



旋束态的三旋算法量子计算应用

王德奎 (Wang Dekui)

绵阳日报社, 绵阳, 四川 621000, 中国, y-tx@163.com

摘要: 在过去的五十多年中, 我们将三旋算法应用于旋束态量子计算, 对于物理学界来说是一个相当大的挑战。因为寻找制造比传统计算机更有效率的量子计算机途径, 就如寻找量子信息处理的“圣杯”。

[王德奎(Wang Dekui).旋束态的三旋算法量子计算应用. *Academ Arena*2022;14(6):22-39].ISSN1553-992X(print);ISSN2158-771X(online)<http://www.sciencepub.net/academia>. 4.doi:[10.7537/marsaaj140622.04](https://doi.org/10.7537/marsaaj140622.04).

关键词: 光纤电话、旋束态、量子信息处理、量子计算

【0、引言】

据国外报道, 科学家已经首次将多伊奇(Deutsch)算法, 应用于束态量子计算。但现在环量子三旋仅仅只是一个法则, 而找到采用三旋运算法则可能会使量子计算有效进行的证据是: 海森堡说, 基本粒子真正基本的东西是能量, 当能量获得一定的形式时就变成了基本粒子。我们联系到光谱是光子能级跃迁的这一事实, 感到它的意义正是在于此: 圈态自旋排列组合的变化, 正是由能级跃迁体现出来的。

这样, 就可以把旋束态的三旋算法同光谱分析联系上。并且, 这还会跟生命发生联系。因为把人体比做量子计算机, 目前的大脑化学证实, 人类的记忆、学习, 对外界信息的感受, 是用不同的化学递质来联系、反映的。这里只要把旋束态类似的“群落”概念引进色动力学, 联系到一个池塘里的生境, 不同的植物和动物的种群, 在不同层次和谐地生活在一起, 我们就可以类比设想把一个原子、一个分子也看成是一种圈态生境的群落。人体也正是一个巨大的圈态生境群落。

要知道, 一个类圈体就有 62 种自旋状态可供选择, 它的不同排列组合体现为能级跃迁, 体现为光谱线, 也体现为不同的化学结构, 那么人体要造成化学递质, 只需改变圈态的前线轨道就足够了。并且, 这还会跟生命发生联系。

【1、从人体量子计算机模型说起】

人体的这种量子计算机, 跟今天正在使用的用光的颜色编码的光纤电话很类似。这种“颜色调制”的原理是: 调制器采用一个棱镜把普通白光分成七种颜色, 投向枢轴上固定的反射镜; 而枢轴的转动角度是受打出的电话信号编码控制的, 因此连着枢轴反射镜反射的颜色变化, 是同打出的电话信息一致的。不同颜色的光经过一个透镜聚焦进入光纤中, 接收机将这些颜色的组合经过解码机解码, 复现出

话的声音, 让接电话人收听。在人体量子计算机里, 外界的信息正相当于这种光纤电话机里调节器采用的普通白光。

不同的是, 人体还是把光纤电话里的编码机和解码机, 都集中于一身, 它们分别代表物理学中的“熵”和自然全息律的“解”这两个概念。即人体的这个编码器属于负熵, 人体的解码机是属于一种体外解。人体的枢轴和反射镜正是圈态群落的自旋, 它是受体内解和熵控制的。我们知道, 人体接收外界信息, 80%是从眼睛传递进去的。就是说, 人体里接收的 80%的信息是通过光学语言向体内自然发报的。

而光是一组光谱线, 不同的信息是一组不同的光谱线, 人体接收了这组光谱线文字, 立即被人体这部圈态密码机, 编制成密码, 即变化圈态自旋的排列组合----产生能级跃迁----出现不同的化学递质及浓度和分布位置的变化; 而这仅仅是圈态前线自旋轨道的变化, 这种圈态前线轨道自旋的涨落, 一般不影响人体生理的大方向, 但却是人群的不同行为反映的依据。这种人体圈态前线自旋轨道的涨落, 一般不为本人和旁人所感觉。类似将多伊奇算法应用于束态量子计算, 三旋运算法则也适用于束旋聚量子计算机。

多伊奇运算法则, 在单通道量子计算机中的应用, 可以说才是量子计算中旋束态的首次运用----所谓多伊奇算法, 是从多伊奇问题开始的。这个问题最早是英国物理学家多伊奇(David Deutsch)提出来的, 其中涉及量子算法的解决方案。众所周知, 对于一个比特进行操作, 有四种方法: 不变, 翻转, 等 0, 等 1, 它们都可以表示成用一个矩阵相乘的模式。用经典计算机来判断到底是情况 A(变量结果操作), 还是情况 B(常量结果操作), 必须要经过两次尝试。

第一次输入 0 观看结果, 第二次输入 1 观看结果。第一次输入 0 输出是 0, 那么可能是不变, 也可

能是等 0。第一次输入 0 输出是 1,那么可能是翻转,也可能是等 1。第一次输入 1 输出是 0,那么可能是翻转,也可能是等 0。第一次输入 1 输出是 1,那么可能是不变,也可能是等 1。所以,必须至少尝试两次,第一次输入 0,第二次输入 1 或者相反:不变,情况 A 变量,等 0,情况 B 常量,等 1,情况 B 常量,翻转,情况 A 变量。经过两次经典计算,我们可以确定属于变量操作或者常量操作。虽然我们也可以确定到它属于四种操作中的哪一种,但其实这个信息是不必要的,又是不得已而为之的。

因为我们只需要判断变量或者常量即可。同理 n 位 2 进制最多表示 2^n 个数字,比如 2 位的 00、01、10、11 共有 2^2 种,可以表示十进制的 0 至 3;同样 3 位的 000、001、010、011、100、101、110、111 共可以表示 0 至 7,即 2^3 种;同样 8 位可以表示 $2^8=256$ 。

所以,对于经典计算机来说,需要尝试 $2^n * (1/2) + 1$ 次(也就是一半多一次),才能确保足够可以判断未知函数属于哪一种。其实以上多伊奇量子算法,仍有局限性。

【2、从多伊奇比特到量子众特、囚特、多特】

2020 年《环球科学》2 月号上,乌尔巴西·辛哈教授写的《三维量子比特:量子计算新可能》一文,我们觉得很新鲜,特别是她说的“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”,我们感到特别亲切---因为 2002 年 5 月四川科学技术出版社出版的约 70 万余字的《三旋理论初探》一书,其中的第 19 章《生命与量子计算机》和第 19 章第 3 节《双螺旋结构与量子计算机》,实际讲的已超越传统的电子计算机和球量子计算机的“比特”和“量子比特”概念,在介绍环量子自旋存在“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”的原理---只是全书中还没有出现辛哈教授定义的“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”等最新概念。

如果说辛哈教授提出了“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”等理论,但辛哈教授团队以及人类还没有研制出名副其实的可运行的高维量子比特计算机的话,那么对人类自身来说,每个正常人及其思维着的大脑,则是名副其实可运行的高维量子比特计算机---这是自然界生命在起源进化的过程中得到的解决。

1、量子众特从三缝实验到环量子自旋编码

辛哈教授说的“三缝实验”涉及“量子众特”,是指当一个光子穿过狭缝板时,通过每条狭缝的概率相等。一个经典的粒子只能穿过某条狭缝,但是一个量子粒子却可以同时穿过三条狭缝形成迭加态。这个处于迭加态的光子可作具有三个基本态的“量子众特”---一个量子众特具有三个基本态,总可能态数为 3^n ,因此 2 个量子众特就有 $3^2=9$ 个可能态。这是

从量子比特指一个量子比特与经典计算机中一个比特有两个基本态一样,也具有两个基本态,可以同时处于这两个状态推证得出的新概念。计算的公式是可能态数为 2^n , n 为量子比特的数量。三个量子比特就有 $2^3=8$ 个可能态。

那么《三旋理论初探》一书,是如何解读环量子自旋的三旋具有三个基本态的“量子众特”的呢?这首先要弄明白环量子自旋的三旋起源的分析。这是从拓扑几何和微分几何的环面与球面不同伦定理出发,推证类圈体模型最具有自旋操作的特色---类圈体的三旋即面旋、体旋、线旋不仅可以用作夸克的量子色动力学编码,而且也可以用作量子计算逻辑门的建造。这个中的道理是量子理论,虽然把任何事物包括光、物质、能量甚至时间都看成是以大量的量子形式显现的,并且这些量子是粒子和波的多重组合,以多种方式运动,但量子的拓扑几何形状抽象,却长期没有得到国民普及教育支持下的认知统一。

一种认为量子是质点,如类粒子模型;一种认为量子是能量环,如类圈体模型。电子计算机属类粒子模型,因为它的微处理器是以大规模和超大规模半导体集成电路芯片为部件,这是以晶体能带 p-n 结法则决定的电子集群粒子性为基础得以开发的。而量子众特计算机则属于类圈体模型,因为即使是球量子计算机,基本元件如核磁共振分光计,它操纵的也是量子的自旋。

即量子计算机是以量子态作为信息的载体,人们已提出用光子、电子、原子、离子、量子点、核自旋以及超导体中的库珀对等物理系统作为量子比特的方案,这使量子行为与经典物理的联系更紧密,从而为科学的发展提供了机遇。这是因为它揭示出经典物理概念天生的不足,从而,非引入三旋概念莫属。

例如,物体动量概念渊源于人们的日常语言交流,然而人们对自旋、自转、转动等旋转概念的区分不大。这些概念都隐含含有对称性,现用对称概念,对自旋、自转、转动作语义学定义:

a、自旋:在转轴或转点两边存在同时对称的动点,且轨迹是重叠的圆圈并能同时组织起旋转面的旋转。如上面讲的三旋。

b、自转:在转轴或转点两边可以有或没有同时对称的动点,但轨迹都不是重叠的圆圈也不能同时组织起旋转面的旋转。如转轴偏离沿垂线的地陀螺或回转仪,一端或中点不动,另一端或两端作圆周运动的进动,以及吊着的物体一端不动,另一端连同整体作圆锥面转动。

c、转动:可以有或没有转轴或转点,但都没有同时存在对称的动点,也不能同时组织起旋转面,但动点轨迹是封闭的曲线的旋转。如地球绕太阳作

公转运动。

自旋的定义把进动和公转区别开来，同时又丰富了自旋的内容：

(1) 用一系列平行的截面来切一个作自旋的物体，如果能在每个截面内找到一个不动的转点，且仅有一个转点的旋转，称为面旋。如果这些转点组成的转轴与截面正交，这些截面就称为面旋正面，这条转轴就称为面旋轴，也称面旋 Z 轴。

(2) 物体作面旋，面旋轴只有一条，然而物体还可以绕面旋正面内的轴作旋转，这称为体旋。而这个面旋正面就称为体旋面，这根转轴称为体旋轴。过面旋转点的体旋轴可以有許多条。在体旋面内选定一条作体旋 X 轴，那么体旋面内过转点与它垂直的那一条轴就称为体旋 Y 轴。绕体旋 X 轴转 90 度，体旋面就与原先的位置垂直，体旋 Y 轴这时也与原先的位置相垂直，如果体旋绕 X 轴再转 90 度，体旋面就翻了个面。其次，体旋面还可以从开始位置转 90 度垂直起来时，停下来绕体旋 Y 轴作旋转；旋转到一定时候又可以停下来，再绕体旋 X 轴转 90 度从而回到开先的位置。

从上可以看出，体旋实际比面旋复杂。而这一点却让量子计算机原理研究的专家所忽视，例如尼尔·格申菲尔德等人阐释量子计算机能同时处于多个状态且能同时作用于它的所有不同状态的量子陀螺原理图时，对量子位不动的几种陀螺旋转，就分辨不清，明显的错误是把陀螺绕 Y 轴的体旋称为“进动”，这是不确切的。

(3) 磁场同线旋有关。用一系列体旋轴与面旋轴构成的截面去切一个作自旋的物体，每个截面能呈现宏观或微观封闭运动的涡线旋转，称为线旋。每个截面上的不动转点组成的圈线轴，称为线旋轴。线旋一般不常见，例如固体物质一般只有存在电磁场时才显现。即使如此，肉眼也不能看见磁力线转动，并且也难看见表面的分子、原子、电子等微观物质的运动。

其次，线旋还要分平凡线旋和不平凡线旋。不平凡线旋是指绕线旋轴圈至少存在一个环绕数的涡线旋转，如墨比乌斯体或墨比乌斯带形状。同时，不平凡线旋还要分左斜和右斜。因此，不平凡线旋和平凡线旋又统称不分明自旋。反之，面旋和体旋称为分明自旋。

把辛哈教授说的“三缝实验”涉及的处于迭加态的光子具有三个基本态的“量子众特”，与环量子自旋的三旋具有基本态的“量子众特”比较，其实只在对应只能作平凡线旋类圈体的三种自旋----即面旋 (A、a)、体旋 (B、b) 和线旋 (G、g)。

能作不平凡线旋类圈体中的两种不平凡线旋，如左斜不平凡线旋 (E、e) 和右斜不平凡线旋 (H、h)，不包括在内类似“量子囚特”。

2、从量子囚特、多特到环量子三旋编码

辛哈教授说：高维量子计算机的优势，是能摆脱二进制代码----从一场足球赛通常只想到两个结果：“赢”或者“输”，到再加两个结果“弃权”和“平局”，那么一个量子比特就不足以描述所有的结果，而需要两个量子比特。但在四态系统中，一个量子就够了----在量子计算机中被称为“量子囚特”。对于相同的数据量，高维量子比特又称为“量子多特”----只需要更小的系统就能满足计算需求。

这都是《三旋理论初探》一书解读的内容，因为类圈体的三旋根据排列组合和不相容原理，可构成三代 62 种自旋状态，并且为量子的波粒二相性能作更直观的说明：在类圈体上任意作一个标记（类似密度波），由于存在三种自旋，那么在类圈体的质心不作任何运动的情况下，观察标记在时空中出现的次数是呈几率波的，更不用说它的质心有平动和转动的情况。这与量子行为同时处于多种状态且能同时处理它的所有不同状态是相通的。

这正是高维量子比特计算开发的理论基础----再识“比特”、“量子比特”、“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”等三旋共轭编码场，如果从高维量子比特计算机的角度看人类社会和自然界，到处又构成的是一种计算网络，这正是今天的信息时代也能理解的。利用类圈体三旋模型的“比特”、“量子比特”、“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”等多态性和同时性的演示，就能教育普及类似量子计算机到高维量子比特计算机的量子逻辑。同时，这还可能为科学提供 21 世纪里广泛认识自然、生命、社会现象的数学思维。所以解读“比特”、“量子比特”、“量子众特”、“量子囚特”、“量子多特”和“高维量子比特”等计算，就是解读生命，解读人工智能、解读深度学习、解读机器学习。

而解读生命，解读人工智能、解读深度学习、解读机器学习也就是解读计算。因此生命的解读，为量子信息学打开了广阔的大门，而量子信息学的进展，又为人类认识生命提供了钥匙。

3、量子退火机解读三旋量子比特计算

2018 年《科学世界》第 3 期山田久美写的《新型量子计算机》一文，提到西森教授说：“量子退火机的特点是实现了超导体圆环的连接，整个系统变得更加稳定”。西森秀稔教授说的利用“超导体圆环”实现量子比特，指的是超导电路利用的是铌 (Nb) 这种金属元素构成的微小圆环----这种微小的圆环在常温下达不到超导状态，电流呈逆时针流过时，会产生向上的磁场；顺时针流过时，会产生向下的磁场。通过电流产生磁场与电磁铁是同样的道理。在温度降低到大约绝对零度的极低温之后，由于铌的特性，圆环达到超导状态，也就是能实现顺时针和

逆时针流动的电流的迭加状态了。这时有电流经过的圆环就会产生极小的磁场线束---磁通量量子。此时的磁通量量子也处于向上和向下的迭加状态，这种磁通量量子就被用作量子比特。例如，把向上的量子比特当作“0”；向下的量子比特当作“1”。

其实《三旋理论初探》一书，和其中的第 19 章《生命与量子计算机》和第 19 章第 3 节《双螺旋结构与量子计算机》中，都在阐释类似超导体圆环的环量子的面旋和线旋---类似电流呈逆时针或顺时针流过超导体圆环，属于面旋；电流呈逆时针流过超导体圆环产生的向上磁场线束循环，和电流呈顺时针流过超导体圆环产生的向下磁场线束循环，属于线旋。但三旋理论的环量子还能产生体旋。

4、超导体圆环向生命双螺旋 DNA 延伸

辛哈教授的《三维量子比特：量子计算新可能》的文章中说：量子众特计算机关注的不仅是能进行“门操作”任务的光学元件的设计，还要关注将整个系统小型化---其实“小型化”也是 D-Wave 公司开发的量子退火计算机还没有解决的问题---它的外观很大，与普通的超级计算机相似。原因是它的里面有一个圆筒形的冰冻箱，相当于量子退火计算机心脏部分的“超导电路”就严密地保存于这个冰冻箱里。

而《三旋理论初探》书中讲到“生物超导”却是一种高温超导，在常温下我们人类不仅能好好地活着，而体内也存在“生物超导”体 DNA 结构。打开一把有两位的号码锁，在电子计算机中一位的状态由 0 或 1 规定，两位就构成 4 种不同，即 0 与 0, 0 与 1, 1 与 0, 1 与 1；随着计算过程的进行，数据位很有秩序地在众多的逻辑门间移动，因此可能需要进行 4 次尝试才能打开。而一台由极少量的氯仿 (CHCl_3) 构成的两位量子计算机中，一个量子位可同时以 0 和 1 的状态存在，两个量子位也构成类似的 4 种不同状态，但量子位不需移动，要执行的程序被汇编成一系列的射频脉冲，通过各种各样的核磁共振操作把逻辑门带到量子位那里，该锁只用一步就被打开。

这一切用三旋理论很好理解：类圈体同时能作三旋，设体旋为 0 状态，面旋为 1 状态；线旋类似原子核磁场和外加磁场，它既能作方向定位又能对体旋和面旋方向进行操作，而且是远距离瞬时缠连的同时作用。这如花样游泳运动员在水中除能作各种表演外，还能听令于岸上的指挥。虽然人工制造三旋很难，但三旋却与物质的各个层次都有联系。例如在分子层次可以把 DNA 双螺旋结构看成多重类圈体，在原子层次可以把原子看成单个类圈体。

在量子计算机中，至少要用到两个原子，其中一个除起逻辑测定外，这个额外的位还能起内部量子误差自动校正纠错的作用。例如利用氯仿中氢核和碳核类圈体似的三旋之间的相互作用，建造一个

量子受控非门：用一个振荡频率为 400 兆赫（即射频）的磁场，可以使被置于 10 特斯拉的恒定磁场（设箭头沿垂线）内的一个氢原子核圈发生体旋。设氢圈的面旋轴向不是朝上就是朝下，即圈面在垂直于恒定磁场的水平方向；设碳圈的面旋轴向确定地朝上，即圈面也在水平方向，当一个适当的射频脉冲加上之后，可以使碳的圈面绕水平方向轴体旋到垂线方向，然后碳圈将绕着垂线方向轴继续体旋，其体旋速度将取决于氯仿分子中氢圈的面旋轴向是否恰巧朝上。

而经百万分之一秒的时间，碳圈的面旋轴向将不是朝上就是朝下，这取决于邻近的氢圈的面旋轴向是朝上或朝下。因为在那一瞬间再发射一个射频脉冲，使碳的圈面再绕水平方向轴体旋 90 度，这样，如果相邻的氢圈的面旋轴向朝上，此操作就使碳圈的面旋轴向朝下；而如果相邻的氢圈的面旋轴向朝下，它就使碳圈的面旋轴向朝上。

可见量子计算是借助于类圈体的三旋转动及“受控非门”的操作，因为作为这种逻辑门三旋基础的面旋轴向可以处于朝上和朝下，以及体旋可以绕水平和垂线轴向转动这两种状态的迭加中，因此，量子计算可以同时为一组似乎互不相容的输入进行操作。

【3、量子自旋液体伊辛模型进展到国内】

我国 2004 年高等教育出版社出版著名凝聚态物理学家文小刚教授的《量子多体理论---从声子起源到光子和电子起源》一书，文小刚教授把他导师威滕的超弦/膜理论引入凝聚态物理学，实际“旋束态”概念也类似“凝聚态”---文小刚提供了指引刚性自旋液体、玻色自旋液体、费米自旋液体、代数自旋液体等统一的基础理论创新的方向。这在国内，研究量子自旋液体、伊辛模型、相变的进展也很大

1、分数化激发是量子自旋液体重要特征

一种典型的分数化激发，是自旋为 1/2 的自旋子。该激发对应的准粒子不被局域在格点上，类似于巡游电子，具有自己的色散，两个自旋子的束缚态则对应于通常的自旋为 1 的磁振子激发。磁性的中子散射是一个自旋为 1 的过程，因此在激发量子自旋液体中的准粒子时，需要同时激发准粒子与准粒子空穴组成的粒子-空穴对，而所有满足能量与动量守恒关系的粒子-空穴对都可以被激发。因此，中子散射得到的激发谱为连续谱，跟有明显色散关系的自旋波显著不同。基于该原因，连续谱被认为是迄今为止最为可信的量子自旋液体的判据。

我国科学家的研究表明，看上去像是来源于量子自旋液体的实验观察，其实是来源于无序导致的自旋玻璃态。特别是一度被认为是确定量子自旋液体最有力的证据---从中子散射测量中得到的连续谱，也可以由自旋玻璃态产生。这些结果为日后量子自

旋液体的发现与判定提供了重要的启示。例如从2018年到目前,在发表在《物理评论快报》等国际一流期刊上的成果,突出的有南京大学温锦生教授研究团队与复旦大学李世燕教授课题组合作,在量子自旋液体体系研究上取得多次重要进展——温锦生教授研究团队与合作者在 α -RuCl₃材料晶体结构中首次发现了狭窄的K相互作用之后,进一步发现了该材料中磁场诱导的自旋液体相的证据。

在温锦生教授等研究单晶生长、磁场下磁化率、比热测量等工作的基础上,李世燕教授课题组进行了磁场下的极低温热导测量。温度最低降低至80mK,获得的部分结果,如热导在临界场7.5T附近达到最小值,当跨过7.5T后,磁有序消失;高场相的热导结果显示当温度趋近于零度时,磁激发对于热导并无贡献。

这揭示了高场下 α -RuCl₃本质的一个重要方面,对描述其基态的理论模型提供了很强的约束条件。这对量子自旋液体候选体系在高磁场环境下的奇异行为,是有了更深的认识——一般磁性材料在低温下磁矩会呈规则有序排列。而对于量子自旋液体这个全新的拓扑量子态则大为不同——该体系电子的自旋即使在绝对零度也呈液体一般的无序状态,并因该特性而得名。有趣的是虽然自旋无序排列,它们之间却存在着长程的量子纠缠,因此可以被应用于量子通讯及量子计算。

同时有观点认为,高温超导电性是通过掺杂量子自旋液体演化而来的。这种新奇的量子态也因此吸引了众多凝聚态领域的研究者。目前被认为是量子自旋液体的体系,一般是建立在三角格子上的阻挫系统。而早在2006年,美国加州理工学院的基塔耶夫(A. Kitaev)教授提出了一种二维六角蜂窝状格子上自旋为1/2的模型,被称为Kitaev模型。该模型严格可解,且基态为量子自旋液体态。

与几何磁阻挫导致的量子自旋液体不同的是,Kitaev量子自旋液体中磁无序的产生是由于体系中的量子阻挫所致。自旋之间的相互作用称为Kitaev相互作用。该模型具有拓扑序,存在非阿贝尔任意子激发。通过对任意子的操作,可以实现量子计算。因此,在实验上找到这种材料具有重大意义。最近几年,具有六角晶格的 α -RuCl₃提供了一个很好的平台来研究Kitaev物理。 α -RuCl₃在零磁场低温下会进入长程磁有序态,然而通过对该材料施加面内磁场进行调控,磁有序态会被逐渐抑制,在临界磁场以上,磁有序完全消失。

为了研究临界磁场之上的磁无序态是否为所期望的量子自旋液体态,李世燕研究组对该材料进行了磁场下的极低温热导率实验。他们发现其热导率几乎完全由声子贡献,磁激发仅仅起着散射声子的作用。这表明高场的磁无序相不是无能隙的Kitaev

量子自旋液体。因此,对高场下 α -RuCl₃基态的描述有两种可能:一种可能是磁场诱导的磁无序态是一个有能隙的量子自旋液体;另一种可能是高场下 α -RuCl₃并不是自旋液体。这一结果对该材料高场下的基态给予了很强的约束,为进一步的理论和实验研究提供了方向。

2、量子相变及自旋玻璃三维伊辛模型

其次是,2021年3月1日中科院金属研究所网新闻报道:我国科学家在量子相变理论取得重要研究进展——中国科学院金属研究所张志东研究员求出二维横场伊辛模型的精确解。这是张志东教授在求出铁磁性三维伊辛模型精确解、确定自旋玻璃三维伊辛模型计算复杂度下限之后,取得的又一项重要研究成果。

伊辛(Ising)模型是一类描述物质相变的随机过程模型;物质经过相变,要出现新的结构和物性。发生相变的系统一般是在分子之间有较强相互作用的系统,又称合作系统——相变存在于自然界的许多物质中,是物理学研究的重要课题。相变按照其物理性质的变化规律可以分为一级相变和二级相变。在相变点,能量对物理变量的一级导数不连续的相变为一级相变,能量对物理变量的二级导数不连续的相变为二级相变,也称为连续相变。二级相变的临界点处存在非常有趣的临界现象,有经典的二级相变和量子的二级相变。

经典的二级相变是随着温度的变化而发生的连续相变,通常发生在磁性材料中的铁磁-顺磁相变、合金中的有序-无序相变、超导材料中的超导态-正常态相变、液氮中的超流-正常液体转变等。量子相变为发生在零温以及附近的相变,通过改变磁场、电场、压力、掺杂量、有序度等物理量使物理体系在零温以及附近出现相变。量子相变广泛存在于磁性材料、铁电材料、超导材料、金属-绝缘体转变体系、量子霍尔效应体系等体系中。深入理解量子相变也是凝聚态物理的重要研究方向。所以伊辛模型是一个非常重要的理论模型,可以用来描述在多体相互作用自旋体系的物理性能和相变过程。

通常可以用零磁场下二维伊辛模型和三维伊辛模型分别描述在二维材料和三维材料中的经典相变。三维伊辛模型精确解是物理学的百年难题。二维横场伊辛模型可以用来描述在二维体系的量子相变。

这里横向磁场使伊辛模型中的自旋具有量子的特征。同时,横场起到经典相变过程中温度的作用。二维横场伊辛模型精确解是与三维伊辛模型精确解同等难度的问题。张志东教授根据二维横场伊辛模型与三维伊辛模型之间的等价关系,确定了两个模型之间参数对应关系,再利用前期工作中求出的三维伊辛模型精确解,直接推导出二维横场伊辛模型的精确解。这是近年来随着对石墨烯为代表的二维

材料的研究，二维材料成为一个研究量子相变的平台。二维横场伊辛模型精确解可以应用于二维磁性材料、铁电材料、超导材料、金属-绝缘体转变体系、量子霍尔效应体系等中的量子相变。而三维伊辛模型可以被映射为许多物理模型，并且可以应用到物理、化学、生物、数学、计算机、经济、社会等学科领域。张志东教授获得的三维伊辛模型精确解，可推广应用来解释许多相关体系的物理性质和相变过程。

3、克利福德代数与三维伊辛模型

2019年7月25日“科学网”个人博客专栏，张志东教授发表的《终结猜想-15-克利福德代数》一文，公开了他得上述成果的一些秘密。他说：“从小就学习代数，在上大学之前基本上学习的是初等代数，加减乘除四则运算，求解一元、二元方程以及方程组等，在大学里学习高等代数，主要内容微积分、线性代数、常微分方程以及偏微分方程等，作为非数学专业的本科生也仅此而已。

1920年德国科学家楞次教授提出“伊辛模型”，1925年楞次教授的学生伊辛发表了一维伊辛模型的精确解，所以该模型也被称为“楞次-伊辛模型”。在求解三维伊辛模型的精确解的过程中，张志东教授自学代数方面的知识，发现有许许多多的代数，大都是以数学家的名字命名的。刚开始接触到这么多的代数，还真有点懵。

后来理解到，只要按照一定的代数法则构建一个封闭集合就可以建立一种代数。在三维伊辛模型的数学结构中，他发现李代数、四元数代数和约当代数。他介绍了克利福德代数与四元数代数和约当代数有非常紧密的联系，说一些数学性质是相通的”。

克利福德代数以英国几何学家克利福德的名字命名。克利福德发展了双四元数理论，是对爱尔兰数学家哈密顿的四元数理论的推广。然后将它们与更普遍的结合代数相联系。他使用双四元数理论研究在非欧几里得空间以及包含封闭欧几里得流形（表面）的运动，现在称为“克利福德-克莱因空间”。他的工作显示，具有固定曲率的空间可以有几个不同的拓扑结构。克利福德代数的主要贡献者还有：四元数、外代数等。克利福德代数博大精深，与数学和物理的许多领域有联系。

克利福德代数广泛应用于广义相对论、量子力学、量子场论、射影几何、微分几何、共形几何等。张志东教授谦虚地说他对克利福德代数的了解，仅限于应用相关的知识求解三维伊辛模型，基本上算是刚刚入门级。他在三维伊辛模型精确解研究方面又取得新的进展，是他与日本数学家日本大学的铃木理教授、英国物理学家牛津大学的诺曼·马赫教授合作，发展了一个三维伊辛模型的克利福德代数方

法，通过证明四个定理，从正面支持了之前提出的两个猜想，进而表明在两个猜想基础上推定的精确解是正确的。

他们题目为《三维伊辛模型的克利福德代数方法》的论文，发表在国际数学刊物《应用克利福德代数研究进展》上。这项工作建立了拓扑量子统计物理学；利用约当代数、时间平均，在(3+1)维度的约当-冯·诺依曼-维格纳机制框架内，通过拓扑变换和规范变换来处理三维多体相互作用体系的非平庸拓扑学问题。并且发现了三维多体相互作用体系的拓扑相因子。对理解物质之间的相互作用、拓扑学对物理性质的贡献、空间的本质、时间的自发产生等具有启发性的指导作用。相关工作对凝聚态物理、统计物理、高能物理、生物、计算机科学等领域的研究有着促进作用。例如，有序和无序两个状态转变之间存在一个临界点，铁磁材料从顺磁态到铁磁态的转变；某些合金从无序到有序的转变；超导体从正常态到超导态的转变；水以及许多液体材料的临界点存在液态-气态共存；液体-液体两相体系中也存在两相共存的临界点，甚至生物体中DNA的折叠、病毒的传播、人工智能体系的计算，都存在着有序和无序的相变和临界现象。

伊辛模型是描述临界现象的一个基本模型，它考虑每一个自旋有两种可能的状态（自旋向上和自旋向下），自旋和自旋之间存在相互作用。伊辛模型可被推广用于研究连续的量子相变、基本粒子的超弦理论、动力学临界行为等。原则上，伊辛模型可以描述具有两种可能状态的个体，个体之间存在相互作用组成的多体体系。它甚至可以描述森林火灾、交通堵塞、股市涨落、舆情传播等社会学、经济学现象。

这个方面的一个重要进展发生在1944年，美国科学家昂萨格教授得出了二维伊辛模型的精确解，第一次显示从非奇异性的哈密顿量出发可以在临界点出现物理函数的奇异性，被视作统计物理的重大进展。但是昂萨格的求解方法，无法直接应用到三维伊辛模型的精确求解，遇到的根本性困难是在三维伊辛模型中存在着拓扑学问题。

这个问题困扰了学术界近百年。张志东教授的三维伊辛模型成果，可以研究从无限大温度到绝对零度相互作用的粒子(或原子或自旋)系统的演变过程---如果将热力学中的温度做为动力学中时间来考量，它不仅可以帮助理解热力学平衡的无限系统如一个磁铁，还可以帮助理解我们的宇宙。另外，平衡相变的理论可以用来研究连续的量子相变、基本粒子的超弦理论、在动力学系统到混沌的转变、系统偏离平衡的长时间行为和动力学临界行为等。

由于伊辛模型中的粒子(或原子或自旋)具有两种可能的状态(自旋向上或向下)，它实际上可以对应

黑白、上下、左右、前后、对错、是非、满空、正负、阴阳……所以，原则上，伊辛模型可以描述所有具有两种可能的状态的多体系统，描述两种极端条件间的相互竞争。尽管伊辛模型是一个最简单的物理模型，目前仅有一维和二维的精确解。伊辛在1925年解出的精确解表明一维伊辛模型中没有相变发生。

1944年美国物理学家、后来的诺奖得主昂萨格获得二维伊辛模型的精确解；杨振宁于1952年求出二维伊辛模型的自发磁化强度，都被视为统计物理学上的一项重大进展。然而三维伊辛模型精确解得出的困难，最后被归结为拓扑学的纽结问题。如拓扑学中一个最著名最简单的例子是墨比乌斯带：一只蚂蚁沿墨比乌斯带的外表面爬，可以不知不觉就爬到墨比乌斯带的内表面。人们在日常生活中经常用打结的方法固定物品，这就是“纽结”，比如“中国结”。

三维伊辛模型的问题归结为，如何打开非常混乱地纠缠编织在一起的无限多个各种各样的纽结？张志东教授寻找三维伊辛模型的精确解，对三维简单正交晶格伊辛模型的猜想以及对推定的精确解的详细计算过程，出发点就是拓扑学中的一个常识：低维空间的扭曲和纽结可以被高一维空间的旋转打开。他引入第四维度和相关的旋转变换作为处理拓扑学问题的边界条件，计算出三维伊辛模型的配分函数、比热、自发磁化强度等物理性质以及临界温度、临界指数，发现系统的对称性越高，居里温度越高。在三维系统具有最高对称性的简单立方伊辛模型具有最高的居里温度黄金解。在二维系统具有最高对称性的正方伊辛模型具有最高的居里温度白银解。获得的结果具有一定的对称性和美学价值，并可返回到二维和一维的结果。

具体地说，张志东教授通过引入第四卷曲起来的维和本征矢量上的权重两个猜想，作为处理三维伊辛模型的拓扑学问题的边界条件。通过应用这些猜想用自旋分析法，评估三维简单正交晶格伊辛模型的配分函数---黄金解和白银解分别为 $x^2 + x - 1 = 0$ 和 $x^2 + 2x - 1 = 0$ 两个方程的解，都可以写成具有分形和自相似的特性的形式。

这启示张志东教授在二维和三维伊辛模型之间，存在着一些紧密的数学上的联络，并发现系统的对称性越高，居里温度越高---简单立方伊辛模型在三维系统具有最高的对称性，所以黄金解是三维伊辛模型中最高的居里温度。正方伊辛模型在二维系统具有最高的对称性，所以白银解是二维伊辛模型中最高的居里温度。如果猜想是正确的，三维简单正交晶格伊辛模型的比热在相变的临界点具有对数发散的奇异性，这与二维伊辛模型的比热的奇异性一致。

跟随猜想，张志东教授用微扰技术严格推导了三维简单正交晶格伊辛模型的自发磁化强度。并用与二维伊辛模型类似的方法计算了三维简单正交晶格伊辛模型的自旋关联函数、关联长度、磁化率。

三维伊辛模型的临界指数与一维及二维伊辛模型的临界指数间也存在很好的数学上的对应关系。张志东教授研究了在临界点附近的临界现象，并在猜想基础上获得的结果与其它近似结果和实验结果进行了比较。用一些判据评估了推定的精确解，他解释了其它近似结果和实验结果与解的偏差。在推定的精确解基础上，发现三维到二维的转变现象不同于二维到一维的转变现象。当系统具有等于或小于白银解的居里温度时，具有二维的临界指数。高于白银解的区域，有一个从三维到二维的临界指数的逐渐变化的转变过程。他还特别注意到由于引入第四卷曲起来的维导致的能量增加，和由本征矢量上的权重揭示的在无限大温度和其附近的态的不同，讨论猜想和存在多一维度的背后可能的物理内涵，张志东教授获得的结果具有一定的对称性和美学价值，并可以在极限条件下自动返回到二维和一维的结果。

引入第四卷曲起来的维的想法并不是一个全新的思想---它与科学家们在相对论、结合电磁力和重力的理论、超弦理论、量子重力理论中采取的思路不谋而合。对三维物理世界的理解可能需要引入第四维的帮助，通过引入第四卷曲起来的维在(3+1)维打开三维伊辛模型存在拓扑学的结具有一定的合理性，因为在低维空间的拓扑学的结可以被在高一维空间的旋转来打开。权重的引入是数学中通常使用的一个手段，也具有一定物理思想。但推定得的精确解与目前学术界通常接受的评价标准仍不完全吻合。学术界对伊辛模型的精确解的评价标准为：精确解的能量、比热、磁化强度等函数在低温和高温的级数展开项应与用低温级数展开、高温级数展开技术获得的结果完全一致。

这是由于二维伊辛模型的精确解与低温级数展开、高温级数展开的结果完全一致。张志东教授在猜想的基础上，推定三维伊辛模型的精确解可以与高温级数展开，在无限大温度及其附近一致，但在有限温度不符；与低温级数展开的结果不符合。这意味着，对于三维多体相互作用的粒子系统，即使系统是非相对论的，可能也要放在四维时空世界里来讨论其平衡的热力学性质。也就是说，推定的精确解与级数展开的结果不符合的根本原因，可能来自量子力学本身与相对论的不相容性。即从另一个角度说，张志东教授的工作，可能对建立一个与相对论相容的新量子力学的形式有一定的启示---张志东教授对此问题的探讨，不仅涉及凝聚态物理和统计物理，可能还与量子场论、宇宙理论、高能粒子

物理、图论和计算机科学有一定的关联。

伊辛模型所研究的系统由多维周期性点阵组成，点阵的几何结构可以是立方的或六角形的，每个阵点上都赋予一个取值表示自旋变数，即自旋向上或自旋向下。伊辛模型假设只有最近邻的自旋之间有相互作用，点阵的位形用一组自旋变数来确定。常见的二维伊辛模型示意图使用箭头方向表示自旋方向。

4、伊辛模型与量子自旋

2019年南京大学凝聚态物理博士生导师刘俊明教授在《物理学进展》第5期发表《自旋液体, 深浅自知》的论文; 早在“科学网”个人博客专栏上, 刘俊明教授从2007年4月29日到2008年7月14日发表29篇以《自旋世界》为题的网文等, 都可作为南京大学温锦生教授和复旦大学李世燕教授等, 对量子自旋液体候选体系在高磁场环境下的奇异行为有了更深的认识的参考材料。

其实说到底, 量子相变、二维横场伊辛模型的精确解、铁磁性三维伊辛模型精确解、自旋玻璃三维伊辛模型计算等, 仍是以量子自旋有关---类似量子凝聚态的旋束态量子计算应用。自旋(英语: Spin), 在一般中国人的理解与西方话语权的物理学有差距---在量子力学中, 自旋指由粒子内禀角动量引起的内禀运动---自旋是粒子所具有的内禀性质, 其运算规则类似于经典力学的角动量, 并因此产生一个磁场。

虽然有时会与经典力学中的自转(例如行星公转时同时进行的自转)相类比, 但实际上本质是迥异的。刘俊明教授以“伊辛模型”分析“自旋”, 一般中国人也非常陌生。刘俊明教授论说也很精彩。

他说: “伊辛模型实际是1920年由德国物理学家威廉·楞次教授提出的, 目的是为了给铁磁体一个简化的物理图像。这个楞次教授, 不是电磁学中楞次定律的那个楞次。几年之后楞次在汉堡大学招收了一个博士生, 名叫昂斯特·伊辛, 就将伊辛模型交给伊辛作为博士论文的题目。伊辛不过是研究了这个模型在一维条件下的相变和有序行为, 而且得到了一个平凡的答案: 一维铁磁模型如果只考虑最近邻交互作用的话, 是不可能相变的。虽然伊辛也将这一结论推广到三维情况, 但是其结论似乎错了。虽然如此, 这个模型以伊辛的名字命名已成定局, 倒是埋没了其导师楞次教授的贡献。伊辛本人是犹太人, 在纳粹德国时期, 他有着坎坷的人生经历。一生发表过一篇论文、一篇人物传记类论文。他的那篇有关伊辛模型的SCI论文, 大概被引用了600余次。但是题目含有伊辛模型字样的研究论文, 目前每年有800篇左右, 可见影响巨大---科学家的成名, 应该是这种方式命名的某种理论、效应、现象和方法为后人所研究并且写入教科书。而目前我国

这种靠政府行为或者某一机构评选出来的杰出青年、长江教授、跨世纪人才等等称号, 并不是科学家成名的专业形式”。

刘俊明教授的29篇博文, 讲解“自旋”和“伊辛模型”很接地气, 这里我们不妨摘要介绍一点。如他说假设铁磁物质是由一堆规则排列的小磁针构成, 每个磁针只有上下两个方向(自旋); 相邻的小磁针之间通过能量约束发生相互作用, 同时又会由于环境热噪声的干扰而发生磁性的随机转变(上变为下或反之)。那么涨落的大小由关键的温度参数决定, 温度越高, 随机涨落干扰越强, 小磁针越容易发生无序而剧烈地状态转变, 从而让上下两个方向的磁性相互抵消, 整个系统消失磁性。如果温度很低, 则小磁针相对宁静, 系统处于能量约束高的状态, 大量的小磁针方向一致, 铁磁系统展现出磁性。

科学家对伊辛模型的广泛兴趣, 就源于它是描述相互作用的粒子(或者自旋)最简单的模型。在一维、二维、三维的每个格点上, 占据一个自旋。自旋是电子的一个内部性质, 每个自旋在空间有两个量化方向, 即其指向可以向上或者向下。尽管该模型是一个最简单的物理模型, 目前仅有一维和二维的精确解。考虑一维伊辛模型, M个自旋排成一排, 每个自旋与其左右两个最近邻的自旋之间有相互作用。简单起见, 我们只考虑倾向于使邻近自旋的方向一致的相互作用。二维正方伊辛模型就是由N个相同的自旋排, 每个自旋不但与其左右两个最近邻的自旋相互作用, 而且与前后相邻的自旋排中两个最近邻的自旋相互作用, 构成了一个二维的自旋阵列。三维立方伊辛模型就是有L个相同的二维自旋阵列, 每个自旋与其左右、前后、上下六个最近邻的自旋相互作用。不难发现, 随着维度的增加, 每个自旋的最近邻自旋数目增加, 与周围自旋的相互作用也在增强。

伊辛模型是一个最简单且能够提供非常丰富的物理内容的模型。可用于描写叙述非常多物理现象。如合金中的有序-无序转变、液氦到超流态的转变。伊辛模型的内核就是一大堆物体(颗粒)堆在一起时会出现什么组合行为。组合行为是热力学的精髓; 伊辛模型的基本单元是电子自旋。所谓自旋, 顾名思义当然是一种空间的转动, 可是在这个模型中从来就没有谈转动问题, 用一个箭头表示一个自旋足已, 这个箭头只可以指向“上”或者“下”。如果很多箭头排列在一个点阵或者网格上, 格点处是箭头的位置, 那么这些箭头的组合行为就构成了一个磁性体系; 如果所有箭头取向看起来完全由自己决定, 与周围的邻居箭头无关的话, 点阵就可以类比为顺磁体。

相反, 如果箭头排列呈现某种有序行为, 我们就将点阵与铁磁、反铁磁之类的状态类比起来。在

铁磁体系，我们知道自旋箭头倾向于和其周围邻居平行排列，也就是说，两个相邻的箭头如果平行排列，体系能量就比较低；反之能量就比较高。伊辛模型还假定，一个箭头只是与其周围最近的邻居有关系，与更远一些的邻居绝对互不来往。很奇怪的是，即使这种短距离的关系却可以导致全部箭头相互间有很好的同步和协调，只要温度合适或者外场合适。也就是说，伊辛模型中的箭头组合行为那是绝对的和諧社会，但却只是与其最近的邻居打交道，与稍微远一些的邻居同类老死不相往来。

伊辛模型看起来的确是一个描述铁磁体的好卡通，它的确抓住了实际世界的本质性的东西。伊辛自旋对应于譬如铁原子的电子自旋，而格点组成的点阵就构成了铁的晶体结构。最近的邻居关系就表示了临近的铁原子波函数之间的交接大小。我们看到，伊辛模型的区区几个性质，就在量子力学层次上将实际磁学世界的图像描绘得惟妙惟肖。不过伊辛模型中每个箭头，只能取两个方向的规定似乎在现实世界中没有明显的“法理”基础。事实上，当年海森堡提出他的海森堡自旋模型时就没有这条法律，而代价是海森堡模型就没有伊辛模型简单明了，其求解也要困难很多。到现在为止，还没有关于海森堡模型的诺贝尔奖工作出来，而昂萨格早就因为伊辛模型得到了诺贝尔科学奖。

当然，海森堡模型与伊辛模型似乎是磁体微观世界的南北极，虽然南极现在开发得如火如荼，但北极世界就显得比较冷清了。这样一个简单伊辛模型真的就可以描述我们所常见的磁体吗？伊辛模型中的那些与远亲们从来往的箭头们真的就如同实际磁体那样平行排列在一起？如果现在我们来考虑一些极端情况，比如，当温度无限高时，我们很容易理解热涨落是那么地强烈，以至于它完全克服了至亲箭头之间的相互作用，管他是至亲的还是远亲的。每个箭头各自奔命，整个世界看起来一遍混乱，任何秩序都没有，因此磁体的磁矩为零。

你说不准他到底是头朝南还是北。即使前一个头朝南，下一个未必就头也朝南。在另外一个极端，温度为零，任何涨落都不存在，整个世界沉寂一遍，毫无生气，所有箭头都乖乖地按照同样的方向平行排列起来。至于说这些箭头是齐刷刷地头向上站着还是都头向下倒立着呢？答案是各自的可能性完全相等，除非有外力命令它们都站着或者倒立着。至于低温下为什么都站着或者倒立着，道理很简单，因为量子力学规定他们一个方向站着或者倒立着的能量较低。

现在，假定伊辛模型的温度从高到低慢慢地降低。按照上述两个极端，大家都知道这些箭头总归是要从杂乱无序变得有秩序排列起来的。这时，你说从杂乱无序变到规则有秩序排列过程是慢慢的连

续的呢？还是在某个特定温度一下子就从杂乱无序变得整整齐齐了？仔细一想，很多人未必一下子就能够回答这个看起来很自然很简单的问题。当然，要是那么容易回答，那统计物理学这门学科还能有什么饭碗？而且，似乎统计物理就是“吃饱了没事”要回答这个问题。

不仅如此，因为回答这么一个很简单的问题使得统计物理变得特别的美丽和动人。试想，大千世界这么多复杂的问题如果能够回答，那该是多么美妙的感觉，虽然现在看起来不过是白日做梦呢。在统计物理中，类似这种从无序到有序存在突变性和临界点的认识可是里程碑性的。这种认识首先来自于实验。当铁从铁水凝固成铁锭时，里面成千上万箭头的方向都是杂乱无章的，因为铁锭的磁矩为零。

继续冷却铁锭到某一个温度(现在叫它居里点)，非零的磁矩突然蹦了出来。无论实验咋个精确，测得的磁矩在这个温度点的变化都是跳跃式而不是缓慢变化的。如果伊辛模型真的是那么神乎其神的话，它必须首先能够回答这个跳跃式变化的问题。

伊辛的博士论文就是要回答这个问题，只是他研究的系统是一维的，现在看来真的是简单透顶。也就是说他研究的问题要求一系列箭头必须站成一条线，不能前后不整，而且每个箭头要么站着要么倒立着，不准持其它姿势。在绝对零度以上任何温度都没有这样一个跳跃式的变化。伊辛博士论文必然的是，考虑 10000 个自旋排成一线，而且全部头朝上。因为同向自旋之间是吸引作用，因此这样同向排列的自旋线系统能量肯定是最底的，因此也是最稳定的，系统磁性也最强。现在我们考虑另外一种自旋线，线的中点右侧自旋全部头朝下，变成左边 5000 自旋头朝上，右边 5000 自旋头朝下。这样做的一个直接后果就是系统的整体磁性消失了。

有意思的是，虽然这两种自旋排布对应的磁性很不相同，但是两种排布的体系能量差别却很小，因为对后一种排布而言，只有自旋线中点两侧的一对自旋是相互反向的，其它的 9998 对自旋对维持同向排列。所以我们说，在一维自旋体系中，自旋之间的相互作用是如此脆弱，任何风吹草动都会使自旋线的自旋排布迥然不同。回顾历史，据说依辛曾经猜测认为二维及高维自旋系统也不会有相变。虽然现在我们知道这一猜测是不对的，但是当时依辛还是获得了博士学位，并且很快就去了一所德国公立中学教物理去了。

由此一生，依辛基本上没有再正儿八经地从事过物理研究工作，即便后来他逃亡到美国作了一所不出名大学的物理教授后也没有再继续研究物理。1933 年，希特勒上台，依辛因为是犹太人而遭到公立中学的开除，而后不得不在德国的一所犹太人寄

宿学校里面时代教,直到1938年寄宿学校被撤除。其后依辛与其妻子家人逃离德国,结果没有逃出多远就在邻国卢森堡就因战争开始而被截留。他们一家为生存而苦苦挣扎,一直到1947年才最后到达美国。

到达美国后,先是在北达科他州的一个镇教数学和物理,后来才得以在伊利诺伊州的一所大学物理系谋得教职直至退休,1998年以98岁高龄去世。我们能够理解依辛的选择和感受。何况,依辛本人似乎对于物理研究兴趣也不大。如果不是因为依辛模型的出名,还不知道美国是不是真的会给依辛一个稳定教职,以使它能够安度一生,颐享天年。依辛本人作为物理学家似乎是昙花一现,但是,他开创的关于依辛模型相变行为的研究,却对统计物理学和磁学做出了重要的贡献。依辛模型在其它科学领域的应用也正如日中天,似乎看不到有日落西山的征兆。虽然伊辛模型的应用很多很多,这里的科普伊辛模型第一个应用是合金的扩散和相变。

虽然材料扩散相变的理论很早就有了,但早期都是热力学框架下的。应该说,合金扩散与相变的第一个微观动力学模型是从伊辛模型开始的。考虑一个二元合金体系,组元分别为A和B。你可以说A是溶剂而B是溶质,从而构成了一个标准的二元合金系统。使用脱耦原理:A和B分别就是原子单位,构造一个二维或者三维空间点阵,其对称性可以根据我们有兴趣的合金结构对称性来构造。然后按照合金A和B的相对含量在点阵每一个格点上放入一个自旋:假定自旋朝上代表A,自旋朝下代表B,整个点阵中B的相对含量就是合金溶质的原子百分数。一个复杂的二元合金体系我们三下五除二就搞定了。

不过,物理问题马上就来了。这样一个合金体系在非零温度下,A和B原子各自都会发生运动,即所谓扩散。我们知道伊辛模型的自旋除开可以上下翻转外不能做别的事情,这与合金体系现实不合。合金不允许一个溶质莫名其妙地变成溶剂,即便现在核物理的衰变和裂变也不能任意做到这一点。合金扩散需要的是溶质自旋能够随意地从一个格点跑到另外一个格点上。因此,我们需要改进伊辛模型的动力学规则。最常见的做法是允许近邻的两个自旋交换她们的位置,但是自旋取向不变。让这交换满点阵到处进行,这就是合金扩散了。

伊辛模型有了用武之地---这里对伊辛模型基本统计性质的改变是:伊辛模型的序参量过程是不守恒的,即不同时刻自旋朝上朝下的数目在变化;但是合金扩散模型的序参量过程是守恒的,无论扩散如何进行,溶质数目永远不变。这就使所谓的半巨正则系综系统。就因为这个“半”字,伊辛模型解的很多性质就不能直接套用到合金扩散中去了,需要

定义新的序参量和相变参量。

有了上面的基本图像,我们就可以定义交互作用了。设A-A原子对交互作用为 J_{AA} ,相应地,B-B原子对交互作用为 J_{BB} ,A-B对交互作用为 J_{AB} ,整个合金体系的交互作用就这样简简单单地搞定。由此,我们遵循伊辛模型的轨迹建立点阵的能量哈密顿,就可以去开始配分函数严格解计算,如蒙特卡罗模拟实验---大致上讲,如果 $J_{AB} > J_{AA}(J_{BB})$,合金体系就是固溶体;而如果 $J_{AB} < J_{AA}(J_{BB})$,合金体系就会发生相分离,即从合金中分解出溶质相,这就是所谓的合金相变。这么一个简单的模型就这样轻而易举地将复杂合金体系的芳心俘获啦。对于一个具有相分离趋势的合金,即便 $J_{AB} < J_{AA}(J_{BB})$,温度T很高时,点阵也是统计固溶的;而低温下,相分离就自动出现。

也就是说,存在一个临界温度 T_c ,在此处出现固溶相向分离两相之间的转变。因此,尽管系综性质有所差别,但是伊辛模型的一系列研究成果都可以在一定程度上被“复制”到合金相分离相变中。历史上,有关伊辛的成果就是这样被“嫁接”到合金相变及其动力学研究中的。例如:1)相变点之上合金扩散的统计物理;2)合金相变的静态性质;3)合金相变的形核生长与旋节分解;4)相变动力学的标度理论;所有合金相变的物理问题,上面描述的只是伊辛模型应用于合金扩散和相变的冰山一角。总之,轨道序、电荷序与自旋序耦合,刘俊明教授在“自旋世界”系列的文章中说:所涉及什么金属、半导体、绝缘体、铁电体、磁体、光学材料、催化剂、热电体、如此等等,不一而足。说起来都头头是道、用起来却毛毛糙糙。

但发展到磁电复合导致的磁电耦合效应,一节五号电池可以对样品轻易地施加~100Oe的磁场,就可以产生10000V的开路电压!这类磁电复合材料的第一个应用就是用来制作警棍:开路电压很高,能量却很小很小,电击打罪犯却不会对其施加多少伤害!产生这么巨大效果的材料样品结构很简单:一薄片磁体与一薄片压电体粘叠在一起,磁电之间的转换就这样被轻易地实现了。磁电复合材料的出现使得磁电能量转换和磁场探测似乎变得轻而易举了。美国人和中国人都尝试演示了室温下探测 10^{-9} Tesla磁场的原型器件。多铁和磁电耦合世界,终于等到2000年高温超导培养出精英强手来。

如存储基态研讨的“电阻存储”技术,目前数码信息存储主要体现在两块地方。一块是将信息永久存储,如硬盘(包括U盘等)、光盘之类;一块是将信息放在电脑内存(RAM)里面与CPU联动使用。对于前者,我们追求高密度高速度;对于后者,在高密度高速度之外还要追求“非易失性,即信息保持不需要目前CMOS电路的不断刷新,即便断电后信息

仍然保存在 RAM 中。也就是说，用于第一块存储信息的介质与方法正在被移植到第二块中。目前的信息存储技术主要有如下几种：硬盘磁存储利用自旋有序排列来实现；IC 卡铁电存储利用电偶极矩有序排列来实现；VCD/DVD 光存储利用介质孔洞和激光扫描来实现；相变存储通过控制介质处于晶态和非晶态来实现；闪存存储、静态存储等等。这些存储方法设计巧妙、结构独特精美、聚集了人类非凡的智慧与巧手灵心。它们已经在市场上被广泛使用。

而所谓电阻存储，是说存储的信息状态用存储介质的电阻大小来标定。特别是如果我们能够通过某一物理过程使得介质电阻只能选择两个固定数值，那么这种两态电阻就特别适合用来进行信息储存，而且比现有的存储技术要简单得多。当然，如果电阻能够固定在三个或者有限多个状态之间选择，那么实现多态存储也是举手之劳了。如有前途的材料在正负电场脉冲作用之后显现的电阻状态：对这个类似简单三明治平面电容器结构的介质施加一个正向电压脉冲，然后去测量电阻，你“感觉”到了一个低阻。撤除电压或者施加一个负向电压脉冲，然后去“感知”电阻，你得到了一个高阻。

当你反复施加高低脉冲时，你能够感知到电阻在高低阻值间来回变换。这种现象还有很多变种，但是本质上这就是人们推介的“电阻存储”效应。将这些材料切削成薄片，上下两个面做上电极形成一个三明治，就是一个电阻存储单元了。这一现象被零零散散研究过很多年，日本和韩国一些公司干做出了集成度不低的电阻存储器。这一物理作为存储记忆有没有问题呢？至少有三：(1)电阻状态会随着时间的推移而慢慢漂移；(2)施加电压脉冲多了(比如 10^6 次)电阻状态也会改变，我们叫疲劳。(3)同一批做出的这个三明治与那个三明治的电阻状态不一样。所以，目前的电阻存储作为一种技术似乎既不稳定也不可靠---实现电阻状态变换依靠导电通道的开与关。可是这个通道的开或者关它不是一个能量上稳定的状态，即它不是介质的基态。

而磁存储、铁电存储都是自旋或者电极化排列基态，即便是相变存储也是准基态。因此，基于导电通道的电阻状态似乎命中注定是不能长寿的。“存储基态”从狭义角度看，信息世界中用以存储信息的“0”和“1”代码在物理世界中用序参量的不同状态来实现，例如自旋排列有序时指向上方的为“1”，指向下方的就为“0”。如果这两个状态是系统能量的基态，我们称这两个状态在能量上是简并的，是存储基态。基态存储是可靠保存信息的基础，而非基态存储信息就不那么可靠安全了。比如，目前的 DRAM 存储就是这种需要实时刷新的非基态技术，其后果之一是一旦一段时间没有刷新，信息就会衰退丢失。

从广义角度看，基态存储或者存储基态是否为

信息存储技术的不二法则？而当下的电阻存储最终能否花落基态？伊辛模型通常被用于模拟铁磁性物质（铁、钴、镍）的结构，并对其在铁磁性状态和非铁磁性状态之间的相变进行理论描述。当铁磁性物质的温度低于居里温度时，其内部的原子会按特定方式自旋从而产生宏观磁矩。

总而言之，一维情形，考虑具有 N 个自旋的直线链，每个自旋仅同它的两个最近邻自旋及外磁场相互作用。由于一维伊辛模型中每个自旋没有足够的最近邻自旋，因而不可能出现所有自旋取向完全相同的情况。二维伊辛点阵的阵点数为 $L \times n = N$ 。处理二维空间问题的方法与一维的类似，只需将一维的每个阵点当作一列，并逐列相加求和即可。二维、三维伊辛模型在临界温度以上仍有相变，即平均场理论在铁磁性物质处于临界温度以上时有局限性。存在外磁场的二维伊辛模型和更高维情形的伊辛模型使用平均场近似理论进行研究，其解析解没有被发现，或被认为没有解析解。

【4、旋束态的三旋量子技术应用】

不同于量子自旋液体伊辛模型概念说法，是旋束态概念的三旋量子技术应用---环量子三旋刚开始提出的时候仅是一个法则，现在旋束态三旋量子技术的有效应用已有不少证据。旋束态的三旋算法量子计算，我们已联系过光谱是光子能级跃迁。

在人体量子计算机里，外界的信息正相当于这种光纤电话机里调节器采用的普通白光。不同的是，人体还是把光纤电话里的编码机和解码机，都集中于一身，它们分别代表物理学中的“熵”和自然全息律的“解”这两个概念。即人体的这个编码机属于负熵，人体的解码机是属于一种体外解。人体的枢轴和反射镜正是圈态群落的自旋，它是受体内解和熵控制的---光和物质之间量子隐形遥传。

1、实现光和物质之间量子隐形遥传

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之一，据“教育部科技发展中心”网 2007 年 5 月 16 日报道，德国慕尼黑工业大学加兴校区内的马克思·普朗克量子光学研究所的伊格纳奇奥·切拉克教授领导的研究小组，和哥本哈根尼尔斯·玻尔研究所尤金·普尔兹克教授领导的研究小组一道，成功实现将一个光的量子态转移至一个材料物体内部（即原子系集团）。即他们证明，光脉冲量子态可以转移到一个宏观物体之中。这是科学家首次实现不同特性物体之间的量子态隐形遥传。

量子隐形遥传概念就是指将一个量子系统的状态隐形地和完全地转移到其它地方。一种物体是一种“飞行”的媒介（光），另一种则是一个“固定的”媒介（原子）。该研究成果不仅有益于基础理论研究，而且还会开启量子计算机或者编码数据传输（量子密码术）实践应用之门---通过实验实现了两个不

同光束之间的量子隐形遥传，今后将一个贮存离子的特性转移到另外一个相同物体中将成为可能。

根据海森堡测不准原理中的量子粒子两个补充特性，即位置和动量无法同时精确测量。因此系统的所有信息必须在无法完全可知的情况进行传输。然而粒子的本性却有助于这个问题的解决：当两个粒子特性完美结合在一起后，他们可能会“纠缠”在一起。如果能够测量出“孪生”粒子中一个粒子的确定特性，那对该粒子有着自动和直接影响的另外一个粒子的相应特性就可以确定。有了缠绕粒子的帮助，我们可以大体根据以下步骤来获得量子隐形遥传态：制造一对辅助缠绕粒子，一个被传输到“爱丽丝”，另外一个传输到“鲍勃”。（“爱丽丝”和“鲍勃”名字用于描述量子信息从 A 传输到 B。）现在将爱丽丝的辅助粒子与隐形传态物体进行纠缠，然后测量其共同状态贝尔测量法。

爱丽丝以正规方式将量子态传输到鲍勃。鲍勃将量子态应用其辅助粒子上，并从中“使用魔法召唤出”隐形传态物体。但理论物理学家也面临最大挑战，就是设计出一种同时适用于粒子的理论概念。

由普尔兹克教授和切拉克教授等，提出的实验提议是：首先将一个强光脉冲送入一个充满铯气（约 10^{12} 个原子）的玻璃试管中，制造一对粒子。气体原子的磁矩排列在一个同质磁场中。光同时也具有一个选定方向：光被极化，即电场只在一个方向上振荡。在此条件下，光和原子相互产生作用，而后在气体中产生的光脉冲被送到爱丽丝与位于鲍勃处的 10^{12} 个铯原子发生“纠缠”。爱丽丝通过一个光束分束器将抵达的光脉冲与她希望隐形传态的物体混合在一起：一个微弱光脉冲含有极少的光子。从光束分束器中分离出来的 2 个光脉冲通过光电探测器后被送入鲍勃之中。测量结果可告诉鲍勃要完成选定光脉冲量子态隐形遥传态和传输所必须要做的事情，即在原子系集团上的振幅和相位。为了达到隐形遥传态的目的，鲍勃应用了一个低频磁场，创造系统振荡的集体旋转（角动量）。这一过程可与其最大轴的旋转陀螺运动进行比较：当相位为零时，旋转陀螺的偏振符合光的振幅。

为了证明量子隐形传态已经成功完成，科学家用一束瞬间偏扩光的强烈脉冲照射原子系团体 0.1 毫秒。可以说，这样能够“读出”它的状态。理论科学家能够通过这些测定值计算出所谓保真度和品质因数，这种品质因数是用来描述被传输物质与原有物质间一致性程度的。（保真度等于 1 表示一种完美的一致性，而数值 0 则表示根本不存在任何转移。）在此项实验当中，保真度为 0.6。这一数值要高于通过传统方式获得的最高值 0.5，例如在没有借助缠绕粒子对的前提下，通过电话获得测定值。与传统“光束”概念不一样的是，这里不单单是一个粒子从一个

地方消失，然后从另外一个地方出现。

即量子隐形遥传态是量子密码术中的通信应用方式，量子密码术是指传输编码数据，而并非新通信传输。他们实验的重要意义在于，现在可能首次获得固定原子与光之间的隐形遥传态，固定原子可以贮存量子态，而光可以用于超远距信息传输。这标志着科学家在实现量子密码术上迈出了重要的一步，即远距离绝对安全的通信传输。

2、类龙卷风旋转运动量子光转至纳原子传输

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之二，据“新浪博客”网 2018 年 6 月 1 日发表的《研究人员首次将“类龙卷风”旋转运动从光转移至纳原子》一文报道：2006 年美国国家标准与技术研究所通过一条受限通道将“类龙卷风”旋转运动从光转移至原子的新量子物理学技术，可以用于处理全世界研究人员都感兴趣的一种物质状态——玻色-爱因斯坦凝聚体，它也可能用于量子信息系统——一种即将出现的具有巨大潜力的计算和通信技术。

其实，这是研究人员将轨道角动量——实质上就是空气分子在类龙卷风旋转中的运动，或一颗行星绕一颗恒星的旋转运动，从激光转移到钠原子。实验使原子状态的完全控制科学工具箱，变得更加完善，已能完全控制原子的内部状态、转换状态以及转动行为。

光的旋转运动此前一直被用于对粒子进行旋转，但这项新技术标志着运动可以首次被通过一种不连续的、可测量单元或量子的方式转移到原子。此前他们已将线性动量和自旋角动量（一种内在的磁状态）从光转移至原子。此次实验共计使用了通过磁光阱俘获的一百多万个纳原子。这些原子被冷冻至接近绝对零度，形成同一的量子态——这是形成著名的玻色-爱因斯坦凝聚体的条件，在这样的条件下，它们表现得像一个类果冻浓度的“超原子”。玻色-爱因斯坦凝聚体被两束激光光束从对边进行照射，它们中的一束会呈现出旋转的圆环形状。

每一个原子从圆环形激光束中吸收一个光子（光的基本粒子），并在另一束激光光束通道中吐出一个光子，这样从两个光子间获取旋转角动量差额。两束对立的激光互相作用制造出一个类螺丝锥干涉图样，诱导玻色-爱因斯坦凝聚体转移到旋转运动——呈现一幅旋转的圆环图形或一幅类似于飓风的旋涡。诱导原子云进入同时旋转和静止的状态，或通过改变动量使原子云在相反的方向同时旋转来演示这一控制过程。这就是量子物理学中众所周知的叠合现象。

3、近距离隐形技术量子传输进展

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之三，据“新浪博客”网 2007 年 5 月 13 日发表的《科学家在近距离隐形技术方面取得重大进展》一文报道，英

国利物浦大学的数学家塞巴斯蒂安·根诺，和法国马赛大学的弗雷德里克·佐拉博士及安德烈·尼科莱教授合作，利用特殊的计算机模型通用的有限元求解器证明了当光以波形式传播时，近距离的物体也可以变得隐形——利用一种能弯曲电磁辐射（包括可见光、雷达、微波）的材料制成了球形空间的“隐形外衣”，这可以让这一区域内的物体变得不可见。

利用这一模型可以证明光能在被覆了这种外套的物体周围被弯曲，从而不被物体散射。这是因为该材料会牵引周围的空间，就好像爱因斯坦广义相对论中大型星体对周围空间的作用一样。为此他们需要将光分解为数个波的形式，目前还不清楚当光源靠近物体时，光子是否能分解并形成新的波，如果使用光线技术，光子在近距离破坏，物体无法实现隐形。而以波的形式传递的光则能维持隐形。

这种材料可用于军事科技，例如制造喷气飞机以及潜水艇等，但是制造人类的隐形衣还需要一些时间。飞机的形状和结构很适合制造这样的隐形外套，它们有固定的结构以及运动模式。但是人类和动物的运动很复杂，因此外套在他们突然运动时很容易被看到。

4、电子自旋的半导体计算机电路设计

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之四，据“华强电子网”2016年8月10日发表的《美国科学家提出自旋电子学装置的可行电子》一文报道，加州大学圣地亚哥分校的物理学教授卢杰深和阿南·德里等科学学家，提出了一种基于电子自旋的半导体计算机电路设计，比传统的硅电路拥有更大的计算容量，且升级能力更强。

卢杰深教授介绍研究取得的突破，是装置的几何、其被激活的方式，以及和电路结合的方式等都是全新的，因此他们提出了自旋半导体电路设计——自旋电子学一个好处，是缩小了电路的体积，这对于进行给定的逻辑计算是很重要的。其次他们的装置和传统电子学相比，还有其它优势。如小组成员阿南·德里教授介绍自旋电子设备，允许在不阻碍性能的情况下改造电路，这能得到适应任何应用的高性能电子设备，如应用于手机、微处理器等。

总之，他们描述的这一自旋电子装置，能通过电子自旋态扩充传统电子学的范畴，是使用了一种全新几何学来克服磁信号的弱点，这是目前在硅半导体中发展自旋电子学的主要障碍。如提出的自旋电路，是一系列相互联系的逻辑门，每个逻辑门在一层半导体层上拥有5个磁接触。电子自旋决定了这些接触的磁状态，它们相应于信息传递中的0和1。逻辑计算通过在其中4个磁接触和半导体之间移动电子实现，而结果由第5个磁接触读取。

5、硅材料中电子“旋转”的研究

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之五，据

“中国科技信息”网2007年5月22日发表的《研究人员首次实现测量和控制硅材料中电子“旋转”》一文报道，美国特拉华大学电气和计算机工程学助理教授伊恩·阿贝尔鲍姆和博士研究生黄弼勤，与美国马萨诸塞州剑桥纳米技术公司的创始人之一多维·蒙斯马合作，在特拉华大学伊恩·阿贝尔鲍姆的试验室里进行的试验，展示了如何测量和控制硅元素中电子的旋转属性。这可能推动旋转电子学新领域的发展。旋转电子学旨在控制类似磁体的电子“旋转”属性，而不是仅仅控制电子的电荷，其目的是创造出运算速度更快、更强大的电子设备，比如量子计算机。

硅是世界上使用最广泛的半导体材料，广泛应用于从计算机到手机等电子设备。现代计算机向传统的以硅元素为基础的电子设备提出了严峻的挑战，对处理器的运算速度、内存存储量和电力消耗等性能的需求空前增加，这迫使研究人员在追求更高性能的过程中对不熟悉的领域进行探索。操纵电子电荷是当前电子工业的基础，学院派和工业界的科研人员在过去的十年中一直在探索电子旋转承载、处理和储存信息的能力。旋转电子学的主要目标是研究控制电子旋转的精确级别，因为现代电子设备正是通过电子旋转来控制电子电荷的。

电子具有被称为“旋转”的内禀角动量，制造电子旋转设备和电路的第一步是：与反方向的旋转相比，应向半导体中注入更多的某一方向的旋转。硅已经成为电子工业中使用极为频繁的材料，它是计算机芯片和晶体管中的电流输送者。硅还有望成为一种高级的旋转电子半导体，可以将其称为“旋转传送器”。以前科学家对此并不了解，但现在的试验已经表明，硅有能力承载和传导电子的旋转。

为了提供硅具有“旋转传送”能力的确实证据，阿贝尔鲍姆和黄弼勤利用为硅片焊接定制的超高真空舱制造出小型硅半导体设备。旋转注入完成后，硅元素中的电子被置于一个磁场中，该磁场使得电子的旋转方向“产生进动”或不停地转动（非常象旋转陀螺仪的旋转效应），从而在测量过程中产生指示器振动。进动和移相的过程，或衰减的过程，是旋转传送最明确的特点。他们的工作首次表明硅元素中可以产生这种效应。这解决的一个最重要的问题，因为硅是电子设备最重要的半导体材料。然而，在其它半导体材料中进行旋转探测时所用过的有效方法，未能成功用于硅材料。

6、“偏振子超流”的新物质态发明

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之六，据“教育部科技发展中心”网2007年5月22日发表的《科学家发明出一种新物质形态》一文报道，美国匹兹堡大学文理学院物理和天文学系的大卫·斯诺克教授，和研究生瑞安·巴利利及文森特·哈特韦尔，证

实了一种集合激光性质和超导性质的新型物质形态。这种新的物质态，是一种加入了大量被减速和囚禁的偏振子（一种能量子）的固体。这项发现提供了一个在空间两点间传输能量的新方法，同时也提供了一种形成类似激光的光束的低能耗方法。

在超导体中，这种加入能够获得完美的电荷流动。在他们发现的叫做“偏振子超流”的新物质态中，这种行为会产生一种类似激光但是能量效率要高得多的纯光束。传统的超流和超导需要极低的温度，分别大约需要华氏-280度和-450度。而偏振子超流在较高温度下的稳定性要好得多，并且在不久的将来有可能在室温下实现。

他们的工作是建立在目前全世界物理实验室中进行的把超导和激光性质结合在一起的新材料研究上的。斯诺克教授的工作提供了一种囚禁和操作能量子的新方法。这种方法将有可能提供新技术，来控制通过固体物质的光信号传输。斯诺克教授的偏振子囚禁设计来源于一种使用在气态原子组成的超流体---玻色-爱因斯坦凝聚中的技术。2001年三位科学家因玻色-爱因斯坦凝聚研究获诺贝尔物理学奖。

7、旋束态量子卡西米尔力光遥控微型机械

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之七，据2007年《光学精密机械》杂志第2期发表的《光遥控微型机械的方法》一文报道，美国加州大学河滨分校物理学家乌玛尔·莫希汀教授领导的一个研究小组，用具有相同载流子密度的黄金球和硅平板进行实验。通过调整平板上的一束光，他们可以改变平板与球状物间卡西米尔力，从而使平板的载流子密度发生改变。当光被硅吸收时，光子会被转化为正的和负的电荷。随着电子数（负电荷）的增加，卡西米尔力也会相应增大。

莫希汀教授在实验室内对利用光改变卡西米尔力进行的论证，说明光能够改变卡西米尔力---即一种当两个物体之间距离相当近（只有五百万分之一米）时，才会体现出来的微弱的相互吸引力，这将使得利用光遥控微型机械成为可能---所谓卡西米尔效应，指在适当的条件下，真空涨落的那些稍纵即逝的粒子能够挪动金属盘的现象。

虚晃光子经常存在于真空中，研究卡西米尔力能够使物理学家进一步了解空间量子性的特征。光子是电磁相互作用的运送粒子，而虚晃光子则是一种稍纵即逝的粒子，它在此过程中作为一种媒介，而且是不可能直接观察到。有利夫希茨（Lifshitz）理论预言，两个平面间的卡西米尔力取决于两个平面间的距离（距离越小，力量越大）。真空涨落形成的这个力虽然微小，但一百多年来，全世界的很多实验室都证实有这个力。莫希汀教授的实验，是利用一个球状物和一个平面金属板模拟两个平行平板。

在那里，球状物和平板相互靠近，在精微的距离内，它们的表面被认为是几乎平行的。

球状物（直径为200微米）都是由黄金制成的，这是一种不会失去光泽的化学清洁金属。实验只有制成平面平板的材料会发生改变。在一次实验中，莫希汀教授等使用一种硅平板来测量“载流子密度”或平板内电子的数量，然后将每次黄金球与一系列具有不同载流子密度的硅平板间的卡西米尔力进行比较。他们发现，只有当一个平板的载流子密度至少是第二个平板载流子密度的10,000倍时，球状物和任何两块硅平板间的卡西米尔力，才能存在可测定程度的差异。

2019年12月18日《物理世界》杂志发布的最新评选出的当年十大发现，排名第6条的《卡西米尔效应为微小物体创造了“量子陷阱”》也介绍：美国加州大学伯克利分校的张翔和同事，首次采用卡西米尔效应诱捕微小物体，量子波动可在物体之间产生吸引力和排斥力。张翔和同事使用可协调的卡西米尔效应引力和排斥力组合，在没有能量输入的情况下，在黄金和聚四氟乙烯表面之间夹住一小片金箔。介绍说：测量参与能量捕获过程的微小作用力，是光学计量的一个胜利，并提供了一个机会更好地理解卡西米尔效应如何影响微机械设备的操作，如果进一步被控制甚至可能会有涉及捕获粒子的实际应用。

与此事相连，是2020年4月2日“摩尔芯网 > 半导体”发表的《伽马射线激光的研究迎来新的突破》一文报道，美国加州大学河滨分校的物理学家艾伦·米尔斯教授，通过研究与计算结果表明，充满正电子素原子气体的空心球形气泡在液氦中是稳定的。这一计算结果使科学家们更进一步地实现了伽马射线激光---伽玛射线（或 γ 射线）是原子衰变裂解时放出的射线之一。其电磁波波长在0.01纳米以下，穿透力很强，又携带高能量，是继 α 射线、 β 射线后发现的第三种原子核射线。和X射线特性相似但具有比X射线还要强的穿透能力。伽玛射线可以应用于医学成像，航天器推进和癌症治疗等。伽马射线激光是一种会产生相干伽马射线的设施，就像普通激光器会产生可见光的相干射线一样。米尔斯教授的计算表明，含有100万个原子的液态氦中的气泡，其密度将是普通空气的6倍，并且会以物质-反物质的玻色-爱因斯坦凝聚态的形式存在。

与此事相连，还有“搜狐”网2020年9月11日发表的《科学家开发“声学镊子”无需双手就能对培养皿中的微小物体进行操作》一文报道，美国杜克大学的黄东军教授等研究人员开，发出一种新型的“声学镊子”，可以在不用手的情况下对培养皿中的微小物体进行操作。这样的系统通常非常复杂，还没有得到广泛的应用。该研究团队希望将该系统商

业化,以便世界各地的科学家能够从这种新的、简化的“声学镊子”中受益---该系统利用声波来移动粒子和其他微小的东西,比如细胞,而不需要科学家对它们进行物理操作。以这样的方式使用声波并不是一个全新的想法,但直到现在,这样的系统还需要大量的设备和使用这些设备的培训。

黄东军教授说:“这个领域的成功取决于生物学家、化学家或临床医生等终端用户是否愿意采用这项技术。最近的进步导致了许多先进的、多功能的工具”。杜克大学开发的该系统有望降低进入门槛---能够控制和操纵像培养皿这样的东西中的物体,而不必实际接触它们,这就从方程中剔除了一个重要因素,对于那些想要获得最准确结果的研究人员来说,这很有帮助。黄东军教授还说,使用声波来操纵微小事物其实相当简单,至少在纸面上是这样。通过在一个腔室的两面施加声波,声波实际上可以将小物体组织成组或“节点”。这是一种非常初级的在盘子内移动粒子的方法,但额外的进步已经使使用声波在盘子内产生不同的模式成为可能,允许免手操纵粒子到新的位置,甚至可以将盘子中的所有粒子聚集在一个地方。“声学镊子”解决了这个问题,但制作一个既方便用户又简单的系统一直是个挑战”。

此事的热闹,与美国贝尔实验室亚瑟·阿斯金的“光学镊子及其在生物系统的应用”,获得2018年诺贝尔物理学奖也有关。2019年6月21日“中国军网国防部网”发表的《声学镊子:用声波“搬运”微小粒子》一文报道,国防科技大学气象海洋学院博士高东宝讲述:随着生物技术、新材料技术等高新技术的发展,对细胞、分子级或纳米级微小物体的移动和操控,就成为摆在科学家面前的一道难题,呼唤突破传统认知的新工具,创造出能夹取微小物体的新镊子需要激发创新。1986年物理学家阿斯金开始研究神奇的光学镊子技术:他利用光辐射压原理,用激光来移动操纵原子、分子和生物细胞,并将技术推广到生物学领域,有效促进了相关科技的发展。

这里介绍一下光学镊子,也就是激光镊子---就是用光形成的镊子---光源同时具有热效应和辐射效应,对普通光源而言,由热效应所产生的压力比由单纯动量交换产生的辐射压力大几个数量级,因此很难获得足够的辐射压力。激光的出现改变了这一状况,使光的辐射压力得到充分体现。同时激光光束的截面分布具有简单确定的数学表达,便于进行理论处理,使光阱和光悬浮的研究成为可能。

激光镊子是利用激光与物质间进行动量传递时的力学效应形成三维光学势阱。当一束强汇聚的高斯光场作用于透明粒子时,如果粒子的折射率 n_1 大于周围介质的折射率 n_0 ,梯度力 F_a , F_b 会把粒子推向光场的最强处(轴心)。在光束传播方向上光对粒

子不仅会产生轴向的推力,还会产生逆轴向的拉力,从而实现捕获。这里光学捕获是通过透明介质微粒与光子发生动量交换而完成的。这与带电粒子受静电场库仑力或交变电场的梯度力而实现的电动捕获不同,与金属粒子或超导体在磁场中的磁悬浮也不同。

阿斯金生于1922年,2020年去世。在贝尔实验室工作期间,他研究微波、非线性光学和光学俘获。他和同事最先观察到了连续波段激光的谐波震荡、参量放大,并发现了光折变效应,开创了光学纤维中的非线性光学领域。在20世纪60年代后期他开始用激光操纵微粒的工作,这导致了1986年光学镊子的发明。阿斯金被认为是激光辐射压力之父,用激光使物体保持一定位置的技术被称为光学镊子,阿斯金利用这一技术探索了细胞内部,调整其内部结构,并为理解人体正常和疾病状态提供了新的思路。冷却和俘获原子的技术也被延伸到基础科学领域,如在原子蒸汽中实现玻色-爱因斯坦凝聚态。

8、人体有量子信道实现“瞬间转移”吗

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之八,据2007年4月17日《北京科技报》发表的《神秘隧道能让物质瞬间转移》一文报道,2004年美国与奥地利的物理学家,就通过实验成功实现了隐形传物---美国国家标准与技术研究所的科学家通过激光,将三个带有正电荷的铍原子的量子态复制到8微米外的另一个原子上。整个过程由计算机控制,仅耗时4毫秒,传输成功率达到78%。奥地利因斯布鲁克大学的科学家领导的另一个研究小组,则采用钙原子同样实现了量子态隐形传输,成功率为75%。基本原理是,利用第三个原子为辅助,用激光将一个原子的量子态传递给另一个原子。

在这之前的1993年,美国物理学家贝尼特等人提出过“量子态隐形传输”的方案:将原粒子物理特性的信息发向远处的另一个粒子,该粒子在接收到这些信息后,会成为原粒子的复制品。而在此过程中,传输的是原粒子的量子态,而不是原粒子本身。传输结束后,原粒子已经不具备原来的量子态,而有了新的量子态。量子物理学的发展,无疑一步步为人类铺就了这样一条从幻想走向现实的道路。

量子态是指原子、中子、质子等粒子的状态,它可表征粒子的能量、旋转、运动、磁场以及其他的物理特性。这方面的实验,有德国科学家称测量到电子,通过量子信道“逃离”原子的电子,而且发现每个电子“逃离”的速度极为惊人。对微观世界普遍存在的量子信道,中国科技大学教授、中科院量子信息重点实验室韩正甫主任说:“量子信道指的就是量子在里面传输不受影响的通道。量子信道在量子物理学中,相当于光学里光纤这样的光学信道,和通信中一般的电线”。

但电线是有形的,量子信道迄今为止却从未被

观测到。由于电子带负电荷，在带正电荷的原子核的吸引下，电子被束缚在原子内部。如果电子没有在一段时间内获得足够的能量，它就无法“逃离”原子核的束缚。这就像在大碗中放一个小石子，除非石子的能量很大，大过碗壁的能量时，它就会从碗的上面跳出来。量子物理学上就有一个非常奇怪的效应---当碗壁足够矮，非常薄，即便碗壁的能量依然大于石子的能量，石子也会莫名其妙地跑出来。究竟它是怎么出来的？

这个跑出来的“石子”实际上是通过一个隧道跑出来的，这个通道就是量子信道。德国科学家的实验，就是利用百亿分之一秒的阿秒激光级脉冲，攻击氦原子从而观察到了隧穿效应的全过程，而且证明了量子信道的存在。那么想象“瞬间转移”和“穿墙术”是否能实现呢？

通过量子信道，电子能瞬间逃离原子，小石子莫名其妙就穿过了碗壁，难道所谓的“瞬间转移”和“穿墙术”科幻场景果，真是可以实现吗？如果这样的技术有一天能够普及，只要运用这种传送工具，瞬间就能把我们“转移”到任何我们想去的地方吗？

韩正甫教授说理论上，这样的场景是可以实现的---物理学上叫做量子态隐形传物。从物理学角度，可以这样来想象隐形传物的过程：先提取原物的所有信息，然后将这些信息传送到接收地点，接收者依据这些信息，选取与构成原物完全相同的基本单元，制造出原物完美的复制品。但人类瞬间转移面临三大难题：隐形传物虽然理论上可行，但要真正实现人的隐形传送，目前还有许多技术难题尚未解决。

难题一是人的身体，是由物质组成的，如果用光速把人的身体移动到另一个地点，经物理学家计算，单单突破原子核内部的限定力，就必须把身体加热到1万亿摄氏度---这比太阳内部的热度还要高几百倍。只有在这一温度下，物质才能变为光，并通过光速输送到任何一个地点。而对每一个被输送的人来说，所使用的能量要超过迄今为止人类全部能量消耗的大约1000倍。

难题二是发射仪器，必须在目的地将人重新组合起来。为了知道如何组合，它就需要获得人体所有原子结构的精确信息。如果每一个原子约为1000字节，描述人体的所有原子总共需要10的31次方的字节，而目前世界上全部图书所含有的信息约为10的15次方字节，仅是完整描述一个人所需要的信息的1亿分之一。仅传输这些数据对最快的计算机来说，也会花去比宇宙年龄还要长2000倍的时间。

难题三是精确描述人的原子结构，是最棘手的问题。从根本上来说是不可能的。因为根据海森堡测不准原理，我们不可能获得一个粒子的全部信息。如果我们想知道一个粒子的位置，那么我们会失

去所有关于它的速度的信息，反之亦然。

9、量子点激光器优势在通讯等领域的发展

实现旋束态的三旋算法量子计算应用之九，据2009年8月24日“微波仿真论坛”网发表的《新型量子点激光将带来通讯等领域的发展》一文报道，其中介绍“量子点激光器的由来”说，1970年美国IBM实验室的江崎玲于奈(1973年诺贝尔物理学奖得主)和华人科学家、北卡罗来纳州大学教授朱兆祥提出超晶格概念，由此引发二维量子阱材料的研究热潮。近年来半导体材料主要朝两个方向发展：一方面不断探索扩展新的半导体材料，即所谓材料工程；另一方面又逐步从高维到低维深入研究已知材料体系，这就是能带工程。

自从量子阱结构问世以来，各国科研人员进行大量的理论研究工作以期能将基于量子机理的效应应用于半导体激光器领域，继而将兴趣投向了更低维度的量子线、量子点。1982年东京大学的荒川和坂木通过理论计算指出量子点激光器的热稳定性要比传统的半导体激光器有很大的提升。1986年浅田通过理论计算预言量子点结构的阈值电流密度相比一维的量子阱结构将会有显著的降低，从而解决半导体激光器中阈值电流密度过大的问题。到80年代中期，随着半导体外延技术的发展，对半导体薄膜材料实现精确控制生长已成为可能，获得了高质量的二维限制量子阱及超晶格材料。

用这些二维限制异质结材料制成的光电器件，如激光器、探测器的性能得到迅猛的提高，并迅速进入市场，得到广泛的应用。二维量子阱材料带来的巨大成功促使实验研究人员继续在更多维度上对电子运动进行限制，开展了量子线及量子点的实验研究。1994年N.柯斯塔德和莱登佐夫N报道了世界上第一只边发射的自组织量子点激光器。以后量子点激光器领域更是取得了突飞猛进的发展，其低阈值电流密度、优良的热稳定性等各种迷人的优点，吸引了越来越多的实验室和科研单位进入到这个领域。

那么啥是理想量子点激光器呢？如果某种半导体晶体在三个空间维度上的尺寸大小，均与载流子在该材料中的德布罗意波长或电子的平均自由程相当或更小，而同时该晶体又被禁带宽度更大的垒层材料所包围，这就构成了量子点结构。典型的量子点尺寸大小在10nm左右，约包含 10^4 个原子，属于纳米材料的范畴。理论分析表明，量子点中载流子在材料中的运动受到三维限制，也就是说电子的能量在三个维度上都是量子化的。量子点具有类似于原子的分立能级，这使它的性质远比量子阱和量子线更为独特，各种量子化效应，诸如量子尺寸效应、量子干涉效应、量子隧穿效应和库仑阻塞效应等，更加显著。这些效应直接影响量子点的电子结构、

输运和光学等各种物理性质，有十分诱人的应用前景。

说到量子点激光器的发展，1996-1997年是量子点激光器研制迅速发展的两年，国际上包括中国在内有众多的研究小组，加入到量子点激光器的研制行列，极大地促进了量子点激光器的研究发展。随着研究的深入，实际制作的量子点激光器的阈值电流密度已经远远低于传统激光器以及量子阱激光器。2004年东京大学和富士通报道，试制成功了工作在1.3 μm 波长、可将温度导致的光功率变动幅度控制到原来1/6左右的量子点激光器。这项重大进展有助于实现小型、低价位和低功率的消费性光信号发射器，城域及高速光学局域网络可望因此而受惠。而在我国，中科院半导体研究所已经获得砷化镓基近红外波段半导体光电子材料生长和激光器研究项目的重要突破。

据“华强电子网”2016年8月10日发表的同上标题的文章报道：美国国家标准技术局和斯坦福大学及西北大学的科学家2007年也发明了一种微米大小的固体激光器，这种装置的性能中，量子点起到决定性作用---它能在低于微瓦的能量条件下接通；这些高效的光学设备能制造出低能激光，能用于电信、光学计算机等领域。他们做的实验是通过在砷化镓上铺上一层砷化铟，得到新型激光---原子格之间的不匹配形成了量子点；这些材料被做成一定大小的盘，使得900纳米的红外光能沿着盘边缘旋转。整个区域含有约60个量子点，这能作为激光使用。通过利用非共振频率的光就可以激发出光。

但是量子点之间彼此并不相同，每个量子点之间的细微差别意味着它们的发射频率也有所不同，而且温度也会有一定影响。量子点激光器的优势，不仅在于它们的体积很小，更在于它们能在极低的能量下运作。传统激光器有数量很多的发射器，它们限制在一个光学腔内。光在腔内来回反射放大，最终形成激光。在这10年前第一个量子点激光器的发明，量子点是晶体结构中的纳米级别区域，它们能捕获在半导体中传导电流的电子及空穴。当捕获的电子和空穴重新配对后，特定频率的光就被发射出来。

【5、结束语】

总之，实现三旋运算法则在单通道量子计算机中的应用，追求的是在量子计算中实现旋束态的三旋运算法则的运用。当运行量子运算法则时，采用的标准方法也类似于传统计算机所使用的逻辑门。

但其量子计算机模型使用的是旋束态；旋束态是一个极其错综复杂的多种量子状态，这是基于环量子有面旋、体旋、线旋等三种自旋及其排列组合决定的。旋束态的三旋算法量子计算应用，也跟

今天正在使用的用光的颜色编码的光纤电话很类似，即这种量子计算类似“颜色调制”的原理是：调制器采用一个棱镜把普通白光分成七种颜色，投向枢轴上固定的反射镜；而枢轴的转动角度是受打出的电话信号编码控制的，因此连着枢轴反射镜反射的颜色变化，是同打出的电话信息一致的。不同颜色的光经过一个透镜聚焦进入光纤中，接收机将这些颜色的组合经过解码机解码，复现出话的声音，让接电话人收听。因此，设计的量子计算机也可完全基于光，在一个旋束态中也可利用四个纠缠光子，量子信息被编码成一个一个的光子。

信息存贮于每个光子的偏振中，水平或者垂直及两者之间的重叠部分。紫外线激光注入一个晶体之中，在一个方向上产生一对纠缠光子。然后激光束会遇到一面镜子发生反射，在其第二次通过晶体时产生另外一对纠缠光子。这时四个光子在分光器中相互作用形成用于量子计算的旋束态源。将三旋运算法则作为测量次序，当在一个特定的基础中进行测量时，可使用量子共有纠缠来操控量子信息。

类似传统计算，将旋束态视为“硬件”，测量方法视为“软件”，可把三旋运算法则应用于更大的系统。人体这种量子计算机因环境的变动而受影响较少，但人工做出的量子计算机，它的量子系统会因环境的微小变动而受影响，而难于使用更大的旋束态源来获得精确的计算。当增加量子比特数量时，就需要解决一些物理和技术方面的障碍。

参考文献

- [1]王德奎, 三旋理论初探, 四川科学技术出版社, 2002年5月;
- [2]孔少峰、王德奎, 求衡论----庞加莱猜想应用, 四川科学技术出版社, 2007年9月;
- [3]王德奎, 解读《时间简史》, 天津古籍出版社, 2003年9月;
- [4]王德奎、林艺彬、孙双喜, 中医药多体自然叩问, 独家出版社, 2020年1月;
- [5]王德奎, 与李淼教授讨论弦宇宙学----读《超弦理论的几个方向》, *Academ Arena*, Volume 12 , Number 10 , October 25, 2020;
- [6]平角, “色电宝”芯片是“核电宝”芯片的极致----“色电宝、核电宝”芯片原理初探, *Academ Arena*, Volume 12 , Number 11 , November 25, 2020;
- [7]平角, 学自然学科学与振兴双循环, *Academ Arena*, Volume 13 , Number 1 , January 25, 2021;
- [8]叶眺新, 前夸克类圈体模型能改变前夸克粒子模型的手征性和对称破缺, 华东工学院学报, 1986年第2期;
- [9]叶眺新, 从夸克到生物学, 交叉科学, 1986年第1期(创刊号);
- [10]叶眺新, 中国气功思维学, 延边大学出版社, 1900年5月;
- [11]王德奎, 从卡--丘空间到轨形拓扑, 凉山大学学报, 2003年第1期;
- [12]雅龙, 科学家首次将 Deutsch 算法应用于束态量子计算, 中国科技信息网, 2007年4月23日;
- [13]陈超, 量子引力研究简史, 环球科学, 2012年第7期;
- [14]叶眺新, 前夸克类圈体模型能改变前夸克粒子模型的手征性和对称破缺, 华东工学院学报, 1986年第2期;
- [15]刘月生、王德奎等, “信息范型与观控相对界”研究专集, 河池学院学报 2008年增刊第一期;
- [16]王德奎、刘月生, 从电脑信息论到量子计算机信息论, 凉山大学学报, 2004年第4期。

5/22/2022