{60} 的分子结构经历了很长的过程.

怎样的球形结构才是最稳定的,其顶点数目正好又是60?他们在图书馆里查阅了巴基敏斯特·富勒建筑的书籍;从数学上进行论证;按各种方案做模型。最后判定,只有20个六边形面和12个五边形面搭接成“平截二十面体的笼子”,才是最稳定的结构。当克罗托要返回英国的那天早晨,他被告知,用硬纸板成功地做出了这样的模型。

也许有人会问:“这种靠猜想提出的结构是否可信?”应该说,这不只是一个猜想,而是一个有充分根据的科学假说。首先,实验得出了 C_{60} 的质量谱,证实60是碳团簇的幻数之一。(幻数是从核物理学借用来的一个术语,表示稳定状态的参数)。再有,数学上早就有所谓的欧拉定律,说的是 n 边的多面体,当 $n > 22$ 的偶数时,至少有一种多面体可由12个五边形和 $(n - 20) / 2$ 个六边形构成。也就是说,用12个五边形和若干个六边形总可以构成一个多面体。当然,对于 n 大的结构可以有多种不同的封闭结构,但是 C_{60} 的分子模型如果选择球形,就可以得到非常漂亮的对称性。对称性意味着稳定。所以,克罗托等人首选球形作为 C_{60} 的分子模型说明他们抓住了问题的关键。

接着他们分析,既然 C_{60} 的球形分子笼是有20个六边形做成的密封笼,应该具有二十面体的对称性。这样一来,用核磁共振方法进行实验,其化学位移应该只有单线结构。1985年用斯莫利的设备无法收集到足够的样品,不可能进行核磁共振实验。直到1990年,德国海德堡马克斯·普朗克研究所的克里斯曼和美国亚利桑那大学的霍夫曼改进了 C_{60} 的制备方法,他们通过在氦气氛中蒸发石墨的方法成功地从石墨烟灰中分离出 C_{60} ,得到了100毫克的固体 C_{60} 。用核磁共振方法果然作出了 C_{60} 的单线化学位移结构,证明 C_{60} 分子正是球形的密封笼结构。用红外光谱、X射线衍射以及扫描隧道显微镜等分析方法也得到同样的结论。从这以后,富勒烯才得到科学界的重视,成为物理学家、化学家、生物学家和材料科学家竞显身手的场所。有人评论说:众多的科学明星,现在都来

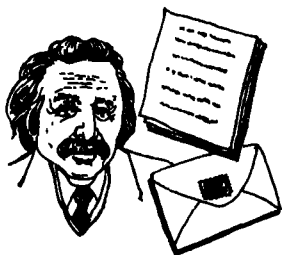
到了足球场上比高低。进入90年代, C_{60} 奇特的物理和化学特性得到了充分揭示,以 C_{60} 为核心的各种碳团簇形成了一门蓬勃发展的交叉学科——富勒烯科学。它有诱人的广阔应用前景。

回顾这段发现 C_{60} 的简短历史,有什么值得人们借鉴呢?

1. 首先科学家之间的交流和协助非常重要。三位诺贝尔化学奖获得者当然都是功底很深的科学家,他们各有自身的优势,熟悉国际动态,处于科学前沿并且有所领先,然而,如果没有及时的交流和密切的合作, C_{60} 的发现就不会象上面介绍的样子,也许要曲折得多。在这三位科学家中,应该说,斯莫利的贡献更大些。如果不是他坚持不懈地开放激光蒸发团簇束的设备,就根本不可能产生特殊结构的碳团簇。可是他却没有想到用这台特殊的设备去研究碳团簇。而克罗托从天文物理学的新课题出发,致力于探讨碳团簇,主动地上门求教,当访问学者,成了作出新发现的核心人物。而这项跨国国际跨学科的协助又是在学术带头人柯尔的支持和组织下进行的,参加这项工作的还有几位研究生。所以,整个工作就象是一台交响乐的演奏,缺少那一环都不行。这也许正是现代科学的特征。当然,交流和协作贵在及时,缺少这一点,机遇也是难以抓住的。

2. 说到机遇,举两个例子作些对比。霍夫曼和克里斯曼早在1972年就在石墨电极放电过程中注意到有烟灰产生。后来又发现了所谓骆驼灰效应,并且肯定它是由某种不明物引起的。直到1985年柯尔等人发现 C_{60} 后,他们才认识到并用实验证实这一不明物正是 C_{60} 。应该说,霍夫曼和克里斯曼是 C_{60} 最早的“发现者”。遗憾的是,他们错过了机遇。不过,他们对富勒烯科学的贡献也是卓著的,因为他们抓住了第二个机遇,及时地运用已有的经验,解决了从烟灰中提取 C_{60} 的重要课题。由于他们的工作,才唤起人们对 C_{60} 的重视。

另一个事例是埃克森公司的研究小组。他们在1984年就用斯莫利帮助建造的超声法制备碳簇束装置,作出了碳簇束的质量谱,只是没



爱因斯坦发表引力透镜文章的经过

王 鑫

(湖南大学物理系 长沙 410082)

1936年,爱因斯坦在美国《科学》杂志上发表了题为“由于光在引力场中的偏折而使得星球的作用类似透镜”的短文.这篇短文现被认为是引力透镜领域的开山之作.60余年来,很少有人知道爱因斯坦发表那篇短文的原因.几位德国史学工作者,从以色列的爱因斯坦档案馆中,找到并研究了当年爱因斯坦计算有关引力透镜现象的草稿,弄清楚了爱因斯坦发表那篇短文的经过.之后,在英国《自然》杂志1997年1月号上发表了他们的研究成果,原来其中还有一则饶有兴味的小故事.

早在1912年,爱因斯坦就完成了全部计算,但由于他认为“没有多少机会观察到这一现象”而没有发表它.直到1936年,一位捷克工程师兼业余科学家,Rudi W·Mandl设法弄到了一小笔钱,去美国的普林斯顿拜访了爱因斯坦,面请他考虑由于引力的作用星球对光线的类透镜作用.爱因斯坦这才又重新作了他1912年已经做过的计算并将结果写成短文寄给了《科学》

杂志.同时还给该杂志主编去了一封信,信中说:“让我为您能合作发表这件小东西而感谢您,这是Mandl先生极力要求我发表的.它没有什么价值,但能使这个可怜的年轻人高兴”.事实上,由于观测技术的进步,引力透镜现象在1979年已被观测到并已成为天体物理研究中的一个重要领域.

从上面的故事我们可以体会出一些物理学大师的研究风格.他们对自己研究成果价值的判断,常在于它能不能解决具体而实际的物理问题.在这方面,还有一个泡利和中微子的事.当泡利提出中微子思想后,他并没有为拯救了原子核 β 衰变时的能量与动量守恒定律而高兴.他反而向人提起过他为提出这一思想而懊悔,因为他觉得中微子与物体相互作用的可能性极小,没有观测上的意义.后来,科技水平的发展终于找到了中微子.现在,中微子物理已成为核物理、高能物理及天体物理中的不可缺少的研究内容.

有注意到 C_{60} 和 C_{70} 峰.在论文中,他们错误地用线性链性簇解释新的质量谱.他们也许在实验技术上还不够成熟,但更重要的是理论上的失误,他们缺乏必要的想象力和科学的预见性.

3. 想象力是科学家创造活动的重要因素.科学探索的对象是未知的物质世界.浩浩天体、微微粒子,看不见摸不着,无法直接感知,只有通过仪器获取信息.信息越全面,探索对象给人的印象就越深入.这时科学家要把各种信息搭接起来,没有想象力是很难前进的.举一个分子生物学重大发现的例子.当克利克和沃森在建造DNA(脱氧核糖核酸)双螺旋结构模型时,就是根据已知的实验事实,综合各方面的

研究成果,反复推敲并用硬纸析搭建而成的.显然在他们成功的经验中,想象力是不可缺少的重要因素.

富勒烯的发现说明,现代科技的突破口往往出现在学科的交叉点上. C_{60} 的发现不仅是化学和材料科学的新进展,也是凝聚态物理学的重大成果.对于化学和材料科学来说,富勒烯展现的是一个崭新的领域,而对于物理学来说,它只不过是其中的一个部门(凝聚态物理)里面的一个分支(团簇物理)所得到的一项成果.然而,虽然是一个小分支的成果,却有可能引起科学技术上的重大变革.这一点正好说明了物理学在科学技术中的基础地位.