

量子世界中

波函数到底是数学描述还是实体(上)

本报记者 陆成宽

有那么一个世界:崂山道士的穿墙术成为可能,你脚下的大地也不再坚实,甚至世界的客观实在性也消失了,一切都要用概率来解释。这就是量子力学的世界。

不同于我们日常感知到的宏观世界,量子力学所描绘的是微观世界。量子力学的理论

核心之一就是利用波函数来描述微观粒子的量子状态。然而,尽管量子力学已有百年的发展历史,但是波函数的本质是什么,依然是一个悬而未决的谜团。近日,清华大学龙桂鲁教授以第一和通讯作者身份,在2018年第3期《中国科学:物理学 力学 天文学(英文版)》上发表的一项研究,为我们揭开了波函数的神秘面纱。

虽然我们不知道每个光子会落在屏幕上哪一点,也不知道下一个光子会落在哪,然而每个光子落在哪里肯定是干涉条纹亮点的地方,不会落在干涉暗点的地方,这样最终呈现出干涉条纹。

光子并不是唯一这样做的粒子,发射单个电子穿过一对缝隙,它也会在屏幕上一点处落下,发射许多的电子后,会形成同样的干涉条

量子力学的发展已有百年历程,但身为其理论核心之一的波函数,其本质到底是什么,却依然是百年未解的谜团。波函数理论已经衍生出诸如激光、半导体和核能等高新技术,深刻变革了人类生活方式。但多年来,物理学家们提出各种关于波函数的假设和诠释,并设计出各种实验进行验证,却始终没有达成共识。其中最主流声音认为,波函数仅是一种数学描述,用来计算微观物体在某处出现的概率。但最近清华大学物理学教授龙桂鲁带领的团队,提出完全不同的全新观点,认为波函数是微观物体的真实存在。本文将分上下篇,为读者梳理这些诠释和实验的来龙去脉。

——编者按

双缝实验 量子世界最早展示的怪事之一

首先来看看量子世界最早给我们展示的一件怪事,那就是著名的双缝实验。如果有一只大黄鸭在水池里上下摆动,引发周期性的涟漪向外散去。一段距离外,波纹碰上了一道中间有一条缝的挡板,同时,在挡板的后面,摆设侦测屏用来记录通过缝隙的波的数据。波在穿过缝隙之后,开始向四周发散波动,在侦测屏上会记录一条与缝隙直线相对的明亮条纹。

那如果水波碰到两条缝隙会产生什么样的效果呢?我们在挡板上再加一条缝隙,结果发生了不一样的事情:穿过两条缝隙的波纹开始相互叠加,在侦测屏上形成了一系列明、暗交替的条纹,而这种漂亮的图案被称为“干涉图”。

“频率相同的两列波叠加,使某些区域的振动加强,某些区域的振动减弱,而且振动加强的区域和振动减弱的区域在空间上交替排列。这种现象叫做波的干涉。”龙桂鲁教授告诉科技日报记者。

之所以会形成一系列明、暗交替的干涉图,是因为在某些地方,一个缝隙波峰的波峰刚好在另一个缝隙波峰的波峰上,从而导致更强烈的高峰,同时,如果是两个波谷叠加则会导致更强烈的下沉,这种现象被称做“相长干涉”。但当一个波的波峰与另一个的波谷相遇时,它们相互抵消,水面恢复平静,这是“相消干涉”。

“任何类型的波都应该会产生相似的干涉图,比如水波、声波还有光波等。”龙桂鲁说。

干涉条纹 物理学最疯狂实验结果之一

英国物理学家托马斯·杨在1801年首次观察到了光的双缝干涉,一束光经过两条很窄的缝隙后产生了数条明暗条纹,屏幕上交替出现相长和相消干涉的区域。

我们知道光波是由大量的“光子”或者“光子”组成的,在强光的情况下,光就是一束电磁波。因此,当一束光穿过两个缝隙时,在缝后就会相互干涉,进而形成干涉条纹。

但是在这里,我们将看到物理学中最疯狂的

实验结果之一。我们每次只发射一个光子,已排除了两个光子的相互影响。然而,在这种情况下,经过长时间的积累,干涉条纹依然会出现。每个光子到达屏幕时,只产生一个亮点。第一个光子在屏幕上一个特定位置被检测到,第二个、第三个以及第四个也一样,每一个光子都将在屏幕上产生一个亮点,表现出粒子的特性。但如果不断发射单个的光子,在发射足够多的单个光子后,这些光子在屏幕上就形成了干涉条纹的图案。

多家诠释 对波函数实质的不同描述

量子力学把描述微观粒子状态的函数称为波函数。双缝实验中,在实验的两端我们知道粒子的位置,粒子从我们放单光子激光器或电子枪的位置开始运动,并在屏幕上一个确定位置被探测,所以粒子似乎在两端更加类粒,而表现出的干涉

哥本哈根概率波诠释 波恩、海森堡和玻尔所支持的哥本哈根诠释,是现在的主流派。“哥本哈根诠释认为波函数没有物理本质,仅是一种数学描述,用来计算微观物体在某一处出现的概率,只要计算结果与实

德布罗意导航波诠释 导航波理论最早在1927年由法国理论物理学家德布罗意提出。美国物理学家玻姆在1952年开始接手,一直研究到1992年离世。因此该理论也被称为德布罗意-玻姆理论。“德布罗意导航波诠释认为波函数就是一个引导波,粒子按照这个波函数的引导走,也就是说

埃弗莱特多世界诠释 多世界理论由美国物理学家埃弗莱特提出。龙桂鲁介绍,多世界理论认为当粒子经过双缝后,会出现两个不同的世界,在其中一个世界里粒子穿过了左边的缝隙,而在另一个世界里粒子则穿过了右边的缝隙。波函数不需要“坍缩”,去随机选择左还是右,事实上两种可能都发生了。只不过

在中间是类似波动的。那么光子从发射到探测究竟经历了什么样的过程?波函数起了什么样的作用?这就涉及到量子力学的基本问题:波函数的实质是什么?现在多种关于波函数的诠释,对这个过程进行了不同的描述。

实验结果相符即可。”龙桂鲁说道。哥本哈根诠释中,对微观粒子进行测量时,微观粒子由多种可能性的叠加态转换到一个特定的本征态,体系的状态转化瞬时发生,这称作“波函数坍缩”。粒子具体转换到哪一个状态是完全随机的。

粒子行走的位置是被一个波函数引导好的。”龙桂鲁说道。在德布罗意-玻姆理论中,电子始终拥有确定的位置,即便该位置无法被观察者察觉。电子的位置受到导航波的引导。一个电子只能通过一条缝隙,但导航波可以同时穿过两条缝隙。导航波的干涉产生了侦测屏上的干涉图。

它表现为两个世界:生活在一个世界中的人们发现在他们那里粒子通过了左边的缝隙,而生活在另一个世界的人们观察到的粒子则在右边。也就是说,粒子穿过双缝的一瞬间产生了多个平行宇宙,每个宇宙对应一种可能性。由于我们只是恰好生活在其中一个平行宇宙中,所以只观察到了一种结果。

热点追踪



大连现“极地冰原”景观 专家:只是看着像

本报记者 杨仑

近日,受持续区域降温的影响,大连夏家河子等地海域,大量海冰被北风和潮水涌向岸边,出现了极地冰海的美景。起伏的冰层杂糅、交错在一起,游客仿佛置身极地的冰原世界一般。

美景虽然好看,但专家提醒今年大连市冰情依然较轻,在冰面上行走、游玩存在较大风险,建议游客注意自身安全。

俗话说,三九四九冰上走。受连日来低温寒潮的影响,大连夏家河海域形成了壮丽的冰原奇观,整个海面全被冰层覆盖,白茫茫一片,不见边际。放眼望去,好像一幅精心绘就的油画,层层叠叠、错落有致。大量的海冰堆积在岸边,形态各异,颇有几分雕琢的层次感,令人感慨大自然的鬼斧神工。

大连市民文先生告诉记者,自己每年冬天都会带孩子前来游玩,观看美景。“感觉今年冻得还不算厚,有些地方还没冻结实,要不然都可以到上面去玩。”文先生说。形态各异的海冰也吸引了大量游客、摄影师前来拍照,有不少游客直接走到冰面上留影、玩耍。

这种“冰原”奇观又是怎样形成的呢?

科技日报记者采访了大连市海洋预报台预报室高级工程师刘玉令。“这样的现象形成有几种原因,首先是寒潮带来的低温,海冰在海上开始凝结,因为夏家河子水域比较浅,水温容易受气温影响,北向的浪潮把海冰推向了岸边,因此就在夏家河子海域形成海冰的堆叠。”刘玉令说。

据了解,目前大连刚刚进入盛冰期。最近几年,大连的冰情一直较轻,到现在为止,今年的冰情与常年相比仍然略轻一些。类似的冰原奇观,在大连市每年这个时候都会出现,远远观赏即可。专家提醒,由于冰面并未完全冻冰,游客一定要注意自身安全。“另外,建议游客最好不要到冰上游玩,因为存在冰块脱落、随潮流入远海的可能,会将自己置身于险地。”刘玉令说。

那么,这种景观又和极地冰原有什么关系呢?就此事,记者采访了辽师大城市与环境学院三级特聘教授刘亮博士。

“首先,这个肯定和冰原没有关系,”刘亮说。他介绍,所谓冰原,是指面积小于5万平方千米、冰体厚度不足以掩盖冰下地形起伏的大型冰川体。冰原一般是水平状冰川覆盖区,围绕山脉主峰分布,或在高原面上分布。

不过,刘亮博士也表示,从景观角度来看,两者之间确实有一定相似之处,因为在极地地区的海边,也会有大块的冰体漂浮,不过也仅仅是形似而已。

“大连海边所谓的‘极地冰原’只是看起来相似,其实学名是海冰,是海洋表面海水冻结形成的冰。大连的海冰冬季冻结,春季融化;而冰原的形成是经过多年降雪或其他固态降水积累、演化形成的处于流动状态的冰体,两者是完全不同的概念。”刘亮说。

新知

小心! 野生猴子携带致命病毒

如果你在佛罗里达州看到一只猴子,那么请不要去碰它。据外媒报道,这么建议的原因是,科学家们发现,在这些可爱的动物中,1/4都携带有致命的疱疹B病毒。

虽然这种病毒在猕猴中只会引发轻微的疾病,但对人类来说却是致命的。据了解,这种病毒潜伏在神经中,症状跟人类的唇疱疹相似。4%至14%的猴子会在秋季繁殖季节通过唾液释放病毒,但在它们的排泄物中并未发现。

佛罗里达州大学野生生物学家、论文作者韦斯利指出,目前对野生猴子体内疱疹病毒的了解不多。“虽然感染这种病毒的几率非常低,一旦感染,后果将非常严重。”



(本版图片来源于网络)

从量子点到量子环 改变的不只一个字

第二看台

本报记者 崔爽

量子计算已经成为时下最火热的研究项目之一,而作为信息载体的量子比特的实现方式,是量子计算机研究的一项关键技术。

近日,来自中科院微电子研究所和浪潮电子信息产业有限公司的产学研合作研发团队,联合重庆邮电大学、厦门大学相关研究人员发表论文,提出以多电子半导体量子环构建量子计算机的理论设想,丰富了量子比特实现方式。

作为该文通讯作者,中科院微电子研究所集成电路先导工艺研发中心吴振华研究员接受科技日报记者采访时表示:“用半导体量子环构建量子比特,这是基于现有成熟半导体工艺构建量子计算机的新构想。”

晶体管尺寸接近物理极限

最近40年,微电子产业一直遵循着摩尔定律的预测持续、高速发展。

“但是随着技术的进步,器件集成度越来越高,芯片上的晶体管数目越来越多,单个晶体管尺寸越来越小。可以说当前的半导体芯片的发展已经接近尺寸上的物理极限,摩尔定律的时代即将终结,

急需发展新的计算原理和新的器件架构来满足不断增长的计算需求。”吴振华解释道,“在此背景下,各国科学家大力研究量子力学规律,发展量子计算与量子信息技术,以期研制出可替代传统计算机的实用化量子计算机,实现超量子并行的超级计算能力。”

“量子计算机通过叠加和纠缠的量子现象来实现计算能力的增长。量子叠加使量子比特能够同时具有0和1的数值,可进行‘同步计算’。每增加一个量子比特,运算性能就翻一倍。”另一位论文通讯作者、浪潮人工智能与高性能计算部刘羽博士表示。

目前,谷歌、微软、IBM、英特尔等科技公司都已经布局量子计算的研究。刘羽介绍说,IBM宣称已成功开发出一台50位量子比特的原型机;谷歌量子硬件负责人约翰·马丁尼斯则在去年10月透露谷歌已拥有22个量子比特的芯片;中国也在2017年5月初发布了世界首台超越早期经典计算机的光量子计算机,成功实现了10个超导量子比特纠缠,预计不久的将来可以实现操纵20个超导量子比特。

满足几项特定“指标”才能更优质

优质的量子比特实现方式一般需要满足几项特定的要求,如较为容易的物理载体的实现

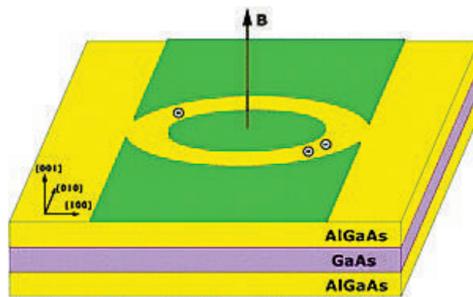
方式、容易的初态制备和操作、较长的相干时间等等。

“目前量子比特的实现方案主要包括超导回路、囚禁离子、半导体量子点、金刚石空位、拓扑任意子、光子等等,其中每一种技术都有自己的优点和缺点,未来最终路线尚不明确。”吴振华告诉记者。据他介绍,上述方案中,半导体量子点方案最具核心优势,其可利用现有半导体工艺基础开发、操作速度快、易于实现高密度集成,从而吸引了众多研究机构的关注。

“但是半导体量子点中强烈的量子限制效应使得电子相干时间短,电子纠缠困难。针对这个问题,我们利用组态相互作用(configuration interaction)方法,从理论上研究了包括3到6个电子的半导体量子点中的多电子态,发现量子环中电子数目不同,电子间会耦合形成不同的纠缠态,并可随外加磁场、电场的不同而呈现出不同特征,从而实现量子态的调控。此外,我们的研究还系统阐述了通过光学测量量子环特征的方案。”刘羽介绍说。

可利用现有半导体工艺实现

在吴振华和刘羽看来,以多电子半导体量子环构建量子比特,是对现有单电子半导体量子点方案的新构想。实现量子计算的主要障碍是用



于计算的量子态难以保持,就是常说的相干时间短。研究表明,相对于半导体量子点,半导体量子环的限制势易于调节,电子的相干时间更长,利于实现更多的量子比特操作。半导体量子点只能对单个电子自旋进行精细操控,对实验要求高难度大。而多电子量子环利用电子数目和电子自旋态混合编码实现量子比特,因此拥有更多的可操作自由度。此外量子点中,电子被束缚在零维空间。量子环中电子还具有在准一维空间轨道运动的自由度,提供了自旋这种电荷以外新的编码可能。

不仅如此,“与半导体量子点一样,量子环同样可以利用现有的半导体工艺实现,从而可以基于现有技术较为平滑地从经典的半导体芯片过渡到量子芯片。”吴振华说。

这项全新的研究成果还是产学研合作结出的硕果。刘羽表示:“该研究使用了较为严格和精确的理论模拟方法,但计算量巨大,微电子研究所与浪潮集团的产学研合作,充分发挥了浪潮在高性能计算领域的优势。双方还将继续推进合作,在量子计算领域寻求新的突破。”