

【基础科研】谈量子力学（二）

2015-12-19 09:42:00

原文网址：<http://blog.udn.com/MengyuanWang/108908798>

前文解释了量子去相干的基本精神是大数量的凝态原子在接触微观粒子的过程中，会有打破其量子相干关系的趋势，使该粒子表现得如同一个古典的骰子。但是这个古典的骰子到底会选择哪一个答案，却还是随机的。不过因为测量仪器和被测量的粒子都属于同一个整体的量子波，所以结果仍然在逻辑上自洽。换句话说，薛定格的猫若是被箱内的量子随机机制杀死了，整个宇宙就步上了死猫历史的路；若是没有被杀，宇宙则走上了另一条活猫历史的路。总结来说，每次有微观粒子和巨观物体接触，前者的量子态就被去相干，一个随机结果被记录下来，宇宙的历史又在岔路口做了一个选择。

宇宙有大约 10^{100} 个原子和电子，光子更是多到不可计数；在137亿年的宇宙历史中，每个原子、电子或光子可以遭遇多次的量子去相干经验；在岔路口面临的选择还可能是连续的（例如双缝实验里，粒子打到墙上的位置）。把这些数目乘起来，宇宙在历史上面临过的岔路选择之多，可能是人类在实际经验上所能遭遇的最大数字。于是就有了一个新的问题：历史没有走上的岔路原本也是宇宙量子波的一部分（甚至可能是一大部分，例如如果薛定格的猫原本被设定为九死一生，但是结果是它活下来了，那么没有发生的反而是原本机率空间的90%），难道就这样凭空消失了吗？

1957年时，一个叫做Hugh Everett的美国人提出一个看法，认为每次历史分岔时，所有的岔路都被“实践”了，宇宙分裂为许多不同的历史道路，只因为不同的历史道路之间没有任何沟通的可能，所以生活在任何一个历史下的人祇能感觉到自己的特定历史。这个说法后来被叫做“Many-Worlds Interpretation”（“多重世界解释”）。

到1990年代，超弦被证明有至少 10^{500} 个解，因而没有任何预言的能力（可能的解越多，理论就越没有针对性回答问题的能力；例如 $0=0$ 有无限多解，也就对回答 $x=?$ 没有任何意义），也永远不能被证伪，结果超弦论者一窝蜂地开始鼓吹多重世界解释，以致到现在多重世界解释成为新的主流。其实多重世界解释里面的许多世界，与超弦产生的许多解，完全没有对应的关系，两者在逻辑上是互相独立的。但是超弦论者正想要重新定义科学是什么，而多重世界解释刚好也有很大（其实是更大）数目的多重可能，也同样不能被实验证伪，所以就成为了超弦论者的最爱。

不过虽然多重世界解释不能被实验证伪，它在逻辑上却有很大的毛病，祇是超弦论者当然不知道也不在乎。首先，在很多量子去相干的事件中，相干性并没有降到数学上的零（我们可以确定这点，因为量子波仍然始终遵守波动方程式，而在很多场合下，波动方程式的时间演化过程不可能产生连续的真正零值），祇是变到极小，在物理测量上等同是零。所以看起来像是两条岔路，其实是同一条路，祇不过中间的安全岛很不好走罢了。多重世界解释的第一个逻辑毛病，就在于它假设量子去相干总是产生真正的离散（Discrete）结果，而实际上有很多情况下，离散的表象祇是一个近似。

多重世界解释的另一个逻辑毛病，在于它所做的隐性哲学假设。基本上所有其他对量子力学的解释，都祇有一个现实（Reality）的存在（Existence）；而多重世界解释却说凡是数学上允许的解，都是存在的现实。换句话说，现实没有什么特别的，唯一的限制是必须在数学上逻辑自洽。

但是“逻辑自治”是一个很松的要求，我们可以轻易地想像出除了量子力学之外，还有无限多的其他自治系统，那么那些其他系统的解是否也是存在的现实呢？如果数学自治是唯一的要求，那么现实存在就只是幻觉，那么为什么当我凝思一个自治的数学系统的时候，没有出现对应的新宇宙呢？不同宇宙不能互相沟通，固然是达成自治的一个方式，但是可以互相沟通的不同宇宙应该也能达成自治，那么为什么我们没有观察到呢？

多重世界解释还有一个经验法则上的问题，就是它不但违反了Occam's Razor，而且是所有违反中最恶劣的。这是因为它为了解释一个世界，而必须介绍N个世界，而N正是我在前面提到的宇宙在历史上面临过的岔路选择的总数目，极可能是人类在实际经验上所能遭遇的最大数字。Occam's Razor和可证伪性一样，是科学的基石。多重世界解释不但不可证伪，还以最严重的方式违反了Occam's Razor，那么至少我个人认为它不应该被当做科学的一部分。

Everett提出多重世界解释，基本还是一个懒字：如果我们存在的这个现实有什么特别，那么它就应该只有一个，而要能证明单个现实的自治性，是很难的。多重世界解释避免了这项工作，但是其实别人早已做出来了，这就是de Broglie的Pilot Wave（导航波）理论。de Broglie是量子力学的创始人之一，但是他不像Bohr、Schrodinger或Heisenberg那样先发论文、再做计算、最后若是有空再想清楚道理（Bohr显然一直都没空），所以就没有抢发那么多论文，也就没有他们那么有名。de Broglie认为量子波只是一个导航装置，里面还是隐藏着一个真正的点粒子，而这个点粒子就对应着唯一存在的现实。

要证明导航波理论的自治性，并不容易，de Broglie自己没有完成。一直到1952年，David Bohm才把整个理论建构成功，所以导航波理论也叫做Bohmian Mechanics。我不想在这里写下一大堆数学，所以请有兴趣的物理学者自行去找资料（例如这里：<http://www.bohmian-mechanics.net/>）。这套理论是所有量子力学的解释中，唯一逻辑严密完整，而且还明确标定出所有因果关系（Causality）以及现实的特别性。它的另一个好处，是可以确实算出量子力学比古典力学多出的那一项，不但明确地标定出两者的差异，而且还解释了双缝实验中为什么粒子能转弯。但是为什么至今很少人听说过呢？这有一大两小三个因素。

首先是前文提过的历史原因：高能物理界一直到1980年代才摆脱了量子波崩溃论，但是随即被超弦席卷，于是多重世界解释成了新主流。其次，BM的逻辑太清楚严谨了，所以很难写新的论文。但是另外还有一个理由，使很多高能物理学者对导航波理论嗤之以鼻，那就是它很明显地是非局部（Non-Local）的理论，因此明确地违反了相对论，从而也与量子场论不相容（量子场论是特别为相对论发展出来的）。但是最近几年的实验却一再证明量子力学的确是而非局部的（包括今年八月的这个新实验，参见http://www.nytimes.com/2015/10/22/science/quantum-theory-experiment-said-to-prove-spooky-interactions.html?_r=0），所以错的是相对论（或许应该说相对论只是一个近似而不是绝对正确的）。我在下一篇文章再详细讨论这个非局部性的问题。

16 条留言

entanglement

2015-12-19 00:00:00

就我所知,entanglement虽然可以产生超光速的影响,但是这种interaction无法直接用来传递讯息(encode),所以information的传递还是无法超越光速,严格来讲,并不能说相对论错了

“Einstein不是这么想的。当初他发展相对论，局部性是假设之一，所以虽然Entanglement的非局部性不能用来传递讯息，他还是针对这个非局部性说出了“God does not play dice”那句话。一般人从字面解释，以为他是对量子力学有反感；其实他本身也参与了量子力学的发展，对随机结果没有意见。

现在的教科书上说相对论只要求讯息不能超过光速，其实是因为从1920年代一开始大家就怀疑量子力学有不能避免的非局部性，所以做相对论的人就不敢说相对论要求局部性；这是粉饰太平的手段。如果你仔细地读相对论，就会发现局部性的确是隐性假设之一。

creux

2015-12-19 00:00:00

关键点在 Wave function 是不是真实 reality 的一部分？若是的话那相对论的局部性就被违反。若不是，也就是说量子力学的 wave function 只是一个未臻完美的计算手段，而讯息才是真实的，那局部性就没被违反。

这是我的理解，有错请指正。

“Wave function 当然是reality的一部分。没有任何量子力学的解释能避免量子波。

Bohmian Mechanics的另外一个好处，是它把量子波所含的讯息和粒子本身的讯息分开了。可以很清楚地看出缺一不可。

likethebest

2015-12-19 00:00:00

1.请问根据 Bohmian Mechanics，以人类作为观察者来看，世界是否具有确定，“唯一”，但不可实际计算的未来？

假设有两个孤立，全同的系统，分别考察它们随时间的演化，其结果可能（极大概率）是不同的，不过用不着去设想为什么潜在的可能性被丢失（比如假设分配到多重世界，但这仍然需要人择原理来解释为什么我们恰好在这个宇宙中），只需认为这是固有的规律即可？

2.从某个时间点考察过去，也有无数的潜在波函数符合演化到现在的情况吧，那么过去是严格不可知的？

“1. 是的，你已经懂了Bohmian Mechanics的精髓之一。不像普通的量子力学只是Deterministic down to the wave function，它是Deterministic down to the particle itself，也就是完全Deterministic。但是这是假设你能确知现在的量子波和粒子在量子波里面的确实位置。很不幸地，它有一个定理，说任何粒子碰撞很快地就把那个确实位置遮蔽起来了，所以有点像热力学。当然量子波本身也是不可能被确切决定的。

2. 不是的。波动方程式在时间的正向和反向都是Deterministic，所以如果知道现在的量子波，理论上可以倒推过去。

canada_goose

2015-12-19 00:00:00

我的理解是量子力学的多重世界解释和超弦的多重世界不是一样的。前者是在同一个宇宙同一个物理规则下的多重量子态。远没有后者那么玄乎。

“是的，两者是完全无关的。超弦论者只是喜欢它同样违反了Occam's Razor和可证伪性。

wixxx

2015-12-19 00:00:00

王先生能否评论一下潘建伟教授量子通信方面的工作？是否也是一个骗经费预算的泡泡

“请看下一篇文章。

Bohmian Mechanics在波函数的节点会不会出问题阿？

“

不会的。

如果QM是你吃饭的家伙，BM真的值得仔细一读。

狐禅

2015-12-20 00:00:00

一个人可以是好人或是坏人，看情况而定。一旦进入群体，这个不确定性好像就消失了。是这个意思吗？

“

不是。在QM中，一个人可以既是好人又是坏人，但是一旦进入群体，就祇能或是好人或是坏人。

南山卧虫

2015-12-20 00:00:00

哈哈，王兄的核心干货来了，可惜我公务私务都忙翻了，抽不出身来凑这热闹。正如王兄所说：

//量子力学则不祇是极为专业，而且极为反直觉（Counter-Intuitive）//

入世之人，应世所需，自有一套思维习惯，甚至是脑部运作模式，所以杂务纷繁之时，要参透几乎是不可能。当年自学物理的时候，不算夸张的说，是有点感觉到自己的脑部内里结构有所变化的。修行修真有脱胎换骨之说，修习科学在脑部结构而言，似乎亦然。

您多谈些，我有空才回来玩。

^ _ ^

“

我虽然避免了数学公式，文章主要还是为物理本行的读者写的。非专业的读者看看热闹就可以了，不必强求读懂。

sam

2015-12-20 00:00:00

1. 王先生,不知道下面的文章是否可以视为导航波理论已被实验做出来
Have We Been Interpreting Quantum Mechanics Wrong This Whole Time?
www.wired.com/2014/06/the-new-quantum-reality/
是关于宏观油滴弹跳于振动表面可以用来模拟波粒二象性(Yves Couder)
2. 对量子现象有些了解可从双缝干涉开始, 可参考下面的文章
Hey There Little Electron, Why Won't You Tell Me Where You Came From?
www.wired.com/?p=1575987&preview_id=1575987
在feynman lecture中也有一整章(vol3 ch1) 是讨论量子现象(如波粒二象性...)

“

这两篇都是为非专业读者而写的科普文章，大家可以参考一下。

不过那个油滴实验只证明了BM是可行的，并没有证明它是必然的。其实这些不同的量子力学“解释”原本就不可能用实验分辨，我们祇能凭其逻辑的严密程度和其產生的额外讯息来判断是否合理。BM在这两个标准上都远远是最佳的。

SW

2015-12-20 00:00:00

王先生好，可否请您推荐一本BM的好书，谢谢

“ 我自己是从零散的论文学的，不知道有没有好书。

那个网站应该是个合适的起点。

台湾短空长多

2015-12-21 00:00:00

量子是非局限性已经有实验证明 有另一种解释是超光速远距影响的原因是在超或超超立方体传递亦即更高次元 所谓不能超过光速仅限于三次元 超立方体超越直觉的认知

“

高能物理的主流固然是堕落了，但是那并不代表所有非主流的说法都值得采信。多次元本身就被超弦严重滥用；目前一点正面的证据都没有。我想大家还是遵从Occam's Razor，除非是像非局部性这种已经被实验确认的性质，不要做过多的猜测。

likethebest

2015-12-22 00:00:00

科技史（尤其物理史）上Occam's Razor 有没有导致负面效应（即批判正确新理论）的例子？

“

Occam's Razor 要求最“简单”的解释，而“简单”有时是必须主观定义的。如果两个理论的简单程度很接近，不能明确分辨优劣，物理界就应该把Occam's Razor 放在一边，用实验来分辨好坏。

事实上Occam's Razor 的优先次序一直都是低于实验的，我们祇要求满足实验结果中最简单的理论。

Occam's Razor 的价值在于人的想像力是无穷的，在实验的尖端永远可以发明出Rube Goldberg Machine来满足已知的结果，代价就是要把自由参数增加一个数量级以上。历史上把自由参数增加一个数量级以上的，从来没有对过；超弦这种增加了500个数量级的更不用提了。

entanglement

2016-07-26 00:00:00

一般来讲 Decohere 和 wave function collapse 是两件事，
王先生的意思是说,BM+decohere就可以解释wave collapse,是这样吗？

“

是的。

entanglement

2017-03-29 00:00:00

等先生归来真是望穿秋水，我研究BM后发现这个理论有点问题，我并不认同网路上批评BM的文章，而是有别的看法，
一般来说我们讨论问题都将波函数和Hamiltonian分开，这时候BM没甚么问题，
但BM有一个极大的问题发生在Hamiltonian是波函数的显函数的时候，例如Hamiltonian加入电子之间的相互作用的库伦力，
例如我们再计算材料的AB INITIO THEOREM (EX:
en.wikipedia.org/wiki/Kohn%E2%80%93Sham_equations)，
Hamiltonian跟电子出现的机率密度有关，而BM的REALITY假设电子存在特定位置，
这个假设使BM的Hamiltonian必定是跟电子位置有关而非电子的机率密度，BM 的 Hamiltonian与目前一般使用的方法不一致，
而我们已知目前AB INITIO可以得出与实验非常一致的结果，那与其不一致的BM就出了问题

“

你所谈的是应用类的Effective Theory，BM的主要价值不在于做这些计算，而在于基础理论的逻辑自洽。

我可能没说清楚

目前普遍接受的图像是粒子在被量测前可同时出现在不同位置
而BM粒子则否 其在被量测前有确定的位置

这两个种表述可以在带电的多粒子系统中被区分出来

“

如果你写下基本而完整的Schrodinger方程式，对每对粒子间都确实写下EM作用力，那么BM不会有问题。麻烦在于没人知道怎么解如此复杂的方程式。

一旦把多体系统简化为背景位能，那么就成为Effective Theory，计算简单多了，结果也许足够精确，但是你就不能再讨论逻辑体系的自洽性。

science student

2017-09-13 00:00:00

If BM is not falsifiable, or can not differentiate from QM by experiment, I think it's meaningless, just as the string theory.

“

BM is not physics, but physical philosophy; the standard is not experimental falsifiability, but logical consistency, just like math. The alternative is the Copenhagen Interpretation, which is not even logically defined, much less consistent.

String is not billed as a philosophy, but a physical theory of everything. There lies the difference, which even 3rd rate college students should be able to see.

[返回索引页](#)