

## 一种新型的动态晶体

(北京大学 朱星 编译自 Philip Ball. *Physics*, January 8, 2016)

通常我们描述晶体结构是用其基本单元处于静态时的对称性。最近，理论工作者定义了一种新型晶体，其对称性不再用物体处于静态时的对称性，而是用基本单元周期运动的相互关系描述，如同一组卫星围绕中心的运动。

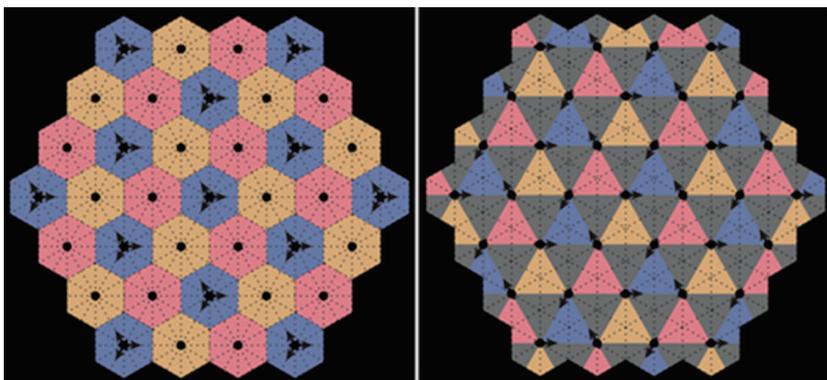


图1 纯数学方式描述的新型晶体舞动图。在这类二维舞动晶体中，颗粒的原始状态是排列成三角点阵，箭头表示颗粒运动的方向，它们会沿着直线从蓝色区域运动到黄色，然后到粉色区域。具有最高舞动指数 $\chi$ 的构型中，旋转和反射的对称操作(与时间的演进相结合)最多(左图 $\chi=12$ )，由此保持整体构型不变。右图是下一个最高舞动指数 $\chi=6$ 的构型

通常，晶体是用静止单元的有序阵列定义的，如由原子或者分子周期排列构成晶体。然而，最近研究人员提出一类新的晶体，其有序度来自于基本单元和谐的周期运动，如同在轨道上运行的人造卫星。研究组将这种体系称作“舞动晶体”(choreographic crystals)，并且发展了一种规范理论来描述并对其分类。

加拿大滑铁卢理论物理所的Latham Boyle说，他开始考虑这个问题是源自思考探测引力波的空间观测站方案。那个观测站准备使用3个太阳轨道卫星，这些卫星被限制在一个平面中运行。Boyle意识到，如果采用4个卫星，由于它们不需要位于同一平面，或许能够探测更丰富的引力波信号。

尽管并没有人准备建造这样的

系统，Boyle仍思考，如果4个卫星轨道构成一种对称的方式，那么从所有卫星的运动记录图像看起来是等同的。他的团队正在用数学方法描述这种四卫星运动模式。每个卫星围绕相同的中心点做圆周运动，并且这些轨道与一个正四面体的其中一个面平行。Boyle说，这种轨道集合显然是一种非常特殊而且非常美丽的数学物体，它的诱人之处是这个轨道集合构成了一种动态的正四面体。

研究人员运用对称操作理论，生成了四卫星的运动轨迹，并且分析由任意数目卫星成群运动所允许的构型。他们定义了一个称为“舞动指数(choreography)”的量 $\chi$ 来描述对称数目，这种对称可通过周期运动粒子获得。例如，想象两个滑冰者在一个正方形溜冰场沿南—

北、东—西方向通过中心滑行，当达到墙壁时他们重复性返回。如果滑冰者具有不同相位(即一人到达边缘，而另外一人通过中心)，与他们同步(同相位)运动(即两人同时通过中心)相比，他们具有最高的舞动指数。在第一种情况时，这种运动记录了正方形的全部对称性，这是由于旋转和反射组成的相同集合，加上时间演进会使整个体系保持不变。而在第二种情况中，对称性会下降。Boyle表示，一般来说可以有大量的舞动型晶体，而仅有少数具有很高的舞动指数。

Boyle希望舞动型晶体会与许多数学问题相关联，正如遵从标准的晶体学理论的稳态点阵已经得到多方面应用，从纯数论到计算数学中的纠错。研究者表示，他们并不清楚在自然界中是否存在这种晶体，尽管他们猜测原子核，或者电子在固体中的运动会具备这种舞动

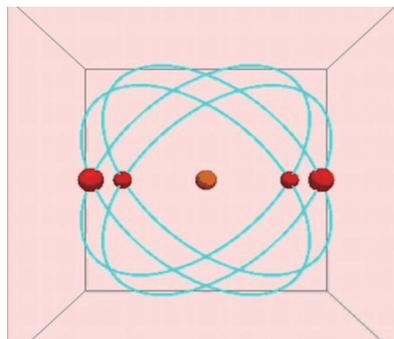


图2 四卫星围绕太阳旋转，这是具有最高舞动对称性( $\chi=12$ )的构型

特性。如果这样，或许可以使用与晶体学中类似的衍射法来探测舞动性——这种晶体的衍射花样或许能揭示舞动型晶体与众不同的特点。人们也许能够制造舞动型晶体，比如在电磁势阱中用强光场捕获原子

或其他小颗粒。

戴维斯加州大学(UCSD)的复杂动力学专家James Crutchfield说，这是一项将群论与周期性动力学巧妙组合的工作。他希望在不太规则的“晶体”中看到这种舞动

晶体的推广，比如舞动型准晶。Boyle课题组实际上正在从事这方面研究。

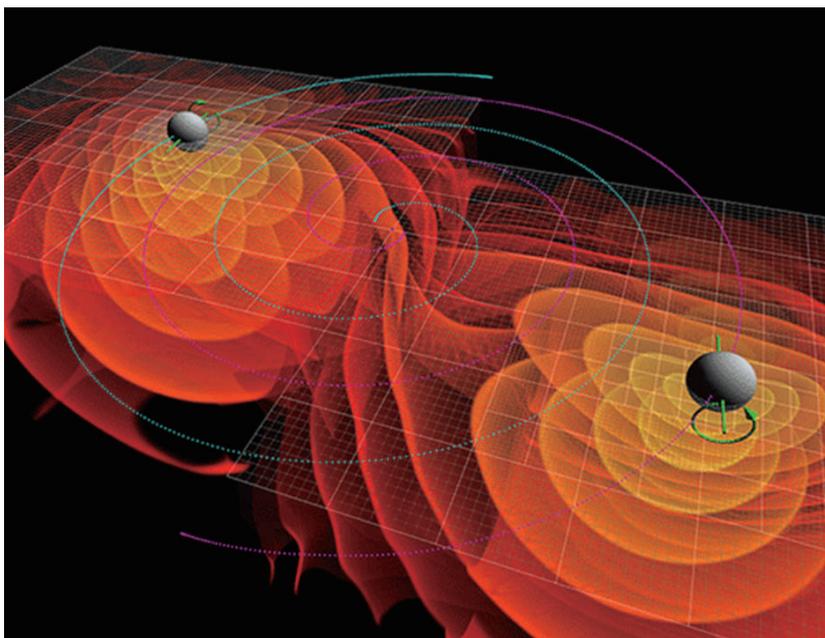
更多内容详见：Latham Boyle, Jun Yong Khoo, Kendrick Smith. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, 116: 015503。

## 首次测到引力波

(北京大学 徐仁新 编译自 Emanuele Berti. *Physics*, February 11, 2016)

100年前爱因斯坦广义相对论预言引力波。它可形象地看作弯曲时空中的涟漪；天体物理过程越激烈，引力波辐射越强。当引力波传播时，时空将在垂直于传播方向挤压和拉伸。一般要发现这种极其微小的变化是非常困难的。LIGO干涉仪臂长4 km；2015年升级改造后非常灵敏，能够检测到比原子核尺寸小得多的臂长变化。通过分析LIGO记录到的数据，美国和欧洲的科学家们推断：已经成功探测到两个黑洞合并产生的引力波。这一对黑洞距地球约13亿光年；合并前约为太阳质量的36和29倍，并合后形成一个约62倍太阳质量黑洞。

几十年前人们还在激辩能否真实地探测到引力波。1957年理论物理学家Felix Pirani指出，存在引力波时近邻颗粒会相对加速，从而提供一种测量引力波的可行途径。遗憾的是，Pirani于2015年12月31日去世。上世纪70年代初，时任MIT的年轻教授Rainer Weiss在备课时注意到Pirani给出的引力波测量方案，并提出一个更新版本：用迈克尔逊干涉仪测量相位。这最终导致后来的LIGO项目；当然，包括



数值模拟展示两个黑洞互相螺旋绕转和并合、释放引力波。每个黑洞周围的彩色轮廓表示引力波振幅，蓝色和紫色线条分别是两个黑洞的运动轨迹，绿色小箭头代表黑洞自旋方向

Ronald Drever和Kip Thorne等在内的学者也做出关键贡献。2015年9月14日，LIGO升级后运行的头两天，研究人员就发现了显著的引力波信号，持续约0.2 s。

成功探测引力波打开了人类认识宇宙的新窗口，进入“多信使天文学”时代。传统上人们通过接受电磁波和中微子提供的信息来研究

天体物理过程。未来引力波带来的信息将丰富我们对宇观现象的认识：双黑洞合并引力波有助于检验黑洞物理和天体物理模型，而测得中子星—黑洞并合时释放的引力波可揭示核物质密度以上物质的状态。

更多内容详见：B. P. Abbott et al. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, 116: 061102。