

机不离手

靠的是这条100岁物理方程

文 冯俊源

手机屏幕亮起，色彩与影像跃然眼前。看似寻常的光影流转，背后却藏着一条百年前的科学方程。2026年是薛定谔方程诞生100周年。它曾帮助科学家探寻电子、能级与光谱的奥秘，如今更深刻影响着材料科学、半导体和芯片研究。

清晨，手机屏幕亮起，手指轻触几下，文字、声音和影像便来到眼前。这一幕早已司空见惯，我们却很少追问：芯片里的电子如何移动，显示材料为何呈现出特定颜色？这些现象，都离不开科学家对微观尺度上物质世界的理解。而支撑这些研究的重要工具之一，正是今年已有100岁的薛定谔方程。

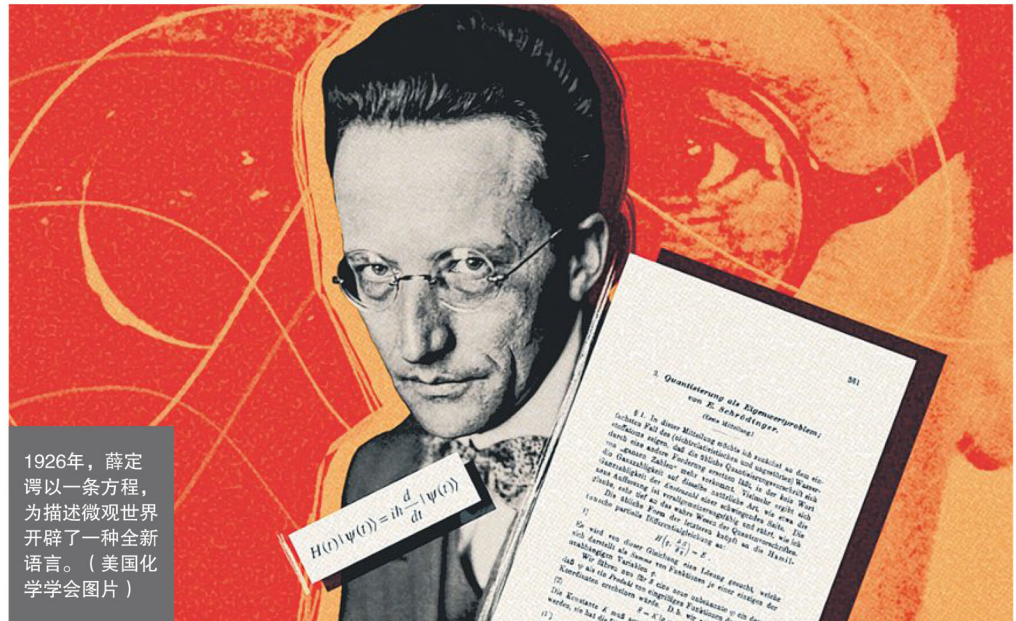
早在量子力学出现之前，经典物理学已经能从光谱、散射和电磁现象观察原子的踪迹。难题在于，熟悉的力学规律在许多测量结果面前显得捉襟见肘。原子为什么只吸收或放出某些颜色的光？电子为什么没有不断失去能量，最后跌进原子核？科学家看见了证据，却缺少一套连贯的语言来进行解释。

连接电子状态与明暗线的桥梁

法国物理学家路易·德布罗意（Louis de Broglie）提出，粒子也具有波动性质。为了把这一想法写成一套能够描述物质波的理论，奥地利物理学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger）在瑞士山中短假期间发展出波动力学（wave mechanics），并于1926年1月27日提交首篇论文。七年后，他与英国物理学家保罗·狄拉克（Paul Dirac）共同获得诺贝尔物理学奖。

要理解薛定谔方程的厉害之处，可以先想象一根琴弦。两端固定的琴弦不能以任何形状稳定振动。只有波峰与波谷恰好在弦中排列妥当，振动才能维持，并发出相应的音符。不同振动模式，有各自的频率。

原子也有类似的“允许模式”。把电子受到的作用和周围条件放进方程，只有某些解能够成立，每个解对应一个特定状态和能量。这些分立的



1926年，薛定谔以一条方程，为描述微观世界开辟了一种全新语言。（美国化学学会图片）

能量称为能级（energy level）。琴弦只是帮助我们理解筛选过程，电子并非一根缩小的弦，也不会沿着波形轨道飞行。

当电子状态改变，原子会吸收或放出一份特定能量的光子（photon）。由于两个能级之间的差距固定，产生的光也只有某些颜色。把这些光分开来看，便会得到一列列明暗线条。不同元素的光谱线排列各异。薛定谔方程让科学家能够从原子结构计算它们可能出现的位置，也能按图索骥，由光谱反推物质的内部状态。

薛定谔方程因而像一座桥，一端接着肉眼看不见的电子状态，另一端接着实验仪器实际记录的亮线与暗线。理论和实验获得了印证。

用概率图预测电子在哪里

琴弦的比喻讲清了允许模式，却还没有回答一个问题：电子到底在哪里？方程求出的波函数（wave function）描述量子状态，但薛定谔最初并没有为它找到后来通行的解释。1926年，德国物理学家玻恩（Max Born）提出，波函数经过特定计算后，给出在某处找到粒子的概率密度（probability density）。

我们可以把它想成一张降雨概率图。颜色较深的地区较可能下雨，却没有标出下一滴雨必定落在哪一块地

砖上。同样，电子的概率图会显示哪些区域较可能测到电子，却没有画出一条像行星轨道般固定的路线。重复测量许多次，结果会逐渐显出这张概率地图的轮廓。

这幅图改变了“了解自然”的含义。科学家依然能够作出非常精确的预测，只是预测的对象不再是一个确定的结果，而是一组可能出现的结果及其概率。量子世界因此虽然显得陌生，却没有失去秩序；它遵循的是另一套可以计算，也可以用实验检验的规律。

抽丝剥茧缩小研究范围

一条方程写在纸上，不等于所有问题都有现成答案。氢原子较简单，可以得到漂亮的解；分子一旦含有许多互相作用的电子，计算量便迅速膨胀。科学家于是发展出近似方法，并借助电脑进行处理。

研究人员可以先在电脑上估算电子分布，了解化学键、分子的稳定性和材料对光的反应，再判断哪些实验值得进行。研究半导体量子阱、量子线和量子点时，他们还会数值求解薛定谔方程，计算电子可能具有的状态。随后，这些理论计算与实验发现、制造工艺和工程设计相结合，成为芯片、激光器件和显示材料发展的重要基础。

这类计算有点像在真正施工前先

薛定谔的猫

薛定谔的猫不是方程的由来。薛定谔在1935年提出这个著名的思想实验，已经是方程问世九年之后。他设想把一只猫、一个放射性原子、探测器和毒药装置关进箱子。原子若衰变，装置便会启动；若把微观粒子的叠加状态直接套到整套装置，数学描述会把猫写成“活着与死去同时存在”。薛定谔借此这个荒诞画面追问，量子规则从微观放大到日常世界时，究竟在哪里发生改变。实验从未真的拿猫做过试验。

做模型测试。结果不会替代实验，却能帮助研究人员从纷繁的组合中抽丝剥茧，缩小搜索范围，判断哪些分子结构或材料更值得尝试。方程的百年生命力，也来自一代代科学家不断发展更好的近似方法和计算工具。

今天，新加坡的国家量子战略把量子科技中心列为旗舰国家研究中心。量子电脑技术仍在发展当中，暂时不会取代我们手中的普通电脑。100年前，这条方程为解释几道光光谱线而生。经过几代人的理论、实验和工程接力，它的影响才来到我们掌中的手机。清晨亮起的屏幕，也因此与一段百年前的探索悄然相连。

作者为新加坡国立大学暨澳洲国立大学科学传播系（Science Communication）联合硕士，国大物理系学士。曾任教于新加坡科学馆，现任新加坡共和理工学院讲师。