

# 美欧三位科学家获2025年诺贝尔物理学奖

7日,瑞典皇家科学院将2025年诺贝尔物理学奖授予约翰·克拉克(John Clarke)、米歇尔·H·德沃雷(Michel H. Devoret)和约翰·M·马蒂斯(John M. Martinis),以表彰他们在电路中发现宏观量子力学隧穿效应与能量量子化现象方面的成就。

量子力学描述的是在单个粒子尺度上起重要作用的性质。在量子物理学中,这些现象被称为“微观”,即使它们小到光学显微镜都无法直接观察。这与“宏观”现象形成鲜明对比,宏观现象由大量粒子组成。比如,一个日常生活中的球体由天文数量的分子组成,表现出完全的经典行为,没有任何量子力学效应。我们知道,当你把球扔向墙壁,它一定会弹回来。然而,在微观世界中,一个单独的粒子有时却能“穿透”相当于墙壁的障碍,出现在另一边,这一量子力学现象称为“隧穿效应(tunnelling)”。

今年的诺贝尔物理学奖,表彰的是那些在“宏观尺度”上观测到量子隧穿效应的实验,也就是说,这种效应发生在包含大量粒子的系统中。1984年和1985年,约翰·克拉克(John Clarke)、米歇尔·德沃雷(Michel Devoret)和约翰·马蒂斯(John Martinis)在加州大学伯克利分校进行了一系列实验。他们搭建了一个由两个超导体构成的电路,超导体是一种可以无电阻导电的材料,并在它们之间加入了一层不导电的极薄绝缘层。在这一实验中,他们证明可以控制并研究这样一种现象:超导体中的所有带电粒子表现得仿佛它们是一个“整体粒子”,一个充满整个电路的单一量子系统。

**“穿墙术”:量子世界有多奇怪?**

在我们的日常世界里,一个球扔向墙壁,必然会反弹回来。我们把这种由大量粒子组成的、符合日常经验的现象称为宏观(macroscopic)现象。

但在比显微镜尺度还小得多的微观(microscopic)世界里,规则完全不同。一个微观粒子,比如电子,在撞向能量壁垒时,有时并不会反弹,而是有一定概率直接“穿”过去,出现在另一边。这个令人匪夷所思的现象,就是量子力学中的量子隧穿(quantum tunneling),俗称“穿墙术”。

当你把球扔向墙时,它必定会



被弹回。若球突然“出现在”墙的另一侧,你会感到极度震惊。这正是量子物理被认为“诡异且反直觉”的原因所在。

打个比方:你把球扔向一堵墙,它每次都会弹回来。但如果这个球是个量子粒子,那么你扔一万次,可能就有一次,它会神秘地出现在墙的另一边,就好像墙壁不存在一样。

长久以来,人们认为这种现象只属于微观世界。而今年的诺奖得主们,却成功地在由数十亿粒子组成的“宏观”系统中,观测到了这种集体“穿墙”的奇景。

**一场“宏大”的量子实验**

时间回到1984年和1985年,在加州大学伯克利分校,Clarke、Devoret和Martinis合作进行了一系列开创性实验。

他们构建了一个特殊的电路,核心部件是用一层薄薄的绝缘体隔开的两个超导体(一种可以无电阻导电的神奇材料)。在这个电路中,所有带电粒子(库珀对,即成对的电子)步调完全一致,行动起来就如同一个充满整个电路的、巨大的“超级粒子”。

实验开始时,这个“超级粒子”系统被困在一个零电压的状态,就像一个被卡住的开关,无法推到“开启”位置。

实验开始时没有电压,就像一个开关处于“关闭”状态,被某种屏障阻止了转到“开启”。如果没有量子力学的作用,这种状态将永远保持不变。但突然间,电压出现了,仿佛开关在有屏障的情况下自己翻到了“开”的位置。这就是“宏观量子隧穿”现象。

然而,奇迹发生了:在没有任何外部能量推动的情况下,系统突然“隧穿”了能量壁垒,产生了一个可测量的电压!这就像那个被卡住的开关,无视障碍,自己从“关闭”跳到了“开启”。这就是实验的核心,宏观量子隧穿(macroscopic quantum tunnelling)。

物理学家早在近一个世纪前就知道,隧穿是导致某类核衰变( $\alpha$ 衰变)的关键机制,原子核中的微小部分“穿出”势垒并逃逸。

不仅如此,他们还通过向系统发射微波,发现系统只能吸收特定“份量”的能量,不多也不少。这完美证实了量子世界的另一个基本特性,能量量子化(energy quantisation)。

**从原子核到薛定谔的猫 Schrödinger's Cat**

量子隧穿并非全新概念。早在1928年,物理学家就发现,放射性原子核的衰变就是一种隧穿现象,原子核的一部分粒子会“穿透”

束缚它的能量壁垒,逃逸出来。

但这次的实验不同。它不是由单个粒子完成的,而是由数十亿个“库珀对”组成的集体行为。在超导体中,电子两两配对形成库珀对,它们失去了个性,像一个纪律严明的舞团,形成一个统一的整体,可以用一个共同的波函数来描述。正是这个宏观的量子态,让整个系统表现得像一个巨大的量子粒子。

在普通导体中,电子相互碰撞;而在超导体中,电子成对形成“库珀对”,电流无阻流动。图中的间隙表示“约瑟夫森结(Josephson junction)”。库珀对的集体行为可视为单个粒子充满整

个电路。量子力学用一个共同波函数描述这种集体现象。

理论物理学家将这个实验系统比作薛定谔那只著名的猫。在薛定谔的思想实验中,猫处于“既死又活”的量子叠加态。这个实验则在现实中创造了一个类似的东西:一个由海量粒子组成的宏观系统,作为一个整体,却遵循着微观世界的量子规则。它虽然远比一只小猫小,但在物理学家眼中,其本质非常接近。

克拉克、德沃雷和马丁尼斯用超导电路进行实验,电路芯片约1厘米大小。此前隧穿与能量量子化仅在少数粒子系统中观测到,而此实验首次在包含数十亿库珀对的宏观系统中实现。

**有什么用?量子计算机的基石**

这项看似深奥的发现,实际上为未来的技术铺平了道路。

这个宏观量子系统,可以被看作一个“人造原子”。它有接口、有线路,可以被连接和控制,成为研究其他量子系统的强大工具。

更重要的是,它直接催生了量子计算的一个重要方向。Martinis教授后来利用这项成果,将人造原子的最低两个能级分别定义为“0”和“1”,创造出了量子比特(qubit),量子计算机的信息基本单元。

量子系统的能量是离散的。能量越高,隧穿越容易;因此具有较高能量的系统平均“被困”时间更短。

如今,基于超导电路的量子计算机,正是全球科技巨头和顶尖实验室竞相研发的前沿领域之一。可以说,三位诺奖得主的工作,不仅加深了我们对物理世界基本规律的理解,也为开启下一次信息技术革命奠定了坚实的基础。

## 2025年诺贝尔物理学奖得主简介

### JOHN CLARKE

1942年生于英国剑桥。1968年获英国剑桥大学博士学位。现为美国加州大学伯克利分校教授。

### MICHEL H. DEVORET

1953年生于法国巴黎。1982年获法国巴黎第十一大学博士学位。现为美国耶鲁大学及加州大学圣巴巴拉分校教授。

### JOHN M. MARTINIS

1958年生。1987年获美国加州大学伯克利分校博士学位。现为美国加州大学圣巴巴拉分校教授。

# 特朗普见卡尼 称美加存在“天然冲突”

美国总统特朗普7日在白宫会见加拿大总理卡尼,讨论两国间经贸摩擦等事项,称美加存在“天然冲突”,并再次提到加拿大“并入”美国。

**再提“合并”**

按照美国有线电视新闻网的说法,为了此行能博得特朗普的好感,卡尼做了周密考虑,包括自己的穿着。卡尼打了一条深红色格子领带,是特朗普所属共和党的代表色。“我为你穿了红色。”卡尼告诉特朗普。不过,特朗普当天却系着一条蓝色领带。

卡尼称赞特朗普是“有变革力”的总统,例举后者执政多项“成就”。他正要提及“最重要的一项”时,特朗普插话:“加拿大和美国合并。”卡尼听后尴尬表示,“其实我

本来不是要说这个”。

美国与加拿大是近邻和传统盟友,但特朗普先前反复称加拿大应该并入美国,这样就能避免美国对加拿大产品征收高额关税。特朗普还多次把卡尼的前任特鲁多称为“美国第51州州长”。

卡尼5月在就任总理后首访白宫,当时,在加拿大“并入”美国的话题上,他曾回怼特朗普,说“加拿大永远都是非卖品”,后者则回应道:“永远不要说永远。”

特朗普7日对卡尼大加赞许,称他是“世界级领导人”。他还称卡尼是“人气极高的总理”,不过,“是我让他非常有人气”。

**“天然冲突”**

对美国与加拿大为何仍然未能达成关税协议这一问题,特朗普

表示,美加两国虽然“互相喜爱”,但存在“天然冲突”。他明确表示,与加拿大达成完全免关税的协议是不可能的。

卡尼则说,他不愿使用“冲突”一词,两国在一些领域存在“竞争”,应该在这些领域达成可行的协议。

会面前,特朗普在被问及卡尼此行是否会空手而归时回答:“我想他们离开时会非常高兴。”只是,他没有解释这句话的具体含义,只说“会公平对待加拿大”。

而且,就美墨加协定的前景,特朗普也没有给出明确答案。

美墨加协定是美国、墨西哥、加拿大三国2018年签署的三边贸易协定,2020年7月正式生效,并计划于2026年进行续签审议。美国

今年8月1日起将美墨加协定以外的加拿大输美商品关税税率从25%上调至35%,同时仍对加拿大钢铝等产品征收50%关税。

**压力巨大**

法新社说,卡尼曾采取一些向特朗普妥协的做法,却几乎没有获得回报,因而在加拿大国内遭受批评。卡尼政府6月底在特朗普压力下取消征收针对美国大型科技企业的数字服务税,9月开始取消部分对美报复性关税。

加拿大反对党保守党领导人皮埃尔·普瓦列夫尔6日发表公开信,向卡尼喊话:“如果你只带着借口、没有实现的诺言和合影回国,那就辜负了我们的工人、企业和国家。”

安大略省省长道格·福特7日

在多伦多对媒体记者说,如果无法与美方很快达成协议,“就需要狠狠反击”。“你不能天天被一个欺负你的人痛揍却不反抗,这就像一个孩子天天在学校挨打一样。”

加拿大麦吉尔大学教授丹尼尔·贝兰说,“卡尼没有选择。他必须带着进展从华盛顿回来”,特别是在钢铝关税方面。

美国《政治报》网站评述,卡尼虽然收获了特朗普的“漂亮话”,但双方并未在关税问题上取得突破。

加拿大负责加美贸易、政府间事务和加拿大经济一体化的部长多米尼克·勒布朗表示,卡尼与特朗普着重讨论了两国贸易关系,包括钢铝和能源议题,会谈“成功、积极、务实”,但“我们仍有一些工作要做”。

名誉社长:蒋亚洪 董事长兼社长:倪涛 副董事长:张向荣 张小斌 总编:曹鉴钦 法律顾问:张默

副社长:林静 文娟 主编:恬悦 怡和 记者:小延 理超 刘大为 曹关良 赵新生 专栏:萧靖 赵实 媒体顾问:章栋