

- [5] SEIFERLE B, VON DER WENSE L, BILOUS P V, et al. Energy of the  $^{229}\text{Th}$  nuclear clock transition[J/OL]. Nature, 2019, 573(7773): 243-246. DOI: 10.1038/s41586-019-1533-4.
- [6] SIKORSKY T, GEIST J, HENGSTLER D, et al. Measurement of the  $^{229}\text{Th}$  isomer energy with a magnetic microcalorimeter[J/OL]. Physical Review Letters, 2020, 125(14): 142503. DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.142503.
- [7] DESSOVIC P, MOHN P, JACKSON R A, et al.  $^{229}\text{Th}$  thorium-doped calcium fluoride for nuclear laser spectroscopy[J/OL]. Journal of Physics: Condensed Matter, 2014, 26(10): 105402. DOI: 10.1088/0953-8984/26/10/105402.
- [8] BEEKS K, SIKORSKY T, ROSECKER V, et al. Growth and characterization of thorium-doped calcium fluoride single crystals[J/OL]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 3897. DOI: 10.1038/s41598-023-31045-5.
- [9] KRAEMER S, MOENS J, ATHANASAKIS-KAKLAMANAKIS M, et al. Observation of the radiative decay of the  $^{229}\text{Th}$  nuclear clock isomer[J/OL]. Nature, 2023, 617(7962): 706-710. DOI: 10.1038/s41586-023-05894-z.
- [10] MASUDA T, YOSHIMI A, FUJIEDA A, et al. X-ray pumping of the  $^{229}\text{Th}$  nuclear clock isomer[J/OL]. Nature, 2019, 573(7773): 238-242. DOI: 10.1038/s41586-019-1542-3.

## 科苑快讯

# 即将改变医学和技术的微小DNA机器人

科学家正在探索基于DNA机器人,这是一种微小的分子机器,有朝一日可以在人体中导航,提供靶向治疗,甚至构建纳米级技术。

科学家正在将携带遗传信息的DNA分子,转化为微型机器人的建筑材料。他们被设计为在分子尺度上运行,其长期目标是在血液中移动,瞄准癌症等病变细胞,并精准地输送药物。研究人员还认为DNA机器人最终可以帮助构建极小的数据存储系统和计算设备。

通过将我们熟悉的大规模机器人技术应用到纳米尺度,科学家开始创造出能够更可靠地执行特定任务的分子装置。一些机器人依靠刚性关节来保持稳定,而另一些则使用受折纸启发的柔性部件或折叠结构。

为了一个由不断的分子碰撞主导的微观世界中可靠地移动和响应,统计人员开发了化学和物理相结合的控制方法,如DNA链移位这类生物化学技术,以及外部触发因素,包括电场、磁场和光。

DNA链移位为科学家提供了一种为机器本身编程的方法。通过设计“燃料”和“结构”DNA链以精确的顺序相互作用,研究人员可以非常准确地触发运动或形状变化。实际上,机器人可以通过编码来执行分子指令。

医疗潜力是该领域最大的吸引力之一,DNA机器人可能会像“纳米外科医生”一样,在体内找到特定的细胞,并直接向它们提供治疗。理论上,这种精确度可以使治疗更有效,同时减少对健康组织的伤害。

在原子制造中,DNA机器人可以作为可编程模板,以亚纳米精度( $<10^{-5}$ 毫米)定位纳米颗粒。这可以帮助科学家创造分子计算机和光学设备,这些设备的性能比目前的制造方法更容易实现。

尽管取得了进展,但主要障碍依然存在。布朗运动使得精确控制变得困难,目前许多DNA机器人仍然是静态、孤立的系统,功能有限。该领域还缺乏强大的支持基础设施,包括DNA机械特性的详细数据库和可以准确预测这些机器行为的模拟工具。

标准化的DNA“零件库”、人工智能辅助设计模拟和改进的生物制造方法,是使DNA机器人更有能力和可扩展性的关键步骤。

研究人员说,未来的机器人将不仅由金属和塑料制成的,而将是生物的、可编程的和智能的,他们将成为我们最终掌握分子世界的工具。

(高凌云编译自2026年3月22日SciTechDaily网站)