



视觉中国供图

编者按 中央经济工作会议指出：科技自立自强是促进发展大局的根本支撑，只要秉持科学精神、把握科学规律、大力推动自主创新，就一定能够把国家发展建立在更加安全、更为可靠的基础之上。近年来，量子科技发展突飞猛进，成为促进高质量发展、保障国家安全的重要力量。据此，本版今起推出量子科技系列报道，关注量子科技的发端与发展。

它不是具体粒子 却“构筑”起我们身处的世界

量子科技系列报道①

◎本报记者 吴长锋

量子力学是微观物理学依赖的基本理论框架，自其提出一百多年来，在物理学基础与应用的方方面面取得了一个又一个的成功。从九章量子计算机原型的发布到证明广域量子保密通

信技术在实际应用中的条件已成熟，中国科学家过去几年在量子科技领域取得了跨越式的发展。量子力学的建立使人类对世界的认识从宏观深入到微观，是近400年现代科学发展史上一个革命性飞跃，也是公认的上世纪最伟大的科学发现之一。在深入了解量子力学之前，我们需要弄明白，究竟是什么是量子？我们这个复杂的物理世界，是如何由微观粒子构建而成的？

量子不是“子”，而是一种物理学概念

物质是由原子组成的，原子是由原子核与电子组成的，原子核是由质子和中子组成的。那么量子究竟是什么粒子？它跟电子、质子、中子相比如何呢？

事实上，量子只是一个物理学概念，不是实物。一个事物如果存在最小的、不可分割的基本单位，我们就说它是可量化的，并把其可分割的最小单位称为量子。所以说，量子并不是具体的实在粒子。

打个比方来说，我们在统计人数时，可以有一个人、两个人，但不会出现半个人。再比如上台阶时，人们只能迈上一个台阶、两个台阶，而不能上半个台阶。所以对于统计人数来说，一个人就是一个量子；对于上台阶来说，一个台阶就是一个量子。

同样的，电子最初是在阴极射线中发现的最小单位，那么我们就可以说电子是阴极射线的量子。而光子就是光的量子，一束光至少也要有一个光子，否则就没有光了。

以上这些例子是物质组成的量子化，还有一类是物理量的量子化。假设你驾驶着一辆“量子汽车”，你只能以5千米/小时、20千米/小时或80

千米/小时的速度行驶，这些数值之间的速度是不允许出现的。换挡的时候，你突然就从5千米/小时跳转到20千米/小时，速度的变化是瞬间发生的，几乎觉察不到加速的过程。能量的取值由连续任意变成离散特定，并且存在一个固定的最小值，其它值只能是它的最小值的倍数。这就叫做物理量的量子化。

科学研究证实，在每一种原子和分子中，电子的能量都是量子化的。不只是能量，还有电荷、磁矩、角动量等许多物理量，也是量子化的。物质组成的量子化和物理量的量子化，都说明量子化是微观世界的本质特征，量子力学也因此成为了科学家描述微观世界的基础理论。

在量子力学出现后，人们就把传统的牛顿力学称为经典力学。可以举一个例子说明“量子”与“经典”的本质区别，经典世界的特点是物体的物理量、状态在某个时刻是完全确定的；晶体管要么导通，要么关闭，完全确定。即经典信息要么是0，要么是1，毫不含糊。

但量子世界中，客体的物理量则是不确定的，概率性的，而且这种不确定性与实验技术无关，是量子世界的本质特征，无法消除。

量子只是一个物理学概念，不是实物。一个事物如果存在最小的、不可分割的基本单位，我们就说它是可量化的，并把其可分割的最小单位称为量子。所以说，量子并不是具体的实在粒子。

高精度测量揭开地球重力场“面纱”

◎本报记者 刘志伟 通讯员 王潇潇

今年年初，华中科技大学引力中心胡忠坤、周敏康教授团队，攻克物质波干涉、超低频隔振、装备小型化等量子重力仪的关键技术，研制出我国首台交付使用的高精度量子重力仪，打破了高精度重力仪被国外技术垄断的局面。

据介绍，重力仪获取高精度的地面重力观测信息，是研究地球内部结构、密度和应力分布特征的基础数据。重力场的精密测量在深地探测、资源勘探、灾害监测预警、地球科学等领域有广泛应用。

地球重力场数据随着时空不断变化

地球重力是由地球对物体的吸引力和地球自转产生的惯性离心力合成的。由于地球内部、表面及其周围的空间都具有一定的质量，其产生的引力(重力)交织在一起就形成了重力场。

“地球重力场是指地球内部、表面和外部各点所受地球重力作用的物理场，它反映地球各圈层物质分布与运动。”胡忠坤解释，地球对附近物体产生的引力指向地心，而地球自转导致地球

上物体获得的离心力垂直地轴向外，引力和离心力的合力让地球上物体获得了重力加速度。

在赤道位置的物体获得的离心力最大，且恰好与引力方向相反，因此，赤道位置的重力加速度值最小，约为9.78米/秒²；越靠近极点，离心力越小，且与引力的夹角逐渐减小，因此，重力加速度值也越大，极点附近重力加速度约为9.83米/秒²。

此外，物体受到地球的万有引力与其距离地心的距离有关，距离越远，引力就越小，该点的重力加速度值就越小。因此，同一纬度，距离地心越远，即海拔越高，重力加速度值越小，如海拔每升高1米重力加速度减小约3×10⁻⁶米/秒²。

再者，地球重力场还随时间变化。根据万有引力定律，引力与距离的平方成反比，由于天体运动月球和太阳相对于地球的距离是周期性变化的，因此，月球和太阳对地球上某点的引力也是周期性变化的，日变化量可达3×10⁻⁶米/秒²。

当然，地球重力场还受到其他因素影响，如山体、湖泊、大型建筑物、气压等，这些因素影响的引力(重力)交织在一起就形成了重力场。地球重力场是指地球内部、表面和外部各点所受地球重力作用的物理场，它反映地球各圈层物质分布与运动。”胡忠坤解释，地球对附近物体产生的引力指向地心，而地球自转导致地球

量子概念的提出，源自一场与光的邂逅

量子概念的提出，始于德国科学家普朗克发现了黑体辐射的不连续性无法通过经典力学来解释。

通俗一点说，就是一个完全黑的物质会吸收一切光线，但是光被黑体吸收的过程不是连续的。人们一开始不知道光是由光子构成的，所以认为黑体吸收光线应该是连续的。但是实验数据却表明，黑体吸收光线是一份一份的，并不是连续的，这是人类首次发现能量的量子化特性。

这个伟大的发现开启了通往量子世界的大门，它的发现者——普朗克也因此获得了1918年的诺贝尔物理学奖。

1905年，爱因斯坦做出了三项震惊世界的重大发现——狭义相对论、布朗运动和光电效应。光电效应被认为是人类在理解量子世界的道路上迈出的第二步，爱因斯坦也因此获得了1921年的诺贝尔物理学奖。

简单地说，光电效应就是当某一光子照射到

对光灵敏的物质上时，它的能量可以被该物质中的某个电子全部吸收。电子吸收光子的能量之后，动能立刻增加，如果动能增大到足以克服原子核对它的引力，就能飞逸出金属表面，成为光电子，形成光电流。单位时间内，入射光子的数量愈大，飞逸出的光电子就愈多，光电流也就愈强，这种由光能变成电能自动放电的现象，就叫光电效应。

此前，牛顿的经典力学理论中提出，能量是连续的，但是光电效应现象昭示出世界不再是线性的，而是非线性的。前辈科学家通过思考光的本质，最早提出了量子的概念。所有微观世界中的粒子，包括原子、原子核、电子以及光子，全都是量子的，而且它们全都不满足牛顿力学的规律。这背后是人类从未涉足的领域——微观量子世界。

到二十世纪三十年代，量子力学的理论大厦已基本建立起来，能够对微观世界的大部分现象做出定量描述。现在科学界公认，量子力学和相对论是现代物理学的两大基础理论。

费米子和玻色子，是量子世界存在的基础

既然描述微观世界必须用量子力学，而宏观物质的性质又是由微观结构决定的。所以有必要先了解一下物质粒子的量子属性：费米子和玻色子。

随着量子力学的深入研究，科学家发现，在微观世界中，很多微小的粒子并不是固定不动的，其中比较重要的一个性质就是粒子自旋，这与地球自转的效果差不多。自旋是粒子的一种与其角动量(可理解为半径与转动速度的乘积)相联系的固有性质。量子力学所揭示的一个重要之处在于，自旋是量子化的，也就是说，它只能取普朗克常数的整数倍或半整数倍。

物理学家将不同自旋的粒子分成了两种。一种自旋是整数的粒子被称为玻色子，以印度物理学家萨特延德拉·纳特·玻色的名字命名，光子就是生活中最常见的玻色子。而另外一些粒子自旋是半整数，被称为费米子，以意大利物理学家恩里科·费米命名，电子就是典型的费米子。

科学家通过实验发现，两个玻色子交换，它们的波相加，所以两个玻色子喜欢待在一起，有

亲和力和；两个费米子交换，它们的波相消，所以两个费米子无法待在一起，互为排斥。这就是有名的泡利不相容原理：两个费米子不能占据同一个状态。

因此，原子中的电子必须占据不同的轨道。所以当原子带有多个电子时，电子按能量由低到高，依次填充不同的轨道。当电子数目不同时，电子的轨道占据情形也是不同的。因为原子的形状，主要是由最后被占据的同颜色轨道所决定的，我们发现，带不同数目电子的原子，会有不同的性状。这导致了原子的丰富形状和丰富的化学活性，这是复杂生物世界存在的原始基础。

但是只有费米子是构不成物质的，必须有东西把费米子装配起来才能构成物质。说白了，我们还需要费米子之间能够相互作用，而传递这个相互作用的粒子的统称就叫做玻色子。

总的来说，物质的基本结构是费米子，而物质之间的基本相互作用却由玻色子来传递。费米子和玻色子，就是我们这个世界存在的微观基础。

气压变小就会导致重力加速度值变大。

利用原子干涉得到更精准的重力加速度

“重力场的精密测量在深地探测、资源勘探、灾害监测预警、地球科学等领域有广泛应用。”胡忠坤说，高精度地测量地球表面重力场参数，有助于建立重力基本网，能有效地服务精确制导等领域。测量重力场的仪器统称为重力仪，具体可分为相对重力仪和绝对重力仪。

相对重力仪的工作原理为：一个具有恒定质量的物体在重力场中的重量，会随着重力加速度g值的变化而变化，如果用一种外力或力矩(弹力、电磁力等)来平衡重力的变化，通过对物体平衡状态的观测，就能测量出重力的变化或者两点间的重力差值。

绝对重力仪则是根据自由落体定律来测量重力加速度g，具体分为自由下落法和上抛法，通过测量多点点的运动时间和距离，通过牛顿第二定律，用最小二乘法拟合出物体所受到的重力加速度g值。

量子重力仪是一种典型的绝对重力仪，它摆脱了传统光电仪器的工作机理限制，直接利用物质的量子本质进行精密测量，测量精度也有了大

幅提升。

光子可认为没有质量，但具有一定的动能，其动能的大小由光的频率所决定。当激光打向原子时，光子和原子发生碰撞，原子将吸收光子而产生跃迁，跃迁的同时原子会释放大量的光子。这样通过光子与原子的不断交换能量，可使原子运动的速度大大降低，从而形成极低温条件。

这时用两两相对，沿三个正交方向的六束激光把原子引到激光的交汇处。这六束激光会使原子不管企图向何方运动，都会遇上具有恰当能量的光子，并被推回到六束激光交汇的区域，这样原子会陷入其中并不断降低速度，形成光学粘胶。

由于重力的作用，这些原子会在1秒钟内从光学粘胶中落下来。为了真正囚禁原子，就需要建立磁光阱。磁光阱由上述排列的六束激光，再加上两个磁性线圈构成。磁光阱中的磁场会对原子的特征能级起作用，就会产生一个比重力大的力，从而把原子拉回到陷阱中心，这时原子会被激光和磁场约束在一个很小的范围内，这时再把高度冷却的原子向上抛出，让原子在无磁条件下与重力场相互作用。用相隔一定时间的多束拉曼脉冲对原子进行态制备，从而形成原子干涉。通过对量子态布居的测量，就可以得到重力加速度g值。

世界上有另一个你？ 平行宇宙不否认这种可能

新知

真的存在平行宇宙吗？在其他的宇宙中，你也许正在睡觉，也许正感到快乐或悲伤，你可能是一个富翁也可能是个穷鬼，甚至可能已经死掉了。

答案是“有这种可能。”平行宇宙是一个颇有争议的说法，但是在过去几十年里，它收获了越来越多的追随者。

对量子叠加态的一种解释

平行世界起源于微观尺度下的物理学。二十世纪初，物理学家创造并发展了量子力学来理解微观尺度下的世界。这个理论认为，微观世界的现实很模糊。微观粒子，如电子，不需要拥有特定的位置，它可以同时处于不同的位置。它们还可以同时拥有其他我们原本认为并不相容的性质。当粒子拥有这样的性质时，物理学家就说它们处于不同状态的叠加态。

实验已经证明叠加态是真实存在的。即使是像足球球(含有60个原子)一样大的分子也可以同时处于不同的位置。

为什么我们看到的粒子只会处于特定的位置上？既然我们都是由粒子组成的，为什么我们只能处于特定的位置上？

量子力学自身并没有给出这个问题的答案。一种可能是，量子力学并不是描述这个世界完善的理论。也许自然界遵循另一种运行机制，这种机制我们暂时还不理解。在微观世界中，现实也许是模糊不清的，但是一旦涉及到宏观物体，例如观测者或者测量仪器，微观物体就不再处于叠加态了。

另一个可能是，也许所有可能的测量结果都是真实存在的——例如测量一个粒子的位置时，世界分裂成不同的分支。在每一个分支里都有一个你，这个分支里的你测量到一个粒子处于某个位置。

1957年，物理学家休·埃弗雷特首次在他的博士论文中提出关于多世界的想法。“数学告诉我们是，当一个粒子处于A状态和B状态的叠加态，观察者的测量让自己进入观察到粒子处于‘A状态’和观察到‘B状态’的叠加态中。”牛津大学物理哲学家大卫·华莱士解释道。所以微观的叠加变成了宏观的叠加。

虽然数学不能决定测到A还是B，但它也没有将两者混合起来。描述体系所处状态的数学表达式可以分为两部分，每个部分描述的是一个世界，在这个世界中，实验者正好看到了两种可能性中的一种。

很多过程会导致世界分裂

物理学家的测量是唯一会引起世界分裂的手段吗？当然不是。测量本质上是测量仪器与叠加态之间发生相互作用，其他的物理过程同样可以和叠加态发生相互作用。例如，宇宙射线可以处于向各个方向传播的叠加态上。如果沿着其中一个方向传播的射线射向地球上的一块晶体，那么射线的照射会在晶体上留下轨迹。晶体能有效地测量光线的方向。因为光线处于射向晶体和不射向晶体的叠加态上，晶体进入了留有痕迹和没有痕迹的叠加态。

当没有观测者时，你可以认为世界从一开始就在进行分裂。“根据多世界理论的说法，这从宇宙大爆炸时就已经开始了。”剑桥大学的量子物理学家阿德里安·肯特说，“宇宙可能始于一个单一的量子态，但它很快就变成了对宇宙的许多不同描述的叠加。在这些分支中，地球会形成。而在其中一些分支中，地球不会形成。在地球形成的一些分支中，我们会进化，而在其他一些分支中，我们不会进化。”

哪一个我才是真正的

但我们从来没有发现另外一个自己？为什么我们从来没有看到像冰箱或人这样的宏观物体同时出现在多个地方？

埃弗雷特最初的设想并不能排除这种可能性。原则上，现实可能以我们未知的方式分裂，这样观测者就会看到一个电子并不处于特定的位置上。但埃弗雷特没有考虑到外界的影响。当电子与外部环境发生相互作用，例如高速运动的光子或宇宙射线，“电子处于位置A”和“电子处于位置B”两个状态之间的干涉几乎全部转移到外部环境中并耗散掉。两种状态之间的干涉也变得无法察觉——观测者在观察电子时只能看到一个确定的结果。这个过程叫做退相干，它发生的速度非常快。

由于人和冰箱一直与无数的粒子发生相互作用，退相干效应会将它们限制在某个单一的轨迹上：它们不会在某一时刻处于不同的位置上。

如果你研究的是微观物体，比如电子，那么你就可以很好地将它与外界隔离开，从而观察到叠加现象。“系统越大，就越难将其与外部环境隔离开。因此，越大的物体越难处于叠加态中。”华莱士解释道。

“在埃弗雷特看来，‘进入不同的分支’都是真实的。”肯特说，“这些分支里有很多个‘你’，要问哪一个才是真正的没有意义的，因为这些拷贝都是真实的。直到世界发生分裂之前，所有的拷贝都拥有相同的记忆。在很短一段时间后，拷贝之间会产生微小的差别，随着时间的流逝，差别会越来越来。”

多世界的观点可能不符合常识，它依赖于现有的量子力学的数学。大家不相信多世界理论的原因主要分为两个方面。有些人，包括肯特，不太相信退相干足以解释世界被分为多个支，在每个分支里，世界就是他们看到的那样。他们担心，要让退相干理论有效地描述现实需要引入额外的假设。

另一个问题是，数学为世界的不同分支引入了看起来像概率的东西。但是，如果所有的分支都是同样真实的，那么说一个分支比另一个分支更具可能性是什么意思呢？(来源：微信公众号“中科院物理所”)



视觉中国供图