

子技术), DAMA, CDMS (低温暗物质搜寻), CRESST (低温与超导温度计罕见的事件搜索) 等。而这些实验报告的可能事例如果用暗物质解释, 则要求其质量在 10GeV 左右。其中 DAMA 要求暗物质与核子的自旋无关, 弹性散射截面为  $\sigma_N \sim 2 \times 10^{-4}$  pb, CoGeNT 要求暗物质与核子的自旋无关弹性散射截面为  $\sigma_N \sim 5 \times 10^{-5}$  pb。XENON 和 CDMS 没有探测到暗物质信号, 因而更多是以排除线的方式给出实验约束。较轻的暗物质质量可以通过不对称暗物质 (Asymmetric Dark Matter) 给出  $M_{DM} \sim m_p \times \Omega_{dm}/\Omega_b = 5$  GeV。另外也可由超对称标准模型扩充单态场  $S$  得到。直接探测暗物质与核子的自旋无关弹性散射截面为:

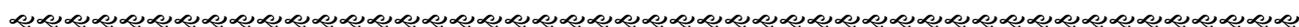
$$\sigma_A = \frac{\mu_A^2}{M_*^4} [f_p Z + f_n (A-Z)]^2。$$

其中,  $f_n$  和  $f_p$  为暗物质与中子和质子的有效顶角,  $A$  和  $Z$  为核子数和质子数。为了使直接探测的各种实

验相互自洽, 需要考虑同位旋破坏的效应, 即  $-0.74 \leq f_n/f_p \leq -0.63$ 。CRESST 和 XENON 倾向于  $f_n/f_p \sim -0.7$ , 而为了使 CDMSII 与 CoGeNT 实验相互自洽则一般需考虑 CoGeNT 实验的调制效应。我们可以系统构造同位旋破坏的暗物质模型, 如  $U(1)$  模型, 扩充希格斯模型以及带色传播子模型等, 这里不一一赘述。

尽管暗物质的研究取得了一定的结果, 但仍有许多问题有待解决, 比如如何将直接探测实验与间接探测实验统一地进行解释, 目前还不是很清楚。但随着实验探测的进一步发展, 对模型的约束将会更加细致, 尤其是现在大型强子对撞机已开始运转, 我们可以将间接探测, 直接探测和对撞机实验的结果联合起来对暗物质模型进行参数约束或进一步得到一些关于暗物质与模型无关的普适性质。可以看到当今暗物质探测实验的快速发展将对暗物质的理论研究提供更加明确的方向和更加强劲的动力。

(中国科学院理论物理研究所 100190)



## 科苑快讯

### 美首次用微波让两个离子发生量子纠缠

美国科学家首次用微波替代常用的激光束, 让两个独立的离子 (带电原子) 发生量子纠缠, 这表明, 智能手机中采用的微型化商用微波技术可取代量子计算机要求的房间大小的“激光器阵列”, 这将大大减小量子计算机的“块头”。最新研究发表在 8 月 11 日出版的《自然》杂志上。

量子计算机主要利用量子物理学的“奇异”规则来解决某些问题, 量子纠缠对量子计算机的信息传输和纠错至关重要。离子可作为量子位 (量子计算机中的最小信息单位) 来存储信息。尽管包括超导电路 (人造原子) 等在内的量子位的其他“候选者”也能被微波在芯片上操作, 但实验表明, 离子量子位的表现更好, 因为当粒子数量增加时, 对离子进行控制的精确度更高且信息损失更少。

量子纠缠是多个粒子联动的状态, 到目前为止制出量子纠缠需要高功率激光等大型装置。而微波作为无线通信的载体, 同复杂且昂贵的激光源相比, 微波元件更容易扩展和升级, 以便科学家制造出利用成千上万个离子进行量子计算和模拟的实用设备。

此前, 科学家们已成功使用微波实现了对单个离子的操控。现在, 美国的科研人员首次借用微波

让单个镁离子的“自旋”发生旋转并让一对离子自旋发生了纠缠。参与研究的迪特里希·莱布弗里得称, 这是一套常见的量子逻辑操作, 旋转和纠缠可按顺序组合以执行量子力学许可的任何计算。

在实验中, 两个离子被电磁场“扣住”并在一个由镀在氧化铝衬底上的金电极组成的离子陷阱芯片上盘旋。有些电极会被激活, 在离子周围制造出频率介于 1GHz 到 2GHz 之间、振动的微波辐射脉冲, 微波产生了让离子自旋发生旋转的磁场。离子自旋能被看作是指向不同方向的细小条形磁铁, 这些磁铁的方向是一种量子属性, 可用来表达信息。

使用微波减少了因激光束指向、能量以及被离子诱导的激光器自发发射的不稳定所导致的错误。然而, 科学家们仍然需要改进微波操作才能使实际的量子计算或量子模拟成为可能。在实验中, 76% 的时间发生了量子纠缠, 超过了定义量子属性发生所要求的 50% 这个最低值, 但仍然无法与由激光器操作离子达到的最高值 99.3% 相抗衡。

莱布弗里得表示: “最终, 一台中等大小的量子计算机或许看起来由一部智能手机与激光笔一样的设备结合在一起形成, 复杂的量子计算机可能和普通台式机一样大。”

摘自中科院高能所《科研动态快报》2011-8