

波包编缩

谭天荣

青岛大学 物理系 青岛 266071

ttr359@126.com

内容提要:当我们说某一对象的状态“确定”时,可能有两种含义:一种是指该对象的状态客观上是确定的;另一种是指观察者对该对象的状态的主观认识是确定的。在“薛定谔猫”这一理想实验中,当猫已被置于箱中一小时,但箱盖尚未打开时,它的状态在客观上已经确定,但观察者对它的状态的主观认识还不确定。这时打开箱盖,猫的客观状态未变,但观察者的主观认识从“不确定”突变为“确定”。这原是一件极为平常的事情,只是由于概念混淆,人们把这一过程误解为:打开箱盖,猫的客观状态从“不确定”突变为“确定”,这才得出“猫的死活取决于‘人眼的一瞥’”的荒谬结论。与“波包编缩”有关的一切古怪结论都是由这一概念混淆引起的。

费曼构思了如下理想实验:如果在电子的双缝衍射实验中加上一个光源,放在在第一块隔板的后面的两条窄缝之间,使我们“看得见”每一个通过电子到底通过的是第一条缝还是第二条缝,则屏上的衍射图形就失去干涉条纹。如果移去光源,则又会重新出现干涉条纹。这种由于“观测”而导致的相干性消失的现象,就是“量子退相干”。本文改进了费曼所提出的实验,使它能实现,并断言实验结果将证明:“量子退相干”只是由于对测量过程的误解而产生的幻想。

费曼曾经把测不准关系表成:不可能设计出一种仪器,它能在双缝衍射实验中确定电子到底是经过哪一条缝,而同时又不扰动干涉图案。他还说:测不准原理以这种方式“保护”着量子力学。如果谁设计出这种破坏测不准关系的仪器,量子力学的大厦就将倒塌。如果我们的实验预言得到证实,则我们已经设计出推翻费曼所表达的测不准关系的仪器,从而使得量子力学不得不换一种存在方式。[New York Science Journal. 2009;2(1):47-56]. (ISSN: 1554-0200).

关键词:冯·诺依曼;测量理论;人眼的一瞥;量子退相干;测不准原理

1. 引言

“测量理论”是极富有哲学意味的量子力学理论,它涉及像“月亮在没有人看它时是否存在”这样的玄之又玄的问题,从而涉及玻尔与爱因斯坦这样的科学泰斗之间的“世纪的争论”。在本文中,我们不考察这些高深的哲学理论,仅通过概念分析,考察与测量过程有关的物理学问题。

2. 已知事件、未决事件与暧昧事件

我们考察过薛定谔猫,从这一理想实验得出结论:“箱中的猫处于半死半活状态”的怪异结论乃是对“概率”这一范畴的误解,“概率”原是在单个事件身上映射某一“事件的集合”的属性,却被误解为描写单个事件的属性的范畴了。

现在,我们从另一角度考察薛定谔猫,为此,我们把这一理想实验重述一遍:

把一只猫和一个扳机同置于一个钢箱中,扳机的构造如下:放入盖革计数器中的少量放射性物质在一个小时内有原子衰变和没有原子衰变的概率相等,如果它有原子衰变,计数器就产

生反应，并作用于一个连着一个的小锤的继电器，使小锤打碎一个装有氢氰酸的瓶子，从而毒死关在箱中的猫。猫不能直接接触扳机，因此，如果一小时之内放射性物质没有原子衰变，猫就还活着。按照量子力学的哥本哈根诠释将得出结论：“一个小时以后，钢箱中将有半只活猫与半只死猫混合在一起，或者模糊不清。”

从这一理想实验还可以引申出更怪异的结论：既然在被关进钢箱中刚过去一个小时的那一时刻，猫处于半死半活的状态，如果这时打开钢箱，则我们立刻能看到：猫的状态或者是已经死去，或者还活着。于是，猫的状态立刻发生突变，或者从半死半活的状态变成死亡状态，或者从半死半活的状态变成活的状态。在这两种情况下，都是从“不确定的状态”突变为“确定的状态”，导致这一突变的乃是我们的观察。于是，我们的观察引起了“猫的状态”的突变。一言以蔽之，猫的生与死决定于“人眼的一瞥”。

这个结论实在太神奇了，难道微观世界真的这样不可思议吗？不！微观世界并没有什么不可思议之处，问题出在人们对微观世界的理解上，这里有另一个概念混淆。

当我们说某一对象的状态“不确定”时，可能有两种含义，一种是对对象的状态客观上不确定；另一种是我们作为观察者对该对象的状态的主观认识不确定。如果事前就知道某一对象肯定会进入某一状态，则该对象的状态在客观上确定之前，主观上就已经确定了，这种情况与我们考虑的问题无关。排除了这种情形以后，按照“确定”或“不确定”来划分，一个对象可以处于如下三种状态：

- 第一，客观上和主观上都确定的状态；
- 第二，客观上和主观上都不确定的状态；
- 第三，客观上已经确定，但主观上尚未确定的状态。

下面，我们把客观上的“确定”称为“决定”，把主观上的“确定”称为“明确”。对于我们所考察的三种状态来说，已经明确的状态一定是已经决定的，尚未决定的状态一定是尚未明确的。第一种状态已经明确（因此已经决定），我们称它为“已知状态”；第二种状态尚未决定（因此尚未明确），我们称它为“未决状态”；第三种状态已经决定，但尚未明确，我们称它为“暧昧状态”。

例如，将一颗骰子放在一个带盖的容器中摇动，当容器还在摇动时，骰子的状态（即它的哪一点朝上）是“不确定”的。这种不确定是客观上的不确定，是“尚未决定”，此时骰子处于“未决状态”。当容器不再摇动，骰子已经落定，但容器盖还没有打开时，骰子的状态是否确定呢？第一，骰子已经落定，从而它的状态已经“决定”；第二，容器还是封闭的，观察者看不到骰子，从而它的状态还不“明确”，此时骰子处于“暧昧状态”。在揭开容器的盖子以后，观察者看到了骰子出现的点数，从而骰子的状态不仅是“决定”的，而且也是“明确”的，此时骰子处于“已知状态”。

回到薛定谔猫，按照理想实验的已知条件，如果猫置于箱中恰好过了一小时，则会出现如下两种状态之一：第一，计数器中的放射性物质还没有原子衰变，从而猫还活着，第二，有了原子衰变，从而猫已经死去。在这两种情形下，猫的状态在客观上都已经确定，从而已经“决定”；但在箱子打开之前，我们作为观察者还不知道猫是死是活，从而猫的状态还不“明确”。

因此，这时猫处于“暧昧状态”。

如果这时打开箱子，则会出现如下两种状态之一：第一，计数器中的放射性物质还没有原子衰变，箱子一打开，猫将一跃而出。第二，已经有原子衰变，箱子一打开，我们见到一只一动不动的死猫。在这两种情形下，猫的生与死不仅在客观上确定了，而且我们作为观察者也已经知道了，从而猫的状态不仅已经“决定”，而且已经“明确”。因此，这时猫处于“已知状态”。

由此可见，在猫置于箱中恰好过了一小时的时候打开箱子，确实引起了“猫的状态”的突变，从“暧昧状态”变为“已知状态”。但是，在这一过程中，突然改变的并不是猫的客观状态，而是观察者对猫的状态的主观认识，“人眼的一瞥”改变了观察者对猫的状态的主观认识，这又有什么神奇之处！

然而，如果我们混淆了“决定”与“明确”这两个概念，从而混淆了“暧昧状态”与“未决状态”这两种不同含义的“不确定状态”，问题可就复杂了。在猫置于箱中恰好过了一小时而箱子尚未打开的时候，猫本来处于暧昧状态，现在由于概念混淆而被误解为处于未决状态，从而上面的观察过程就被表述为“如果在猫置于箱中恰好过了一小时的时候打开箱子，‘猫的状态’将从‘未决状态’变为‘已知状态’。”从而必然得出结论：“猫的客观状态（生与死）决定于人眼的一瞥”。

于是我们看到，“猫的生与死决定于人眼的一瞥”这一神奇的结论，原来也来自一个概念混淆。

3. 概率的观察效应

“不确定”与“概率”这两个用语密切相关。

按照概率这一用语本来的含义，当我们说“某一只猫 m 还活着的概率是 $1/2$ 。”的时候，我们指的是：

第一，存在某一猫的集合 G ，其中有半数的猫还活着；

第二， m 属于猫的集合 G 。

在薛定谔猫这一理想实验中， m 所属的猫的集合 G 可描述如下：设有 N 个（ N 足够大）钢箱，每一个钢箱都在同一时刻置入一只猫和一个扳机，这些扳机的宏观状态完全一样，则这些钢箱中的猫的集合就是 G 。按照薛定谔猫这一理想实验给出的条件，在这些猫置入钢箱中一个小时的时候，在其中 N 个扳机中有一半扳机中的放射性物质有原子衰变、另一半扳机中的放射性物质则没有原子衰变。

猫的集合 G 中，我们看到了一个动态的过程：活猫与死猫的比例将随时间不断改变，从而在“单个猫 m 属于猫的集合 G ”这一条件下，“ m 的状态的概率分布”也是随时间改变的：在刚置于箱中时， m 是活猫的概率是 1 ，是死猫的概率是 0 。我们把这个概率分布记作 $(1, 0)$ ；在置于箱中恰好过去一小时的那一瞬间，这个概率分布是 $(1/2, 1/2)$ ，再以后，这个概率分布越来越接近 $(0, 1)$ 。我们称概率的这种变化为概率的“常规变化”，

“ m 的状态的概率分布”还有另一种变化。

为了表现这种变化，我们先引进另一个的“猫的集合”：设想在 G 中的 N 只猫被同时置于各自的钢箱中刚好过了一小时的时候，同时打开所有的钢箱，则我们将看到其中约有 $N/2$ 只猫

还活着，这些“活猫”的集合记作 H 。

另一方面，如果在刚好过了一小时的时候，打开猫 m 所在的箱子让观察者看见箱中的猫还活着，则“单个猫 m 属于猫的集合 G ”这一条件将不再成立，对应地， m 从猫的集合 G 转移到 H ，从而 m 的状态的概率分布从 $(1/2, 1/2)$ 突变为 $(1, 0)$ 。反之，如果观察者看到猫已经死去，则这一概率分布从 $(1/2, 1/2)$ 突变为 $(0, 1)$ 。

我们称概率的这种变化为概率的“观察效应”。

概率的常规变化不是描写单个猫的状态的改变，而是反映他所属的猫的集合的状态分布的变化；至于概率的观察效应，既不是描写单个猫的状态的改变，也不是反映某一猫的集合的状态分布的变化，它表现的仅仅是我们作为观察者的主观认识的一种突变。

在薛定谔猫的理想实验中，打开箱子引起了“猫的状态”的概率分布突变，乃是表现猫从“暧昧状态”变为“已知状态”。因此，其中的概率分布 $(1/2, 1/2)$ 表现的不是“未知事件”而是“暧昧事件”，可见概率既能表现“未知事件”也能表现“暧昧事件”。

当波普尔说他“不反对关于单个事件概率陈述的主观解释，即解释为不确定的预见”时，当赖欣巴赫断言“说概率对单个事件也具有意义是无害的、甚至有益的习惯，因为它引导人们对于将来作出评价”时，他们都只想到概率能表现“未知事件”，而没有想到概率也能表现“暧昧事件”。我们将看到，人们将为这种片面性付出高昂的代价。

“未知事件”与“暧昧事件”的共同特点是，它们在主观上都是不确定的。它们之间的不同则在于：“未知事件”在客观上是不确定的，而“暧昧事件”在客观上却是确定的。既然这两种“主观上都不确定的”事件都可以用概率来表现，我们可以断定：概率所表现的“不确定性”是主观的不确定性。更一般地说，“概率是一个主观的范畴。”

4. 波包编缩

现在我们考察概率的常规变化与观察效应两种变化在量子力学中的表现方式。

在大量电子组成的电子束中，我们可用一个位置与时间的连续函数来描写“电子的数密度（单位体积内的电子数目）”的分布运动。

光波是一个波动过程，由一个“波函数”来描写，这个波函数满足波动方程。把这个波函数表成复数形式，则其“模方”（绝对值的平方）给出光波的“能量密度”的分布运动。同样，电子束的固有电磁场——德布罗意波，也用一个波函数来描写，这个波函数满足薛定谔方程，它的“模方”给出“电子数密度”的分布运动。

如果一个电子束有 N 个电子（ N 足够大）， e 是其中的一个，在某一时刻，电子束中有 n 个电子在某一小区域 Ω 内，则根据概率的频率定义，该时刻 e 在 Ω 内的概率是 n/N 。当 N 个电子各自作轨道运动引起 n 变化时，概率 n/N 也相应地变化。在这种意义下，薛定谔方程描写了单个电子的“概率”的分布运动，这是概率的“常规变化”。

另一方面，量子力学的测量过程以一种独特的方式显示概率的“观察效应”。例如，在电子自旋的测量过程中，设 e 是电子束 A 中的某一电子，当 A 通过一个斯特恩-革拉赫装置时，分为 A_1 与 A_2 两束， A_1 中的每个电子的自旋的测量值都是 1 （以 $\hbar/2$ 为单位）， A_2 中的每个电子的

自旋的测量值都是-1。如果 e 落在 A_1 中，则我们测得其自旋的测量值为 1。在这次测量之前，我们作为观察者只知道 e 是 A 的一个成员，从而事件“ e 的自旋获得测量值 1”的概率 p 不等于 1。经过这次测量，该事件的概率突然从 p 变成 1。概率分布的这种突变是一种“观察效应”，它是“观察者的主观认识的变化”。

用“量子力学态”取代“状态的概率分布”，上述结论就表成：量子力学态有两种类型的变化，第一类是“不连续的，非因果的和瞬时作用的实验或测量”，即所谓“波包编缩”；第二类是薛定谔方程所描述的“时间进程中的连续的和因果的变化”。在这里，第一类变化是概率的观察效应，第二类变化则是概率的常规变化。这一论点，正是冯·诺伊曼的测量理论的出发点。

冯·诺伊曼把测量过程分解为两个阶段，第一阶段是被测量的系综与宏观仪器的相互作用，第二阶段是观察动作。以上面对电子自旋的测量过程为例，第一阶段是电子束在斯特恩-革拉赫装置分裂，第二阶段是指定被观察的电子落在哪一电子束。第一阶段是一个客观过程，第二阶段则仅仅改变观察者的主观认识。“波包编缩”是指其中的第二阶段，因而纯粹是概率的观察效应。

冯·诺伊曼的测量理论有如下两个要点：

第一，量子测量导致“波包编缩”；

第二，波包编缩是由于观察者的“观察”。

对于其中的第二个问题，冯·诺伊曼的结论是：

A 观察者在测量终结时看到仪器指针的读数，是导致被测量的对象从不确定状态过渡到确定状态的决定性因素。因此，如果不提到人类意识，就不可能表述一个完备的、前后一贯的量子力学的“测量理论”。

有了上面对薛定谔猫的考察，我们立刻找到了冯·诺伊曼的这一命题的症结所在。

“观察者看到仪器指针的读数”确实是导致被测量的对象“从不确定状态过渡到确定状态”的决定性因素，但其中的“不确定状态”是指“暧昧状态”。不幸的是，在量子力学的哥本哈根诠释中，“暧昧状态”与“未决状态”这两种不同含义的“不确定状态”却恰好被混淆了，从而人们把冯·诺伊曼的命题理解为“观察者在测量终结时看到仪器指针的读数，是导致被测量的对象从‘未决状态’过渡到‘已知状态’的决定性因素。”从而得出结论：“被测量的对象的客观状态决定于人眼的一瞥”。这实在太古怪了。只是因为量子力学难以言喻的现状，才使得这一荒诞不经的结论成了量子力学中的一个解不开的死扣。用波普尔的话来说，冯·诺伊曼提出的测量理论导致了剪不断理还乱的“客观诠释和主观诠释纠缠在一起的乱丝”。

其实，早就有人提出这种“对波包编缩的主观诠释”，但大多数量子物理学家认为，这种诠释不仅否认了物理状态描述的客观性，而且使物理学成为心理学的一部分，从而威胁着物理学作为一门研究独立于人类之外的存在的科学本身。这种诠释的逻辑结论将是：“物理学家根本不是在研究自然界，而只是在研究自己的研究工作。”

果真如此吗？不！对波包编缩的主观诠释绝对不会否认了物理状态描述的客观性！问题归根结底还是在于人们对“概率”的误解，我们不妨借助于我们所熟悉的张三先生的健康情况的例子来阐明这一点。回到如下概率陈述：

“张三得心脏病的概率是 3%。”

这个陈述具有而且也仅具有如下含义：

第一，某一人群 E 得心脏病的比例是 3%。

第二，张三属于人群 E。

在这里，3%这一概率所表现的并不是张三的健康情况，而是在张三身上映射人群 E 的健康情况。

如果有人调查某一地区的居民的健康情况，得到许多有关的统计资料，其中之一是“某一人群 E 得心脏病的百分比是 3%”。为了计算方便，为了应用概率论，人们在这一统计资料之外添加一个命题：“张三属于人群 E。”这样，上述统计资料才表成：“张三得心脏病的概率是 3%。”这个概率陈述有两个因素：第一个是客观因素；第二个是主观因素。如果对张三作体检得知他没有得心脏病，则他得心脏病的概率就从 3%突然降到零。这种概率的变化没有改变“人群 E 得心脏病的百分比是 3%”这一客观的统计资料，只改变了“张三属于人群 E”这一为了应用概率论而纯粹人为加上主观因素。不容置疑的是，这种改变不会损害“人群 E 得心脏病的百分比是 3%”这一统计资料的“客观科学的地位”。

同样，对于上面考察的电子束，实验事实是：“波函数给出落在小区域 Ω 中的电子的相对数目”。当人们把这一命题翻译成“波函数给出单个电子 e 落在 Ω 中的概率”时，就悄悄地引进了一位观察者，他恰好知道“e 属于该波函数所描述的电子束”。如果经过一次测量，e 转移到了另一个电子束，则这位观察者的主观认识改变了，相应地，命题“波函数给出单个电子 e 落在 Ω 中的概率”不再成立。尽管如此，这种主观认识的改变也不会损害“波函数给出落在 Ω 中的电子的相对数目”这一统计规律的“客观科学的地位”。

5. 量子退相干

在冯·诺伊曼的测量理论中，“波包编缩”还伴随着一种难以理解的客观过程——“量子退相干”，从而上面的第一个问题成了“量子测量怎样导致‘量子退相干’”的问题；而第二个问题则成了“量子测量为什么导致‘量子退相干’”的问题，这就使得冯·诺伊曼的测量理论，无论在数学方面还是物理方面都成了极为艰深的理论。如果说量子力学是物理学的难点，那么测量理论就是量子力学的难点。

为了不涉及那些令人望而生畏的数学公式，我们仅通过双缝衍射现象对冯·诺依曼的“量子退相干”的论点作一定性的描述。

在《费曼物理学讲义 III》一书中，作者构思了一系列理想实验，其中之一是：如果在电子的双缝衍射实验中加上一个光源，放置在第一块隔板的后面的两条窄缝之间，使我们“看得见”每一个通过电子到底通过的是第一条缝还是第二条缝，则屏上的衍射图形就失去干涉条纹。如果移去光源，则又会重新出现干涉条纹。这种由于“观测”而导致的相干性消失的现象，就是“量子退相干”。

我们看到，“量子退相干”完全是一种从不可靠的推理得出的“效应”，人们从来没有观察到它。奇怪的是，它却似乎从来没有受到怀疑。相反，哥本哈根学派的大师们立刻兴趣盎然地

解释这种效应。

波尔的“互补原理”对“量子退相干”作了如下解释：微观物体的运动具有粒子与波的双重属性，但在同一实验中二者是相互排斥的。在电子的双缝衍射实验中，测量粒子通过哪一条缝强调了电子的粒子属性，与粒子性互补的波动性便被排除了，从而导致干涉条纹的消失。

海森堡则用他的“测不准关系”对“量子退相干”作了如下解释：根据测不准关系，准确知道某一电子垂直于路径方向的位置，意味着不能准确知道该电子垂直于路径方向的动量，从而造成屏上干涉条纹的消失。费曼因此而把测不准关系表成：“不可能设计出这样的仪器，它能确定电子通过双缝中的哪一条缝，同时又不扰动干涉条纹。”

在冯·诺伊曼提出他的测量理论之后，量子物理学家们纷纷提出各式各样的新测量理论，试图阐述、补充或取代冯·诺伊曼的测量理论，而薛定谔却在这时提出“薛定谔猫”对这个理论对整个量子力学的现状提出质疑。

量子物理学家们关于“量子退相干现象”的意见可大致分成两种类型。

一种以冯·诺伊曼为代表，他在《量子力学的数学基础》一书中提出了或许是最早的测量理论，其中的命题 A 表明，“主观的介入”乃是量子退相干的根本原因，换句话说，量子相干性消失，归根结底是由于“人眼的一瞥”。

德国物理学家吉·路德维希则持的相反的观点，他拒绝“感觉”、“知识”和“意识”等用语出现在物理学中，并且把宏观仪器看成一个处于热力学亚稳态的宏观系统，把测量理解为宏观仪器受到微观系统的扰动向热力学稳态演化。因此，测量不再是“客体与主体之间的一个不可分的链环”，而是一个“微观系统与一个宏观系统之间的一个不可分的链环”。

意大利物理学家丹内里、朗格和普洛斯佩里在路德维希的工作的基础上建立了一种精致的测量理论，简称为 D-L-P 理论。按照这种理论，测量之所以导致量子态相干性的消失，是被观测的微观系统自身经历的一个具有“各态历经”特征的过程，并不需要“人眼的一瞥”。

在路德维希的工作的基础上建立另一种的测量理论是“退相干理论”，它把测量过程中量子态相干性的消失理解为由于“量子纠缠”而导致的一个动力学过程，即使观察者不在场也照样发生，其中仪器只不过起着“记录”的作用。

在这里，我们先不去考察这些复杂、精致而又引人入胜的测量理论，仅提出如下问题：能不能用实验来判定路德维希的观点与冯·诺伊曼的观点孰是孰非？

让我们回到费曼的关于“观察电子”导致干涉条纹消失的理想实验。在这个实验中，我们满可以放置上光源而不观察电子，如果实验结果是不出现干涉条纹，则测量过程要求“主观的介入”，如果实验结果是仍然出现干涉条纹，则测量过程不要求“主观的介入”。这是一个明确的判决性实验。

费曼本人没有对这一问题给出确切的回答。他一方面说：“也许这是由于点上光源而把事情搞乱了？……我们知道，光的电场作用在电荷上时会对电荷施加一个作用力。所以也许我们应当预期运动要发生改变。不管怎样，光对电子有很大的影响。在试图跟踪电子时，我们改变了它的运动。也就是说，光对电子的反冲足以改变其运动，……这就是为什么我们不再看到波状干涉效应的原因。”按照这种作用机制，只要点上光源，不论我们观察不观察电子，干涉条纹都

会消失。可另一方面，费曼又说：“假如电子没有被看到，我们就会发现干涉现象。”还说：“当我们观察电子时，它们在屏上的分布没有干涉条纹；当我们不观察电子时，它们在屏上的分布有干涉条纹。”照这么说，即使点上光源，只要我们不观察电子，干涉条纹就不会消失。

尽管如此，费曼的自相矛盾的回答并不妨碍我们借助于费曼的理想实验来判断路德维希的观点与冯·诺伊曼的观点孰是孰非，真正的困难在于如下事实：电子太小，我们不能在光的照耀下跟踪它。因此，还须作一些技术上的改进，我们才能实现费曼的这个理想实验。在这里，我们提出一个建议。

6. 一个关于“量子退相干”的实验预测

考虑一个连续地发射成对电子的电子源，让每一对电子都精确地朝相反的方向运行，从而形成相向运动的两个电子束 R 与 R' 。现在，让 R 通过一个开有双缝的隔板 L ，落在某一可以探测电子位置的屏上。同时，又让 R' 中的电子飞向一个与 L 极对称的另一隔板 L' 。这个隔板只有一条缝 S ，它有如下性质：设 e 是 R 中的一个落在屏上的电子， e' 是它在 R' 中的配偶，则当且仅当 e 越过 L 的第一条缝时 e' 会越过缝 S 。这样，从 e' 是否越过缝 S 我们就知道 e 通过的是 L 的哪一条缝。下面，我们把这个实验记作 T 。

对于电子束 R ，实验 T 是一个双缝衍射实验。而电子束 R' 的行为，则代替了费曼的跟踪电子的光源。而“放置上光源而不观察电子，会不会出现干涉条纹”这一费曼理想实验实际上提出的问题现在转化为如下问题：

让 L 上的双缝同时打开，如果观察者跟踪 R' 的每一个电子，看它是否通过缝 S ，则观察者就间接地知道电子束 R 的每一个电子经过的是哪一条缝，从而按照费曼的意见，有：

B 如果观察者跟踪 R' 的电子，则干涉条纹将消失。

那么，如果其它条件不变，只是观察者不再跟踪 R' 的电子，干涉条纹会不会消失呢？

按照冯·诺伊曼的意见，由于没有观察者的跟踪，对 R' 的电子的测量就少了“人眼的一瞥”这一决定性的最终环节。在这种残缺不全的测量过程中，该电子不会从“不确定状态”过渡到“确定状态”，从而屏上的干涉条纹不会消失。因此，

C 只要观察者不跟踪 R' 的电子，干涉条纹就不会消失。

反之，如果测量是“微观系统与一个宏观系统之间的一个不可分的链环”，则有

D R 在屏上的干涉条纹会不会消失，只与客观的实验条件有关，与观察者是否知道 R' 的电子的行为无关。

从命题 **B** 与命题 **D** 得出结论：

E 即使观察者不跟踪 R' 的电子，干涉条纹也会消失。

这就是路德维希的意见，也是 $D-L-P$ 理论与“退相干理论”的出发点。

于是，如果实验 T 的结果是 **B**，则路德维希的观点是错误的；如果实验 T 的结果是 **D**，则冯·诺伊曼的观点是错误的。由此可见，实验 T 的结果至少会“证伪”上述两种观点中的一种。

然而，虽然 **B** 与 **D** 相互排斥，**C** 与 **D** 却可以同时成立。因此，即使实验 T 出现了结果 **B**，也仅仅否定路德维希所预期的结果 **E**，却并未否定路德维希的基本观点 **C**。如果仍然坚持 **C**，

则从实验结果 B 将得出结论：命题 B 不成立。换句话说就是

F 即使观察者跟踪 R' 的每一个电子，从而知道了 R 的每一个电子到底是经过哪一条缝，屏上仍然会有干涉条纹。

这是实验 T 可能出现的第三种结果。这种结果对量子力学来说意味着什么呢？

费曼曾经把测不准关系表成：不可能设计出一种仪器，它能在双缝衍射实验中确定电子到底是经过哪一条缝，而同时又不扰动干涉图案。他还说：测不准原理以这种方式“保护”着量子力学，如果谁设计出这种破坏测不准关系的仪器，量子力学的大厦就将倒塌，量子力学就以这样的冒险而又准确的方式继续存在着。

如果实验 T 出现了第三种结果 F，则它所用的仪器就是费曼所说的破坏测不准关系的仪器，从而给量子力学带来灾难。诚然，即使出现了这样的灾难，倒塌的也不是量子力学的形式体系，而只是费曼们对量子力学的诠释。

实际上，上面提到的各种测量理论，都确认一个前提：在实验 T 中，命题 B 肯定成立：如果观察者跟踪 R' 的电子，则干涉条纹将消失。而干涉条纹的消失，则起源于对电子束 R' 中的电子的观测，只不过对于不同的测量理论，被观测的电子将经历不同的过程。对于冯·诺伊曼测量理论来说，它是最终由于“人眼的一瞥”而导致的一个从不确定状态过渡到确定状态的过程；对于 D-L-P 测量理论来说，它是由于被观测的电子自身的“各态历经”而导致的一个统计力学过程；对于“退相干理论”来说，它是由于“量子纠缠”而导致的一个动力学过程。所有这些理论都要求 R' 的电子与其 R 中的配偶有某种神秘的“非定域关联”。因此，如果爱因斯坦还活着，我想他会期待实验 T 出现第三种结果 F，因为这种结果有利于他心爱的“定域性原理”。

我预言：实验 T 肯定会出现结果 F，其根据不是高深的“定域性原理”，而是如下极为平凡的推理：

从费曼关于退相干现象的阐述我们看到，问题起源于双缝衍射实验的如下实验结果：

G 双缝同时打开时的衍射图形不是双缝轮流打开时的两个衍射图形的迭加。

人们认为，这一实验事实表明电子的运动不是轨道运动，从而我们不能断言某一电子究竟是通过哪一条缝达到屏幕上的。如果关闭一条缝，我们就得到确切的信息，电子肯定是通过另一条缝通过的。但为此我们付出了代价：干涉条纹消失了。于是得出一般结论：测量导致干涉条纹消失，再向前走一步就得出量子退相干的一般理论。

在我看来，实验事实 G 并不表明电子的运动不是轨道运动，而仅仅表明电子通过某一条缝的运动与另一条缝的启闭有关。从电磁学的角度来说，这一见解不难理解：电子自己有一个固有电磁场，开启或关闭另一条缝，将会改变电子的固有电磁场的边界条件，从而间接改变电子的运动。按照这种见解，从双缝衍射实验并不能得出“测量导致量子退相干”的结论。

实验 T 可以有各种变形，例如用电子通过斯特恩-革拉赫装置的不同通道来取代电子通过不同的缝，这样，被观测的物理量就不再是电子的位置而是电子的自旋。或许，这种观测电子自旋的实验更容易实现。

我在等待大自然的裁决。

7. 结束语

“量子退相干”是冯·诺依曼的测量理论的出发点，也是其他测量理论的出发点。如果 T 实验果真出现第三种结果，整个测量理论就成了空中楼阁。至少在这一领域里，与量子力学相联系的一切高深莫测、玄之又玄的哲学理论都成了空谈，至于与此有关的“新的实验事实”，则有待重新解释，不再与测量理论有关。

9/17/2008

Wave packet collapse

TAN Tianrong

(Department of Physics, Qingdao University, Qingdao 266071, P. R. China)

ttr359@126.com

Abstract: The proposition that the state of some substance is certain has two meanings: one is that the state of the very substance is certain objectively; the other is that the subjective cognizance of the observer on the very substance is certain. In the idea experiment Schrodinger's cat, if after the moment that the cat is put in the box in an hour, open the box top, then the objective state of the cat preserve unchanged, but the cognition of the observer transforms from uncertain state into certain state. That is quite an ordinary event; only because of a concept confuse, this event is misunderstood by the event that open the box top, the objective state of the cat transforms from uncertain into certain, it is thus concluded that the cat's state is decided by "a glance of the personal eye". All of the eccentric outcomes are caused from this concept confusion.

Feynman conceived the following idea experiment: Putting a light source in a double slit diffraction experiment about electrons and placing it behind two slit such that the observer can see which slit an electron passes through, then the interference streak on the screen will vanish. Removing the light source, the streak will appear again. In other words, interference vanishes originates from the "observing". Such a phenomenon is called "quantum vanishing of coherency". Feynman's idea experiment is improved such that it is able to be realized. Still further, it is predicted that the result will proved that "quantum vanishing of coherency" is only an illusion originated from a misunderstanding about measurement processes.

Feynman expressed uncertainty principle as the form that it is impossible to make designs for an instrument, which is able to inform which slit an electron passes through, as well as preserve the interference pattern unchanged. Still further, he said that in such a way uncertainty principle safeguards quantum mechanics. If some one designs an instrument violated uncertainty principle in this form, the building of quantum mechanics will collapse. If my experimental prediction is verified, then such an instrument has been designed, and thereby quantum mechanics has to exist in another fashion.

Key words: Von. Neumann; measurement theory; a glimpse; vanishing of coherency; uncertainty