

Aspect实验的反相对论意义分析

Xia Cheng^{1,2}

摘要 : Aspect(阿斯派克特)实验(准确地说,一系列实验)是20世纪物理史上影响最为深远的实验之一,通过分析相对论的基本理论原则和Aspect实验的检验结果,表明相对论的基本理论原则——决定论,定域性和实在性——不能在量子理论中同时成立。虽然还不能证伪相对论,但意味着相对论理论根基的动摇。而相对论量子力学却面临着是被实验证明是错误的很大可能性!

关键词 : 相对论; 决定论; 定域性; 实在性; Aspect实验; EPR 佯谬; 贝尔不等式.

1 理论焦点

爱因斯坦和他的支持者,认为有三大理论原则必须同时遵守,即:(1)是决定论的;(2)是定域的;(3)是实在的。三者缺一不可。决定论的(也可以认为是因果论),也就是说,给定理论所需要的所有初始条件,系统在将来任何一个时间的状态,都可以被准确的预言;定域的,意味着发生在某个时空点的事件不能被相距类空间隔的另一个事件所影响,也就是说信息传播的速度不能超过光速;实在的,意味着我们可以把一个系统孤立起来,这个系统的状态只能由系统本身和周围类时间隔内的其他系统来决定。因为这三大理论原则是建立相对论理论的基础,所以,也可以说,这也就是相对论理论的基本原则,如果有实验证明这些这些原则不正确,则意味着相对论理论有问题。

爱因斯坦和他的支持者根据相对论的理论原则,组织了一套反对量子论的“EPR 佯谬”和“定域的隐变量理论”,并确定用“贝尔不等式”进行判断。下面简单介绍一下:

E-mail: xc7979@gmail.com.

1.1 EPR佯谬

爱因斯坦.波多斯基.罗森悖论是由阿尔伯特·爱因斯坦、玻理斯·波多斯基和纳森·罗森在1935年发表于《物理评论》杂志的论文所揭示的悖论。其简称爱波罗悖论,并以提出此悖论的三人姓氏第一字为根据命名(另有EPR论证、EPR 诡论、EPR 佯谬和EPR 悖论等名称)。此悖论是对于量子力学的正统诠释——哥本哈根诠释提出反驳的一个思想实验(也引起众人对量子纠缠现象的兴趣),是对于物理量的观测值以及物理学理论可以解释的值长久以来的观念做出挑战。EPR 实验产生了一种二分法的结果,要不1)对于一量子系统之A部分的进行测量的结果,对于在另一遥远处的B部分的物理真实性(physical reality)上有非局域性的效应;量子力学可以预测以后在B部分做一些测量会得到什么样的结果。不然就是2)量子力学是不完备的:跟B相应的某些物理真实性要素无法由量子力学来解释,亦即:需要额外的变量(隐变量)来解释。

1.2 定域的隐变量理论

主要是代表经典相对论观点的一种理论,爱因

斯坦等人对量子力学内禀的随机性不满。在他们看来，量子力学只能做出几率性的预言，是因为理论中缺少了某些变量。一旦这些变量被补充进去，量子力学就可以升级成个符合决定论观点的理论。这些变量是什么？不知道，所以称为隐变量。它包括二个方面的概念：

1) 如果世界的本质是经典的，具体地说，如果我们的世界同时满足：定域的，也就是没有超光速信号的传播；实在的，也就是说，存在着一个独立于我们观察的外部世界；

2) 量子效应表面上的随机性完全是由一些我们不可知的变量所造成的，换句话说，量子论是一个不完整的理论，它没有考虑到一些不可见的变量，所以才显得不可预测。假如把那些额外的变量考虑进去，整个系统是确定和可预测的，符合严格因果关系的。这样的理论称为“隐变量理论”(Hidden Variable Theory)。

由上可知，为了理解量子力学是几率的，于是有人设想还存在所谓隐变量，即隐藏的我们暂时不知道的变量——隐变量，如果考虑了隐变量，将会得到一个决定性的量子力学（这也就意味着量子论可以被相对论所“纳入”的理论了）。问题是隐变量只是人们假设出来的，迄今为止并无人指出到底是什么变量应被纳入到量子力学的理论体系中，所以很难对隐变量的观点进行反驳或支持。直到1964年，贝尔(John S. Bell)提出了一个不等式（贝尔不等式—— $|\rho_{xz} - \rho_{zy}| \leq 1 + \rho_{xy}$ ；还有它的加强版，leggett不等式），如果隐变量理论成立则不等式成立，贝尔不等式是一个强有力的数学定理。该定理在定域性和实在性的双重假设下，因为要保持总体上的守恒，这两个自旋必定相反，不论在哪个方向上都是如此。换句话说，一个母粒子分裂成向相反方向飞开去的两个小粒子A和B，A和B——不论它们相隔多么遥远——看起来似乎总是如同约好了那样，当A是+的时候B必定是-，它们的合作率是100%！贝尔不等式对于两个分隔的粒子同时被测量时其结果的可能关联程度建立了一个严格的限制。在相对论三大理论原则下，理论预言不等式必然成立；而量子力学预言，在某些情形下，合作的

程度会超过贝尔的极限，也即，量子力学的常规观点要求在分离系统之间合作的程度超过任何“定域实在性”理论中的逻辑许可程度。简单地说，量子力学的预言可使不等式不成立，因此检验贝尔不等式被看作是检验（定域）隐变量理论是否成立的判据，贝尔不等式提供了用实验在量子不确定性和爱因斯坦的定域实在性之间做出判决的机会。

2 实验检验

2.1 Aspect（阿斯派克特）实验

EPR实验：一个母粒子分裂成向相反方向飞开去的两个小粒子A和B，它们理论上具有相反的自旋方向，但在没有观察之前，照量子派的讲法，它们的自旋是处在不确定的叠加态中的，而爱因斯坦则坚持，从分离的那一刻起，A和B的状态就都是确定了的。

阿斯派克特在1982年的实验(准确地说，一系列实验)是20世纪物理史上影响最为深远的实验之一，它的意义甚至可以和1886年的迈克尔逊-莫雷实验相提并论。它是一个类似EPR式的实验。随着技术的进步，特别是激光技术的进步，更为精确严密的实验有了可能。进入80年代，法国奥赛理论与应用光学研究所(Institut d'Optique Theorique et Appliquee, Orsay Cedex)里的一群科学家准备第一次在精确的意义上对EPR作出检验，领导这个小组的是阿莱恩·阿斯派克特(Alain Aspect)。

法国人用钙原子作为光子对的来源，他们把钙原子激发到一个很高的量子态，当它落回到未激发态时，就释放出能量，也就是一对对光子。实际使用的是一束钙原子，但是可以用激光来聚焦，使它们精确地激发，这样就产生了一个强信号源。阿斯派克特等人使两个光子飞出相隔约12米远，这样即使信号以光速在它们之间传播，也要花上40纳秒(ns)的时间。光子经过一道闸门进入一对偏振器，但这个闸门也可以改变方向，引导它们去向两个不同偏振方向的偏振器。如果两个偏振器的方向是相同的，那么要么两个光子都通过，要么都不通过，如果方向不同，那么理论上说(按照爱因斯坦的世

界观), 其相关性必须符合贝尔不等式。为了确保两个光子之间完全没有信息的交流, 科学家们急速地转换闸门的位置, 平均10ns就改变一次方向, 这比双方之间光速来往的时间都要短许多, 光子不可能知道对方是否通过了那里的偏振器。作为对比, 也考察两边都不放偏振器, 以及只有一边放置偏振器的情况, 以消除实验中的系统误差。

2.2 实验结果

实验结果和量子论的预言完全符合, 而相对爱因斯坦的预测却偏离了5个标准方差。在世界各地的实验室里, 相同或改进精度的实验都表明: 粒子们都顽强地保持着一种微妙而神奇(“超光速性”)的联系。困扰爱、波、罗三位论文作者的“鬼魅般的超距作用”(“spooky action at a distance”)在为数众多的可再现实验中一再地出现。

3 结果及其意义分析

一) 目前的实验表明量子力学正确, 决定论的定域的隐变数理论不成立。贝尔不等式这把双刃剑的确威力强大, 但它斩断的却不是量子论的光辉, 而是反过来击碎了爱因斯坦所执着信守的那个梦想! 爱因斯坦到过世前都没有接受量子力学是一个“真实”而完备的理论, 一直尝试着想要找到一种诠释可以与相对论相容, 且不会暗指“掷骰子的上帝”。

二) 如果相对论三大理论原则成立, 则决定论的定域的隐变数理论成立; 实验证明后者不成立, 因此, 有二个可能的解释, 即定域性不成立, 或隐变数理论不成立; 不管是那一个解释成立, 那么, 贝尔不等式就没有合理性了, 也就是说贝尔不等式没有判断标准上的意义了。从这种逻辑观点来看, 相对论者面临放弃定域性(和光速极限关联)或隐变数理论(和决定论有关联)的两难局面。

三) Aspect 的实验首先发现了违反贝尔不等式的实例。所以说明, 决定论, 定域性, 实在性, 要想三者兼得是不可能的。有人退而求其次, 承认信息传递的速度可能超过光速, 提出了非定域的实在

的隐变量理论。但是Zeilinger做了另一个实验, 实验结果证明, 至少有一部分这样的理论是不正确的。这个结果暗示了, 如果还想坚持决定论的隐变量理论, 可能要放弃实在论。

四) 由于相对论理论上把决定论, 定域性和实在性组成在一起, 以至Aspect实验对决定论, 定域性和实在性这三个相对论原则中的任意一个都没有被证伪。但比较有理由认为实验排除了定域实在的可能, 也可以说某种“超光速”是可能存在的。

五) 量子理论本身的不完善也可以从这个实验看出来, 尽管量子理论的不确定原理可以实验“过关”, 但量子论还是没有一种有说服力的理论来解释这种机制。因此, Aspect实验很有可能启发新的理论出现。

六) 逻辑上来看, 因为Aspect实验否定了量子理论中定域隐变因果论, 而“Lorentz变换”是以定域因果论的原则为基础的, “光速不变”原理是定域因果论的前提原则, 所以, 量子理论范畴上的相对论量子力学面临最大的挑战, 如果承认Aspect实验结果的正确性, 则实质上就否定了相对论量子力学的理论前提。

七) 因为物理理论历史的发展原因, 量子理论上已经融合了一些相对论的理论, 例如, 相对论量子力学就是这种产物, 有时量子论还要借助相对论来自圆其说, 这说明要否定相对论对认同量子论的人来讲, 也是不愿意的事情。相对论者和量子论者可能宁愿不管实验结果, 而采取对Aspect实验模糊态度——只是个选择问题: 放弃决定论, 可以选择量子力学; 坚持决定论而放弃隐变量, 还可以在定域性和实在性之间挑一个。

4 结束语

不管怎样, Aspect实验否定了定域隐变因果论, 相对论的基本理论原则——决定论, 定域性和实在性——受到了严重挑战! 而相对论量子力学却面临着是被实验证明是错误的很大可能性!

参考文献

- 1 《量子史话》(B.霍夫曼).
- 2 爱波罗悖论原始论文: 用量子力学来描述物理真实可以视作完备吗? *Phys.Rev.*47 777(1935) 麻省理工学院开放式课程.
- 3 中国大百科智慧藏: EPR悖论.
- 4 黄志伟. 爱因斯坦与《物理评论》的恩怨.
- 5 Experimental Test of Bell' s Inequalities Using Time- Varying Analyzers.
- 6 John Bell and the most profound discovery of science.
- 7 <http://focus.aps.org/story/v16/st10>. What' s Wrong with Quantum Mechanics?