

中学物理教学要重视物理学发展中的“猜想与假设”^{*}

魏 华

(北京市第四中学 北京 100034)

郑 鹂

(首都师范大学物理系 北京 100048)

(收稿日期:2018-09-09)

摘要:“猜想与假设”是物理学理论的前提和基础,而实验是事实与预言之间的比较,实验的功能是“证伪”,实验是物理学理论体系的起源和暂时的结局.在中学物理教学中,要重视科学发展中的猜想与假设,这本身也是科学精神的体现,对科学本质的认同,能促使物理学科核心素养的落实.

关键词:猜想与假设 实验 物理学理论 物理学科核心素养

1 问题的提出

在中学物理教学中,存在一些值得商榷的做法:比如,物理学理论绝对真理化——中学物理教学中,将书本上的物理知识当成“真理”来介绍,不容质疑;过于重视做题,往积极方面说,重视知识的应用,但由此而忽视了“知识是怎么来的”的介绍和研究;再比如,重视和强调实验在物理学发展中的作用,却忽视了科学家的思维在物理学发展过程中的作用,给学生造成了“物理学理论都是来自于实验”的片面认识等等.

造成上述现象的原因是什么呢?

2 中学物理教学忽视了物理学理论建立过程中的“猜想与假设”的作用

我们认为,造成上述现象的原因之一是:中学物理教学过程中,忽视了物理学理论建立过程中,科学家的研究方法、科学思维的呈现和研究——通俗地说,就是忽视了“科学家是怎么思考的”,而其中最关键的、被大家忽视的就是科学家们在建立物理学理论过程中进行的“猜想与假设”.

爱因斯坦曾给予基于猜想与假设演绎的理论结构以十分简明的描绘:其构成有三要素,即公理体系、导出命题、直接经验(感觉)的各种体现;由公理体系通过逻辑演绎或数学推导可以导出一系列经验

命题和经验定律,并交付实验检验;从直接经验到公理体系没有逻辑的通道,只能依靠直觉的领悟.这里的直觉的领悟指的就是“猜想与假设”.

在《物理学理论的目的与结构》一书中,法国科学家皮埃尔·迪昂界定了物理学理论建立过程中的4个基本操作:物理量的定义和测量、假设的选择、理论的数学展开、理论与实验的比较,如图1所示.在现在一线教学中,对于“物理量的定义和测量”、“理论的数学展开”越来越重视;对于“理论与实验的比较”,更多地被理解为“实验是物理的基础”,显然这与迪昂的认识是不同的;而“假设的选择”在物理学理论中的作用基本被我们的教学忽视,甚至被曲解.这是值得研究的.这里的“假设”,可以理解为“猜想与假设”,即基于一定的事实、经验、实验,做出的科学的猜想和严密逻辑推理的假设,包括假说.

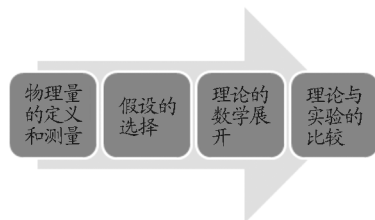


图1 物理学理论的4个基本操作

3 举例说明物理学发展中的“猜想与假设”的作用

“猜想与假设”在物理学理论建立过程中起着

^{*} 北京市中小学名师发展工程首都师范大学基地研究成果

作者简介:魏华(1978-),男,特级教师,主要从事中学物理教学及研究.

至关重要的作用。

观点 1:基于有限的实验,得出理论,必然有猜想与假设的成分

实例:伽利略对自由落体运动的研究。

在人教版教材第二章第6节中,介绍了伽利略对自由落体运动的研究。其中提到:伽利略设想,斜面的倾角越接近 90° ,小球沿斜面滚下的运动越接近于自由落体运动,如图2所示。

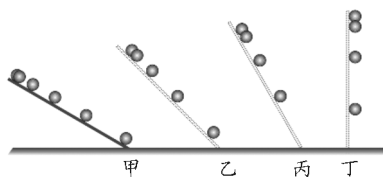


图2 伽利略设想,斜面的倾角越接近 90° ,小球沿斜面滚下的运动越接近于自由落体运动

而实际上,从史料来看,伽利略的斜面倾角连 5° 都没有超过,基于如此有限的的数据,他就“大胆”地将结论推广到 90° ,我们在赞赏大师的勇气和胆识的同时,不禁要问,他的勇气来自于哪里?

他的勇气来自于“足以说明问题的实验事实”:伽利略做了上百次实验,结果表明,小球沿斜面滚下的运动的确是匀加速直线运动,换用不同质量的小球,从不同高度开始滚动,只要斜面的倾角一定,小球的加速度都是相同的。不断增大斜面的倾角,重复上述实验,得知小球的加速度随斜面倾角的增大而变大。

他的勇气来自于“这些实验及实验事实”都是伽利略基于“物体下落速度随时间均匀改变的”这一基本“猜想与假设”而设计的、可证伪的实验。

评:在课堂上,不仅需要介绍自由落体规律,更要介绍伽利略等科学家们对落体运动的研究,体会他们在实验条件、理论知识、数学工具有限时,如何通过猜想与假设,得出物理的规律,这些甚至比知识本身更有价值。

观点 2:基于精度有限的的数据,得到更加精确的理论,必然有猜想与假设的成分。

实例:单摆等时性的研究

相传,伽利略在17岁时发现这个规律:他在当地教堂做礼拜时,无意间观察到枝形吊灯像摆一样摆动。他注意到每当微风穿过教堂半开的门,吊灯就在微风中摆动。他对教堂讲道感到无聊,于是开始仔细观察吊灯,然后把指尖放在手腕上感受脉搏,结果

发现了令人惊奇的事情……吊灯有时摆幅度很大,有时几乎没有摆……(然而)脉搏每跳动60次,吊灯总会摆动相同的次数(Wolf 1981, P. 33)。之后的故事,我们都知道了,伽利略基于此制成了利用单摆计时的装置,并且把它应用于医院的治疗中。利用单摆计时,是精度非常高的计时方法,远比脉搏计时的精度高,且受观察者的影响更小。用精度如此低的脉搏计时,得出精度如此高的单摆计时,这里面一定有伽利略天才的猜想!

在《关于两门新科学的对话》的“星期日”这一章中,伽利略进一步阐述:“相应地,我拿两个球,一个为铅球,另一个为软木球,前者的重量是后者的100倍以上,用两条等长的细线把它们悬挂起来,每条细线4或5腕尺长。我把每个球从垂直方向拉到一边,同时放开它们,它们将沿着这两条等长细线为半径的圆下落,穿过垂直点,然后沿着相同路径返回。这种自由摆动重复100次,可以明确证明:重球与轻球的周期非常近似,不管是摆动100次还是1000次,重球都不会比轻球快哪怕一丁点儿,它们非常完美地保持步调一致。”(Galileo 1638/1954, p. 84)。

1636年,就有著名的数学家、神学家和同时代所有自然哲学家的“搬运工”马兰·梅森(Marin Mersenne, 1588—1648)重复了伽利略的实验,他无法获得伽利略所主张的结果。比如,伽利略认为,“做一个非常平滑光亮圆弧,使圆形光滑的球能在其中自由运动(筛子的边缘很适合来做这个实验)。那么不管你把球放在何处,无论是靠近还是远离最低点……放手后它都将在相等的时间内到达最低点……这是一个真正引人注目的现象”。

1673年,惠更斯接受伽利略关于单摆运动具有划时代意义的分析,用数学方法证明了滚轮线等时性,把单摆用于钟表装置,从而发明了世界上第一个准确测量时间的方法(Yoder 1988)。在几十年内,机械钟的准确性从每天大约半小时的误差缩小到每天只有几秒钟的误差。

评:整个科学史的历程都是如此,不断地从粗略到更加精确、精细化,在此过程中,“猜想与假设”扮演着不可或缺的作用;当然,“猜想与假设”并不总是正确的,大物理学家也不例外,事实上,错误的、被证伪的“猜想与假设”远远多于被证实的,但是每一个“猜想与假设”都是科学往前发展、科学进步的台阶。

观点 3:实验检验的往往是基于“猜想与假设”的理论或由理论推导出的结论,而不用直接证明“猜想与假设”本身.

实例:牛顿第二定律

实验检验的往往是基于“猜想与假设”的理论或由理论推导出的结论,而不用直接证明“猜想与假设”本身.从这层意义上说,某些“猜想与假设”在物理学理论中的地位相当于无需证明的“公理”,即物理学理论的公理化模式.比如牛顿运动定律.

(1) 牛顿运动定律是牛顿力学体系中的公理

1687年,《自然哲学的数学原理》第一版成书,这是牛顿经过20年的思考、实验研究、大量的天文观测、无数次数学演算的结晶.

结构上,《原理》是仿欧几里得的《几何原本》布局.全书是一种逻辑体系:由定义、公理、定理、推论、证明等构成,开创了物理学理论的“公理化模式”.这里提到的公理化模式,是指理论体系以必需的、少得惊人的几条不需要证明的公理作为出发点,经逻辑推理推导出若干结论,进而推导出若干推论,建构起整个理论体系,引出众多意义深远的结论.理论是否正确,由理论体系得出的众多结论是否经得起实践的检验来确定.牛顿第一、第二、第三定律就是牛顿力学体系中的公理,是整个力学体系的出发点,是不需要直接验证的.我们需要验证的是由牛顿运动定律推导得出的若干结论.

(2) 牛顿第二定律是一个约定(或者说是假设),而不是实验归纳出的规律

牛顿第一定律定性地指出了力与运动的关系.那么,力与运动的定量关系是什么呢?在牛顿第二定律里,给出了答案:运动的变化正比于外力,变化的方向沿外力作用的直线方向.这里的运动的变化其实指的是“运动的变化率”,即 $\frac{dp}{dt} \propto F$,在经典力学中, m 是不变的,所以得出 $\frac{dv}{dt} \propto F$,即 $a \propto F$.

这个正比关系是牛顿为了建立他的力学理论体系的一种假设,或者说是一种“约定”,他之所以做这种“约定”,很大程度上是他(以及当时很多科学家)坚信自然界的规律是简单.

牛顿运动定律的正确性,在由它推出的各种结论被证实后,得到大家的认同的.比如地球的形状、

海王星的发现等等.

我们高中物理教学中关于“牛顿第二定律”的探究或验证,是基于学生在初中已经学过了“物体的质量是物体所含物质的多少”,也学习了力和质量的测量方法(质量用天平测量,力用弹簧测力计测量)及单位后,是为了学生更好地理解并接受定律而进行的,对掌握这个定律是有意义的,但由此也会带来一种误解:牛顿第二定律是通过大量实验归纳得出的,这是需要教师注意的.

当然,从学生来说,理解到这一点是有困难的,但是作为教师,这关系到学科素养问题,含糊不得.

观点 4:实验依赖于理论的发展.

基于猜想与假设,数学逻辑推理,得到假说(未被证实的理论),预言某现象或实验的结果,判决实验决定假说是否可以成为理论.

实例:光电效应方程的验证、引力波的证实.

爱因斯坦基于光电效应的实验现象,类比普朗克的电磁波辐射吸收时提出的能量子观点,在1905年发表了“关于光的产生和转化的一个试探性观点”一文.他表示,普朗克关于辐射问题的崭新观点还不够彻底,仅仅认为电磁波在吸收和辐射时才显示出连续性,这还不够,实际上电磁辐射本身就是不连续的,也就是说,光不仅在发射和吸收时能量是一份一份的,而且光本身就是由一个个不可分割的能量子组成的,频率为 ν 的光的能量子为 $h\nu$, h 为普朗克常量.这些能量子后来称为光子(photon).按照爱因斯坦的理论,在光电效应中,金属中的电子吸收一个光子获得的能量是 $h\nu$,这些能量的一部分用来克服金属的逸出功 W_0 ,剩下的表现为逸出后电子的初动能 E_k ,即 $h\nu = E_k + W_0$ 或 $E_k = h\nu - W_0$.即爱因斯坦光电效应方程.这个方程使得光电效应中理论与实验的矛盾迎刃而解.

爱因斯坦提出光电效应的解释时,实验测量尚不精确,加上这种观点与以往的观点大相径庭,因此并未立即得到承认,甚至被说成是“在思辨中迷失目标”的“冒昧的假设”.

从1907年起,美国物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868—1953)开始以精湛的技术测量光电效应中几个重要的物理量.他的目的是:测量金属的遏止电压 U_c 与入射光的频率 ν ,由此算出普朗克常量 h ,并与普朗克根据黑体辐射得出的 h 相比较,以

检验爱因斯坦光电效应方程的正确性。

实验的结果是,两种方法得出的普朗克常量 h 在 0.5% 的误差范围内是一致的.密立根后来写道:“经过十年之久的实验……与我自己的预料相反,这项工作终于成了爱因斯坦方程式在很小误差范围内的直接实验证据。”爱因斯坦由于发现了光电效应的规律而获得 1921 年的诺贝尔物理学奖。

类似的例子很多,比如 2017 年最重大的科学事件,就是引力波的探测,这是 100 年前爱因斯坦的预言.还有电磁波的预言和发现,无不说明,猜想与假设在理论发展中的作用,它往往会超前于实验,甚至当时的科技,实验往往成为检验猜想与假设得出的理论的“试金石”。

4 中学物理教学要重视物理学发展中的“猜想与假设”

现在我们来回答本文开篇提出的问题.可以看得出来,从某种意义上说,物理学理论,包括大部分的科学理论都是在一定阶段、一定范围内被证实暂时正确的“猜想与假设”。

正是因为它们是基于有限事实、现象的“猜想与假设”,所以不可能是“永恒不变、不容置疑的真理”;

正是因为科学家们创造性的“猜想与假设”,才推动科学迅速发展,甚至超前时代的发展,理解了科学家们是如何做出“猜想与假设”,才能更好地理解知识本身,应用固然重要,但“知其然,知其所以然”

是有道理的;

正是因为“猜想与假设”,科学家们通过数理逻辑推理,形成理论,得到更多的推理,更重要的是,预言了可“证伪”的实验方案,所以才有了新的实验的设计,包括要在实验中观察什么、测量什么.当被实验证伪后,重新选择“猜想与假设”,直到找到在一定范围内成立的,即上升为物理学理论。

所以,“猜想与假设”是物理学理论的前提和基础,而实验是事实与预言之间的比较,实验的功能是“证伪”,实验是物理学理论体系的起源和暂时的结局,这几者关系的框图如图 3 所示。

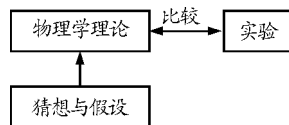


图 3 几者关系的框图

这才是“猜想与假设”、“实验”在物理学理论建立过程中的真实地位和作用.中学物理教学中,要讲真物理,就要重视“猜想与假设”。

参考文献

- 1 普通高中课程标准实验教科书(物理·必修 1).北京:人民教育出版社,2010,3(3)
- 2 普通高中课程标准实验教科书(物理·选修 3-5).北京:人民教育出版社,2010
- 3 科学教学——科学史和科学哲学的贡献.北京:外语教学与研究出版社,2017
- 4 皮埃尔·迪昂.物理学理论的目的与结构.北京:商务印书馆,2011

Middle School Physics Teaching should Attach Importance to The Conjecture and Hypothesis in the Development of Physics

Wei Hua

(Beijing No. 4 High School, Beijing 100034)

Zheng Wu

(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract: "Conjecture and hypothesis" is the premise and basis of any physics theory, and experiment is the comparison between facts and theoretical results or predictions. The function of experiment is "falsification", and the experiment is both the origin and temporary conclusion of the theoretical system of physics. In high school physics education, emphasis should be made on the conjectures and hypotheses in the development of science, which is also the embodiment of the scientific spirit and method. It is the recognition of the nature of science, which will promote the implementation of the core literacy of physics.

Key words: conjecture and hypothesis; experiment; theory of physics; core literacy of physics