

宇宙早期的黑洞和中性氢的重新电离

光速有限使得天文学家可以通过望远镜回望宇宙早期的历史. 宇宙早期所发出的光在到达地球之前要走过数十亿年. 此间, 由于宇宙空间自身的膨胀, 上述光的波长将伸展变长(红移). 最近, 来自伦敦皇帝学院天体物理研究组的 Mortlock 等, 通过对望远镜巡天数据的分析, 发现了距我们最远的处于吸积阶段的超大黑洞(又称为类星体). 这个庞然大物的质量是太阳的 20 亿倍, 正在以物理定律所允许的最大速率吸积周围的气体. 它的红移 $Z=7.085$, 从大爆炸开始计算的年龄是 7.7 亿岁. 对它进行研究是当今观测宇宙学的前沿课题. 特别是对于类星体光谱的研究, 将可提供类星体周围宇宙所处状态的信息.

黑洞长大有两条路径: 一是对周围气体的吸积; 二是小黑洞合并成超大黑洞. 后者通常位于星系的中心. 靠吸积周围气体长大的黑洞, 其生长过程很像细菌经细胞分裂而繁殖. Mortlock 等所发现的超大黑洞, 其每次质量加倍的时间尺度是 5 千万年, 既然已经通过红移确定了它的年龄是 7.7 亿岁, 则从大爆炸开始计算, 它已经经历了 15 次加倍. 为了求最初具有多少个太阳质量, 应该用 20 亿 (2×10^9) 个太阳质量除以 2^{15} , 即 $2 \times 10^9 / 2^{15} = 61035$, 由此可知这个类星体的始祖其质量至少是太阳的 6 万倍.

它的红移 $Z=7.085$, 表明该类星体正处于宇宙重新电离的时代(即 $6 < Z < 15$ 的区间). 使用类星体作为背景光源, 研究在类星体和地球之间中性氢原子对 Lyman- α 光子的吸收, Mortlock 等发现, 当红移小于 6 时, 星际间的介质氢几乎完全电离. 在第一代恒星和星系形成以后, 它们发出的光是氢电离的能源. 对数据进行分析的结果表明, 大部分的重新电离产生于 $Z > 6.4$, 也就是在大爆炸之后 8.8 亿岁之前. 在这个类星体的附近, 研究者认为, 中性氢所占的比例较高($>10\%$), 这意味着该类星体正值重新电离的时代. 未来的研究要求我们发现更多的红移大于 7 的类星体, 进而探索早期宇宙的奥秘.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2011, 474:583,616)

在三维空间中形成的化学模式

最近,美国 Brandeis 大学的 I. Epstein 教授和他的同事们发现了一个能产生一定模式的化学机制,它若能在二维空间中工作,则也能在三维空间中工作. 1952 年, A. Turing 曾提出过一个设想,他认为,在系统内部存在着一种机制,这个机制依赖于系统内部的慢扩散所激活的化学反应与快扩散所抑制的化学反应之间的竞争,使反应扩散系统在接近于亚稳态时会产生一稳定的斑纹、斑点以及其他一些周期性的斑图. 随后在二维反应扩散系统中的实验结果证实了 A. Turing 的设想. 虽然计算机模拟表明这种机制也可存在于三维反应扩散系统中,但要用实验来证实这一点,仍然是一个具有挑战性的课题. 因为多一维空间后,要想看清楚系统内部的斑图是相当困难的. 为了克服这个困难, I. Epstein 教授的团队采用了 X 射线断层摄影术去观察嵌入在油层中的水滴的形成. 一般来说, Turing 的理论是不能应用于非均匀介质系统的;然而当水滴涂有表面活性剂后,这时慢扩散催化剂与快扩散抑制剂渗漏的出入比例可维持斑图模式的形成,并在尺度上会大于水滴本身的大小. 为了能监控这个系统, 研究组将由石英柱体构成的试验容器不断地进行旋转,从而使摄像机可拍摄下容器各个侧面的二维图像. 在不同的初始条件下, X 射线断层仪重建了系统内的一系列图像,其中包括像迷宫似的螺纹结构. I. Epstein 教授预期这类 Turing 模型的三维版本将可以用来解释某些生物斑图的形成,例如多头的水螅(Hydra)在它们毛状触角被切断后再生长出来的过程.

(云中客 摘自 *Science*, 2011, 331:1309)

使用被捕获的离子模拟反铁磁相互作用网络

在三角形反铁磁相互作用网络中,磁体的自旋取向遇到一个尴尬局面,或者叫作窘阻(Frustrated)局面.让我们考虑在平面上的三个磁体,它们分别位于一个等边三角形的3个顶点(a, b, c).反铁磁相互作用要求3个磁体中两两取向相反:假设 $a \uparrow$,则可取 $b \downarrow$,问题出在 c 的选择上;如果取 $c \uparrow$,则 c 与 a 之间的反向要求得不到满足;如果取 $c \downarrow$,则 c 与 b 之间的反向要求得不到满足.从能量角度看,关于 a, b, c 自旋的取向安排,有6种方式具有相同的能量,它们是: $a \uparrow b \downarrow c \uparrow, a \uparrow b \downarrow c \downarrow, a \downarrow b \uparrow c \uparrow, a \downarrow b \uparrow c \downarrow, a \uparrow b \uparrow c \downarrow, a \downarrow b \downarrow c \uparrow$.注意,上述6种安排的共同点是:总是有两者取向一致,而第三者取向相反.最近,来自美国(国家标准技术研究院和马里兰大学物理系)联合量子研究所的Kim等,使用捕获于电磁场中的3个Yb离子,成功地模拟了上面所描述的窘阻 Ising 三自旋磁系统.

开始,3个Yb离子在一束激光的照射下处于无相互作用基态,在外磁场出现时,三离子的自旋均指向磁场方向.离子间相互作用的引入,是通过逐步增强另一束特定频率的激光对Yb离子系统的照射.照射产生的光学力使系统进入到一个有相互作用的基态.研究者对离子自旋取向的辨认表明:正如上述分析所预言的,在有相互作用的基态,总有一个离子,其取向与其他两个离子的共同取向相反.

历史上,为了解释水冰中的剩熵问题,诺贝尔奖得主 Linus Pauling 曾于1945年提出了“冰原则”:在水冰中,由于 H_2O 局域键联条件与整体对称性之间的失配,其基态是窘阻简并的.每个 O^{2-} 离子具有4个 H^+ 离子近邻,其中两个 H^+ 靠近 O^{2-} ,另两个 H^+ 远离 O^{2-} .但是,究竟哪两个 H^+ 靠近是不确定的,结果导致绝对零度下涨落的基态,具有剩熵 $S_0 = k_B \ln (3/2)^N$,其中 k_B 是玻尔兹曼常数, N 是系统的水分子数.Kim等的实验比上述问题的解决更有意义,因为它是一个可以操控相互作用的量子系统去模拟真实复杂量子系统中的动力学,而所得到的结果是难于从理论研究预言的.

Kim等的结果还表明,在零温条件下,系统处于一个由竞争态组成的叠加态,而这个叠加态很可能演变成量子力学的纠缠态.纠缠态包含着微妙的量子关联,而后者又可能引进新颖的物质(如:量子自旋液体、自旋玻璃和高温超导体等)形成,并在诸多复杂系统(如:神经网络和蛋白质折叠等)中发挥作用.Kim等研究的系统,虽然只包含3个离子,但它是可放大的.专家预言,类似的量子模拟放大到包含几十个离子的“小系统”,不会有不可逾越的困难.今天,即使使用最强大的超级计算机,也只能对“小系统”做出数字模拟.如果系统中包含300个自旋,系统可能的量子态数将是 2^{300} ,这个数字等于整个宇宙所包含的原子数.

(戴闻 编译自 *Nature*, 2010, 465:555—556, 590—593)

γ 射线暴可能会杀死海洋生物

根据古巴的一个研究组的研究结果,到达地球的宇宙γ射线暴(GRB)会伤害深度直达75m的海洋浮游生物.40%的海洋光合作用是由这些有机体进行的,因此,这一情况可能对地球的二氧化碳水平产生严重影响.已知γ射线暴是宇宙中发生的亮度最大的电磁过程,在持续几秒钟的很窄的一束射线中释放出高达 10^{44} J的γ射线能量.γ射线暴分成两类:长的和短的.前者是最常见的,被认为是由于超新星的核心崩塌所引起的.到目前为止,所观察到的γ射线暴都发生在遥远的星系,而不是在我们的银河系.但是有些科学家认为γ射线暴是大约4亿5千万年前奥陶纪大规模物种灭绝的原因.

考虑到这一问题,由古巴 Central 大学的生物学家和物理学家组成的研究队伍对于如果约6000光年外发生的γ射线暴袭击地球时发生的情况进行了模拟.

对于生活在海洋中的浮游生物造成的危险并不是γ射线本身,而是γ射线与大气层相互作用产生的紫外辐射.来自γ射线暴的γ射线会将电子从气体分子中分离出来,然后这些电子会激发其他的分子,造成紫外光能量的辐射.据这些研究者说,大约1%—10%的入射的γ射线能量以紫外光的形式到达地面,并且可能损害浮游生物.γ射线能量的其余部分则以可见光或红外光的形式到达地面,对浮游生物的危害较小.

为了模拟紫外辐射的效应,研究者检验了地球海洋的典型的返照率,对不同深度处的紫外光谱进行计算.他们还计入了水的光学性质,因为并非所有海洋的水都同样清澈.考虑到诸多因素后,他们发现紫外闪光可以穿透深达75m的清澈的水,破坏一种光合作用所需要的重要的酶,导致浮游生物将用于光合作用的能量转去修复被损坏的DNA.

浮游生物光合作用能力的减弱对于地球的气候会产生巨大的影响.仅仅一种海洋浮游生物就可消耗大量的二氧化碳,例如一种名为原绿马里努斯(*Prochlorococcus marinus*)的海洋浮游生物占据了整个生物圈的光合作用的20%.浮游生物还是许多海洋食物链中的首要环节,由于γ射线暴使这些浮游生物死亡会导致整个生物链遭到破坏.

但是,γ射线暴在像银河系这样的星系中是很罕见的.研究人员分析,其中的原因可能是在富金属的环境中γ射线暴不易发生,而银河系是具有更富金属的环境,具有许多比氦重的元素.γ射线暴在银河系发生的概率约为每1千万年1次.γ射线暴袭击地球并不是不可能的.有关论文已被 *Astrophysics and Space Science* 刊物接受.

(树华 编译自 *Physics World News*, 23 July 2010)

没有磁场的核磁共振谱学

核磁共振谱学(NMR)可能是有机化学研究中最有用的技术.但是常规的 NMR 谱仪要求将样品放置在非常强的磁场中,这就需要使用液氮冷却的庞大而昂贵的超导磁铁.美国的一个从事交叉学科研究的小组研制成功没有磁铁的 NMR 谱仪.基于这一研究成果,人们可以开发出袖珍的 NMR 谱仪,甚至有可能制造出用于医疗诊断的个人 NMR 谱仪.

在 NMR 中,人们感兴趣的是大多数原子核具有两种状态——自旋向上态和自旋向下态.当原子核置于磁场中时,与自旋向上的态相比,自旋向下的态处在更高的能级上.常规的 NMR 谱仪是用射频电磁波轰击样品,并测量当原子核在这两种状态之间翻转时吸收或发射的跃迁能量.当分子处于不同位置上时,相同的核具有略微不同的跃迁频率.因此,研究者通过测量这些频率,就可以判断出特定的原子在分子中的位置.磁场越强,越容易分辨这些频率,从而对复杂的分子有更清晰的了解.此外,较强的磁场使自旋向上的原子核所占的比例增加,这会在原子核的两种状态之间产生较大的扰动,从而给出更强的信号.

传统的 NMR 谱仪的信号强度大约与磁场强度的平方成正比.因此,在过去的几年中,NMR 谱仪体积变得更大,功率更强,也更加昂贵.没有使用磁场的 NMR 谱仪是不可思议的,因为这意味着没有自旋极化,没有能级间隙,因而没有可测量的物理量.

幸运的是,除了与磁场相互作用以外,核的自旋还彼此发生相互作用.这种称作“J 耦合”或“自旋-自旋耦合”的效应很弱.但是仍然可以在标准的 NMR 谱中造成可观察到的主吸收峰的劈裂.在没有施加磁场的时候,就只剩下 J 耦合.研究人员认为,由纯的 J 耦合所产生的信号(J 谱),仍可以传递大量关于化学结构的信息.他们获取了几十个分子的零磁场的 J 谱,发现每个分子的 J 谱的特点都是不同的.不过,由于 J 耦合比与强磁场的耦合要弱得多,所以探测纯 J 耦合产生的共振要困难得多.

当前 Berkeley 的研究组正在采用两种方法来解决信号弱的问题.首先,在没有外加磁场的情况下,通过使用一种叫做“重氢引起的极化”技术来解决自旋耦合问题.重氢是氢分子的一种自旋同质异能形态,其中的 2 个原子核的自旋反平行排列,形成一种单态.这种技术可以将一种特定的极化转移给样品分子,结果使信号大大增强.重氢引起的极化并非新发现的现象,Berkeley 这项研究工作的意义在于首次成功地将它应用于零磁场.

研究人员使用了一种新发明的技术来测量微弱的磁场.在早期进行的低磁场 NMR 实验中,所用的探测器需要冷却到接近绝对零度,这就失去了不用外加磁场的好处.因而,研究人员改进了一种称作“光学原子磁力计”的探测器,在零磁场中使用这种探测器不需要制冷装置.

研究小组通过区分几种类似的碳水化合物分子演示了这种技术,零磁场 NMR 首次成功地应用于这种复杂的化学分析.有关论文发表在 *Nature Physics*, 1 May 2011 上.

(树华 编译自 *Physics World News*, 29 May 2011)