

物理学中的虚拟实验

程民治

按照科学实验中所使用的方法和涉及的对象来看,我们可以把物理实验划分为实际实验(real experiment)与虚拟实验(Virtual experiment)两大类。前者在实验中所采用的实验工具、实验对象都是以实物形态出现的,比如著名的 α 粒子散射实验中所牵涉到的 α 粒子放射源、金属箔、荧光屏、显微镜、 α 粒子的大角散现象等。而在虚拟实验中,没有一个有形的实验室,也没有以实物形态存在的实验工具与实验对象,整个实验过程主要是对虚拟物的操作。如光波机制的确定所采用的思想实验。

一、极富形象化的思想实验

所谓思想实验(Thought experiment),是以科学实验为基础,以逻辑推理为根据,在思想中塑造的虚拟实验,它是揭示客观过程或现象的本质联系和规律的一种科学认识方法。马赫曾指出:“思想实验应是极其密切地接近现实的,使用的概念应是事实的真实的摹本”。并称赞思想实验是人类“智力水平更高的实验”,是“科学研究最重要的途径”。

思想实验的重要性,可以从伽利略设计的两个思想实验得到说明。其中一个批驳重物比轻物先着地的实验;另一个是发现惯性定律的虚拟实验。正是这两个思想实验,一举推翻了延续1000多年的亚里斯多德从生活经验中总结出来的两个错误论断,为物理学的发展扫除了障碍。特别是后一个思想实验,被爱因斯坦称为物理学的真正开端。

与此同时,另一些思想实验还引导了物理学革命。如牛顿通过设想在山顶上做一系列的抛射运动构建了万有引力体系;麦克斯韦运用思想实验完成了他的电磁场理论;而爱因斯坦则利用“思想火车”与“思想升降机”两个实验创

立了彪炳史册的狭义相对论和广义相对论;在量子力学中,测不准关系的提出,同样也采用了思想实验。

由于思想实验具有一些实际实验所不具备的优势,因此在物理学中被得到了广泛的应用。它们是:其一,做思想实验可以不受地点和时间的制约,这样实验者就可以不受物质条件的限制,随时随地进行实验操作,有利于捕捉和把握实验灵感;其二,在思想实验中,实验者仅仅是在自己的观念上进行操作,显然要比对物理实体的操作简单便捷得多。这样我们对实验手段、实验对象和实验条件可以随意地摆布,如绝对光滑的斜面、以光速运行的火车等;其三,做思想实验可以说不必承担任何代价,这对用思想实验可以达到同样目的科学工作者来说,无疑是既可节约大笔经费,又省人力、物力的大好事。

那么,在哪些情况下需要设计思想实验呢?笔者认为,可从下列几个方面加以考虑:

第一,反驳一种不真实的理论时,设计思想实验。如上文提及的伽利略否定亚里斯多德的两个力学论断的思想实验。

第二,为了揭示一种理论的局限性而设计思想实验。如爱因斯坦揭示经典力学速度相加定理不适用于光速的思想实验。

第三,为了阐明一种科学理论,可以设计思想实验。如爱因斯坦阐明同时性的相对性和阐明引力质量和惯性质量等效的思想实验。

第四,在科学理论的争论中,也可用思想实验。如爱因斯坦和玻尔在测不准理论上的争论,前者设计了“爱因斯坦盒”来否定测不准关系,后者也用了此盒给前者有力的回敬,巩固了这个关系。

从表面上来看,思想实验完全是在人脑中进行的实验,似乎是在思维中对一系列概念所进行的逻辑推理,好像是在一些已经到手的经

验材料中兜圈子,不可能从已知中推导出未知。但实际上这些概念决非是简单的抽象物,它们同时包含着丰富的内涵。伽利略在发现惯性原理的思想实验中所思考的从斜面上滚下的小球,绝不仅仅是个概念符号,他所设想的是一个有质量、有体积的球形物体,这与放在伽利略眼前的小球并没有什么两样。在思想实验中,实验过程是一个形象直观的感性过程,只有在对实验过程与结果进行理性分析时,才采用逻辑推理。思想实验所必须满足的似真性条件本身就已经超越了逻辑思维的范畴,从而使思想实验更接近于实际实验而具有了实践的本质。正是在这个意义上,我们将思想实验看做是一种科学实验,而不仅仅是一种逻辑推理的思维过程。

正因为思想实验本身固有的实践的本性,只要技术条件达到相应的水平,其中不少思想实验就完全可以物化为实际实验。如量子几率波的单电子衍射,原来只是一个思想实验,1949年在前苏联物理学家法布里康教授等完成的一个实际实验中,终于观察到了单电子的衍射。

所以,思想实验决非是毫无根据的自由想象物。构思一个思想实验必须依靠人们所熟知的并被普遍接受的经验数据,实验中使用概念的方式必须与它们以前被使用时相同。只有满足这些要求,才能利用思想实验向物理同行提供正常操作后所产生的意想不到的结果。

由此可见,为了掌握思想实验的设计,要加强科学思维的训练。这就要学习有关思想实验设计的发展史,研究形式逻辑,数理逻辑和辩证逻辑。既要精通物理专业知识,又要精通哲学,对世界上各种流派的哲学都要加以研究,以吸取更多的营养丰富科学思维。

二、高度抽象化的计算机仿真

1946年世界上第一台电子计算机的问世,使思想实验走出人脑而步入一个新的阶段——计算机实验阶段。

所谓计算机仿真,指的是利用电子计算机对实验对象的数学模型进行模拟实验,以求得对实物原型系统规律性认识的一种实验方法。

如目前一些核反应堆设计、核爆炸、大型风洞试验等,都是通过计算机仿真来实现的。

计算机实验与思想实验是一脉相承的,它也是虚拟实验中的一种。首先从实验对象上来看,两者面对的都是虚拟的实验模型,所不同的前者是一个仿真模型,后者是一个思维模型,它们都不是实物,都是依靠储存在记忆元中的信息来获得自身规定性的虚拟物。其次从实验条件来看,两者都依赖于一种能进行存储、计算、推理的实验“设备”——人脑和计算机,在这里计算机显然是人脑这个思维器官的延伸物,是对人脑功能的部分模拟。再次从实验过程来看,计算机实验与思想实验一样,都不涉及实际的物理过程,两者进行的实验过程都是计算与逻辑判断。当然,它们之间也存在着重大区别:一则计算机实验不具备自主性,计算机不可能成为实践主体与认识主体,它只能是对人脑功能的模拟与补充,无法真正代替人脑,因此计算机实验只能是思想实验的延伸与完善。二则由于电子计算机在记忆能力与运算速度上是遥遥领先地位,使计算机实验能够处理物理学中一些复杂系统和非线性系统的实验,这是人脑所无法比拟的,也正是思想实验发展到计算机实验的原因。三则思想实验形象直观、富有表现力,而计算机仿真由于选用的实验对象是高度抽象的数值关系,这样就失去了形象性与直观性,增加了理解实验过程与实验结果的难度。四则与思想实验相比,计算机仿真实验太注重逻辑性和确定性,忽视了人的因素,这样也就使它的应用范围受到了一定的限制。

一般而言,计算机仿真实验的操作步骤应该是:(1)分析实际模型。这个模型不应是一个抽象的概念,而是包含着特定质与量的规定性的对象物。(2)建立数学模型。从实际模型中抽取数量与逻辑关系,用一系列数学方程和逻辑表达式来描述实际模型的相互作用与变化过程。(3)建立仿真模型。将数学模型中的数学关系式和逻辑结构用计算机语言表述出来,并进行相应的调试。(4)进行仿真实验。根据不同的实验条件对仿真模型设置不同的初始条

件,计算机则根据这些条件进行大量数值计算与逻辑判断,并输出结果。(5)实验分析。一次计算机仿真实验往往可以得到一系列的结果,对应于不同的初始条件,实验者还必须对这些结果进行系统分析,从中找到一定的规律或所期望的最佳条件。

在现代物理学实验中,诸如核爆炸这样大型的核试验之复杂性远非人脑所能胜任。人们往往选择计算机仿真实验。电子计算机正是凭借它强大的计算能力,使物理学中的虚拟实验从定性研究转向定量研究。

三、直观而逼真的虚拟现实

虚拟现实是虚拟实验发展的一个新阶段。所谓虚拟现实技术,简单地说,是指一种通过电脑运行经多媒体展示的立体信息传播技术。它以高性能计算机为内核和驱动,结合传感器、光学仪器并利用人们的认知心理等组合创建出虚拟环境系统,人可以沉浸于其中,并与之交互作用。

虚拟现实具有这样几个特征:一是仿真性,它所提供的环境是对现实物体的模拟,就像是真的一样,其迷惑度完全达到了以假乱真的程度。二是交互性,虚拟环境是一个开放的体系,虚拟环境中的物体与人是互相作用的,可以进行人机对话,因此是一个人机耦合的共振环境。三是人工性,虚拟现实中的各种场景、人物都不是真实的,它是虚拟的是人造的,但它给人的感觉如同现实一样真实,甚至比现实还逼真。四是沉浸性,计算机生成的图象再加之真实的图象上,也是虚拟现象的一种形式,使用者在使用沉浸系统时,他们正处于系统设计者创造的世界中。

虚拟现实作为虚拟实验发展的一个新阶段,它与狭义的思想实验以及计算机仿真实验相比有着自己的特色。首先,传统的思想实验是人们在头脑中塑造的理想化过程,通过完全简化和纯化的境界,来达到揭露事物的本质及其真实过程之目的。而虚拟实验技术追求的是要创建一种虚拟的“真实性”,因此虚拟现实技术的应用使虚拟实验不再是一个理想化的过

程。例如,展示水分子撞击小颗粒的模拟动画,能够真实地显现出小颗粒受力的不平衡性。颗粒大小与布朗运动激烈程度的关系,以及液体的温度高低与布朗运动激烈程度的关系。如果没有虚拟现实技术,而要进行这样仿真性的虚拟实验是不可能的。

其次,思想实验虽然具有直观性,其中保留了诸如小球、火车、升降机等一些实体的形象。但实验的结果只能依靠人脑中形象化的运动画面来反映。而在计算机仿真实验中实体的形象被舍弃了,取而代之的是反映物体形态及运动形式的数量关系,如长、宽、高、体积、密度、温度、速度及加速度,等等。实验所得的结果一般也是一系列的数据。这样计算机仿真实验就缺乏了直观性。面对大量的数据不仅使一般人无所适从,即使是该领域的物理学家也很难对它作出形象化的描述。尤其是实验涉及多变量非线性物理问题时就更难以把握实验过程的本质了。而虚拟现实技术则可将前两者结合起来,用逼真的画面反映实验对象及过程,用强大的运算能力分析实验过程中的数量关系,最后用直观形象的方式将运算结果表现出来。比如通过多媒体计算机,采用图形、声音、动画、文字说明等多媒体形式,可将发生在微观物理学中的一些现象,诸如 α 粒子的大角散射、原子核的衰变、链式反应等进行仿真性模拟,使它们变得栩栩如生、一目了然。

第三,虚拟现实技术引进了传统的思想实验与计算机仿真实验所不具备的交互性,使得整个实验过程与真实的实验一样逼真,甚至比真实的实验还要方便。在物理教学中,采用多媒体分析和研究一些探索性的演示实验,具有至关重要的作用。

毋庸置疑,从科学认识的角度来看,一个思想模型、计算机仿真模型和虚拟现实模型,其实质是一样的,它们都是为科学认识提供了一个极其重要的途径。如果从实验过程来看,这3种虚拟实验也是一致的,都是对虚拟对象的操作,它们最终还要回到现实,接受实践的最终检验,以确保各自的科学性和规范性。