

从分形到丰富多彩的量子自旋

---量子自旋复杂性探索

王德奎

王德奎 (Wang Dekui), 绵阳日报社, 绵阳, 四川 621000, 中国, y-tx@163.com

摘要: 读 2023 年出版的英国理论物理学家、数学家约翰·D·巴罗的《无的故事---万物何处来》一书, 谈到空的“经典”真空与新的量子真空, 在不确定原理呈现的零点能形式的量子化振子下的统一, 使我们想到量子自旋与经典自转本质虽不同, 是否也能在量子分形分维自相似的引导下得以统一呢? 实际自旋、真空、量子、分形从何而来, 尽管形态外表不同, 但深层是完全统一的; 而且为人工智能的发展, 类似在提供很多“无”线的支撑。

[王德奎. 从分形到丰富多彩的量子自旋---量子自旋复杂性探索. *Academ Arena* 2025;17(12):78-84]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 05. doi:[10.7537/marsaaj171225.05](https://doi.org/10.7537/marsaaj171225.05)

关键词: 分形; 自旋; 经典; 量子; 真空; 统一; 人工智能

【0、引言】

大多数人注意的是线性变换下的自相似性, 而分形理论的创始人曼德布罗特认为: “分形是非线性变换下的不变性”。

读 2023 年出版的英国理论物理学家、数学家约翰·D·巴罗的《无的故事---万物何处来》一书, 谈到空的“经典”真空与新的量子真空, 在不确定原理呈现的零点能形式的量子化振子下的统一, 使我们想到量子自旋与经典自转本质虽不同, 是否也能在量子分形分维自相似嵌套性质的引导下得以统一呢? 实际自旋、真空、量子、分形从何而来, 尽管形态外表不同, 但深层是完全统一的; 而且为人工智能的发展, 类似在提供很多“无”线的支撑。

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, 作为量子比特的开发方案, 这使量子行为中的自旋与经典物理中的自旋的类比联系得更紧密, 从而为科学的发展提供了又一个机遇。这是因为量子自旋揭示出经典物理概念天生的不足, 从而为非引入三旋概念莫属。

【1、三旋分形与复杂性的联系】

非线性科学家郝柏林教授也认为, 复杂性的根源是非线性。研究复杂性的问题离不开非线性科学。多数非线性问题有其外在的几何表现或内在的几何表示: 这里的几何学在理想情况下, 是具有非整数维数的分形几何学。

以 20 世纪 80 年代兴起的生物全息、宇宙全息的整体与部分普遍全等相似热为例, 大多数分形学家的研究已揭示: 自相似性是宇宙间的一种普遍现象, 但自相似性又存在尺度范围, 即自相似只是在无标度区间内适用, 在此范围之外通常不再是分

形。

可惜分形学在中国的传播姗姗来迟, 并且在开始时还助长过不讲无标度区间的势头。正是在纠正我国全息论主流派人物这种倾向的交往和争论中, 笔者在 50 年代末创立的三旋理论, 迅速地得到了发展, 并加入到探索复杂性的分形几何学的行列中。

在我国, 很多的群众和专家, 只懂得欧氏几何的点、线、面、体, 不懂得拓扑学之类的球面与环面不同伦, 在环面上整体与部分不一定同伦的基本原理。现以拓扑学中的约当定理为例, 它说的是在平面上画一个圆, 把平面分成两部分; 作圆内外两点的任一连线, 都必定要与圆周线交于一点。这个定理在平面和球面上是成立的, 但在环面上却不成立。

例如, 沿环圈面画一个圆圈并没有把环面分成两部分, 圆圈两边的点可以通过多种曲线彼此连接。这说明平面和曲面并不是本质的区别, 本质的区别是在曲面中, 环面和球面是不同伦的。

但由于人类多数接触的是平面和球面空间, 少数才是环面空间, 所以对自相似复杂性的认识, 理论上还需补上三旋分形学的知识。

1、三旋与分形的联系

追求统一性, 20 世纪前后有两种截然不同的观点: 爱因斯坦强调简单性, 他说: “物理上真理的东西一定是逻辑上简单的东西, 也就是说, 它在基础上具有统一性”。

普里高津则强调复杂性, 他说: “复杂性在我们对自然的描述的各个层次上, 起着根本作用的认识, 引导我们重新考查状态和规律之间, ‘存在’和‘演化’之间的关系”。

他又说: “谁会料到‘基本’粒子有如此复杂的结构, 弹性钟摆有和完全的混乱毫不逊色的复杂

性？”自然的基本结构到底是简单还是复杂呢？如果仅停留在分形学平面空间或球面空间阶段，最好的回答不过是：在合适的条件下，简单可以走向复杂；或者在某种情况下表现为简单性的东西，在另一种情况下可以表现为复杂性。

然而发展到分形学环面空间阶段，就会看到自然的基本结构既是一种简单性同时又存在着复杂性，简单性和复杂性是自然而紧密结合的。其原因是前者并没有真正创立起分形几何学，最典型的例子是贝纳德花纹：锅中沸水心液体向四周的翻滚对流，在水加热达到临界状态时，各个局部区域也会呈现类似的现象，这是耗散结构和自组织理论常举的例子；如果把这种现象上升为基础的几何学结构，反过来来自组织、耗散结构或复杂性的情况又如何？

如果把贝纳德对流抽象缩影反映在一个点上，它类似粗实线段绕轴心转动再将两端接合的线旋；如果把它定名为不分明自旋，那么圈体绕垂直于圈面的轴的轴的面旋，圈体绕过圈面的轴的体旋，就称为分明自旋。分明与不分明自旋结合使一个类圈体变成一种三旋分形学的对象。它的优点是能把曲面、曲线几何相与能量、动量物理相自然而直观地紧密结合，一开始就揭示出自然的本质既具有简单性，又具有复杂性。即它引进了一种双重解结构，如圈代表几何量子，旋代表能量子，对于圈层次可分单圈和多重圈态耦合；对于旋层次，既有位相，又有多重自旋结合。这种组合，会带来圈体密度波的几率变化。

如用 ψ 代表圈结构，用 Ω 代表旋结构，用 Ψ 代表三旋，可用下列形式的算符表示三旋的物理特征：

$$\Psi = \psi \Omega \quad (1-1)$$

1)

其次，普朗克的量子论、爱因斯坦的相对论，使得物体的刚性概念在微观和高速的情况下变得不够明确，这也为三旋提供了立足之地。现用对称概念：对自旋、自转、转动作语义学的定义：

①自旋：有转点，能同时组织旋转面，并能找到同时对称的动点的旋转，如上面讲的三类旋。

②自转：有转点，但不能同时组织旋转面，也不能找到同时对称的动点的旋转，如一条线段一端不动，另一头作圆周运动形成锥体状的转动。

③转动：可以没有转点，不能同时组织旋转面，也不存在同时对称的动点的旋转，如物体在空间作封闭的曲线运动。

按照上述定义，类似圈态的客体(简称类圈体)存在三种自旋：

①面旋：类圈体绕垂直于圈面的轴的旋转，如车轮绕轴的旋转。

②体旋：类圈体绕过圈面的轴的旋转，如拔浪

鼓绕手柄的旋转。

③线旋：类圈体绕圈体内中心圈线的旋转；线旋一般不常见。

如固体的表面肉眼不能看见分子、原子、电子的运动。同时，线旋要分平凡线旋和不平凡线旋。不平凡线旋还要分左斜、右斜。根据排列组合和不相容原理，三旋构成三代 62 种自旋状态。

正是从严格的语义学出发，才证明类圈体整体的三旋是属于自旋，而类圈体的部分(即转座子)不是在作自旋，而仅是作自转或转动；即整体与部分不是不同伦的。它对应联系场和粒子、单体和多体、微观与宏观、几何与动量、空间与时间等对立概念，而能把它们统一起来。

其次，设想在类圈体的质心作一个直角三角坐标，一般把 x 、 y 、 z 轴看成三维空间的三个量。现观察类圈体绕这三条轴作自旋和平动，6 个自由度仅包括类圈体的体旋、面旋和平动、没有包括线旋。

即线旋是独立于 x 、 y 、 z 之外，由类圈体中心圈线构成的座标决定。如果把此圈线看成一个维叫圈维，那么加上原来的三维就是四维。再加上时间维，即为五维时空。反之，把三旋作为一种座标系，直角三角坐标仅是三旋座标圈维为零的特例。

2、三旋理论与量子色动力学结合

夸克的颜色，可以看成是由圈态的三种自旋的不同排列组合引起的，从而能建立一套夸克立方周期表。

它与 1979 年哈热瑞和舒帕，以及 1980 年帕堤提出的两套夸克立方周期表对照，会发现三旋中的分明自旋与味荷对应，不分明自旋与声荷对应。其编码规律是：根据广义泡利不相容原理作处理，同义前，离义后，即夸克以味为主，相同的味靠在一起时，就又去前面的，反之叉去后面的，而保留它的声，并将其余的声叉去；三个相同的味前面的两个味及声都叉去。

从三旋夸克立方周期表全表可以看出，它们仅占 62 种自旋态中极少一部分，这为暗物质的存在留下了很大余地；同时三旋模型能联系两种不同途径的引力量子化理论。例如，超引力理论的局部对称性，使广义相对论得以扩展时，每一个自旋为整数的粒子都有一个自旋为半整数的粒子伙伴；反之亦然。这样就产生出千变万化的新粒子级联：自旋为 $3/2$ 的引力微子，自旋为 1 的引力光子，自旋为 $1/2$ 的金微子和自旋为 0 的引力标量子。

引力光子和引力标量子，会传递新的力。而称为度规理论的另一类想法则，是用时空曲率来描述各种引力，但也得出了与前者极为相似的预言：维数更高的自旋为 2 的引力子，“分得”成通常四维时空内的一个自旋为 2 的引力子和一个或多个自旋为 1 的引力光子，以及自旋为 0 的引力标量子。

这里，它们中的两类引力子，又正好与三旋分明与不分明自旋对应。

正是在一系列的关节点上，三旋分形为简单性与复杂性的缔合提供了更为直观的图象，并能使普里高津理解如此复杂的“基本粒子”结构，是怎样从基础的分形几何学中诞生的；也使爱因斯坦能满意他关于“我不相信上帝在掷骰子”的说法：

在类圈体上任意作一个标记，实际上可以看成密度波段，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，是呈几率的，更不用说它的质心存在平动和转动的情况。这也是德布罗意坚持的波粒二象性，始终只有一种东西，即在同一时刻既是一个波，又是一个粒子的模式机制；并能满足正统的哥本哈根学派 M·玻恩，对波函数的几率诠释。

【2、三旋分形在宇宙系统中的应用】

宇宙的起源是一个复杂性问题，三旋分形对此为大爆炸宇宙学提供了新的思路。众所周知，相邻的圈子只交一次，要组成一个新圈，就像组成三角形要三条边一样，至少要三个圈子。

用此规则联系分形的自相似嵌套性质，取一个半径为 R_n 的大圆作源多边形，再取一个半径为 r_n 的小圆作生成线，在平面上画一个有自相似嵌套结构的图形。这里对应宇宙的起源虽然是一个复杂性问题，但三旋理论不但能统一宇宙起源，而且还能为大爆炸宇宙学提供了新的思路。即构造的规则是每一级的圆圈，由三个相同的小圆圈组成。三个小圆圈的耦合相交，用它们之间的相切近似代表，并表示新一级的圈所能构成的最大内空限度。

这样小圆圈的半径 r_n 与前面的大圆圈的半径 R_n 必然有：

$r_n = R_n \cos 30^\circ = (\sqrt{3}/2) R_n$ 的关系 ($n=1、2、3\cdots$)。按此方法作图，如此变形下去，随着变形的进行，会发现小圆圈不但向外扩展，而且还向中心位置堆积，以及在其周围形成等级式的成团分布等重要特征。这与实际观察中的大爆炸烟云、癌细胞的生成、化学反应溶液浓度的扩散、原子核与电子云结构模型等极为相似。细心研究该分形，变换成以一个圆内接正三角形为源多边形，和以一条 V 字形折线段为生成线的图形，折线段的每条线段长为 R_n ，生成线两端的距离等于正三角形一边的长： $2r_n = 2 \times (\sqrt{3}/2) R_n = (\sqrt{3}) R_n$ 。

根据分形曲线的分数维数定义，设某分形曲线的生成线是一条由 N 条等长直线段接成的折线段，若生成线两端的距离与这些直线段的长度比为 $1/r$ ，则分形曲线的维数是：

$$D = \lg N / \lg(1/r) \quad (2-1)$$

按 (2-1) 公式， $D = \lg 2 / \lg(\sqrt{3} R_n / R_n) = \lg 2 / \lg(\sqrt{3}) = 1.26179$ 。

3)=1.26179。

令人惊奇的是，圈态耦分形的维数值，与国内外一些天文学家研究宇宙的分形结构，测得的星系分布的分形维数约为 1.2 相近似。那么联系三旋分形，宇宙是如何诞生的呢？标准大爆炸的创世观，主张整个宇宙起源于一场异常巨大的爆炸，宇宙很快地膨胀了，在膨胀过程中它渐渐地冷下来，于是先是轻子，然后是强子、原子核、原子，最后是星系从中凝聚出来。

新的天文观测又揭示出宇宙中一些引人注目的、未曾预料到的结构。如宇宙中巨大的空洞和星系链，某些星系分布的“片”状结构也是显而易见的。这就是所谓的“不平等的宇宙”。目前解释不平等的宇宙起源的有暴胀起伏模型和宇宙弦模型，而通过三旋圈态耦分形的维数计算，证明这两种模型实际是等价的。

它们都是说的同一件事情的前后两个不同侧重点；因为按照圈态耦分形的分析，基圆的圆圈必须要有适当大尺度的半径，这正是由类似吐烟圈式的暴胀来完成的。而吐烟圈可以用有少量兰黑墨水的移液管，在离开水面 2 至 3 厘米高处滴一滴较大的墨水到水中来演示，这也是一种分形的自相似嵌套结构：这滴大墨水滴在水中立即形成一个墨水线旋环，但这线旋环不久会变成几个较小的线旋环，如此这样不断分裂下去。而宇宙的相变，正是按类似墨水线旋环的方式由时空点的量子环圈来耦、结网的。

如果基圆的圆圈太小，就只能形成轻子、强子、原子核、原子、分子等一类微观粒子。正是由暴胀形成了基圆的大圆圈，宇宙弦耦、结网才在一个新的基点上进行演化。其次，三旋弦耦联络耦的支付选择，也是一种起伏变化。因此说，暴胀起伏模型和宇宙弦模型都能用三旋圈态耦的分形研究来综合；并且该分维图形还能具体地揭示大爆炸宇宙机制中过去未曾考察到的情况：

即开始的爆炸不是像一个不断胀大的气球的表面那样爆炸，而是像吐烟圈式的爆炸，然后才像水中线旋环的奇异变化一样，所有的物质粒子才开始互相远离，即宇宙在三维方向才开始作扩张，但同时又还有物质粒子向中心区域集聚，形成明显的等级式成团结构的现象。原子有中心，太阳系有中心，银河系有中心……就是这种等级现象的明证。即三旋大爆炸宇宙的分维分析，能形象地对宇宙膨胀作出说明。

其次，美国几位科学家还提出宇宙弦也具有超导电性。这种环状超导性的宇宙弦不但能产生电磁和磁场，在真空中这些电磁场要作电磁波离开弦传播出去，甚至还揣测宇宙弦是隐藏在类星体背后的能源发动机。而这又可以联系旋转的黑洞以带动穿过

伪视界的磁力线转动的方式,为类星体提供能量的模式;这里黑洞也存在有面旋和线旋两种形式;而美国天文学已找到黑洞自旋(面旋)证据。

【3、丰富多彩的量子自旋现象】

1、自旋电子

要认识三旋,首先要了解“自旋电子”的应用与研究。电子不仅具有电荷自由度,也具有自旋自由度。尽管人类在上个世纪二十年代就发现电子具有自旋,但是如何将这一自由度和半导体微电子工艺相结合,做成可供信息存储和数据传输的量子器件,还是物理学界近些年才出现的研究热点。

中国科学院物理研究所量子结构中心的张平、王玉鹏、薛其坤、谢心澄等研究人员,从理论上构造了一个相互作用量子点模型,从而深化了量子点中的电子关联相互作用和自旋翻转散射对自旋隧穿输运影响的研究。但包括我国在内的许多国家对“自旋电子学”这一新兴的研究,仍是以前螺模型为基础。

这类量子点理论的自旋,虽然用到了球面的自旋图像,但因没有环面自旋的面旋、体旋、线旋等概念,他们把球量子自旋除用正转和反转描述外,还用球量子自旋轴的向上和向下来区别自旋。

这实际是一种对球量子的面旋和体旋作的区别;如果三旋理论在环量子上还要用自旋轴的向上和向下来区别自旋,那就更复杂化了。

当然球量子自旋还不到非改不可的时候,所以他们的计算结果表明,自旋翻转散射模型中含有两个自旋简并局域能级的量子点和外部铁磁体,通过隧穿相互作用耦合在一起,利用两个铁磁电极的内部磁化,可以系统地控制 Kondo 共振和关联导致的自旋能级劈裂。

其直接的结果是,当铁磁电极的磁化方向平行排列时,线性电导谱中会出现两个自旋分离的共振峰,这种全新的自旋阀效应是由强关联和外部磁耦合的共同作用造成的。他们还考虑了量子点内的自旋磁豫效应对自旋输运的影响,结果表明,一方面自旋磁豫对自旋劈裂和自旋阀效应起破坏作用;另一方面,自旋磁豫为 Kondo 效应提供了新的共振通道,表现在局域态密度出现了三个 Kondo 共振峰,与通常的塞曼效应完全不同,它是外部磁耦合带来的新物理效应。

2、量子点激光技术

该技术是通过所谓的量子点来描述的,这种纳米尺径的晶体粒子实现产生的超高频脉冲新技术,与利用传统的半导体激光技术相比,具有更经济、耗电小且运行稳定等优点,在德国柏林技术大学固体物理研究所的科研小组已利用量子点激光技术,在实验中达到了每秒产生 200 亿次脉冲的速度,

也就是 20GHz 的数据传输率,创造了数据传输的世界纪录。该实验的成功,为今后通过光纤网络在全球范围内实现数据的高速传输提供了可能。

与此同时,中国科学院物理研究所王恩哥研究小组和意大利热那亚大学、美国橡树林国家实验室的研究人员,共同发现了沉积的原子在生长中可以向上扩散,即原子可以从表面扩散到岛上去爬一种新的量子点形成机制。王恩哥等人在铝表面的同质外延生长中,首次在实验和理论上直接证明了这一原子的向上扩散运动。他们首先观察到在这一生长体系中,大的量子点和小的原子岛并存。

系统的研究发现这些具有特定小面的量子点是亚稳定的,它们只能在一个特殊的生长温度区域内,并只有当薄膜厚度超过一定值之后才能发生。这是用现有的生长理论所无法理解的。他们利用深入的密度泛函理论计算揭开了这个谜,即在这个生长过程中存在一个原子“真正”向上的扩散运动。这是因为在这个体系中,原子沿台阶边缘和跨越内角的向上扩散运动对应的势垒在一些情况下是负的。

这是因为在低温下,一般而言,分子束外延技术往往会物质表面上长出一些小的原子岛;而在高温时,岛上的沉积原子容易掉下来跑到表面上。但是以前的研究都忽略了一个过程:原子向上扩散,即原子从表面可以跑到岛上去。而这个新发现第一次向人们证明原子向上扩散可以形成一定晶向的量子点,展现出前人无法想象的一些新薄膜生长动力学现象。其次,也加深了人们对薄膜生长动力学的认识,同时利用这个“新”的原子运动规律会更好控制薄膜的制备过程,丰富现有的材料体系。

但从三旋理论出发看这类动力学现象,这个新发现正是一种典型的下向线旋宏观量子现象,即类似池塘水面旋涡向下陷落在四周升起的现象;而反之,锅心沸水向四周的翻滚对流;地球磁场北极出南极进的磁力线转动,则是一种典型的上向线旋宏观量子现象。

而量子点联系三旋又联系量子计算机,这个中的道理是,类圈体的三旋即面旋、体旋、线旋不仅可以用作夸克的色动力学编码,而且也可以用作量子计算逻辑门的建造。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,而这正是量子计算机开发的理论基础,并且能提高计算速度。

【4、量子点的自旋】

理解量子点的关键，是要理解量子点的自旋。

例如，张平和薛其坤与美国俄克拉荷马大学谢心澄等合作，研究了相互作用量子点在外部分旋转磁场下的非平衡自旋输运性质，证明了量子点中相干自旋振荡可以产生自旋电流。研究发现，计入库仑关联相互作用后，近藤共振效应受外部进动磁场影响很大；并当磁场的进动频率与塞曼分裂能级满足共振条件时，每个自旋近藤峰就会劈裂为两个自旋共振峰的迭加；在低温强耦合区，这种近藤型共隧穿过程对自旋电流的形成产生重要贡献。这为实验上实现自旋极化电流提供了一个重要途径，并从理论上构造的一个相互作用量子点模型。

但当今世界物理学家们研究超弦理论，无一不在证明世界上一切复杂事物，其实都只不过是同一种要素、一种力、一种在 10 维超空间中蠕动的能量环的不同表现形式，即超弦理论和三旋理论理解的量子点已不是类似陀螺模型，而是以弦圈即量子类圈体模型弦圈为基础。把类圈体自旋用面旋、体旋、线旋来解构或建构，陀螺模型的自旋并不基本。因为实际人们对自旋、自转、转动等旋转概念的区分并不大；而这些概念又都有一个共同点，即可用对称性来判断。

早在 1959 年，我们有人就注意到一种自然全息：锅心沸水向四周的翻滚对流；地球磁场北极出南极进的磁力线转动；池塘水面旋涡向下陷落在四周升起的这类现象，如果把它们缩影抽象在一个点上，它类似粗实线段轴心转动再将两端接合的旋转。这种原始物理的认识加上对称概念，使我们对自旋、自转、转动有了语义学上的区分。

即三旋理论认为，将闭合的弦(弦圈)称为类圈体，一维的弦圈，除了超弦理论所说的各种外在运动，还应有三旋理论所说的体旋----绕圈面内轴线的旋转，面旋----绕垂直于圈面的圈中心轴线的旋转，线旋----绕圈体内环状中心线的旋转这三种“内禀”运动。

这里线旋的存在，显然是以弦圈或类圈体在线的粗细尺度上存在卷缩维为前提的，否则“中心线”、“线旋”的概念都将没有意义。

【5、环量子自旋的符号变化】

环量子三旋的极向守恒律和极向对称律，不但与费米子和玻色子各具有不同的自旋数有关联，而且也与自旋的符号变化有关联，这在宏观量子现象上会有反映，而且这个属性有可能被用于分辨自旋霍尔效应的内秉和外秉机制上。

例如，我国科学家方忠和姚裕贵在自旋霍尔效应研究上，就发现半导体和简单金属的自旋霍尔电

导率，具有丰富的符号变化，这一点和外秉自旋霍尔效应有着本质上的不同。他们发现简单金属钨和金具有较大的自旋霍尔效应且符号相反，同时在强散射情形下这两种金属中的自旋霍尔电导率(自旋霍尔效应)仍然具有较大的值，而成为一种潜在的可应用于自旋电子学器件中的材料。

这些研究成果是他们在先前对反常霍尔效应研究的工作基础上取得的，如在研究许多半导体材料的自旋霍尔效应和轨道霍尔效应，发现由于材料中轨道淬灭效应两者并不能相互抵消，同时还发现利用应变可以操控自旋霍尔效应的强度，并预言了在半导体中存在交流的自旋霍尔效应。

【6、量子自旋复杂性探索】

量子自旋是量子力学中的关键概念，它从电子自旋的假设中起源，为研究微观粒子提供了全新的视角。即自旋的探索历程，揭示了物理学中一个充满谜团和挑战的领域。

因为电子的自旋，并不等同于经典自转。在量子力学中，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。

经典概念中的自转，是物体对于其质心的旋转，比如地球每日的自转，是顺着通过地心的极轴所作的转动。而在量子力学中，自旋并不是指量子真的在旋转。即量子力学其中一个最不可解释，或者理解的就是这个自旋方向同时存在，会因自旋而引起的困境。

因为说到自旋，就要说施特恩-格拉赫实验，这个实验是德国物理学家奥托·施特恩和瓦尔特·格拉赫，为证实原子角动量量子化于 1921--1922 年期间完成的一个著名实验：施特恩-格拉赫实验，设法令高温的银原子从高温炉中射出，经狭缝准直后形成一个原子射线束，而后银原子射线束通过一个不均匀的磁场区域，射线束在磁场作用下发生偏折，最后落在屏上。如果原子磁矩的方向是可以任意取向的，则屏上形成一片黑斑。而实验发现屏上形成了几条清晰的黑斑，表明银原子的磁矩只能取几个特定的方向，从而验证了原子角动量的投影是量子化的。施特恩-格拉赫实验，是历史上第一次直接观察到原子磁矩取量子化的实验。

但是实验的结果就是那么的不遂人意，怎么去解释这个现象呢？只能用迭加态去解释了，只能说银原子同时存在向上和向下的自旋，是同时存在并非部分存在。而首先对基本粒子提出自转与相应角动量概念的，是 1925 年由拉尔夫·克勒尼希、乔治·乌伦贝克与塞缪尔·古德斯米特三人所开创。

他们在处理电子的磁场理论时,把电子想象为一个带电的球体,自转因而产生磁场。

后来在量子力学中,透过理论以及实验验证发现基本粒子可视为是不可分割的点粒子,所以物体自转无法直接套用到自旋角动量上来,因此仅能将自旋视为一种内禀性质,为粒子与生俱来带有的一种角动量,并且其量值是量子化的,无法被改变(但自旋角动量的指向可以透过操作来改变)。

简单点说,量子自旋不是我们所认为的自转,而是粒子的内禀属性,举个不太恰当的例子好比人有左手和右手,感觉上左和右是对立的,不应该同时存在,但是我们人就确实是同时有左右手,量子自旋也是,它也是同时存在左旋和右旋的。如电子的自旋,是量子力学中的独特属性,导致对微观粒子性质的重要理解。

早在 1896 年荷兰物理学家塞曼,进行了一项引人入胜的实验,他发现在磁场中,钠原子的光谱会分裂成三部分,这一现象后来被称为塞曼效应,并得到了详尽的理论解释。然而,在随后的研究中,普雷斯顿对锌原子和镉原子进行了类似的实验,却观察到了截然不同的结果。这 20 年后,两位荷兰年轻物理学家乌伦贝克和古兹米特,才提出一个创新理论:他们假设电子能像地球一样自转,即所谓的电子自旋假设。此假设成功解答了之前物理学中的谜团---量子自旋与经典自转本质不同,前者具有不连续性和迭加性,适用于微观粒子描述。

以陀螺为例,我们日常所玩的陀螺,只能以单一方向旋转,即正转或反转。然而,在量子世界中,情况则大相径庭。

一个量子的陀螺,可以同时以两种相反的方向旋转,展现出一种独特的迭加状态。同样地,其他微观粒子也具备自旋特性。例如,我们所熟知的光子自旋为 1,而中子自旋为 1/2。自旋被视为微观粒子的内禀属性,与质量、电荷等基本性质紧密相关。

量子力学理论认为,电子拥有“自旋”的性质,其行为类似微小的条形磁铁。当电子相互作用时,它们的“自旋”会对齐或反对齐(沿相反方向对齐)。但在某些材料(如锡酸铈)内,这种对齐/反对齐可能被破坏。这种现象被称为磁阻挫,可能产生量子自旋液体等有趣的量子现象。这为三旋理论提供了支撑,因为名字中带有“液体”的这种现象,解决可在包括固体在内的多种物质状态中的线旋表现。

1973 年诺贝尔物理学奖得主菲利普·沃伦·安德森,就提出量子自旋液体的这类特殊量子物质形态,其核心特征是在绝对零度下仍保持电子自旋的无序量子涨落状态。这是因随着材料冷却,自旋方向会持续波动。该物态具有长程量子纠缠和分数化

自旋激发等特性,通过严格可解的 Kitaev 模型和姚--李三维模型得到理论验证。

2021 年哈佛大学团队,首次在铷原子阵列中实现实验室观测。

2024 年 12 月 17 日《科技日报》报道,由瑞士、美国、法国等多国科学家组成的国际团队宣布,在锡酸铈材料发现了量子自旋液体的新证据;证实其磁阻挫效应与拓扑序特征,为高温超导机理研究及拓扑量子计算提供了理论基础。这一最新成果,将帮助人们在由材料内电子自旋构成的“宇宙”中,寻找其他类似磁单极子的粒子。

磁单极子只有一个磁极,就像电子只携带一个负电荷一样。这些发现将加深人类对宇宙以及物质在最小尺度上如何运作的理解。

【7、结束语】

比较经典世界与量子世界的自旋特性,我们看到自旋现象的普遍性,使得它与我们的生活紧密相连,无论是小到原子还是大到宇宙,自旋都是不可或缺。但证实看到量子自旋,还是最近几年前的事情。

2018 年 7 月 24 日《科技日报》报道,新加坡国立大学电子与计算机工程系杨贤秀教授领导的团队使用扫描光电电压显微镜,才首次“看到”拓扑绝缘体硒化铋和铂中的特定电子的量子自旋现象,为量子计算机开发提供了新方法。

这是由于施加的电流会影响所有这些材料量子能级的电子自旋,而他们也使用来自显微镜的偏振光,直接观察到这种变化。与其他观察技术不同,新实验装置可在室温下工作,因而适用于多种其他材料,这意味着开发更好的量子计算机将变得更容易。

其次量子自旋磁力计,对基础物理研究,特别是暗物质探测领域贡献良多。利用自旋的高灵敏度探测器和发展的新技术,也能助力推进暗物质探测的突破。而量子自旋能为未来芯片技术突破带来的潜力,在于其支持的量子计算,提升计算性能和解决复杂问题能力。

同时对人工智能的创新,也类似在提供很多“无”线的联系。

参考文献

- [1]王德奎.分形与复杂性探索.分形理论的哲学发轫[M].四川大学出版社,1993..
- [2]王德奎,三旋理论初探,四川科学技术出版社,2002 年 5 月;
- [3]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;
- [4]王德奎,解读《时间简史》,天津古籍出版社,

2003年9月;

- [5]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;
- [6]长江康, 有生于无卡西米尔效应量子实验的意义----量子人工智能大脑黑洞并行计算(2), Academia Arena, 2020(6);
- [7]王德奎, 旋束态的三旋算法量子计算应用, Academia Arena, 2022(6);
- [8]汪帆一, 元宇宙多元一体柯猜芯片无声胜有声--读《刚火就开始收割, 元宇宙就是这样招人烦的》, Academ Arena, 2022(1);

[9]杨本立, 读王德奎先生新作《三旋理论初探》, Academ Arena, 2025(7);

[10]叶眺新, 蝴蝶效应莫比乌斯圈太极图病毒全息----读《病毒博物馆》说多极与全球化, Academ Arena, 2022(8);

[11]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, 2020(10);

[12]长江康, 暴涨宇宙与分形分维解, Academ Arena, 2021(5);

[13][英]约翰·D·巴罗, 无的故事----万物何处来, 人民邮电出版社, 2023年5月。

10/11/2025