

图像和模型——物理学的工具和对象

崔琰^{1,†} 陈征² 郑永和³ 张玉峰⁴

(1 北京市海淀区教师进修学校 北京 100195)

(2 北京交通大学理学院 北京 100044)

(3 北京师范大学教育科学研究院 北京 100875)

(4 北京教育科学研究院 北京 100036)

2021-03-25收到

† email: cuiyan@buaa.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20210410

物理学要描述客观世界，首先就要建立一个相应的模型。这个模型可以“正确”或者“不正确”，或者说“好”与“不好”，但是如果没有模型，一切便无从谈起。物理图像和物理模型是物理学重要的工具和对象，正确认识物理模型，能合理地构建和选择合适的物理模型，是学习和研究物理的关键。

1 物理模型和物理图像

如本系列前几篇文章中所讨论的，物理学希望简洁、完备、准确地“描绘”大自然，而大自然如此纷繁复杂，所以物理学家通常采用先“化繁为简”再“由简入繁”的方式来进行。

如果把现实的对象叫做“原型”，而与原型相似的替代物叫做“模型”，那么物理学在研究过程中，面对自然界复杂的研究对象，由于受到时间、空间、人的感官以及因果关系不详等条件的限制，通常是以模型代替原型从而加以研究的。具体说来就是从我们关注的角度出发，忽略掉自然界中的各种事物的次要因素，只留下我们关注的最重要的少量关键因素的一种简化的东西，建立所谓“物理模型”^[1]。

美籍奥地利物理学家韦斯科夫曾经讲过这样一个故事：“模型就是奥地利的火车时刻表，奥地利的火车经常晚点，有人问列车员‘你们干嘛还要时刻表呢？’列车员回答道‘有了时刻表才知道火车的晚点啊。’”仔细体会其中的含义，物理模型是对自然现象或客观事物的一种“近似”，这种近似可能和列车时刻表一样，虽然总是和自然界中真

实的事物稍有出入，但大体上能够反映出该事物的“精髓”，让我们对事物的理解和描绘“虽不中却不远矣”^[2]。

看起来物理模型很像我们研究大自然时借助的一种“工具”，不过也有观点认为：由于人类有限的感知方式和认知能力，事实上我们只能认识“我们能够认识的那部分大自然”，于是我们依据自己的认知方式从自然中建立起的模型，就不仅仅是“工具”，而是物理学真正的“对象”了。

同时，人类认知自然的基本途径是自己的感知，人类的物理学当然也处处留下感官经验的影子^[3]。比如提到“波”的概念，你可能马上就想到一颗石子掉入水中激发的粼粼水波，或者会想到绳子抖动蛇状向前的图像；提起“热”的概念，你脑海中则可能浮现起一股水流一般的“能量流”或是无数正在剧烈无规则运动的小球；提起“电”的时候，你脑海里同样有可能闪现的是滚滚而来的“电流”或是飞奔向前的“电子”。这些连绵不断的流体、如实心

小球般的粒子、脉动前行的波浪，它们的样子和行为模式，就构成了所谓“物理图像”。

虽然一部分物理学家有足够好的抽象思维能力，能够用一组方程构建起需要的“物理模型”，但对大多数人而言，一个具象的图像能够更好地帮助我们理解物理模型和表达它的数学语言之间的关系，“物理图像”是“物理模型”在脑海里更好的载体。

2 物理模型的构建

物理模型的构建方法主要有两种：(1)抽象法，舍弃原型中非本质的、次要的、与研究宗旨无关的因素，而只保留原型中本质的、主要的、与研究宗旨密切相关的因素；(2)科学想象法，把通过抽象后获得的各因素按一定的逻辑进行组合以形成模型。

模型以更加简明的形式反映原型，它具有清晰的表达性、简洁的

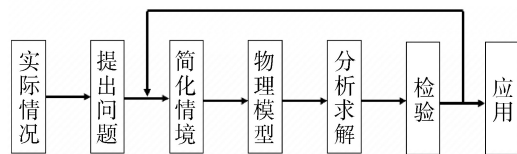


图1 模型建构的一般程序



图2 抽象模型(左1—4)与自然对象(右1)

表1 雨中行走问题各种因素

雨	竖直下落,雨速记为 v ,单位时间降水强度为常数,记为 ρ
风	平静无风
行进路程	单向直线运动,记为 x
前进速度	人以恒定速度跑(走)完全程,记为 v_0

可理解性。但是,由于模型与原型的关系是建立在相似理论而不是完全等价的基础上,物理模型不免具有一定的局限性:首先,脱离了理想化条件,物理模型便无从谈起,即所有模型都有其适用条件;其次,物理模型是对实际物体的一种近似,实际条件与理想化条件的差距越大,基于理想化模型讨论出的结论与实际情况的差距也就越大。

模型建构的一般程序可以由图1表示。建模之前要竭尽全力地考虑到尽可能多的影响因素,然后在此基础上做理想化处理;建模的关键是正确评估理想化处理的合理性,了解物理模型本身隐含的假设条件,从而能够根据需求,结合实际情况,合理地选择物理模型,并通过模型与实验数据的关系,不断地修正和完善。

3 物理模型的层次

物理模型对客观事物的近似程度一方面取决于人类的认识程度,如原子模型从早期的“刚性小球”模型,到“葡萄干布丁模型”、“卢瑟福模型”、“玻尔模型”,直到今天在“标准粒子模型”下构建的原子

模型,随着人类对其认识的深入而不断优化和演进;另一方面则取决于所要解决的问题需要的精确程度和我们能为其投入的时间和资源等,如图2左边四幅图均反映了右一图的“精髓”——一只猫,但近似的程度大有不同,要视具体情况具体选择。

例如在研究力学问题时,最简单的情况当然是忽略位置、质量和受力这三个关键因素以外的所有其他次要因素,把对象看做一个有质量有位置但没体积的点,所有质量集中在这一点,就形成了最简单的力学模型——质点。有了“质点”模型,我们就可以从几何的角度描述和研究物体位置随时间的变化规律,研究其运动状态变化和相互作用之间的关系等,进而建立起质点运动学和质点动力学。

当情况稍微复杂一点,如研究两个台球碰撞问题时,把它们看成一个质点显然不妥,那么我们就把两者各自看成一个质点,组成两个质点构成的最简单的“质点系”模型。推而广之,如海里的鱼群、爆炸的炮弹等,可以看做更多质点构成的“质点系”,其性质和行为可由

其内质点各自的性质和两两之间的相互作用推演得到。

在研究飞机在空中的飞行姿态、地球的自转等问题时,物体的体积和形状是不能忽略的问题,但因为自身的形状变化又很小,如潮汐对地球外观形状的影响相对于地球本身的尺度就非常小,可以忽略,于是我们可以构建一个由连续质点组成,且所有质点之间相对位置都不发生变化的特殊质点系,这就是“刚体”模型。进一步,如果物体的形状变化等其他因素也必须考虑,那么还可以进一步增加条件建立弹性固体、粘性流体、连续介质等模型。

4 选择“费效比”最佳的物理模型

物理学的研究过程是一个“化繁为简”再“由简入繁”的过程,那么化到多简,入到多繁是合适的呢?我们来看一个实际的例子:美国探索频道的《流言终结者》节目和中央电视台的《加油向未来》节目中都探究过“下雨时,走路和跑步谁淋雨多?”这个问题。我们如表1所示设定无风且雨量恒定。

最简单的情况当然是忽略人的形状看成一个质点,看成质点或是一条一维线的人没有淋雨量可言,化简过头了。让我们稍微“入繁”来接近一点现实,把人看成一个垂直于前进方向的薄片(面积为 S),

此时不难计算淋雨总质量为 $m = \rho Sx$, 也就是说无风且不考虑人体积的情况下, 淋雨量与前进速度 v_0 无关, 无论跑还是走, 淋雨一样多。可实验结果并不是一样多, 而是走路淋雨更多一些。看来考虑成一个二维的薄片还是化简过头了, 需要进一步“入繁”。我们把人体考虑成一个立方体, 前进方向的面积为 S_1 , 头顶的面积为 S_2 , 可以得到淋雨总质量为 $m = \rho S_1 x + \rho S_2 \frac{v}{v_0}$ 。这个模型的计算结果表明, 淋雨量有一部分取决于降雨速度与行走速度之比, 即无风情况下, 考虑人的体积, 前进速度 v_0 越快, 淋雨越少,

与实验结果定性上一致。到这里, 我们终于获得了一个基本正确的模型, 如果精度要求不高, 这个模型就可以用, 如果精度要求更高, 再进一步让迎雨面和顶面的面积更接近人在这两个方向上的投影面积就好了。

通过这个例子, 我们可以大致看出选择模型的基本过程, 从最简单的模型开始, 一点点“入繁”来接近现实, 达到定性正确即是基本合格的模型, 在此基础上, 根据时间、算力、资源等成本因素和需要的精度寻找费效比最高的那个模型。

5 总结

物理学要描述客观世界, 那么首先就要建立一个相应的模型。这个模型可以“正确”或者“不正确”, 或者说“好”与“不好”, 但是如果没有任何模型, 一切便无从谈起。正是在一个个模型的构建和完善中, 物理学实现了发展和成熟。

参考文献

- [1] 赵凯华. 物理, 1999, 28(6): 375
- [2] 皮埃尔·迪昂. 物理学理论的目的与结构. 北京: 商务印书馆, 2005. 39
- [3] 朝永振一郎. 物理是什么. 北京: 人民邮电出版社, 2017. 4

业界领先的量子计算模拟器+云平台

Huawei Quantum Computing





助力量子前沿技术开发


 量子电路模拟
HiQ Circuit


 量子化学模拟
HiQ Fermion


 量子脉冲模拟
HiQ Pulse



更多模块将会
持续上线和开源发布

构建万物互联的智能世界



华为HiQ官网
<https://hiq.huaweicloud.com>