

从量子理论到量子信息研究

孙昌璞

(中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

在当代自然科学的发展中,以量子力学为代表的基本物理学理论不仅在认识客观物质世界方面发挥了根本性作用,而且导致了一系列重大的高新技术变革,深刻地影响了人类社会的物质生活,如激光的发明和半导体的应用。然而,我们也应当正视这样一个现实:自本世纪20年代量子力学建立以来,人们对其中的基本问题的激烈争论却从未停止过,如爱因斯坦等人提出的EPR非定域性佯谬和量子测量理论中的“薛定谔猫”。量子理论的开创者之一、丹麦物理学家尼尔斯·玻尔曾风趣地说:“任何能思考量子力学而又没有被搞得头晕目眩的人都没有真正理解量子力学。”

量子力学是在这些思想的交锋中不断发展和进步的。由此展示的一系列违反经典常识的效应(如量子非定域和量子相干性),不仅被实验一次又一次地证实,而且目前有可能被大规模地应用到信息科学:利用量子力学的奇妙特性,在提高信息运算速度、增大信息存储容量和保证信息通讯安全等方面,能突破现有的经典信息系统的极限,引起信息技术的革命。量子力学与信息科学相结合发展起来的量子计算机和量子通讯(包括量子密码术),近年来已在理论和实验研究上取得一些突破性进展,引起科学界、信息产业界乃至各国政府的重视。

量子计算机

1982年,美国著名物理学家R. Feynman首次提出了把量子力学和计算机结合起来的可能性。接着在1985年,英国牛津大学的D. Deutsch初步阐述了量子计算机的概念,并且指出了量子计算机可能比经典图灵计算机具有更大的功能。由于当时没有可以操作的实例进一步显示量子计算机在解决具体问题时的实际功效,它的发展在很长时间内始终徘徊不前。直

到1995年提出了大数因子化量子算法,并原则上表明这可以在冷却离子系统中实现,量子计算机的研究才变成物理学家、计算机专家和数论学家共同关心的重大交叉科研领域。量子计算机的出现,并不是要在通常的计算问题中取代传统的电子计算机,而是要针对特定的问题,完成经典计算机难以胜任的高难度计算工作,如大数Shor因子化和巨数据库Grover量子搜索。

所谓的大数因子化是把一个大数分解为所有素数因子的乘积。破译某些保密编码时需要进行这样的数字计算,如目前大量的金融交易是在一种叫作“RSA公开码”的依赖于大数因子化的密码技术保护下进行的。在传统计算机中,一个 n 位二进制数是由一串有 n 个0或1组成的数串描述。任何一个十进制数 $x = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_n 2^n$ 可以唯一地表示为一个二进制数 $a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0$,其中 $a_i = 0, 1$ 。存储大数 x 通常约需要 $n = \log_2 x$ 个数据位。如果用 $1, 2, 3, \dots$ 直到 \sqrt{x} 去除 x ,经典计算过程通过约 \sqrt{x} 步运算,可以最后找到 x 的全部素数因子。显然,计算的步数 $s = e^{n(\ln 2)/2}$ 与这个大数的数据位数呈 e 指数关系。随着 n 变大,步数将是一个天文数字。因此,这是一项极为困难的计算。按照现有的算法,对于一个400位数字的分解,使用现今最快的超级计算机也要花几十亿年才能完成。然而我们知道,人类的历史才不过几百万年,这样的计算必定是无效的。

令人吃惊的是,1995年,应用D. Deutsch的量子计算机理论,美国电报电话公司的P. W. Shor发现,通过量子力学的基本原理和概念,完成一个 n 位大数的因子分解所用的计算步数只是 n 的多项式函数,而不是 n 的指数函数。因而,Shor的算法原则上可以在一年左右的时

间内分解一个 400 位大数,从而有可能不必使用现在所用的复杂加密方案.他的发现在信息金融领域产生了极大的影响.这是因为现有的加密系统大多是建立在大数难于分解的基础之上的.很难想象,这样一种影响竟会来自于计算机科学领域之外的、令人“头晕目眩”的量子力学.需要指出的是,虽然许多实验和理论研究在探索这样一种方法的可行性,但迄今为止还没有人能建造出一台实用的量子计算机.因此,在看得见的将来,数据的传统加密还是安全的.

表现量子计算独特能力的另一项算法是贝尔实验室的 L. K. Grover 设计的量子搜索算法.计算机在搜索藏在有 n 个对象的数据库中的一个特定的对象时,经典的搜索过程要比较每一个对象,平均说来需要进行 $n/2$ 次尝试才有较大的可能找到那个对象.经典搜索的一个日常生活的例子是在一个按人名索引的、共有 N 个人的电话簿里,找到确定号码的人,通常要找 $O(N)$ 次才能成功. Grover 把它换成量子力学问题就是:对于 N 个态的均匀相干叠加,通过若干次基本的么正变换可以把其中一个特定分量的几率放大为 1.令人惊讶的是, Grover 的量子搜索可以通过大约根号 \sqrt{n} 次尝试就能找出所需的对象. 1998 年初, IBM 公司的 I. Chuang 等人利用氟仿核磁共振实现了两个量子数据位的量子搜索实验,成为量子计算的第一个演示实例. Shor 的算法和 Grover 量子搜索的成功,不仅激励物理学家们直接涉足于信息科学,同时也促使计算机科学的专家开始了解量子力学的意义和应用.

量子相干性

究竟什么使得量子计算机会如此强大、区别于经典计算机呢?它的根源是量子相干性.对经典图灵计算机来说,信息或者数据由二进制数据位存储,每一个二进制数据位由 0 或 1 表示.而量子计算机则是由两个量子态 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 取代 0 和 1;处于这样两种不同状态之上的粒子(原子,分子或离子等)表示量子计算机的一个存储单元—量子数据位(称为量子位).任

意两个量子体系都可成为量子数据位载体,如二能级原子,光子偏振态,自旋 $1/2$ 的粒子等.

同两个经典位一样,两个量子位也可以构成 4 种不同的完全确定的状态(即 $|0\rangle|0\rangle$, $|0\rangle|1\rangle$, $|1\rangle|0\rangle$ 与 $|1\rangle|1\rangle$).然而,其本质与经典位不同的是,一个量子位可以处在 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的相干叠加态 $|u\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$ 上,即同时以 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的状态存在,每种态的概率 $p = |c|^2$ 由一个数字系数 $c = a, b$ 确定.需要指出,这样的叠加态具有量子相干特征,经典概率不能完全确定叠加态, a 和 b 的相对位相在量子计算过程中,起着至关重要的作用.显而易见,有 2 个量子位的量子计算机的状态就需要 4 个系数描述; n 个量子位的量子计算机的状态需要 2^n 个数字.例如,如果 n 等于 50,那就需要大约 10^{15} 个数来描述量子计算机的所有可能状态.虽然 n 增大时量子计算机所有可能状态的数目将迅速变成一个很大的集合,但由于相干性的态叠加原理,量子计算的操作能够对处于叠加态所有分量同时进行.因而,一台量子计算机仅仅靠一个处理器就能够很自然地同时进行非常多的运算.这就是所谓的量子并行性,它是量子计算的关键所在.

量子力学所描述的物质世界的运动,与经典物理的图像或人们的日常经验有很大的区别.根据量子理论的波粒二象性学说,实物微观粒子运动也会像光波、水波一样,具有传播,干涉和衍射的波动行为,形成德布罗意物质波.人们已在实验上观察到了电子、中子甚至原子集团的干涉现象和衍射图样.由于其波动性,微观体系的状态应当由一个决定粒子出现几率的波函数描述,而不再是用位置和动量.在波动的意义上,物质状态相干性会变得十分重要.事实上,对于一个具有波动性体系的某些力学量进行同时测量时,其结果不再像经典粒子那样同时具有确定的值:当位置定得很准时,粒子的动量就不会定准,这就是量子力学著名的海森堡测不准关系, $\Delta x \Delta p \cong h/2\pi$, h 是普朗克常数,其数值为 $6.6260755(40) \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$.

表面上看,当电路集成密度很大时, Δx 很

小时, Δp 就会很大, 电子不再被束缚, 就会出现介观物理所描述的量子干涉效应, 从而破坏计算机芯片的功能. 对于现有的计算机技术, 量子力学的限制确实是一个不可逾越的障碍. 在某种意义上, 传统计算机也是量子力学的产物, 它的器件也利用了诸如量子隧道现象等量子效应. 但仅仅用量子器件的计算技术, 并不等于是在现在意义上的量子计算. 目前的量子计算并不只是利用具有量子效应的超小尺度的“硬件”, 而是要应用量子力学重构计算机的原理, 并充分发挥量子相干性的作用, 直接进行算法和计算机“软件”的设计. 正因为如此, 关于量子力学基本问题的研究, 对量子信息的意义才十分必要. 从基本物理学的观点来看, 量子计算的输入和输出可以理解为特定量子系统的时间演化过程, 其中系统的非经典属性—量子相干性起着支配性的作用. 因此, 保持量子相干性是有效量子计算的必然要求. 不然, 量子态叠加中相干性的退化(简称量子退相干)将迫使量子计算机回到经典世界, 量子计算的优势将丧失殆尽.

量子测量与退相干

自量子力学建立以来, 一个普遍存在争议、悬而未决的问题是从微观到宏观、从量子到经典的过渡. 这一基本问题的意义在于怎样理解量子退相干问题的本质. 从表面上看, 在经典的现实世界中普遍存在的宏观不可逆现象与薛定谔方程描述的微观可逆性或时间反演对称性是有矛盾的. 在量子力学中, 不可逆现象主要包括量子测量假说中的波包塌缩和多自由度系统环境中小系统的量子耗散. 如何从基本量子力学出发、理解量子不可逆问题是几代物理学家十分关注的根本问题.

在经典力学中, 对体系的测量不会本质地改变体系的状态, 至少在理论上可以构造理想实验测量, 使得体系的状态在测量前后不发生变化. 而在量子力学的测量理论中, 测量仪器与被测系统的相互作用, 一般会本质地改变体系的状态, 引起波包塌缩: 当量子系统(可以是量子计算机)处于某一个力学量 A 的本征态 $|a\rangle$

的相干叠加态 $|\Psi\rangle = \sum_a C_a |a\rangle$ 上, 对 A 进行量子测量所得的结果仅是 A 的本征值 a 之一, 相应的概率是 C_a 的平方. 一旦单一的测量得到了值 a , 波函数便塌缩到 A 的本征态 $|a\rangle$ 上. 这时波函数的相干性将被彻底破坏, 即发生所谓的量子退相干. 如图 1 显示了中子干涉问题中相干性破坏的问题: 一旦我们通过测量发现中子是沿着哪条路径到达屏上, 干涉条纹将不复存在. 对于量子计算而言, 这种退相干效应会彻底破坏量子计算机的特殊效用. 由于量子计算机是依据量子相干性做特别设计的, 退相干甚至可能使量子计算机尚不如经典计算机.

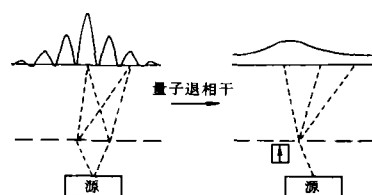


图 1 测量过程破坏相干性

实际的量子计算机必然在一定程度上与环境耦合, 其效应在微观、量子的范畴是不可忽略的. 特别是环境与量子计算机相互作用时的动力学行为, 与量子测量过程中测量仪器的特征非常相似: 环境由大量粒子组成并具有宏观或经典特性; 通过相互作用, 它能够区分量子计算机处在何种微观状态上. 因此, 环境对量子计算机的作用效果相当于对它进行量子测量, 从而破坏其相干性. 这个问题的物理机制在于, 一个量子系统与其环境的任何一种相互作用——比如说一个原子同另一个原子碰撞或同一个偶然闯入的光子散射——几乎都构成一次测量, 这时量子力学体系的叠加状态就塌缩为一个完全确定的状态, 即由观测者检测到的那种没有相干性的状态. 这导致了从量子过程到经典过程的转变, 使得量子计算过程出现较大的误差, 甚至完全失效. 因此, 必须采取某种措施把一台量子计算机的内部工作系统同它的环境隔离开来以保持相干性. 这种措施也应当保证信息能进入这些内部工作系统, 以便能写入

数据、进行计算并读出结果。基于这些原因和要求,量子计算机的研究人员知道,建造一台实用的量子计算机将是极其困难的。

环境的运动方式带有很大的随机性,其中包括有限温度的热涨落和零温时的量子涨落。除了量子退相干,这些涨落也会引起量子计算机的另外一种不可逆过程—量子耗散,即量子计算机的能量损耗。近年来关于量子不可逆过程的研究表明,对于大多数量子体系来说,量子耗散的时间标度(弛豫时间)远远大于量子退相干的时间标度。这就是说,人们有可能在能量耗散起作用之前,完成一个具有若干步骤的量子计算,而此前量子退相干已经对量子计算产生影响。因此,只有克服量子退相干的发生,才能最终实现具有实际应用价值的量子计算机。为此人们已进行了一系列有意义的探索,提出了一些避免量子退相干物理效应的动力学方案和直接修正其误差的编码方法。但是,由于实际的环境是十分复杂的,任何针对特定的环境模型所作的理论探索都必须具有一定的普适性,否则由此得到的结论和设计的方案可能没有实际价值。迄今为止,关于量子计算退相干问题的研究,所采用的环境模型均是由许多谐振子组成的热库。因此,有必要对热库模型相关的量子计算退相干普适性问题进行系统的研究。

量子非定域性

在信息科学中,量子力学奇妙特性的另一个重要应用是量子非定域性导致的量子通讯。量子非定域性是量子相干性在双粒子系统中的体现。当一个双粒子系统处于一个相干叠加态 $|W\rangle = a|0\rangle|1\rangle + b|1\rangle|0\rangle$ 中,其中叠加态的每一个分量均由两个粒子的单态 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 构成。一旦测量确定了其中第一个粒子的状态 $|0\rangle$,波函数便塌缩到它所相应的分量 $|0\rangle|1\rangle$,从而决定了另一个粒子状态 $|1\rangle$ 。这时即使两粒子间的空间距离很遥远,人们原则上也能在瞬间由一个粒子的状态确定另一个粒子的状态。想象某一个物理过程沿不同方向发射出两个光子(即光的波包),它们的振荡电场的取向

(偏振)相反。在被探测到之前,每一个电子的偏振都是不确定的。正如爱因斯坦和其他一些科学家在本世纪初指出的那样,一旦某个人测量了其中一个光子的偏振,另外一个光子的偏振状态也就立刻确定下来了,不论它们相距多远。这种非定域效应被称为EPR佯谬。这种远距瞬时作用的确是非常奇异的,它使量子系统能够产生出一种不可思议的关联(图2),即所谓“纠缠”。两个(或更多)子系统构成的量子体系的纠缠态,从数学上讲,是不能写成子系统态矢的直积的多粒子态。EPR佯谬中的双粒子态就是处于最大关联的纠缠态。

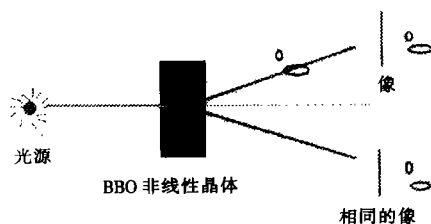


图2 BBO晶体产生EPR关联光子对

90年代马里兰大学的史砚华等利用BBO晶体的非线性效应参量下转换,成功地演示了由这种纠缠所导致的“鬼象”和“鬼干涉”实验。而后瑞士学者更直接了当地在10km光纤上直接测量了光子对之间的量子关联。因此,爱因斯坦等人在EPR佯谬中所预示的量子关联现象经常被称为EPR效应。在1997年,利用这一效应,奥地利因斯布鲁克大学的A. Zeilinger及其同事们能够对量子远距隐性态进行了一次引人注目的演示,并由此导致了量子通讯研究的热潮。事实上,在量子计算中,量子关联效应也起到了把一台量子计算机中的各个量子数据位互相连接起来的关键作用。

EPR佯谬中所预示的量子关联现象表面上与现代物理学的相对论因果关系相矛盾。在30年代,爱因斯坦等人正是以此为突破口与玻尔等人展开了关于量子力学基础的大论战。“EPR佯谬”提出了本质的物理问题:自然界究竟如爱因斯坦等人所认为的那样是定域的,还是像玻尔等人所认为的是非定域的?前者正确

会导致量子力学不完备的结论;而后者正确会否定玻姆的隐变量理论而肯定量子力学的合理性。基于玻姆的隐变量理论而推导出来的 Bell 不等式成为判断“孰是孰非”的实验依据。法国学者第一个在实验上证实玻姆的隐变量理论 Bell 不等式可以被违背,从而证明量子力学理论的正确性。随着原子物理和量子光学的发展,有更多的实验支持了这个结论。虽然随着量子力学成功地应用到物理的各个领域,以玻尔为首的哥本哈根学派暂时取得了胜利,但爱因斯坦关于量子力学完备性的质疑和“上帝是否抛骰子”的责难对量子力学后来的发展产生了极其重要的影响,进一步深化了基本量子力学问题的研究。

对量子力学另一个著名挑战是薛定谔提出的所谓“薛定谔猫”:

“一只猫关在一钢盒内,盒中有下述极残忍的装置(必须保证此装置不受猫的直接干扰):在盖革计数器中有一小块辐射物质,它非常小,或许在 1 小时内只有一个原子衰变。在相同的几率下或许没有原子衰变。如果发生衰变,计数管便放电并通过继电器释放一锤,击碎一个小的氢氰酸瓶。如果人们使这整个系统自己存在 1 个小时,那么人们会说,如果期间没有原子衰变,这猫就是活的。第一次原子衰变必定会毒杀猫”。在日常生活里,我们心里十分清楚,那只猫非死即活,两者必居其一。可是,按照量子力学规则,盒内整个系统处于两种态的叠加之中: $|u\rangle = a|0\rangle \otimes |\text{死猫}\rangle + b|1\rangle \otimes |\text{活猫}\rangle$ 。其中一态中有活猫与原子稳态 $|1\rangle$ 的关联,另一态中有死猫与原子嬗变态 $|0\rangle$ 的关联。但是,一个又活又死的猫,是什么意思呢?据推测,猫自己还是知道是活还是死的。然而,按照冯·诺意曼的推理,我们不得不做出这样的结论:直到某个窥视盒内看个究竟以前,不幸的猫继续处于一种悬而未决的死活状态之中。“薛定谔猫”的物理本质是:宏观上是否存在可以区分的量子态相干叠加?如果存在,我们则可以利用 EPR 效应,在相当遥远的距离上,传递一个宏观的状态。量子理论的发展在理论上预示

许多猫态的产生,美国学者 1997 年的实验上也显示了“猫态”存在的可能性。这个问题的进一步推广、引伸,就是各种宏观量子相干现象,如超流、超导、玻色-爱因斯坦凝聚等。

量子通讯——量子隐形远程传态

量子非定域性的理论和实验不仅把人们对量子世界的认识提高到新的水平,而且这种奇妙无比的新的特性开拓了量子力学新的应用领域。世纪之交,量子信息的研究正是在这样的背景下应运而生的。量子力学为信息科学的发展提供了新的原理和方法,注入了新的活力。

利用量子非定域性进行通讯的典型实验是所谓的量子远程隐形传态。在经典世界中远程隐性传态描述了这样一种场景:某人突然消失掉,而在远处莫名其妙地显现出来。这有点像科幻小说,但 1993 年 Bennet 等人却发表了开创性的文章,提出利用量子力学实现远程隐形传态的方案:将某个粒子 B(Bob)的未知量子态 $|u\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$ 从地点 P 传到另一个地点 Q,使地点 Q 另一个粒子 A(Alice)处于 $|u\rangle$ 态上,而原来的粒子仍留在原处 P。其基本机制是利用量子非定域性效应:将原来物的信息分成经典信息和量子信息两个部分,它们分别经经典通道和量子通道传送给接收者。量子通道是由一个 BBO 型的 EPR 关联源产生的 A 粒子和 S 粒子量子纠缠 EPR 态 $|E\rangle$,它是四个 Bell 基中的一个。粒子 B 的待传状态 $|u\rangle$ 结合 EPR 对的量子态 $|E\rangle$ 构成三粒子系统(A, B 和 S)的联合态 $|T\rangle = |u\rangle \otimes |E\rangle$ 。为了把态 $|u\rangle$ 从 Bob 传送给 Alice, Bob 对粒子 B 和 S 进行测量,确定它们处在哪个 Bell 基上。其结果是 B 和 S 以特定的几率塌缩到每一个 Bell 基上。一次测量只能得到一个结果。Bob 将即已测到是哪一个 Bell 基通过经典通道(打电话、发传真或 e-mail 等)告诉 Alice。远方的 Alice 就知道粒子 A 已经坍缩到 $|T\rangle$ 哪一个分量上,从而得到了他自己的状态,选取合适的么正变换便可以将粒子 A 制备在态 $|u\rangle$ 上了。

上述量子隐性传态的方案,经典通道的作

用是必不可少的。经典信息是发送者对原物进行某种测量(Bell基测量)获得的少量信息(四个Bell基中的一个),而量子信息是发送者在测量中未提取大量信息,它通过具有EPR关联效应的量子通道进行传递。需要指出,在量子隐性远程传态的过程中,传送的仅仅是原物的量子态,发送者甚至可以对要传送的量子态一无所知;接收者在获得这两种信息之后,就可以制造出原物状态的完美复制品。但代价是原物的量子态已遭破坏,因而量子隐性远程传态的过程不允许重复。

实验上实现量子隐性远程传态的关键技术是制备EPR对和Bell基测量。1997年奥地利因斯布鲁克大学的A. Zeilinger研究小组对量子隐性远程传态进行了一次重要的实验演示。实验中,它们利用参量下转换方法产生了偏振方向关联EPR光子对;利用Braunstein和Mann等提出的Bell基测量方法,以一定的成功几率确定了Bell基的投影。其文章在《Nature》上报道后在学术界和新闻界引起了不小的轰动。1998年初,意大利学者在《物理评论快报》上报道了另一个成功的实验。这个实验也采用单个光子偏振态作为待传送量子态。然而,学术界也有许多人对这些实验持不同看法。由于实验中利用参量下转换产生的EPR光子对的几率相对于真空态只是50%,关于Bell基测量成功的几率也只是25%。因而他们认为这不是通常意义下的量子隐性远程传态。在通常的量子隐性远程传态中,原理上要求Bell基的确定不应是几率方式。事实上,所有的这些争论均涉及对基本量子测量问题的不同理解。

目前的量子隐性远程传态还没有真正地应用到通讯过程,所有的实验均是在实验室中的短距离上进行的。要想真正地应用于实际通讯过程,必须解决所谓的“退纠缠”问题。退纠缠是量子退相干在多粒子系统上的反映:由于环境的影响,二粒子状态的相干叠加将部分退化或完全退化,从而减少了由一个粒子状态确定另一个粒子状态的关联纠缠程度,因而大大降低利用EPR对实现量子通讯的成功几率。在

长距离通讯中,EPR关联粒子对会经历极为复杂的环境作用,退纠缠的可能性很大,很难人为地控制这种随机的效应。为此,人们需要针对十分复杂的实际的环境,探索具有一定的普适性的避免量子退纠缠的物理方案。只有克服量子退纠缠的发生,才能使量子隐性远程传态有实际应用价值,实现真正实用的量子通讯。

问题与前景

量子退相干效应和相关的量子退纠缠对量子计算和量子通讯过程的影响是相当复杂的。不同的模型、不同的温度以及不同的作用强度都会产生不同的效果。选择适当的量子系统作为量子计算机和量子通讯的载体,并使之在复杂的情况下有效地工作,是十分艰巨的任务。这不仅需要从基本物理学的角度,重新分析具有实际应用的量子测量问题和环境对量子系统作用的复杂性,而且要从计算机数学和通讯编码的角度深入了解量子退相干过程。可以说,量子算法,量子通讯编码和相应量子系统的物理实现是量子信息这一新兴科学领域的中心。围绕着这个中心,除了传统的信息科学理论和实践,还需要数论、组合数学、理论物理、量子光学和凝聚态物理等诸多学科分支的协作研究。在这些研究和探索中,理论工作只是必要的第一步,实验中模拟和实现具体的量子信息过程才是研究的主要目标。

毋庸讳言,正如从图灵理论计算机到第一台电子计算机的诞生的过程一样,从目前量子信息的基础研究到最终实现有实际用途的量子计算机和量子通讯,还需要相当长的时间。由于量子信息问题涉及到物质深层次的复杂性质以及物理学和信息科学的根本性问题—信息提取宏观过程的不可逆性,到最终实现实用的量子计算机和量子通讯的过程会更长、更艰巨。虽然量子信息的实验和理论研究已经形成高潮,但也要严肃冷静地以长距离眼光看待目前的研究热点。切不要急功近利,完全以短线的实用目的对待这一重要的基础研究工作。最终实现的量子计算机和量子通讯也许会与今天的量子信息基础问题的设想有很大的差异,但目

浅谈超新星爆发

文冠一

(汶川卧龙自然保护区教育科 四川 623006)

超新星(Supernova)是恒星演化到最终阶段中子星之前时产生的一次最强大猛烈的爆发。爆发时恒星的光度突然增到原来的1000万倍以上,在超新星的亮度极大时,常常与它所在的星系的总亮度一样亮或者更亮,亮度变化幅度很大并且具有特殊的光谱。

超新星爆发是一种激烈的天体演化物理现象,爆发后遗留下来的残骸就是中子星。其中有一部分是我们可以观测到的旋转的中子星,我们把它们称之为脉冲星。超新星爆炸后在银河系内遗留下来的射电源、X射线和 γ 射线源是高能天体物理学所研究的主要课题,超新星的爆发过程是宇宙中合成铁属元素的基本物理过程,因此,核天体物理的大部分内容是通过超新星来研究的。

另外,对实验物理学来说,超新星爆发提供了一个在地面实验无法达到的,在极端情况下的核聚变过程、高能粒子之间的相互作用以及高能粒子与物质之间相互作用的实验条件。同时,由于超新星的爆发之激烈、能量之高可达到 10^{53} 尔格,这也是地面上的任何爆炸(包括氢弹爆炸)无法达到的。

超新星爆发作为一种天体的演化,它与恒星的演化、元素的演化、合成元素和高能天体物理以及天文学的前沿理论研究有着密切的关系,是目前天文学家和物理学家们的研究热点。

超新星的研究在我国有着较早的历史。我国历史文献中很早就有记载,这在遗留下来的

典籍中可以查阅到我国古代天文学家对超新星研究所做的观测记录资料,这些记录至今仍然有着重大的科学价值。早在三、四千年之前的殷虚甲骨文中,就已经有这类记录。其中有一段:“七月己巳夕昱出新大星并火”,意思是说,七月(己巳)黄昏时有一颗新星出现在大火(即心宿二)附近。

天空中突然出现一颗原来没有的明亮的星,是十分引人注目的,把它称为“新星”是很自然的事。因而,在近代欧洲也不约而同地把这种星叫做新星,并沿用至今。我国古代天文学家们把这种星归入客星一类。他们认为这种星往往是在不太长的时间里很亮,肉眼明星可见,过后又消失了,就好像来去匆匆的过客一样。从新星的出现到消失,每一颗星的寿命是不一样的,有的很短,只有几天,有的长一些,几个月或几十个月。

寿命大于半年以上的新星十分罕见,考察2000多年的历史记录,只有8颗新星有这样长的寿命。因此,天文学家们把它们称之为超新星,其中7颗的记录如下:

1. 公元185年12月7日在半人马座的 α 及 β 两颗星之间观测到的一颗超新星,于187年7月24日到8月21日之间消失,历时20个月,亮度星等为-8;

2. 393年在天蝎座中观测到的超新星,亮度星等为-1,寿命8个月;

3. 1006年在豺狼座中观测到的超新星,亮

前量子信息的研究至少可以从基本物理学的角度加深人们对信息本质的认识。事实上,从科技发展的历程中不难看出,科学和技术有着内在的互动关系。对科学真理的非功利追求也常常导致新技术的变革,深刻地影响人类的社会

生活。从爱因斯坦的狭义相对论到原子能的广泛应用,从量子力学到激光、半导体的发明,都是这方面的典型例证。我们希望,量子计算机和量子通讯的最终实现,会为此观点提供更具有说服力的新的范例。