

物理学史中的十月



爱因斯坦奠定了玻色-爱因斯坦凝聚的理论基础

(译自 *APS News*, 2005 年 10 月)

萧如珀 杨信男 译

爱因斯坦因他的广义相对论而举世闻名，但他私下的生活却是一点也不和睦。他太太米乐娃 (Mileva) 抱怨爱因斯坦享有盛誉，却没时间陪她，并说：“我非常渴望爱情。”对爱因斯坦来说，他在自己的婚姻生活中感到愈来愈喘不过气而开始和他的表妹爱莎 (Elsa Löwenthal) 有了婚外情。米乐娃和阿尔伯特在几次激烈的争吵后，于 1914 年分居，1919 年离婚，同年爱因斯坦和爱莎结婚，和她以及她与前夫所生的两个成年女儿一同居住。



图 1 玻色

然而，他在科学方面仍然活力十足。爱因斯坦 1917 年详述辐射量子理论的论文为量子电动力学、量子光学、腔量子电动力学，以及自发和受激辐射的过程播下了种子，后者后来更帮助其他的物理学家发明了脉泽和激光。此外，此论文也提供了物质新状态的理论基础。

爱因斯坦的辐射理论提供了光量子粒子特定性质的完整描述，但他并未立即解决这些粒子的统计力学，这是令有些科学历史学家很讶异的疏忽，因为他 1905 年有关辐射能量量子化结果的论文是源自于对热辐射熵的研究。

那个疏忽于 1924 年得到了补救，当年他收到了同侪玻色 (Satyendra Nath Bose) 寄来的一篇文章，说明若他不将光子视为各别的量子，而将其看做是不可分辨的粒子，即可成功地导出普朗克定律。爱因斯坦立即将此论文转寄出去发表，并将玻色所采用的推理方式应用于不可分辨原子所组成的气体上，结果产生了玻色-爱因斯坦统计法。许多物理学家认为此研究是爱因斯坦对物理所做出的最后一个

主要的贡献。

爱因斯坦和玻色运用他们的新方法来预测一个物质新形式的可能性，因而被取名为玻色-爱因斯坦凝聚 (Bose-Einstein Condensate, BEC)。他们推测具波动性质的原子如果聚集得够紧密的话，原子会伸展，或甚至重迭。温度降低会减弱原子的速率，而假如温度降得够低 (绝对温度的几十亿分之一度)，原子又挤得够紧密的话，不同的物质波将可以彼此“感受”，互相协调，好像他们是一个大的“单一原子”

(图 2)。

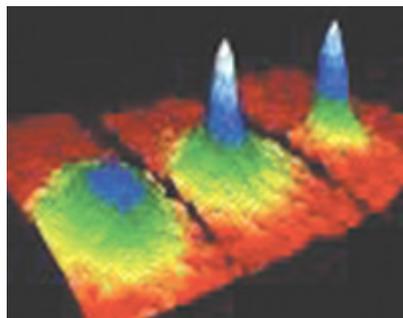


图 2 一个玻色-爱因斯坦凝聚

爱因斯坦对此议题所发表的论文刊登于 1925 年 1 月德国柏林普鲁士科学会的会报中，标题为《理想单一原子气体的量子理论》。2005 年 8 月，一个莱顿大学劳伦斯理论物理所的学生在数据库中检索他有关埃伦费斯特 (Paul Ehrenfest, 奥地利物理学家和数学家，1922 年入籍荷兰) 的论文资料时，发现了爱因斯坦有关此论文的手稿。

但是当时的技术尚无法在实验室中制造出这种新的物质形式。20 世纪 80 年代中期，斯坦福大学

的物理学家朱棣文 (Steven Chu, 1997 年获得诺贝尔奖, 现任的美国能源部部长) 用红外线激光束编织成一个“网”, 展示了激光冷却法, 他称之为“光学糖浆”。他将激光束以稳定川流的光子束冲击标靶的原子, 光子的波长皆经过仔细地筛选, 因此当它们正面和原子碰撞时, 只会被吸收。当原子如此慢下来时, 它们会冷却至大约绝对温度的十万分之一度。

美国科罗拉多大学 JILA 研究院的威曼 (Carl Wieman), 和他的 JILA 同事康奈尔 (Eric Cornell) 付出长达五年的努力, 生产出了第一个玻色-爱因斯坦凝聚, 所使用的方法是威曼自己设计兼具激光和磁冷却的设备。当其他的团队都投资研究经费去购买最先进的 15 万美元的激光时, 威曼却率先使用简单的 200 美元的激光二极管。他们使用激光捕网, 将 1 千万个铷气体原子冷却, 再用磁场将冷却后的原子抓住。但这样的原子温度仍不够低, 无法形成一个 BEC, 因此他们两人又加用第二步——蒸发冷却, 让网内的磁场将最热的原子踢出去, 因此更冷的原子即能更紧密地一起运动。蒸发冷却是一个老技术, JILA 的科学家只是做些改良, 直到他们得到了他们所要的低温。

威曼和康奈尔于 1995 年 6 月 5 日上午 10:54 制

造出一个大约含 2000 个铷原子的玻色-爱因斯坦凝聚, 持续 15~20 秒, 缔造了物理历史。不久后, 麻省理工学院 (MIT) 的物理学家克特勒 (Wolfgang Ketterle) 也于他的实验室制造出一个 BEC。至 2001 年 9 月为止, 有超过 36 个研究团队复制了此实验, 而威曼、康奈尔和克特勒也因他们的成就于 2001 年同享诺贝尔物理奖。

BEC 的发现开启了物理学的一个全新领域, 它让科学家能研究量子物理这个新奇的小世界, 就像经由放大镜来看它们。玻色-爱因斯坦凝聚将原子放大的方法和激光将光子放大是一样的, 尤其重要的是, 科学家用 BEC 制造出原子激光, 可以放射出一个个原子, 将来在计算机芯片细小图案的蚀刻上会很有用处。有人希望能建造原子计算机电路, 以原子的运动取代电子来做信息的储存与处理。此外, 1999 年 2 月, 哈佛大学的研究员发现他们用激光束照射 BEC 后, 可以让光速慢下来, 从正常的每秒 3×10^8 米慢至只有每秒 17 米。两年后, 他们让光短暂地完全静止。

(本文转载自 2010 年 10 月《物理双月刊》, 网址: <http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>; 萧如珀, 自由业; 杨信男, 台湾大学物理系, Email: snyang@phys.ntu.edu.tw)



科苑快讯

迅速寻找受害者尸体的 刑侦新技术

最近美国科研人员在《国际法医学》(Forensic Science International) 杂志撰文介绍一种迅速寻找埋尸地点的技术, 这种技术依赖于一种超薄柔韧的细管捕捉尸体附近空气中微弱的化学信号, 特别适用难于寻找的区域, 如混凝土板中。

文章作者——美国田纳西州橡树岭国家实验室刑事鉴识专家瓦斯 (Arpad Vass)、美国国家标准技术研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 的布鲁诺 (Thomas Bruno) 说, 美国每年约有 1.8 万起凶杀案和 1 万人失踪, 所以迫切需要这种刑侦技术。目前主要采用搜尸犬、探地雷达, 以及对可疑地点的空气、土壤进行取样分析, 但在不是什么情况下都有效, 比如它们对混凝土板就基本没用。虽然化学分析更为准确, 但问题是

时无法提取分析样本, 探地雷达也有各种问题。

布鲁诺和 NIST 的同事为了检验这一技术, 他们建造了一个“老鼠墓地”, 把老鼠放在木头箱子埋在 8 厘米的土壤之下。尸体腐败、组织分解后会向周围的空气、土壤中释放一种含氮化合物, 它会是一种叫做茛三酮 (ninhydrin, 刑侦中利用它探测皮肤碎屑, 从而提取犯罪现场的指纹) 的化学试剂变色。第一个月的检测毫无反应, 他们认为科罗拉多州五六月份的凉爽天气放慢了尸体腐败分解的速度。但 5 个星期后, 死老鼠附近信号强烈, 而没有死老鼠的地方则化学信号则非常微弱。

这一方法简单有效, 适应性广泛。但刑事鉴识专家盖恩斯伦 (R. E. Gaensslen) 说, 对大面积地区而言, 还是需要飞机、直升机、红外摄影等方法对热点地区进行搜索。

(高凌云编译自 2010 年 8 月 28 日 Science News)