

# 诞生百年，“叛逆”理论在争议中改变世界

近日,2025年诺贝尔物理学奖被授予在美国进行科研工作的量子物理学家约翰·克拉克、米歇尔·H·德沃雷特和约翰·M·马丁尼斯,以表彰他们在宏观量子力学领域的发现。今年是量子

力学诞生百年,1900年,德国物理学家普朗克提出量子理论,在争议中为量子力学打下基础。1925年量子力学初步形成,然而,量子力学的“反常识”颠覆了人类对世界的传统认知,曾被爱

因斯坦等科学家质疑。1947年科学家通过对量子力学的应用,制造出二极管、晶体管,人类从“电气时代”迈入“信息时代”。诞生百年来,量子力学这一“叛逆”理论在争议中逐渐改变世界。

## 一朵“乌云”带来变革:1900年普朗克提出“量子理论”

19世纪末,很多物理学家认为,当时的经典物理学已经“非常完美”。英国物理学家威廉·汤姆森1900年在英国皇家学会上演讲称,“物理大厦已经落成,留给未来物理学家的只有一些修饰工作。”不过,汤姆森在演讲中提到,物理学理论中还存在两朵“乌云”——也就是当时用经典物理学理论无法解释的两个“小问题”,一朵“乌云”是涉及光速的以太漂移实验,另一朵则涉及黑体辐射实验。汤姆森没有想到,这两朵“乌云”背后是规模空前的物理学大革命,“量子力学”就因黑体辐射实验这朵“乌云”而诞生。

### 经典物理学与黑体辐射实验“不匹配”

黑体辐射实验听起来很神秘,但它却与当时的工业发展密不可分。人们早就在工程实践中认识到,物体发热时发出的光线颜色是其温度的“天然指示器”——随着温度增加,物体发出的光也会发生变化,红色逐步向橙色、黄色、白色转变,“白热化”这个词就很能说明颜色和温度的关系。但在19世纪蓬勃发展的钢铁工业中,通过肉眼观察炉温的传统方法已经有些不够精确——出炉的钢材质量不够优良、废品率偏高,只有建立起“颜色”与“温度”的精确数学关系,才能实现非接触式精确测温。对于物理学家而言,就是要找出黑体辐射的强度和频率(光线的颜色取决于其频率)之间的关系。

在长期的生产实践和实验中,当时的物理学家们已经绘制出不同温度下,黑体辐射强度随辐射频率波动的分布曲线。但当物理学家们试图用当时已有经典物理学的公式来解释这条曲线时,都失败了。其中肯定有什么地方不对,但当时物理学家们只推测是理论计算的公式推导有误,没有意识到整个经典物理学“地基”需要修正。

### 给物理学理论带来“大麻烦”

当时的德国物理学家普朗克也一直被黑体辐射问题所困扰。1900年的某一天,他突然“脑洞大开”:若不抛开物理学理论,用数学技巧解决一下?这次“头脑风暴”让普朗克推导出了著名的普朗克公式,其完美适用于黑体辐射问题。但从数学角度推导出的普朗克公式却给物理学理论带来“大麻烦”,这个公式意味着,电磁波辐射的能量是由一个个不可分割的“最小能量单元”——量子组成的,而经典物理学认为能量是连续的。

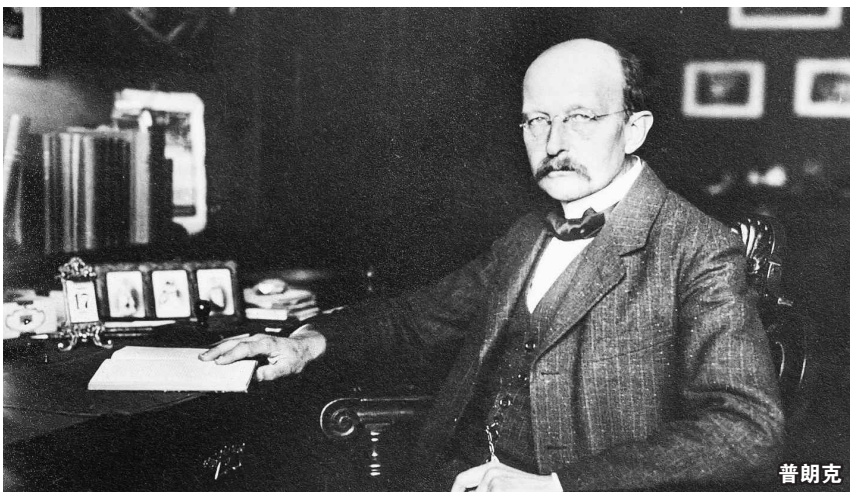
1900年,普朗克通过自己的大胆假设和全新公式提出了“量子理论”,但没有获得物理学界的普遍认同,大家都认为普朗克拿出的东西过于“离经叛道”。就连普朗克自己都认为,“能量量子化”假说只是一个为解决特定问题而发明的特殊数学工具。此后,普朗克花费大量时间,试图借助经典物理学来“修正量子化假说”,力求将其纳入经典物理学的理论框架中,但结果都以失败告终。

### “本想证伪,却最终证实”

此时,物理学领域还有另一个广受关注的问题无法用经典物理学解释——光电效应,是指在特定光线照射下,某些物体表面会释放电子。经典物理学对此的解释是,光线照射到物体表面,会让电子获得额外的能量,使其得以从物体表面“逃逸”。但物理学家们发现,并非所有光线的照射都能激发光电效应,例如,再强的红光都无法激发铯等物质释放电子,而换成微弱的紫外光却“立竿见影”,这些奇怪的现象无法用经典物理学来解释。

1905年,当时的爱因斯坦还名不见经传,他在研究光电效应时受普朗克的“能量量子化”理论启发,创造性地提出“光子”(后来被称为光子)的理论假设,并进一步推导出著名的“光电效应方程”。爱因斯坦曾用“啤酒瓶”类比光子——就像啤酒只能整瓶购买,能量也只能被整份吸收。光线照射能否打出电子,不取决于光的“亮度”(强度,就像啤酒的总量),而取决于光的“颜色”(频率,即单瓶啤酒的大小)。

爱因斯坦的“光子”理论是对普朗克“量子理论”的推进,毫无疑问,在当时的物理



普朗克

学界遭到了更强烈的质疑和反对,几乎所有主流物理学家都持否定态度。美国物理学家罗伯特·密立根认为,爱因斯坦的光电效应方程“大胆而又轻率”,其结论违背了经典物理学的常识。他决定通过设计精密的实验来推翻“光子”假说。从1912年到1915年,密立根花费了数年时间,对不同金属,在不同频率的光照下进行了无数次精密测量。但令他失望的是,实验结果完美地符合爱因斯坦的理论。他后来在论文中“矛盾地承认”:“爱因斯坦的光电效应方程目前似乎能够精确地预测观察到的结果……然而,这个理论所依赖的物理理论本身看起来是如此站不住脚。”

密立根的精密实验最后反倒成为论证爱因斯坦光子理论的有力证据,也在科学史上留下“本想证伪,却最终证实”的经典故事。1921年,爱因斯坦因为成功解释光电效应而获得诺贝尔物理学奖。

普朗克和爱因斯坦的新理论逐步打破物理学家们的“传统物理概念”,当思维被打开,人们迎来了新的“物理时代”。

### 爱因斯坦发出质疑:“我深信上帝不掷骰子”

1925年被认为是现代量子力学的开端。这一年,物理学家沃纳·海森堡、马克斯·玻恩、帕斯库尔·约尔当等人共同提出和完善了矩阵力学;奥地利物理学家薛定谔则完成了波动力学。矩阵力学和波动力学的诞生标志着量子力学初步形成。

在普通大众眼中,物理学家热烈讨论量子力学已经“放飞自我”,进入各种反常识的“癫狂状态”。爱因斯坦提出,光在某些条件下

表现出粒子的属性,在某些条件下又变成波,即光的“波粒二象性”,就已经让很多人难以理解。没过几年,法国物理学家德布罗意又进一步提出设想,既然光这种传统上被人们认为是波的物质,被发现具有粒子性,那么像电子、质子甚至原子这些传统上被认为是粒子的物质,也应该具有波动性——“波粒二象性”是自然界所有物质的普遍特性。

海森堡提出的“不确定性原理”显示,在量子世界中无法同时精确知道一个粒子的位置和动量,只能预测各种可能的结果出现的概率。还有更晦涩难懂的“量子隧穿效应”——当普通小球撞击墙壁时,它会被反弹回来;而微观粒子却能够穿过看似不可能穿越的能量屏障,给量子力学增加更多“奇异色彩”。

一些量子力学理论过于“脑洞大开”,甚至被爱因斯坦质疑,他坚信“宇宙有严格的因果律和确定性”,因此与玻尔和海森堡领导的哥本哈根学派展开数十年的学术辩论。爱因斯坦尤其反对海森堡的“不确定性原理”,作为对哥本哈根学派核心思想——“概率性”与“不确定性”的反驳,他留下一句名言:“我深信上帝不掷骰子。”

作为爱因斯坦的支持者,薛定谔提出了一个著名思想实验“薛定谔的猫”。实验设想将一只猫关在装有少量镭和氰化物的密闭容器里。镭的衰变存在几率,如果镭发生衰变,会触发机关打碎装有氰化物的瓶子,猫就会死;如果镭不发生衰变,猫就存活。根据量子力学理论,由于放射性的镭处于衰变和没有衰变两种状态的叠加,猫就处于死、活两种状态

的叠加。也就是说,只要不去观察,这只猫就“又死又活”,这显然违背人们对世界的传统认知。薛定谔本想用这只猫来讽刺“哥本哈根学派的荒谬性”,然而让爱因斯坦和薛定谔都没有想到的是,后续的一系列物理实验基本都印证了哥本哈根学派的主张:宇宙在基本层面上,似乎真的具有某种内在的随机性。

## 改变世界的发明:1947年晶体管从量子力学中诞生

尽管大众普遍对量子力学的“反常识”感到惊讶,它的影响却早已经深入我们的日常生活,从半导体技术到量子计算,从精密测量到量子通信,很多前沿科技都建立在量子力学的基础之上。

量子力学解释了为何有些材料是导体、有些是绝缘体,半导体则处于两者中间,通过“掺杂”人为引入杂质能级,我们得以精确控制半导体的导电性,从而制造出二极管、晶体管这些现代电子文明的“细胞”。如果没有量子力学,就不会有计算机和智能手机。

20世纪40年代,美国贝尔实验室的核心任务之一是改进通信技术。当时被广泛使用的真空管虽然能放大信号,但存在耗电高、发热严重、体积大、寿命短等缺点,人们希望找到更适合充当放大器的电子元件。通过量子力学的启发,1947年物理学家约翰·巴丁、威廉·肖克利和沃尔特·布拉顿在贝尔实验室发明点接触晶体管。由此,人类从“电气时代”迈入了“信息时代”。可以说,晶体管是第一个从量子力学理论中直接诞生,改变世界的发明。

量子力学带来的“革命”还有很多,如今为大众熟悉的还有量子通信,其核心是利用量子态的特性来保障信息安全。让薛定谔难以接受的“叠加态”,如今催生出量子计算机,人们利用量子的“叠加态”原理,使量子计算机能够并行处理海量数据。目前,量子计算机被认为在解决诸如药物分子模拟、优化物流等特定问题上,具有经典计算机无法比拟的潜在优势。

本报综合消息



“薛定谔的猫”实验构想图。

## 法国任期最短君主:“让我统治一个小时好吗?”

万则成了王太子。

与路易十八的想法不同,查理十世想要恢复法国大革命前的专制统治,他颁布了诸多保守主义政策,归还贵族因为大革命被剥夺的土地,并支付相应赔偿金,恢复贵族遗产继承法等。19世纪20年代末期,法国陷入经济衰退,加上巴黎自由派媒体不断抨击查理十世一系列政策反民主,保皇党温和派也倒戈,转而反对查理十世。1830年3月,法国议会以压倒性多数通过了对查理十世统治的不信任投票,作为回应,愤怒的查理十世连续颁布敕令,试图推翻路易十八推行的君主立宪体制,这些敕令包括将选举权限定在国内最富裕的阶层内等。查理十世的封建复辟举措让民众普遍不满,最终引发七月革命。

1830年7月,巴黎爆发民众大起义,大批愤怒的示威者走上街头,高喊查理十世退位的口号。乘着这股革命浪潮,法国议会要求查理十世退位,由其远房亲戚——奥尔良家族的路易·菲利普即位。菲利普此前已与议会达成协议,会效仿路易十八来治理国家。经过几天的对抗,查理十世被迫决定退位。不过,他选择遵循传位顺序,把大位传给

王太子安托万。1830年8月2日,查理十世在让位给安托万的文件上签字,安托万成为国王路易十九。

其实在查理十世签字退位前,议员们就已经盯住安托万,生怕安托万赖在王位上,不断劝安托万尽快退位。在巨大的压力之下,安托万很快也签字退位,他从当上国王到退位,中间仅仅相隔不到20分钟。有编年史学家记载,路易十九当时恳求称:“就让我统治一个小时好吗?”但他得到的回答是:“您?毫无疑问不可能。”路易十九没有儿子,他将王位传给了10岁的侄子亨利·阿图瓦。阿图瓦继位后称亨利五世,但这位国王的统治也只有7天。7天后,议会裁定王位应该由菲利普继承。1830年8月9日,菲利普被宣布为法国国王,建立起持续18年的七月王朝。

路易十九退位后流亡苏格兰,随后又搬去了戈里齐亚。1844年6月3日,法国“20分钟国王”路易十九在戈里齐亚去世。有西方媒体评论称,路易十九在位时间之短显示出19世纪法国的动荡,不过也因为退位,路易十九能够在海外安度晚年,不必继续深陷法国此后的几十年内乱泥潭。 本报综合消息