

中川 贤一  
Kenichi NAKAGAWA

研究课题 超低温原子·量子简并原子的物理及其应用

关键词

超低温原子, BEC, 玻色爱因斯坦凝聚, 原子光学, 原子芯片, 激光冷却, 原子干扰计, 量子计算机, 频率稳定的激光, 乙炔光频率标准

所属专业	新一代激光研究中心
研究成员	中川 贤一 教授
所属学会	日本物理学会, 应用物理学会, Optical Society of America, 激光学会
研究设备	激光设备 2 台

研究概要

原子的激光冷却

所谓原子光学, 意思是和光一样来处理原子。具体来讲, 就是采用被称为激光冷却的方法, 用激光照射原子, 在 100μK (微开氏度) 以下制造出被冷却的超低温原子。原子通常是以每秒数百米以上的速度运动, 但一达到超低温原子的状态, 它的运动速度几乎为 0。这种状态的原子和光一样, 有可能会发生反射、会聚、衍射、干扰等现象, 量子力学的波 (物质波) 的特性就会明显地显现出来。利用这种特性进行各种研究就是原子光学。

玻色爱因斯坦凝聚 (BEC) 的实现与应用

该研究室使用激光与四极磁场相组合的磁光陷阱来生成超低温原子, 从事原子光学的相关研究。其中之一就是玻色爱因斯坦凝聚 (BEC)。玻色爱因斯坦凝聚是指将原子温度下降到 200nK (纳米开氏度), 彼此相邻的原子之间的波束开始重叠, 大量不同的原子波束全部达到同一状态的现象。这种状态就如同激光一样, 将每个物质波变得整齐一致, 从而粒子整体就具有了作为一个物质波来运动的特性, 因此也称其为原子激光。

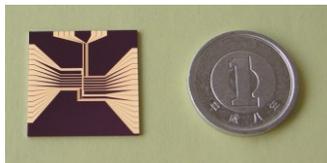
1995 年科罗拉多大学首次实现了这种玻色爱因斯坦凝聚, 电气通信大学于 2001 年 12 月取得成功, 在日本国内位居第四。

原子芯片的研究开发

用来实现玻色爱因斯坦凝聚的装置中就有原子芯片 (集成的原子回路), 该研究室就是从事这种原子芯片的研究开发。原子芯片是在硅基板上制作出微细的电线图, 一旦有电流通过, 电线周边就会产生磁场, 再通过从外部施加同样的偏磁场产生磁势, 就能将原子封闭在电线附近。使用这种装置, 就能在基板上操作超低温原子来代替电子。

迄今为止, 为了实现玻色爱因斯坦凝聚需要大规模的实验设备, 但通过使用原子芯片, 就能用非常小型的装置来实现它。并且用微小的磁势就能得到较高的原子密度, 因此就能以高效、高速 (3~10 秒) 的方式生成玻色爱因斯坦凝聚的原子。

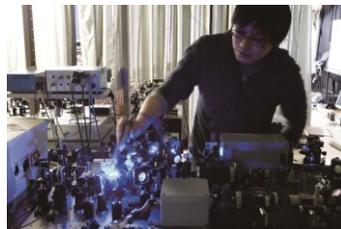
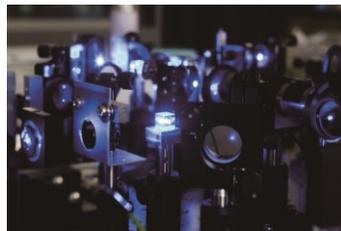
使用原子芯片能将玻色爱因斯坦凝聚应用到各种物质中。首先原子导波路中的原子光学, 由于能够沿着电线传送原子, 所以将电线分为两条路径, 利用它们之间的差异就可以制造干扰计。这个原子干扰计还可以应用到地球重力加速度的测量及回转仪中。使用原子干扰计的回转仪实现了比激光回转仪更高的精度。



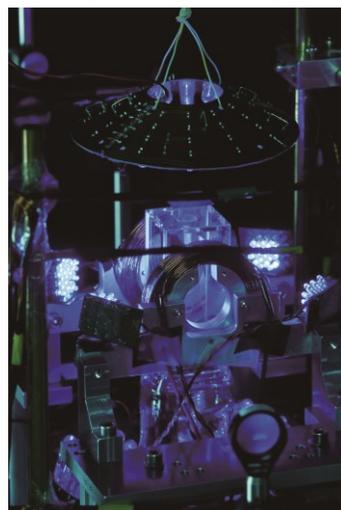
1 日元硬币大小的原子芯片



安装好的原子芯片



致力于激光装置的开发



BEC 实验装置

并且采用冷却原子制成量子设备, 还能够应用到量子计算机及量子密码通信等量子信息中。另外还可以用到与电子回路一样的原子回路中。

优势

拥有研究玻色爱因斯坦凝聚所必要的全方位的技术

为了研究这种玻色爱因斯坦凝聚, 对物理知识的了解是自然不用说的, 还必须了解制作装置电子学知识, 还有原子的激光冷却技术及制造超高真空环境的真空技术等很多知识。也就是说, 必须要具备从学术到装置制作的综合能力。该研究室就拥有研究玻色爱因斯坦凝聚所需要的全方位的知识和技术。

对国际化标准的贡献

中川教授还对国际标准化有所贡献。他在开发光纤通信中的波分复用 (WDM) 时曾寻求将光纤通信频带的高精度光频率标准 (波长标准) 制定成国际标准。因此该研究室于 2000 年与产业综合技术研究所共同开发乙炔稳定激光, 并于 2001 年在国际度量衡委员会中将乙炔光频率标准制定成了国际标准。

以此为基础, 他们致力于将乙炔稳定激光实用化的研究开发, 于 2003 年与企业进行共同开发, 将稳定化的激光装置制造成产品, 目前该激光被国内外的标准研究机关及企业所采用。像这样不仅从事最尖端的基础研究, 还对应用这些基础研究的产品开发及国际化标准有所贡献, 这也是他们的优势之一。

未来展望

希望能够找到玻色爱因斯坦凝聚划时代的应用方法

将基础研究纳入长期规划是非常重要的。如果持续研究 10 年、20 年的话, 就能制作出有用的产品。虽然发现了超低温原子的新应用, 能够进一步提高原子钟的精度, 但玻色爱因斯坦凝聚还未产生决定性的应用。因此该研究室希望用玻色爱因斯坦凝聚还能发现一些划时代的应用方法。



在第一线指导 BEC 实验的中川教授

科学必有益。虽然科学不一定是我们切身的东西, 但为什么又很需要科学呢? 那是因为它有我们生活必不可少的东西。该研究室就是希望能够制造出这样的东西。

要立即实现量子计算机也许还比较困难, 但通过推进相关的研究, 就会不断地产生各种副产物。从这些副产物中产生新的概念, 运用这些新概念再进一步产生新的物质。也就是说, 世界会更加广阔。该研究室对此也充满期待, 并不断地开展各种研究。