

伽耳顿板实验的演示与新解释

黄沛天

(江西师范大学物理系 南昌 330027)

如何揭开混沌现象神秘的面纱,让中学物理教师、大学生乃至高中学生也能对它有个适当而又较准确的了解,是基础物理教学内容现代化进程中所必须面对的一个实际问题。

混沌之父洛伦兹在其《混沌的本质》一书中,除了介绍沿雪坡滑行、树叶的飘落和飘扬的旗帜等一些生动的例子之外,还用一种弹球游戏器(20世纪50年代在国内街头市面也曾流行过此类游戏器)中弹球的行为来图解混沌。如图1所示,带锯齿的曲线代表两个以几乎相同速度出发的弹球的球心轨迹。球径可由槽针和球路急转点的距离来判断。图1展示了两个弹

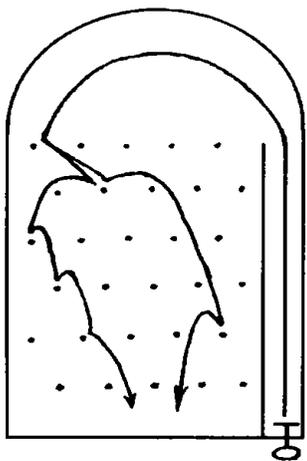


图1 弹球器(黑圆点为槽针)

球先后与第一个槽针相碰时的状态微小差别在经历了与其他槽针的多次碰撞之后演变为大相径庭的情况。尽管单个弹球在弹球器内的行为是由动力学规律决定的,但它们最后落至底部的哪个位置却呈现出某种随机性。人们称它为假随机性,也就是混沌图像。

受弹球游戏器的启发,我们可以联想到伽耳顿板(如图2所示)。在一块竖直木板的上部规则地钉上许多铁钉,木板的下部用竖直的隔板隔成许多等宽的狭槽。从板顶漏斗形的入口处可以投入小球。板前覆盖玻璃,以使小球留在狭槽内。如果从入口处投入一个小球,则小球在下落过程中先后与许多铁钉发生碰撞,最后落入

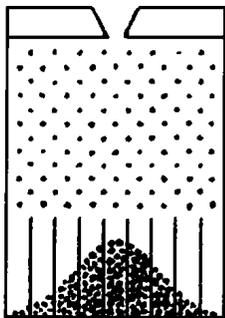


图2 伽耳顿板

某一狭槽,但落入哪个狭槽却是随机的。

按照惯例,伽耳顿板实验通常被用来演示和说明当大量的小球从漏口投入板盒内时,小球按狭槽分布的情况遵循某种统计规律性:在中央的槽内小球分布得最多,在离中央越远的槽内小球越少。然而,伽耳顿板实验的内涵远不止这些。如果把伽耳顿板盒内单个小球的行为与弹球器内弹球的行为相对照,就会发觉:其行为方式完全一样。由此可见,伽耳顿板盒内单个小球的行为就是混沌现象。

假随机性(或混沌)通常又被称做非线性动力学系统的行为对初始条件依赖的敏感性。比如两个落入伽耳顿板盒内的小球,其大相径庭的行为正是对漏口处初始条件依赖的敏感性的体现。而这些稍微不同且又引起敏感性的初始条件,其“些微差别”就在于:小球是正对着漏口中心掉入呢?还是稍微偏左或稍微偏右?这就表明:“初始条件”本身也呈现出一种由瞄准偏差导致的随机性,而这种随机性才是真随机性。

为什么说前者(小球在板盒内的行为)是混沌(或假随机性),而后者(小球在漏口处的行为)是真随机性呢?这是因为板盒内小球每次与铁钉的碰撞行为都依次与决定论相关,而每个被投小球在漏口处“或正或偏”的行为都是人为的(互不影响的)。

为了帮助读者顺利识别混沌与真随机性,这里谨引朱照宣先生的一段具有判据意义的陈述(见《力学与实践》杂志1985年第4期“什么是混沌”一文):“如果说混沌和随机性有什么差别,那么只是混沌解在短期内可预测而在长期内则不可预测,而真正随机过程即使在短期也不可预测。”或者说,混沌须有滋长过程,而真随机性则是立即呈现。

只有把握了真假随机性的主要特点(即是否具有一定的滋长过程),才能较为准确地了解和认识混沌。但愿伽耳顿板这个简易的小实验能帮助你顺利地实现这一目标。

原理》一书描述量子理论中的有关观点时曾指出,假如没有相互作用,也就不会有粒子质量和粒子本身)。以上诸多问题,应该引起社会科学工作者的重

视;同时,也应该进一步引起我们自然科学工作者重视,因为修正“真理”、改变“常识”,在很多情况下首先应该是我们的责任。