

中子有无电偶极矩？

(北京大学 徐仁新 编译自 Philip Ball. *Physics*, February 28, 2020)

测量中子电偶极矩的新方法更好地约束了关于宇宙早期对称性破缺的理论。

虽然中子整体上是电中性，但它内部电荷的分布也可能并非对称，定量上用电偶极矩(EDM)来描述这种不对称性。有些试图拓展粒子物理学标准模型的理论预言中子EDM非零，而最近一个国际合作组给出了新的测量上限。他们通过测量一团中子跟电磁场的相互作用来得到这一限制。该发现有望帮助理论学家更好地解释宇宙正反物质的不对称。

要完全理解自然界的物理定律，仅靠标准模型还不够：至今尚未协调量子力学与广义相对论即为一例。研究人员认为，较完整的理论可能涉及标准模型中强作用CP(指电荷共轭和宇称的联合变换)对称性破缺。重子(比如中子、质子)内部的夸克受强力而束缚。若在宇宙早期重子形成时确实发生CP破缺，或能解释为何重子比反重子多。

CP破缺可能会引起中子内部夸克不对称地分布，导致EDM非零。因此，中子EDM可看作是宇宙早期对称破缺残留至今的化石。若测得EDM的大小，就能提供CP破缺发生时间的线索。

上世纪50年代，人们就已尝试测量中子EDM了。近年来，研究人员还测量了电子和汞原子核的EDM。2006年，一个国际小组使用法国研究所ILL的中子源进行实验，在实验误差范围内并未发现中子EDM非零。以瑞士研究所PSI的Schmidt-Wellenburg和法国实验室LPSC的Pignol为首的合作组进一步努力，获得了比以往任何实验都高的灵敏度。

当然中子具有磁矩，因而会在外磁场中进动。进动的频率可以通过使用微波将中子激发到高能态来测量。如果中子还有EDM，则外加

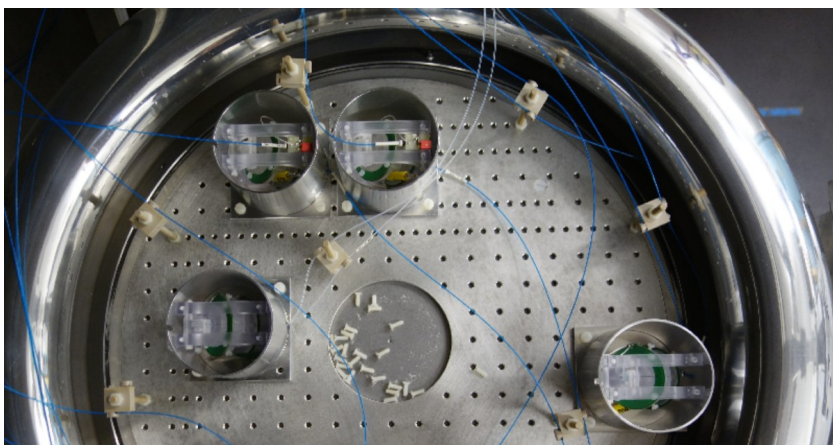
电场将改变进动频率，否则电场不起作用。Schmidt-Wellenburg及其同事探究进动频率可能的变化：他们将源自PSI的超冷中子置于50 cm直径的圆柱形聚苯乙烯室内，并外加电场和磁场。探测磁场变化的技术和传感器属于该实验的主要创新，从而获得空间上极为均匀的磁场并能扣除时间上波动的影响。

控制好磁场，可使中子以相干方式进动半小时以上。因中子与器壁碰撞而损失，故研究人员只能积累约3分钟的数据，而这已明显长于2006年的实验。记录时间越长，测量越敏感。他们给出的中子EDM上限是 $1.8 \times 10^{-26} e\text{-cm}$ (e 为电子电荷)，约为先前最低上限的一半。

密歇根大学原子物理学家Chupp曾经测量过中子和氙原子的EDM，他认为该实验很“漂亮”、“首次更新了二十年前的数据”。耶鲁大学分子物理学家DeMille指出，基于若干假设，2016年的汞核测量也能估计中子EDM的上限，跟新的实验结果接近。但他说，新实验“基于更清晰的理论计算，置信度高”。

Schmidt-Wellenburg说，仅靠中子EDM上限还不能否定任何模型。但他补充道，考虑到其他粒子(如电子)的测量结果，或暗示宇宙早期强CP破缺可能发生在弱电相互作用分化之前。

更多内容详见：*Phys. Rev. Lett.*, 2020, 124: 081803。



磁力测量仪。研究人员用这个直径50 cm的圆柱室测量中子的电偶极矩(EDM)。他们使用了15个磁力计测量磁场的空间分布，但这里只见其中4个(即图中较小的圆柱体)