

物理学史中的二月



1927 年 2 月：海森堡的测不准原理

(译自 *APS News*, 2008 年 2 月)

萧如珀 杨信男 译

1927 年 2 月，年轻的海森堡 (Werner Heisenberg) 发展出了量子理论中的一个主要关键——测不准原理，涵义极为深远。

1901 年 12 月，海森堡诞生于德国一个中上阶级的学术家庭。孩童时期，他喜欢数学和科技小机件，老师们都认为他极有天赋。1920 年时，他到慕尼黑大学就读，在大师索末菲 (Arnold Sommerfeld) 的指导下，两年内就发表了四篇物理论文。泡利 (Wolfgang Pauli, 1945 年获得诺贝尔物理奖) 当时也就读于慕尼黑大学，且仅大海森堡一岁，所以两人成了讨论专业的朋友。



海森堡

虽然海森堡因必考的实验问题表现不佳而差一点无法通过口试，但他还是于 1923 年获得了博士学位，论文讨论的是流体力学上的一个问题。在得到博士学位后，他到哥廷根做玻恩 (Max Born, 1954 年诺贝尔物理奖得主) 的助理，之后又到哥本哈根玻尔 (Niels Bohr, 1922 年获得诺贝尔奖) 所主持的研究所跟随他一起做了一年研究。

20 世纪 20 年代初期盛行的量子论，将原子塑造成是电子沿着固定量化的轨道绕着一个原子核运行，电子可以通过吸收或释放出正确波长的光子而移至更高或更低的能级。这个模式在氢原子很适用，但用在大一点的原子或分子则碰到了问题，所以物理学家认识到是需要一个新的理论了。

海森堡反对当时的模型，因为他说既然无法实际观察到电子绕着原子核的轨道，就不能说这些轨道是真的存在，我们只能观察到被原子释放或吸收的光谱而已。自 1925 年起，海森堡即开始研究，试着找到一种能够仅依赖于可观测性质的量子力学，

或者该性质至少是从理论上可观测的。

靠着几位同事的帮忙与激励，海森堡发展出了一个量子力学的新方法。基本上，他采用例如位置和速度等物理量，但找出了一个新方法重新加以表示和运算。玻恩发现海森堡所采用的方法中的奇特数学为矩阵，这个新的表述方式可用以说明许多已观察到的原子特性。

在海森堡得到他以矩阵为基础的量子力学后不久，薛定谔 (Erwin Schrödinger) 也发展出了他的波动理论表述方式。薛定谔波函数的绝对值

平方很快地被解释为在某种状态中找到粒子的几率，而他也很快地证明了他的波动表述方式和海森堡的矩阵方法在数学上是相等的，因此他的方法更受欢迎，一部分是因为相较于一般不熟悉的矩阵数学，物理学家还是比较习惯使用描述波动的数学。海森堡因他自己的矩阵方法不受欢迎而被惹恼，尤其因为当时老一辈的科学家正相继退休，而他和其他年轻的科学家正开始去找他们的第一份教职，自己命运未卜。

虽然其他的科学家也许觉得波动的方法比较容易使用，但海森堡的矩阵力学却很自然地让他发展出了测不准原理，也因此声名大噪。在矩阵数学中，并非都会是 $a \times b = b \times a$ ，对于不可交换的变量组，例如位置和动量，或是能量和时间，就会产生不确定的关系。

海森堡还做了一个思考性的实验，他设想以 γ 射线显微镜来测量电子的位置。用来照亮电子的高能量光子会使电子产生反冲，而使其动量有一定的改变，由于分辨率愈高的显微镜需要愈高能量的光，

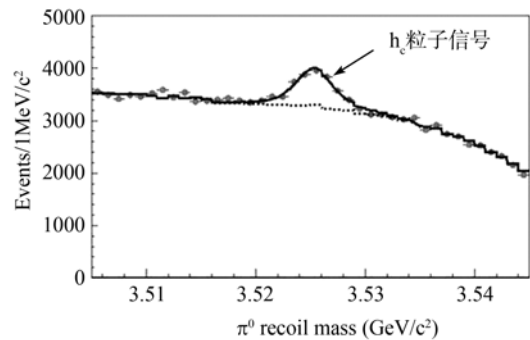
北京谱仪(BESIII)获得首批重要物理成果

2010年2月3日,北京谱仪(BESIII)国际合作组发言人王贻芳对外宣布,利用重大改造后的北京正负电子对撞机(BEPCII)上产生的1亿 ψ' 事例,BESIII合作组获得了首批重要物理成果,三篇文章已分别投稿至本领域一流期刊 *Chinese Physics C*、*Physical Review Letters* 和 *Physical Review D*。

自 BEPCII/BESIII 建成并投入运行以来,BESIII 成功采集到一亿 ψ' 和两亿 J/ψ 事例,是目前世界上最大的数据样本。经过仔细的探测器刻度、复杂的模拟与重建软件的调试和系统的数据分析,首批物理分析主要结果如下:1) 确认了 BESII 实验发现的 J/ψ 衰变的质子反质子阈值增强现象。这个现象 2003 年在 BESII 实验的 J/ψ 辐射衰变过程中首次被观测到,但没有在类似的其他过程中被观测到,可能是一个特殊的新粒子:重子-反重子束缚态 $X(1860)$ 。BESIII 实验更清楚地确认了上述阈值增强现象。2) 在 $\psi(2S)$ 衰变中测量了粲偶素家族最新发现的成员 $h_c(1P_1)$ 粒子的产生与衰变性质,特别是在国际上首次测得了 $h_c(1P_1)$ 粒子的宽度及其在 $\psi(2S)$ 衰变中的产率和电磁跃迁几率,对理解粲偶素物理具有重要意义;3) 测量了粲偶素家族的 χ_{c0} 与 χ_{c2} 粒子衰变到鹰标介

子对的绝对分支比,测量精度达到目前国际最好水平,这将增进对 χ_{cJ} 粒子的衰变机制的进一步理解。

首批 BESIII 物理成果的完成速度达到了国际先进水平,得益于 BEPCII 和 BESIII 很高的建设质量和稳定可靠的运行,大型数据处理系统的有效运转,软件和物理分析工作者的通力合作,和 BESIII 国际合作组内部的有效管理。BESIII 合作组还有一批物理分析工作接近完成,下一批重要结果将会很快发表。BEPCII 和 BESIII 目前正在运行取数,预计其科学寿命将至少长达十年。



(摘编自中国科学院高能物理所网站)

对电子的反冲作用愈强。海森堡因此推想,位置测定得越准确,动量的测定就越不准确,反之亦然。这种不确定性是量子力学的一个基本特点,并非受限于任一特别的实验设备。海森堡在 14 页的信中将他的新原理概略地写出来,于 1927 年 2 月 23 日寄给泡利。同年 3 月,他将测不准原理的论文投寄发表。

玻尔指出了海森堡思考性实验中的一些错误,但同意测不准原理本身是正确的,所以将论文刊登了出来。

此新原理有很深的意义。以前大家认为只要知道任一时间中粒子的位置与动量,以及所有作用在其上的力,就可以至少在理论上预测未来任一时间的位置与动量。海森堡发现并非如此,因为我们绝无法真的同时知道粒子确切的位置和动量。

测不准原理很快地成了广为大家接受的哥本哈根学派对量子力学诠释的部分基础,那年秋天海森堡和玻恩在布鲁塞尔所举办的索尔维会议 (Solvay

conference) 中共同宣布了量子革命的完成。

1927 年秋天,海森堡接受莱比锡大学的教授职位,让他成了德国最年轻的正教授。1932 年他因量子力学的研究获得了诺贝尔奖。海森堡在德国继续他的科学研究。第二次世界大战期间,虽然他不是纳粹党员,但他是一位爱国的德国公民,所以成了德国核分裂计划的领导者,不过他建造原子弹的努力最后宣告失败。海森堡此一行为和动机从此一直是争论性的话题,他于 1976 年过世。

(本文转载自 2010 年 2 月《物理双月刊》,网址: <http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>; 萧如珀,自由业; 杨信男,台湾大学物理系, Email: snyang@phys.ntu.edu.tw)

进一步阅读: David Cassidy, *Uncertainty: the Life and Science of Werner Heisenberg* (New York: W.H. Freeman, 1992)