

复杂系统研究先锋荣获诺贝尔奖

(浙江大学 曹龙 编译自 Michael Banks, Hamish Johnston. *Physics World*, 2021, (11): 8)

2021年诺贝尔物理学奖授予真锅淑郎(Syukuro Manabe)、克劳斯·哈塞尔曼(Klaus Hasselmann)和乔治·帕里西(Giorgio Parisi),以表彰他们在复杂系统中的无序性和波动性研究中做出的贡献。奖金为1千万瑞典克朗(约110万美元)。奖金的一半授予 Parisi,一半由 Manabe 和 Hasselmann 分享。诺贝尔物理学奖委员会表彰 Parisi “因为发现了从原子到行星尺度的物理系统中无序和波动的相互作用”;表彰 Manabe 和 Hasselmann “通过构建模拟地球气候的物理模式,量化气候可变性和可靠的预估全球变暖”。

虽然物理学家已经对气候进行了很长时间的研究所,但这是第一次诺贝尔奖颁给这个领域的科学家。英国皇家学会研究教授、牛津大学天气和气候可预报性研究小组的带头人 Tim Palmer 认为,诺贝尔物理学奖授予 Manabe 和 Hasselmann 是“非常值得的”,这个奖的颁发是因为气候学已经是成熟的科学,而不是作为和在格拉斯哥上个月(11月)

召开的联合国气候变化框架公约缔约方大会第26次会议(COP26)相关的一个政治宣言。

“这不是基于猜测的科学。它的不确定性和不准确性也没有那么大”。Palmer说:“气候物理学一是基于描述流体力学的纳维-斯托克斯方程;二是基于描述光子在大气中如何吸收和散射的量子力学;三是基于描述热和熵如何在大气中显现和演变的热力学。气候学是将以上三个伟大方面融为一体的科学,诺贝尔奖委员会现在认识到气候学是主流的物理学。”

受到疫情的影响,12月不会在斯德哥尔摩举行颁奖仪式。作为替代,获奖者将会在他们的国家接受诺贝尔奖章。Manabe(90岁)目前在英国的普林斯顿大学, Hasselmann (也是90岁),在位于德国汉堡的马克斯-普朗克气象研究中心(他是前主任)。Parisi (73岁),在意大利罗马大学(La Sapienza)。

诺贝尔奖宣布后,Parisi告诉记者“非常高兴获奖”。他又说到:

“我没有想到会接到电话,但是我知道有可能会获奖”。Parisi 也对 Hasselmann 和 Manabe 的工作进行了评价。他说这个世界急切地需要在气候方面做出强有力地决定。“我们现在处于正反馈和加速变暖时期,需要毫不迟疑地快速做出行动。”

关注气候

法国物理学家约瑟夫·傅里叶是最早研究我们星球气候的科学家之一。他在19世纪初研究了太阳入射的可见光辐射和地球发射的红外辐射之间的能量平衡。他注意到大气在这个能量平衡中起着重要的作用。大气起到保温的作用,就是现在所谓的温室效应。这个保温作用对于地球上的生命至关重要。

大气中最重要的温室气体是水汽,其在大气中的含量很大程度上取决于温度。这导致了一个反馈机制:更多的二氧化碳排放将吸收更多的辐射,使大气变暖;这反过来又会使空气中的水汽含量增多,从而导致气温的进一步升高。

19世纪末,瑞典物理学家 Svante Arrhenius 做出了一项著名的推导工作,如果大气中的二氧化碳浓度增加1倍,地球表面温度将增加5—6℃。虽然 Arrhenius 的研究考虑了辐射平衡,但是 Manabe 是第一个建立了考虑大气对流和水汽相变潜热物理模式的科学家。在1967年的一篇开创性文章中,他和美国气象学家 Richard Wetherald 得出结论,如果大气中的二氧化碳浓度加倍,低



控制复杂性。从左至右:气候物理学家 Syukuro Manabe 和 Klaus Hasselmann 与凝聚态理论学家 Giorgio Parisi。他们由于对复杂系统的无序和波动的研究而获奖

层大气将增暖约 2°C 。

1975年，Manabe和Wetherald建立了一个更加贴近实际的3维气候模式，本质上是天气预测模式的一个分支。在这个模式中，他们求解描述全球热量、质量、动量和辐射的完整方程组。发现把二氧化碳浓度从百万分之三百增加到百万分之六百时，全球平均地表温度将增加 2.36°C 。

“怎么强调Manabe工作的重要性都不过分”。Palmer说。“对于气候变化怀疑论者来说，他们不能理解的是这些模式不仅仅预测地球会升温，还会预测平流层会变冷，而所有这些事情都发生了。”

在Manabe工作大约十年后，Hasselmann将气候和天气关联，这是一个棘手的问题，因为天气是一个混沌系统。因此相关方程组是非线性的，微小的初值扰动会使天气系统以完全不同的形式演变。不过，Hasselmann揭示了如何将混沌变化

的天气系统描述为快速变化的噪音。

他建立了一个随机模型，将天气和气候联系起来，揭示了在数天尺度上快速变化的大气可以导致在数年尺度上海洋的缓慢变化。Hasselmann还发展了在气候数据中识别自然现象信号和人类活动信号(或指纹)的技术。这些方法已被用来证明大气温度的升高是人为排放二氧化碳的结果。

关于自旋

Parisi的工作是有关另一个复杂系统——无序系统中的自旋。在一个普通的磁体里，比如铁磁体，所有的自旋指向同一个方向。但是，有一种“自旋玻璃”是由分散在铜晶格上的磁性铁原子组成，由于每一个铁原子的自旋都在原子间随机变化，杂乱无章，这种自旋称为“阻挫”的自旋，因为在它们的磁性相互作用中存在竞争。比如说，如果一个自旋方向朝下，可能会使它

与某个相邻自旋的相互作用能降低，但是对于其他相邻自旋来说，它可能只有自旋朝上才能使相互作用能降低，但是自旋只能朝向一个方向，把这种对自旋的制约称为“阻挫”。没有一个简单自发的自旋构型可以达到最低的能量，所以难以确定自旋玻璃的基态。

Parisi在20世纪70年代早期开始研究固体中的相变。当时他热衷于把场论技术从高能物理应用到凝聚态系统。尤其，他想预测在所有竞争相互作用关系已知的情况下一个自旋玻璃系统的构型。虽然很难计算自旋的单一随机构型，但一些研究者已经尝试使用一种称为“复本理论”的数学方法。在这种方法中，系统中的多个复本被同时处理。

经历了多次的挑战，Parisi终于在1979年取得了突破。他揭示了在复本中有“隐藏的结构”。实际上，它成为了一种在看似有无限多种可能自旋方向上进行分类或者进行结构假设的方法。这个技术使得Parisi对所谓的Sherrington—Kirkpatrick模型(一种远程相互作用的铁磁和反铁磁耦合的伊辛模型)提供了精确解。

来自加利福尼亚大学圣克鲁兹分校的凝聚态物理学家Peter Young也从事自旋玻璃的研究。他称Parisi的工作是一个“杰作”。他说：“这个求解有丰富的内涵。我认为任何人事先都没有预见到。这个求解在过去40年影响了大部分发表的有关自旋玻璃的论文。”他接着说，颁发给Parisi的奖是“实至名归”的。事实上，Parisi的复本对称方法已经在包括数学、生物、神经科学和机器学习等其他领域得到应用。

诺贝尔奖获得者的职业生涯

Giorgio Parisi 1948年出生于意大利罗马，1970年从罗马大学(La Sapienza University)毕业，取得高能物理博士学位，导师为Nicola Cabibbo。Parisi之后在位于罗马郊区的意大利国家实验室(Laboratori Nazionali di Frascati)工作，从事正负电子碰撞的理论研究。自1981年起，Parisi在罗马第二大学(University of Rome Tor Vergata)工作。1992年回到了罗马大学。

Syukuro Manabe 1931年出生于日本的新宫市(Shingu)，1958年在东京大学获得博士学位，之后在美国气象局工作直到1997年。然后他回到日本，在全球变化前沿研究系统中心工作，担任全球变暖研究中心主任。他于2002年回到美国普林斯顿大学，担任资深气象学家。

Klaus Hasselmann 1931年出生于德国汉堡，1957年在哥廷根大学获得物理博士学位，之后在汉堡大学的海军建筑学院工作直到1961年。然后在美国的斯克里斯普斯海洋学研究所(Scripps Institution of Oceanography)工作。1964年，他回到了汉堡大学。从1975年开始，担任位于汉堡的马克斯-普朗克气象研究所主任，直到1999年退休。