

量子物理学:到底什么是真的?

科学家开展一系列试验探究量子怪诞性

Owen Maroney 担心,物理学家将大半个世纪都花在了欺骗行当上。

身为英国牛津大学物理学家的 Maroney 解释说,自从他们在 20 世纪初发明量子理论后,就一直在讨论它有多么奇怪,比如它如何使得粒子和原子同时在很多个方向移动,或者同时顺时针和逆时针旋转。不过,Maroney 认为,讨论终究不是证据。“如果我们告诉公众量子理论是怪诞的,就最好证明这是真的。否则,我们不是在研究科学,只是在黑板上解释一些好玩的胡乱涂鸦而已。”

正是这种情怀让 Maroney 和其他人开发出一系列新的试验揭示波函数的本质,而这种神秘实体是量子怪诞性的核心所在。在论文中,波函数只是一个简单的数学对象。物理学家用希腊字母 Ψ 表示,并且利用它描述粒子的量子行为。依靠试验,波函数使研究人员得以计算出在任何一个特定位置观测到电子的几率,或者电子自旋朝上或朝下的可能性有多大。然而,数学无法阐明波函数真正是什么。它是一种实体的东西?或者只是一个计算工具?

用来寻找答案的测试极其精细,并且尚未产生明确的答案。不过,研究人员对于答案将持乐观态度。如果真的是这样,他们最终将能回答那些存在了几十年的问题。一个粒子能否真的同时存在于很多地方?宇宙是否正在继续把自己变成平行世界,而每个世界都拥有一个不同版本的我们?是否有客观实体的东西存在?

“这些是每个人在某种情况下都曾问过的问题。”澳大利亚昆士兰大学物理学家 Alessandro Fedrizzi 说,到底什么才是真正的事实?

无知是福

20 世纪 20 年代,“量子论的哥本哈根诠释”主要由物理学家 Niels Bohr 和 Werner Heisenberg 提出。其认为波函数只不过是预言观测结果的一种工具,并且警告物理学家不要关心背后的现实是什么样子。“你无法责怪大多数物理学家遵从这种‘闭嘴,乖乖计算’的风气,因为它在核物理学、原子物理学、固态物理学和粒子物理学领域都带来了巨大的发展。”比利时鲁汶天主教大学统计物理学家 Jean Bricmont 说,“因此,人们会说,让我们不要担心大的问题。”

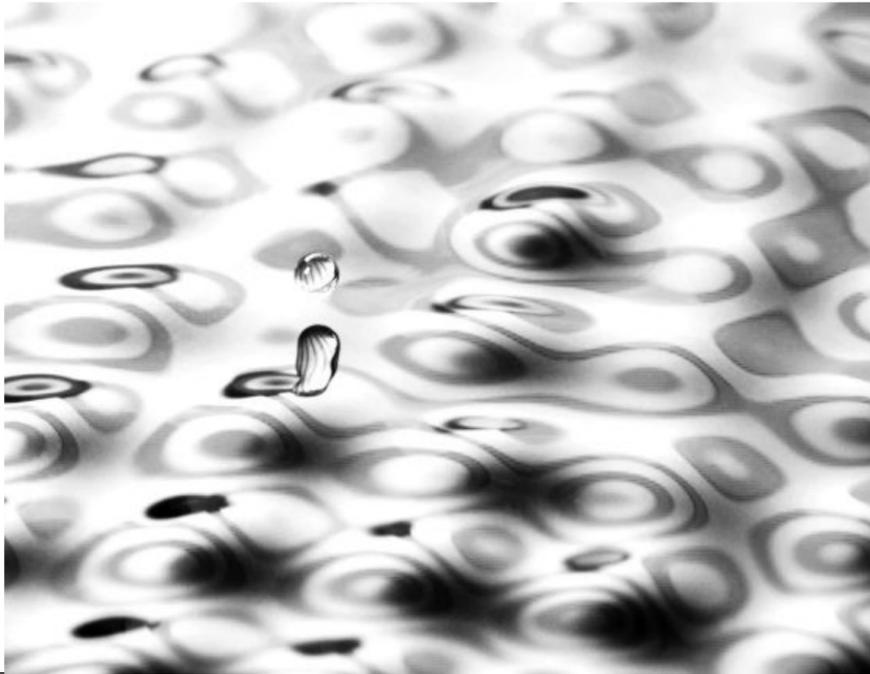
不过,一些物理学家还是在担心。到了 20 世纪 30 年代,阿尔伯特·爱因斯坦驳斥了“哥本哈根诠释”,并不仅仅因为它使两个粒子的波函数纠缠不清,产生了对于一个粒子的测量结果能瞬间决定另一个状态的情形,即使这些粒子被很远的距离分开。爱因斯坦并没有接受这种“幽灵般的超距作用”,反而更偏向于相信粒子的波函数是不完整的。他建议说,或许粒子拥有某种能决定测量结果但量子理论没有捕捉到的“隐变量”。

从那以后,试验表明,这种“幽灵般的超距作用”是真实的,其排除了爱因斯坦所提议的隐变量的特定版本。不过,这并未阻止其他物理学家提出自己的诠释。这些诠释分为两个广泛的阵营。那些赞同爱因斯坦的人认为,波函数代表了人类的无知。还有有些人将波函数视为

“Owen Maroney 担心,物理学家将大半个世纪都花在了欺骗行当上。”

一项试验表明,油滴能被槽液中产生的波推动。这促使物理学家重新思考类似事情使粒子表现得像波一样的观点。

图片来源:Dan Harris/MIT



实体。

为理解两者之间的区别,请看 1935 年奥地利物理学家 Erwin Schrodinger 在一封写给爱因斯坦的信中所描述的思维实验。试着想象一只猫被关在钢制盒子中,而这个盒子还含有一个放射性物质的样品,后者有 50% 的几率在一个小时内释放出一种衰变产物。同时,盒子里设有一个装置,如果它检测到这种衰变,将杀死这只猫。Schrodinger 写道,由于放射性衰变是一种量子事件,因此按照量子理论规则,在一个小时结束后,盒子内部的波函数必须是活着的猫和死去的猫的等量混合。

不过,这正是争论被卡住的地方。在量子理论的众多诠释中哪个是正确的,如果有的话?这是一个用试验方法很难回答的问题,因为不同模型之间的差异非常细微。

2011 年,情况发生了改变。一种关于量子测量的定理得以发表,而它似乎排除了“波函数是未知”的模型。不过,仔细研究发现,上述定理最终为“波函数是未知”模型留出了足够的回旋空间。然而,它激发了物理学家认真思考通过真正测试波函数真实性解决争论的方法。Maroney 已设计出一项在原理上行得通的试验。他和其他人很快找到了使其在实践中可行的方法。去年,Fedrizzi、昆士兰大学物理学家 Andrew White 和其他人开展了此项试验。

孤立无援

一种类似的模棱两可出现在量子系统中。

例如,实验室中的单一测量结果并不总是能辨别出光子是如何被极化的。“在实际生活中,很容易区分西面和西面稍偏南,但在量子系统中,并没有这么简单。”White 说。根据标准的“哥本哈根诠释”,质疑什么是极化没有任何意义,因为这个问题没有答案。或者说,至少得等到另一个测量结果能精确地决定那个答案。不过,根据“波函数是未知”模型,这个问题非常有趣,只是因为试验没有获得足够信息来回答它。

这正是 Fedrizzi 团队所测试的事情。他们在一束光子中测量了极化和其他特征,并且发现了无法被“无知模型”解释的一定程度的重叠。研究结果支持另一种观点,即如果客观实体存在,那么波函数也是真实的。

不过,结论仍然不是牢不可破的,因为探测器获得的只是测试中使用的约五分之一的光子。研究团队不得不假定,丢失的光子正表现出相同的方式。这是一个很大的假设,而研究组目前正努力消除取样间隔,以产生明确的结果。与此同时,Maroney 在牛津大学的团队正在同新西兰南威尔士大学的一个小组合作,利用比光子更容易追踪的离子开展类似测试。

平行世界

一种“波函数是实体”的模型已经很有名,并且被科幻小说作家深爱:上世纪 50 年代由当时还是普林斯顿大学研究生的 Hugh Everett 提出的“多个世界诠释”。在多个世界的画面中,波函数主宰着实体的演化。其影响是如此深远,

以至于无论何时量子测量完成,宇宙都会分裂为平行的“副本”。换句话说,打开关有猫的盒子,两个平行世界将扩展出来,一个有一只活的猫,一个含有一具尸体。

其实,很难将 Everett 的“多个世界诠释”同标准量子理论区分开来,因为两者都作出了完全相同的预测。不过,去年,来自格里菲斯大学的 Howard Wiseman 和他的同事提出一种可测试的“多元宇宙模型”。他们的框架不含有波函数:粒子遵循着经典原则,比如牛顿的运动定律。量子实验中看见的怪诞效应之所以会产生,是因为平行宇宙中的离子及其克隆之间存在排斥力。“它们之间的这种排斥力建立了在所有平行世界中传播的涟漪。”Wiseman 介绍说。

通过利用计算机模拟多达 41 个相互作用的世界,他们发现这种模型大致能复制一些量子效应,包括双缝实验中粒子的轨迹。随着世界数量的增加,相互干预模式同标准量子理论预测的模式越来越接近。Wiseman 表示,由于该理论依靠宇宙数量预测不同结果,因此应该有可能设计出检验其多元宇宙模型是否正确的方法。

由于 Wiseman 的模型不需要波函数,因此它将保持着可行性,即使未来的试验排除了“无知模型”,同时幸存的还有诸如“哥本哈根诠释”等那些认为没有客观实体存在的模型。

不过,White 说,到那时,这将是最终的挑战。尽管还没有人知道如何实现它,“真正令人激动的是设计出检验事实上是否有任何客观实体存在的测试”。(宗华)

树叶固氮不是梦

细菌固氮新说挑战传统理论

在热带雨林之外生长最快的树木是白杨。这种树高而细长,在不到 10 年的时间里就可以长到 30 米高,即便是生长在它们似乎并不适宜的环境里,如焚烧的土地以及多沙的河岸。

Sharon Doty 说,这样的生长速度得益于其叶片和其他组织中的微生物。当白杨的叶子细胞忙着把日光转化为能量时,叶子细胞中的细菌会把空气中的氮转化成一种维持树木快速生长所需要的氮。

这是个有些激进的观点,因为固氮作用普遍认为主要发生在豆科植物与其他少数植物根部含有大量细菌的根瘤上。“我们完全是在挑战教条主义。”美国华盛顿大学微生物学家 Doty 说。

在 5 月初的第五届约塞米蒂国家公园(位于加州中部)共生研讨会上,Doty 对她的观点进行了佐证。她报道了白杨从某种微生物中获取氮的首个直接例证,她的观点得到了加州大学环境微生物学家 Carolin Frank 的支持,Frank 研究的是不同种类的树木在贫瘠土地上如何生存。她在报告中表示,固氮作用还可能出现在柔枝松的枝叶中,这种松树主要生长在美国西部多石、海拔较高的坡地上。

Frank 和 Doty 推测,具有固氮作用的叶子细菌可能十分广泛,如果把它们转移到农作物上,可能有助于提高贫瘠土壤的作物产量。Doty 发现,一些庄稼在接种过这种微生物后生长得更好。她在约塞米蒂年会上举了一个例子:大米。尽管其他植物学家不太相信这种观点,但是同样对此表现出强烈兴趣。“如果大量(树木)物种中都有一种尚未识别的氮固定生物,那会是个大发现。”加州大学戴维斯分校植物和微生物学家 Douglas Cook 说。

从上世纪 90 年代起,固氮作用仅在富含微生物的植物根瘤上存在的观点受到了挑战,彼



尽管生长在严酷环境中,柔枝松可能受益于其枝叶内的固氮细菌。图片来源:JEFFREY B. MITTON

时研究人员在没有根瘤的甘蔗中发现了固氮作用。自那时起,研究人员不时有成果指出,植物组织内生长着一种叫作内生真菌的细菌,可以为宿主提供生长所需的氮。但是 Cook 认为:“尚未作过恰当的研究,因此这样的观点并非举足轻重。”

他和一些研究人员主张,这一过程中非常关键的固氮酶刺激反应过于敏感,不能让氧气在叶子内工作。而且即便有微生物在转化空气中的氮,“也并不意味着,它们在为宿主提供益处”。斯坦福大学研究氮储存的专家 Sharon Long 说。

Doty 试图回答所有的反对意见。她在约 15 年前就开始怀疑固氮作用可能存在于根瘤之外,当时她发现白杨细胞培养皿中充满了和已知固氮微生物株相关的细菌,她把细菌放在没有氮气的媒介中,然而一些微生物却存活下来,它们很明显从空气中获得了氮。

此后,她记录了数十种来自白杨的菌株促进白杨之外的其他植物生长的例证,包括黑麦、草坪草、玉米、杨树、番茄以及此次的大米等。她的温室气体研究表明,在一种含有白杨内生菌的发酵液中浸泡了 4 小时的稻秧,最终整个植物体遍及这种微生物,而且比没有浸泡过该发

酵的稻秧长得更高、产量更多,而且会产生更多分蘖。

如果 Doty 是正确的,一个剂量的这种生物菌可能确实会对农民有益。“氮是个巨大的约束因子,对非洲农业尤其如此。”植物生物学家、西雅图比尔及梅琳达·盖茨基金会的一名项目官员 Katherine Kahn 说。目前确实存在补偿措施有限的问题:花费不仅昂贵,而且会污染环境,向土壤中加入固氮细菌也不能很好见效,而且给农作物植入需要形成根瘤的基因或是让它们自身进行固氮都是非常遥远的梦想。

一些研究人员怀疑,Doty 分离出的一些叶子寄生细菌会产生促进生长的植物荷尔蒙。但因为 Doty 是在缺乏氮的人工土壤中进行试验,她认为,由这种细菌提供的氮一定在促进植物生长。在会议上,Doty 原来的技术员 Andrew Sher 则说明了自己认为最有力的证据。Sher 把来自野生白杨的切片放入烧杯中,并让它们接触比空气中氮浓度更高的氮。随后,植物体内呈现出同样的同位素,这表明细菌已经捕获到氮并把它转化为可用的营养,Doty 说。

尽管如此,一些研究人员仍对这一观点持谨慎态度。“现在科学家的看法正在逐渐发生改变,不是从怀疑变为信任,而是从怀疑变为谨慎的提问。”田纳西州橡树岭国家实验室植物遗传学家 Gerald Tuska 说。Tuska 和同事已经从白杨中分离出约 3000 个微生物,其中许多配有固氮酶。其中一些微生物被生物膜隔离在氮限制隔间中,在那里固氮酶甚至在叶子富营养环境中也能发挥作用。

树木固氮作用的观点在一步步逐渐确立, Frank 说:“我觉得我们在逐渐改变人们的观点,也包括我们自己的观点。”(红枫)

科学线人

全球科技政策新闻与解析

美众议院重塑《竞争法案》惹争议



美国先进研究计划署能源部支持“高风险、高回报”技术,例如用 3D 打印技术制作这辆小汽车。图片来源:Risdon

根据美国众议院 5 月 20 日通过的一项法案,社会科学和气候变化方面的研究将遭遇挫折。

这项名为《美国竞争法案》(以下简称《竞争法案》)的法规总体措施是优先考虑国家科学基金会(NSF)、能源部、国家标准和技术研究院(NIST)等机构的研究项目。这一举措引发许多科学组织的尖锐指责,称该计划将会限制它们支持最有潜力的研究,同时法规也受到了白宫方面的指责。

《竞争法案》中一些最具争议的法规涉及 NSF。这项法案建议大幅削减该机构的社会学、行为学以及经济学领域的资金,从 2015 财年的 2.722 亿美元削减至 2016 年和 2017 年的 1.5 亿美元——削减幅度达 45%。同时,法案要求对地球科学经费支持削减 12%,下降至每年 12 亿美元。

该法案起草者,共和党众议员,众议院下属科学、空间技术委员会主席 Lamar Smith 说,这些改变是一项更大的计划——强调“基础研究和基础科学发现”——的一部分。出于这种考虑,《竞争法案》旨在增加 NSF 在数学、物理学、工程学、生物学以及计算机科学领域的经费投入。

但是这一逻辑并未得到 NSF 的支持,该机构在 5 月 7 日的一次声明中说,众议院这一举措与增强美国经济竞争力的目标“相抵触”。这项法案也让其他一些机构非常不满,如美国科学促进会、地球物理联合会、物理学会、社会科学协会的财团(COSSA)等。它们是 20 多家联合向 Smith 发出抗议信的机构的一部分。

NSF 原项目主任 Scott Collins 说,该法案作出的经费削减并非是唯一一个让人担忧的原因。他指出,众议院为 NSF 个别研究领域指定资金,而不是让该机构根据它们的研究价值计划资金支出是一种反常决定。“这会令问题变得行政化,威胁到科学家的独立性。”现在新墨西哥大学作生物研究的 Collins 说。

其他人则对该法案将影响能源部门的法规表示担忧。《竞争法案》将禁止能源部的生物和环境研究项目支持任何与其他联邦机构存在交叉或重叠的气候变化研究。出于管制目的,它还会限制任何政府机构使用能源部化石燃料研究,一些科学团体担心这一举动可能妨碍环境标准的发展。

“这项法规与 2007 年生效的原始《美国竞争法案》完全不同,与 2010 年修订后的版本也不同。”弗吉尼亚大学计算机学家 Anita Kasen 说。根据 2005 年美国国家科学院报告,最初的法案要求对 NSF、NIST 和美国能源部科学办公室的经费 10 年内翻两番,“未雨绸缪,迎接风暴”。

“原来的法案是为了支持科学和技术领域的新想法。”Jones 说,“而目前的《竞争法案》与那些目标相冲突,其中的一些政策都是很糟糕的想法。”(鲁捷)

2015 年“舞动博士”大赛启动



用舞蹈代替 PPT 解释你的博士研究成果。这是科普作家 John Bohannon 的一个“小提议”。在这场引人入胜并精心设计的解说中,他在黑色标签舞动舞蹈队的帮助下亲自作示范。图片来源:TED

你的博士研究是什么?别,请关掉你的 PPT 文稿,收起你的会议展板。希望你用最精练的方式总结你的研究:那就是跳舞。

时间再次来临,2015“舞动博士”竞赛已经拉开序幕!这是《科学》杂志举办的第 8 届全球科学舞会。由美国科学促进会提供的 2500 美元等着参赛者来拿,另外参赛者还有机会获得由斯坦福大学学术网站(HighWire Press)赞助的前往阳光明媚的加州帕洛阿尔托斯市斯坦福大学旅游的机会。

无论参赛者是一名核物理学家,还是一名行为心理学家;无论参赛者刚开始读博,还是数十年前就已博士毕业,这项比赛都欢迎参赛者来参加!而且舞蹈类型不限。此前的获奖者包括森林生态学天线、竞争精子的水上芭蕾、单格拍制的钛晶体之间的打斗场面等等。

截止日期为 2015 年 10 月 28 日。如果希望参加此次竞赛,请阅读相关说明。

祝参赛者好运,科学家!期待最终能理解你的博士研究成果。(红枫)