

# 量子脑波

(中国科学院生物物理研究所 王帆 摘译自 Hamish Johnston. *Physics World*, 2024, (11): 35)

DOI: 10.7693/wl20250107 CSTR: 32040.14.wl20250107

神经信号使我们能够思考、感受和形成记忆，绘制大脑中的这些信号可以用来研究认知发展和疾病。

尽管 Margot Taylor 不是物理学家或工程师，但在职业生涯的大部分时间里，她研究电路设计。作为加拿大多伦多儿童医院功能神经影像学的主任，Taylor 致力于研究地球上最复杂的电化学装置——人脑。

Taylor 使用包括磁共振成像 (MRI) 在内的各种脑成像技术来

了解儿童的认知发展。她当前的一个项目使用一种新颖的量子传感技术来绘制大脑的电活动。光泵磁力计脑磁图 (OPM-MEG) 是一种可穿戴技术，它利用量子自旋来定位来自大脑不同区域的电信号。

*Physics World* 的 Hamish Johnston 编辑采访了 Taylor，以了解为什么 OPM-MEG 可能是进行儿童研究的突破性技术，以及如何使用它来理解自闭症患者和非自闭症患者之间的差异。

什么是脑磁图，它在医学中如何使用？

脑磁图 (MEG) 是评估大脑功能的最灵敏的非侵入性手段。具体来说，这种技术为我们提供了关于大脑电活动的信息。虽然它不能提示大脑的解剖学结构信息，但我感兴趣的疾病是大脑功能障碍，而不是大脑结构异常。虽然还有一些其他的技术，但 MEG 为我们提供了惊人的时间和空间分辨率，使其非常有价值。

## 光泵磁力计脑磁图

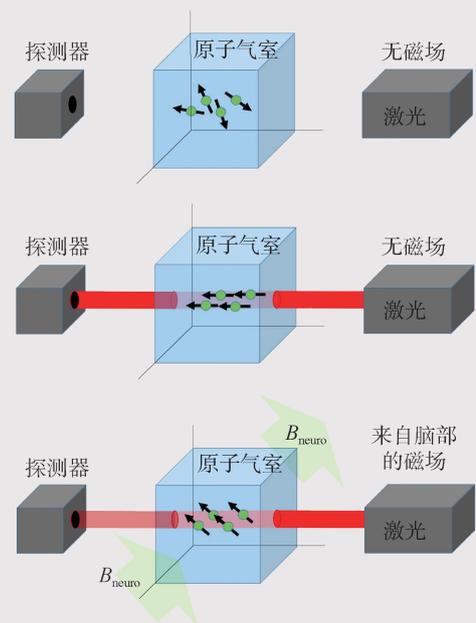
像任何电流一样，大脑中的神经元传递的信号会产生磁场。脑磁图 (MEG) 是一种能够检测这些信号并定位它们在大脑中位置的成像技术。MEG 已被用于辅助治疗癫痫的脑外科手术，也正在被开发为诊断包括精神分裂症和阿尔兹海默症等疾病的工具。

传统上，MEG 使用对极弱磁场非常敏感的超导量子干涉设备 (SQUID)，然而，SQUID 必须进行低温冷却，这使得该设备笨重且不便于移动。使用光泵磁力计的脑磁图 (OPM-MEG) 是一种新兴技术，它可以在常温下工作。光泵磁力计是小型量子设备，可以集成到头盔中，这是用于儿童脑成像的一大优势。

OPM 设备的关键组件是碱金属原子气室 (通常是铷)、激光器和光电探测器。最初，原子的自旋随机指向 (图中第一行)，但正确频率的偏振激光会将自旋沿光的方向排列 (图中第二行)。当原子处于这种状态时，它们对激光是透明的，因此到达光电探测器的信号最大。

然而，当存在磁场 (例如来自脑波) 变化的情况下，原子的自旋受到扰动，不再与激光对齐 (图中第三行)。此时，原子吸收了一些激光，从而减少了到达光电探测器的信号强度。

在 OPM-MEG 中，这些探测器被放置在患者头部周围并集成到头盔中。通过测量设备发出的信号并将其与解剖学结构像和计算机建模结合起来，可以确定信号来自大脑的哪个位置。这可以用来理解不同大脑区域的电活动如何与发育、脑部疾病和神经多样性相关联。



看到曙光。光泵磁力计 (OPM) 工作原理的示意图



一种量子磁探测器被用于构建一种穿戴式的脑成像设备，通过探测神经电活动产生的极弱磁场，OPM-MEG可以对脑功能活动进行成像。这种头盔式的探测器系统相比其他脑成像方法具有更小的尺寸和更大的头部可移动性



更好的适配性。Margot Taylor和她的团队正在使用不同大小的量子脑磁图头盔以适配从成人(紫色)直到1岁儿童(绿色)

所以您是在测量电信号。这是否意味着大脑本质上是一个电装置？

确实，大脑是极其复杂的电装置。从技术上讲，它是电化学的，但我们测量的是大脑内电化学反应产生的电信号。

当您进行MEG测量时，如何知道这些信号来自哪里？

我们通常也会获取一份解剖学MRI图像，依托高性能的溯源定位方法，可以准确地定位大脑中不同信号的来源位置。还可以获得有关这些信号之间如何连接、不同大脑区域之间的相互作用以及这些相互作用的时间信息。

为什么利用量子MEG使得对儿童进行脑扫描更容易？

这种量子技术称为光泵磁力计(OPM)，它是一种可穿戴系统，传感器安装在头盔中，穿戴式意味着进行测量时允许头盔随着孩子的动作而移动，从而能够记录婴幼儿的大脑信号，因此他们可以自由活动或坐在父母的膝上，而不需要保持头部静止。传统的MEG使用超低温技术，并且通常是适配“单一尺寸”的成年男性头部大小，儿童扫描时头部会远离传感器。OPM的头盔可以根据头的大小进行调整，我们有从大到小的各种尺寸的头盔。这在记录儿童脑信号方面是一项重大突破。

您能告诉我们更多关于您在多伦多儿童医院使用英国Cerca Magnetics的量子MEG系统进行的这项研究吗？

我们正在研究自闭症儿童和非自闭症儿童的早期大脑功能。自闭症通常在三岁或更大的年龄才能被确诊。如果能够更早地诊断出自闭症，就可以更早开始干预。通过研究自闭症儿童、非自闭症儿童以及高度可能性患有自闭症的儿童，我们尝试通过脑磁信息预测他们是否将来会被诊断为自闭症。

在自闭症和非自闭症人群，或者那些很有可能发展为自闭症的人群之间，使用量子MEG测量的反应有什么不同？

我们还没有这些数据，因为目前正在研究中，需要等到一年左右，届时被试群体长大了，看他们是否会被诊断为自闭症。对于已经确诊为自闭症的孩子，他们的反应似乎是异于常人的，我们还在分析这些数据并寻找标记物，目前只测试了32名自闭症儿童，在研究结果发表之前会收集更多的数据。

您基于这些数据有任何初步结果或已发表的论文吗？

我们仍在分析数据。在非自闭症儿童队列中，我们看到了极好的与年龄相关的变化。因为以前没有人能够进行这些研究，所以必须先建立非自闭症儿童的基础数据集，然后才能将其与自闭症儿童或具有高度可能性成为自闭症的儿童进行比较。这些数据很快将会发表。

您现在用量子MEG系统还在做其他研究吗？

使用OPM系统，我们也在开展一些关于癫痫儿童的研究。希望将OPM技术与超低温MEG和其他成像技术进行对比，并且正与同事们合作进行这项工作。我们也在研究患有已知遗传疾病的儿童，看他们是否有可预测神经发育障碍的脑信号。此外，还在观察母亲感染HIV所生的儿童，看是否能找到影响他们后期发展的脑部迹象。

译者注：光泵磁力计(又称“原子磁力计”)脑磁图是一种基于2000年后物理学原理领域的突破而诞生的新一代脑功能成像技术，以其穿戴式、成本低、适用范围广而获得了国内外的广泛关注，我国也有很多科研院所、高校和企业在进行这一前沿领域的研究。