量子力学中的同一性与个体性1 阅读笔记

翻译自斯坦福哲学百科（The Stanford Encyclopedia of Philosophy）条目Identity and Individuality in Quantum Theory（2019版）Identity and Individuality in Quantum Theory前4节

（目录：

1. Introduction

2. Quantum Non-Individuality

3. Quantum Individuality

4. Quantum Physics and the Identity of Indiscernibles

5. Non-individuality and self-identity

6. Metaphysical Underdetermination

Bibliography, Academic Tools, Other Internet Resources, Related Entries）

物体（object）被看作具有明确同一性（identity）条件的个体（individual）。根据对量子革命发生的阐述的“公认观点”，量子理论意味着物理学的基本粒子不能被看作是这种意义上的个体对象。这种观点促使人们开发适合于表示非个体对象的非标准形式系统。然而，也有人认为，量子力学实际上与个体物体的形而上学是兼容的，但这种物体在某种意义上是不可区分的，这导致了对莱布尼茨著名的“不可区分物的同一性原理”（Principle of the Identity of Indiscernibles）的违反。

对于物体，有两种观点，一种称为“束”（‘bundle’）理论，物体只不过是一些性质（properties）。因此，绝不可能有两个个体，但它们拥有绝对不可区分的属性。这就是“不可区分物的同一性原理”。

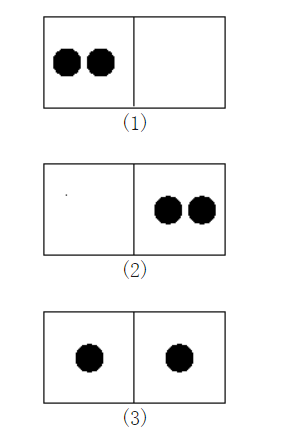
对于此观点的一个批判是，我们当然能想象两个绝对不可区分的物体，例如经由未来可能有的克隆机复制出来的人和他的“原型”。而一种可能的回应是，这两个物体并不具有相同的属性，因为ta们并不在同一个时间占据同一个地点。那么，这种处理个体性问题的方法必须假设个体物体的不可入性（impenetrable）。

另一种批判是，“束”观点混淆了我们如何辨别两个物体这一认识论问题和个体性的形而上学基础——一个本体论问题。

这引向了洛克所由始的被称为“基底”（substance）理论的另一种观点。R. Adams在1979年的文章“Primitive Thisness and Primitive Identity”, Journal of Philosophy, 76: 5–26. 里认为一个物体的个体性是由它的“即此性”（haecceity）或“原初的这个性”（primitive thisness）所表达。所谓原初，即不不可能再继续分析下去了。它也被表达为一个关系属性，“a=a”。

无论是在经典力学还是在量子力学中，同一类（如电子）的两个粒子都具有相同的内禀属性（如自旋、电荷、质量等），在这个意义上它们是不可区分的。

作为一个例子，我们考虑两个不可区分的粒子在两个盒子里的分布情况。



（图片来源自<https://plato.stanford.edu/entries/qt-idind/>）

在经典力学中，有4种情况，图中的(3)对应两种。这是著名的麦克斯韦-波尔茨曼统计学的一个例子，热力学在二十世纪初被简化为这种统计学。而在量子力学中，则要么只有3种情况（两个粒子都在第一个盒子里；两个粒子都在第二个盒子里；每个盒子里各有一个粒子），如果这两个粒子是玻色子；要么只有一种情况（个盒子里各有一个粒子），如果这两个粒子是费米子（因为泡利不相容原理）。这里的要点是，对两个粒子位置的交换（permutation）并不会被视作带来了一个新的排列组合（assignment）。

玻尔兹曼在他的“Lectures on Mechanics”的第一条公理用不可入性表述认为，粒子的置换被认为是经典统计力学中的不同排列，这意味着，尽管它们是不可区分的，但这些粒子可以被视为个体。Post, H., 1963, “Individuality and Physics”, The Listener, 70: 534–537; reprinted in Vedanta for East and West, 32: 14–22. 用“先验个体性”（‘Transcendental Individuality’）表述了这一点；而Lewis, D., 1986, On the Plurality of Worlds, Oxford: Blackwell. 和Huggett, N. , 1999a, “Atomic Metaphysics”, The Journal of Philosophy, 96: 5–24. 则用可能世界的术语进行表述。

而反过来，如果两个粒子置换在量子力学中不被认为是不同的排列，那么量子物体就不能在这种意义上被认作是个体。（Post 1963）

Weyl在他的Weyl, H., 1931, The Theory of Groups and Quantum Mechanics, London: Methuen and Co., English trans., 2nd edition.指出了这一点。

然而，除了粒子本体论之外，还有另外一种本体论，即场论本体论。在这种本体论下，场或者时空点被视作最基本的实体。而粒子则被视作场在某些时空位置上的激发。（Redhead, M., 1983, “Quantum Field Theory for Philosophers”, in Asquith, P.D. and Nickles, T. (eds), Proceedings of the 1982 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association (PSA 1982, Volume 2), East Lansing: Philosophy of Science Association (1983): 57–99.）

上面的粒子图景对应于物理学家的多维度的 “相空间”（phase space），它描述了哪些个体具有哪些属性，而场论的表述则对应于 “分布空间”（distribution space），它简单地描述了哪些属性在哪些数量上得到了体现。Huggett指出，前者支持基底观点而后者不支持，此外，经验证据没有为在这两个空间之间做出选择提供依据（Huggett 1999a）。因此，关于经典统计力学与基底观点相联系的说法也变得可疑。

其次，可以从一个完全不同的角度来考虑上述关于排列组合的论证。在经典的情况下，每个盒子里各有一个粒子的情况在计算可能的排列时被赋予‘2’的权重。在量子统计的情况下，这种情况的权重是‘1’。正如我们所指出的，在这种权重下，有两种可能的统计：玻色-爱因斯坦，对应于粒子组装的对称状态函数；费米-狄拉克，对应于反对称的状态函数。可以证明对称状态函数将始终保持对称，而反对称则始终保持反对称。因此，如果初始条件是系统的状态要么是对称的，要么是反对称的，那么这两种可能性中只有一种--玻色-爱因斯坦或费米-狄拉克--对系统来说是可用的，这就解释了为什么分配给 "每个状态中的一个粒子 "的权重是经典值的一半。这给我们提供了另一种理解经典统计和量子统计之间差异的方法，不是从物体缺乏个体性的角度，而是从它们可以进入哪些状态的角度（French 1989）。换句话说，量子统计中不同的“计数”的含义可以理解为，与经典的情况相比，不是物体在某种意义上是非个体的，而是有不同的状态集可供它们使用。在这种观点下，物体仍然可以被看作是个体，问题在于如何兑现这种个体性。

排除了自我同一性后，我们可以区分出3种不可区分物的同一性原理：1. 两个人不可能拥有所有共同的属性和关系；2.继续排除时空属性；3.只考虑一元的非关系属性。显然，2和3都被经典物理违反了。而对于1在量子力学中的情况（然而，量子对象在更强的意义上是不可区分的，因为它不仅仅是两个或多个电子拥有相同的内在属性，而且--根据标准的理解--原则上没有任何测量可以确定哪一个是哪一个。如果非内在的、与状态有关的属性就是所有的一元属性和关系属性，这些属性可以用与可以为物体定义的自伴算子相关的物理量级来表达，那么可以证明，两个玻色子或两个费米子在联合对称或反对称状态下分别具有相同的一元属性和相同的关系属性(French and Redhead 1988; see also Butterfield 1993)），有不同的意见（Cortes 1976; Teller 1983; French and Redhead 1988认为1在量子力学中被违反了；而van Fraassen 1985 and 1991, Massimi 2001; see also Mittelstaedt and Castellani 2000持不同的看法）。……