

增强物理教学的历史感,用物理史料进行方法论教育

申先甲

(北京师范大学物理系,北京 100037)

物理学史与物理教学的结合是很早就被提

出的问题,许多著名物理学家都很重视物理学史的研究和教学。

美国从本世纪 50 年代兴起了“新物理运动”,即课程改革运动。指导这一改革的“哈佛物

$$\sigma = 5.6692(24) \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \quad (420\text{ppm}).$$

由此计算 k 和 R 值,其不确定度不小于 100 ppm.

实验者表示,这样的结果并不令人失望。他们得到的数值与声速方法相当一致,至少也起到了验证的作用。

用热辐射计法测 σ , 主要困难在于能量 E 在测量过程中避免不了损失。这种方法需要利用斯忒藩-玻耳兹曼定律: $E = \sigma T^4$ 。温度 T 处于四次方的地位,其数值对 σ 值影响极大。因此,进一步提高精确度确非易事。

看来,热学常数面临的前景并不乐观。它们的不确定度将会停留在 1ppm 上下。除非有新的突破,否则它们将和牛顿引力常数一样,还会继续被看成是“不够精密的量”,并被置于基本物理常数最小二乘法平差之外^[7]。

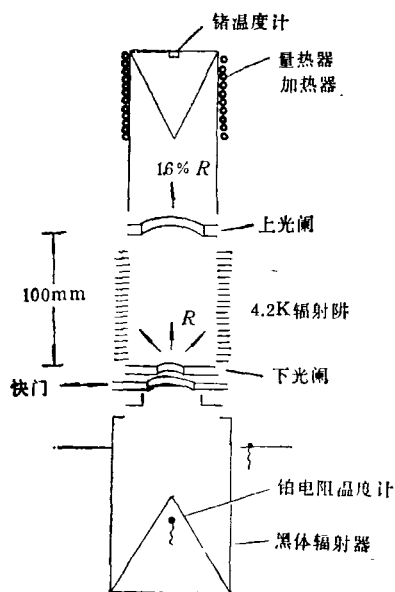


图4 热辐射计法测 σ (1981年)
(R 为热辐射量)

本同前,但作了很多重大改进。实验装置原理如图 4 所示。他们用灵敏度高达 $2\mu\text{K}$ 的铂电阻温度计作为监测器,放在超流体状态的氦池中,温度保持在 2K 左右。热辐射从处于水三相点恒温器的黑体发出,经过精确控制的快门,辐射到监测器所在的量热器中,使监测器的温度升高 3K 左右。然后,关闭快门,量热器的供热改由缠绕在量热器外面的电阻丝代替,使监测器稳定在同一温度上。电功率用超导引线传输,以避免不必要的能量损失。精确计量补偿所需的电功率,就可以求出辐射能量 E 。

他们得到的实验结果为

- [1] E. R. Cohen and B. N. Taylor, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **2**(1973), 663.
- [2] T. J. Quinn et al., *Philos. Trans. R. Soc.*, **A283** (1976), 367.
- [3] E. R. Cohen and B. N. Taylor, *Codata Bulletin*, **63**(1986), 1.
- [4] M. R. Moldover et al., *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **93**(1988), 85.
- [5] W. R. Blevin and W. J. Brown, *Metrologia*, **7**(1971), 15.
- [6] T. J. Quinn and J. E. Martin, in B. N. Taylor and W. R. Phillips (eds.) *Pre. Meas. Fund. Const. II*(1984), US Govt. Printing Office, 291.
- [7] 郭奕玲,物理,**18**(1989), 129.

理规划”(Harvard Project Physics)提出了这样的教学原则:教材必须现代化,必须反映最新科学成就;要让教师和学生以物理学家认识物理世界的本来面目去认识物理世界,获得认识世界和进行科学研究的能力和方 法。在他们为此目的编写的大中学校物理教材中,采取了用历史的观点统一阐述物理学内容的崭新形式,引进了大量的物理学史资料,促进了物理教育的革新。

与此相应,美国许多高等学校都开设了物理学史课程,并注意在基础物理教学中发挥物理学史的作用。近年出版的国外一些有代表性的物理学系列教材中,都引入了丰富的物理学史资料。有些大学还建立了物理学史实验室,选择一些在物理学发展史上有重要意义的基本实验,按照原来的设计和装置以及实验操作方法布置出来,使学生跟踪伟大先驱们的创造足迹,领会他们的思路,获得从常规教学中得不到的才能。这些工作,都大大丰富了物理教学的内容,推动了物理人才的培养。

目前人们已普遍意识到,给物理教学增加一个历史分量,把物理学史引入物理教学,是很有意义的。物理教育工作者正从当前物理学发展的现状与趋势,从物理科学研究与历史科学研究的导同等多个角度,去寻找物理学史与物理教学相结合的连结点和条件。

从物理学史工作者的角度来讲,历史的研究也不能脱离现实的需要,不能不在现实需要中找到学科的立足点,扎下根基。历史科学工作者对现实的科技发展、科技教育要采取积极关注与参与的态度。从根本上说,历史研究如果对现实需要提供不了什么效用,就会失去本身的价值和生存条件。不难理解,物理学史的研究一旦在大中学校物理教学中发挥了作用并成为物理教学的一个有机成分,必将使其自身的发展获得巨大的支持与动力。所以,在物理学史的研究上,那些能够启迪人们以历史眼光更深刻地理解物理学的基本知识,认识当前物理学发展的现状与趋势,帮助人们提高科学研究素质的内容,是应该优先受到重视的。

物理

二

必须承认,物理学研究和历史研究在研究对象、研究方法和具体内容上是有明显不同的,反映在物理教学中,就出现了逻辑方法和历史方法的运用和关系的问题。

勿庸讳言,物理学中物理理论结构的逻辑线索和实际的历史发展之间是存在着基本矛盾的。逻辑方法舍弃历史发展过程中那些生动的、丰富多彩的细节,以少数几个基本概念和基本原理为出发点,运用数学演绎法,逻辑地推演出各个具体定理,以“纯粹的”、“修正的”形式再现人类科学认识的成果。至今大中学校通用的传统教材,基本上都是按照逻辑的方法编写的,历史意识往往被干净地滤掉了。作者按照现代的观点塑造出介绍主题的最好方式和程序,并不顾及历史发展的真实途径。例如,不少教科书的写法都给读者以这样的印象:似乎是“瑞利-金斯定律”的失败(“紫外灾难”)引导普朗克提出了量子学说;“迈克尔逊-莫雷实验”的“零结果”引导爱因斯坦得到了狭义相对论;其它一些所谓“判决实验”的神话都给读者造成了科学理论“直线发展”的错觉。

随着物理学中数学工具越来越高深和逻辑方法越来越广泛的使用,人们对物理学的成就虽然越来越敬佩,但对物理学本身却越来越觉得玄妙;物理学家和物理教师们对物理学这一富有成果的人类事业的兴奋感情,也很难有效地传达给青年学生,学生们普遍对物理学感到枯燥和深奥,把物理学家看成是智慧超人的偶像和高不可攀的天才。这种情况多少都与教材、教学过程和教师的素养中缺乏历史观点这一因素有关。奥斯特瓦尔德(W. Ostwald, 1853—1932)下面的这一段话是很发人深思的:“虽然,用现在的传授方法很成功地讲授了在其现今发展状态中的科学知识,但是杰出的和有卓识远见的人不得不一而再地指出时常出现在当前我们的青年科学教育中的一个缺点,这就是缺乏历史感和缺少关于作为科学大厦基础的

一些重大研究的知识。”^[4]

我国著名物理学家钱三强先生在1981年9月18日写给《物理教学》的一封信中,也批评了这种状况。他写道:

“任何科学的分支,从它的产生、发展到把它的道理弄清,都要经过不少曲折,有些还会由于‘偶然’的遭遇而一时‘蒙难’。而我们的教师们对青年进行教育的时候常常是应用经过几次消化(中、外人士)的材料来讲授的,或者经过抽象的理论分析把它表达出来。这样的教学方法会使青年失去对观察和实验的兴趣,容易发生误解,以为什么结论都是可以用数学推导得到的。加之现在特别强调考试(当然考试比走后门要好得多!)因而增加了背书的倾向。这样的结果使青年们不了解科学本身是怎么来的。时间长了,等到他从事教学时,很容易把科学作为一门死科学来教;从事研究工作时,思想也不会活泼(这正是今天我们科学界的弱点)。”

美国哈佛大学在1945年提出的一份关于基础教育状况的调查报告^[5]中说:

“科学本身不仅包括专业知识和技能,而且包括概念的相互关系、世界观、对人类和知识的本性的看法。这一切综合在一起,组成了科学哲学,形成了整个人类史上一段连续的、重要的历史,而且包括这样一些著作,就它们对于所有知识的贡献而言是最有意义、最深入人心的一部分。科学的这些方面,在大学的科学教学中往往几乎被完全忽略了。”

大量事实表明,理科教学中长期普遍存在的这种非历史化的倾向,已经使学生在科学思维方法与心理状态方面产生了严重的缺陷。历史学家伯尔斯特(Harold Burstyn)指出^[6],理科学生的世界观和思维模式与非理科学生是不同的,他们的思维方式是“会聚型”的,而非理科

学生的思维是“发散型”的。科学发展的真实图景和科学家们实际的科学创造过程常常是复杂的、曲折的,甚至常常包含着出人意料的事件。事实上,敢于突破前人的传统观念,离开坦途进入丛林,善于进行大胆的梦想和创造,常常是突破性发现的必要条件。因此,为了使理科学生能够适应不断发展着的科学技术工作的需要,既要使学生受到严格的会聚型思维的训练,又要使他们不把这种思维模式绝对化,甚至在理科教育中还要有意识地淡化这种心理状态。解决问题的办法之一,就是要把科学知识作为一种经验,作为一个激动人心的知识奇遇来讲述,把着眼点放在科学中的发现、推理及概念的形成认识过程上,从历史的角度进行阐述。认识的历史发展的逻辑,比起教科书上知识编排的逻辑有着更多的矛盾,它丰富多彩,有血有肉,复杂曲折,正好可以弥补逻辑方法的不足,使他们对非常规的科学创新的出现有所准备。

在前述那篇哈佛大学的调查报告中,就设计了这样的把物理学史引入教学的课程,并且指出:“这种课程对历史发展的注重绝非有意给实际材料涂上人文主义的色彩。相反,介绍历史发展乃是为了形象而生动地描述与之密切相关的内容。在这种课程中,应当把科学作为知识和历史的整个过程的一部分来讲授。”^[6]

历史科学的特性和作用是,它以具体、生动、可靠的历史事实来说话,通过再现历史发展的具体过程或它的某些侧面,使人们从中得到某些启示或结论,以增长智慧,提高对现实问题的认识能力。物理学史就常常通过介绍人类历史上成功的优秀物理学家面对物理问题是如何思考和解决的,其中哪些获得成功,哪些遭到挫折或修正,从而达到“益人神智”的作用。或许可以说,在物理教学中讲物理理论,会给学生以知识;讲物理学史,会给学生以智慧,二者是不可偏废的。物理教师不仅仅要善于运用逻辑的手段循序渐进地讲解定理、公式、习题,还要善于生动地描绘人类探索物理世界奥秘的艰苦历程,以其中的欢乐、痛苦、困惑、遗憾和哲理感染学生,树立起他们物理学的历史意识。未来的

物理学工作者们还要把物理学的历史写下去,对于他们来说,理解物理学的历史逻辑,具有历史感,是极为重要的。物理学发展的程度越高,物理教学就越需要有历史感。物理学史在物理教学中的这种作用,靠单纯地灌输物理知识是无法代替的。物理教学既要把学生领到当代物理学的前沿领域,又要让他们经常回过头来看看前人的出发点,看看人类是怎样一步步走过来的;同时还要让他们从对新知识的陶醉中冷静下来,看到云雾深处隐现出的山外之山、巅外之巅,激励他们不断迈出新的步伐,攀登新的高峰。

三

物理教学的基本任务,除了向学生传授物理学基本知识和基本技能外,还要发展学生的能力和培养学生的探索精神。

在以往的教学,大都是讲授前人研究的成果和经过纯化了的推理步骤,而对于前人是如何具体得到这些成果的思路和实际的研究方法却很少提到。这种单纯传授知识的作法,很难高效率地培养出大批有创造才能的人才。把历史引进教学,就可以借鉴著名物理学家的成功经验或失败教训,开发学生的智力,训练学生的思维,学习在科学探索中达到目的的方法。

学习和研究物理学史,正是一种思维的训练。通过人类认识物理世界的真实而又令人兴奋的探索历程,可以使学生感受到物理大师们用有效的方法一步一步地揭示出物理奥秘时的那种科学创造的快感与激动,并受到研究方法的熏陶。那些在物理发展的关键时刻处在前沿和十字路口的物理学家们,都有自己独特的思路和研究方法。如惠更斯根据相对性原理运用船对岸的相对运动,从两个相同的弹性小球以相等的速度相碰后又以相同的速度被弹回这一公理出发,仅仅交换一下观察的参照系,就很简单地得出了二球碰撞后交换速度的一般结论,其方法之巧妙令人叫绝。麦克斯韦通过对稳定理想流体场、热流场和静电场的类比,找到了对法拉第力线图景的数学表述;利用力学中的动

量和“电紧张函数”的类比,找到了描述电紧张状态的重要物理量矢量势;为了找到电场和磁场相互转化的关系并能作出直观的力学说明,他巧妙地利用“分子涡旋”的图象构造出“以太涡旋模型”,不仅说明了电与磁的双向转化,而且还引入了“电子”和“自旋”的早期思想;他还通过对导体中传导电流、电介质中极化位移电流和真空中“以太极化”的类比引入了“位移电流”假设,使自洽的电磁场方程组的建立成为可能。爱因斯坦由“升降机”的理想实验得出等效原理,为广义相对论的建立奠定了基础。德布罗意通过力学与光学的类比提出了“物质波”的假设。……这些举不胜举的创造性工作中所显示出来的种种绝妙的方法,都会给学生以极其深刻的启示。

需要特别指出的是,一般的物理学教材和物理教学中所强调的多是科学研究中理性的、逻辑的方法;而在实际的科学发现中,科学家们所应用的方法却是五花八门、丰富多彩的,常常还带有浓厚的非理性、非逻辑的色彩。尤其是由于现代物理学的研究对象和理论体系脱离直觉经验和高度抽象化的特征日益增强,通常的思维方式愈来愈显得无力。创造性思维,如科学想象、理想实验、试探猜测、大胆假设以及科学的直觉、灵感等在建立新的物理学理论中的作用愈来愈突出。人们愈来愈认识到,传统的归纳法和演绎法很难使人类的思维成为真正创造性的源泉。爱因斯坦认为,“没有一个概念能够无歧义地从实验中逻辑地推导出来。……人们要彻底地不违反理性,那就不可能得到任何东西。”^[4]他说,在建立科学时,人们免不了要自由地创造概念。从经验事实到科学理论之间,不存在严格的逻辑通道,科学创造常常产生在逻辑结构与非逻辑结构的冲突地带。任何一个理论体系,虽然可以通过不同的途径建立起来,但本质上都是为了解决科学所提出的问题而进行的尝试性的猜测。物理学史上的大量史料,都可以揭示出科学创造的这一本质。例如,当安培提出分子电流假设时,人们还根本不了解分子的电结构,甚至连电子也是70多年之后才

确认的；法拉第在超距作用观点盛行时提出电磁作用的传播需要媒介，需要时间，而直到半个世纪后赫兹才用实验证实了电磁波的存在；泡利在提出“中微子”设想时，他自己就幽默地把它称为“孤注一掷的措施”，“一棵救命的稻草”，而且打比方说，“只有压了赌，才能谈到赢”。…这些例子不正是说明，这些重要发现并不是经验事实必然的逻辑结果吗？

物理学史中大量的事例还表明，在重大科学发现中，科学家的科学思想和科学信念，常常是指引他们走向成功方向盘。对“最小”观念的虔信，引导着几代物理学家们最终以变分法为工具确立了“最小作用原理”。同样，爱因斯坦对“对称性”的坚定信念，引导他通向狭义相对论。在1905年发表的《论动体的电动力学》一文中开始就写道：

“大家知道，麦克斯韦电动力学……应用到运动物体上时，就要引起一些不对称，而这种不对称似乎不是现象所固有的。”^[6]

这清楚地表明，正是由于发现了动体的电动力学中的这种不对称性，才激发了爱因斯坦提出狭义相对性原理，并把他引向对绝对空间和绝对静止的以太的否定。爱因斯坦把这个思考过程说成是把他引导到狭义相对论的“第一条思路”。可以看出，即使没有迈克尔孙-莫雷实验的结果，“对称性”思想同样可以把爱因斯坦引向狭义相对论。

在西方古代，毕达哥拉斯学派把对自然奥秘的探索与对自然美的追求统一起来，自那时以来，寻求自然界的和谐就成为指导天文学研究的基本原则。17世纪以后，近代自然科学中兴起的经验主义思潮曾一度造成了科学与美学的某种分离。但本世纪以来，以相对论与量子力学为主要标志的现代物理学革命的兴起，却在更大的深度上推动了科学美学的发展。美学因素不仅渗透到科学创造的原动力之中，而且也渗透到科学理论体系的构建与表述中，美学原则潜在地影响着科学成果的内容与形式；人们甚至把“美学价值”的大小看作是评价一个科学

理论成就的大小的一个标准。彭加勒、爱因斯坦、海森堡以及狄拉克等一代名师，都对科学美学这个问题进行了深入的讨论，把“美”与自然界的“真”统一起来，引导科学家们遵循“美”与“谐和”的原则去追求科学真理。物理学史对科学伟人们这类科学思想的发掘，必然会对学生产生潜移默化的影响，帮助他们在科学思想上升华到一个新的境界。

当然，科学创造的道路是不平坦的，即使对卓有建树的科学大师们来说，失误、失败和悔恨恐怕也会远远超过幸运、成功和喜悦。电子自旋的发现者之一 S. A. 古兹米特在1976年的一篇回忆录里写了这么一段话：^[7]

“有时，我们正处在历史的转折点上，但是在我们没有远远地超过这个转折点以前，我们之中的许多人意识不到这一点。因此，当回首往事时，我们常为此感到懊丧和痛心。有许多事令我们追悔莫及，这种后悔的心情常常不是因为我们做了什么，而是我们错过了做什么的机会。确实，有时会发现，失去了许多重要的机会。”

物理学史上充满着这种失误和失败的事例，而这些东西在物理教材和物理教学中却很少被提到。这些失误和失败往往比成功的事例具有更大的启发力，可以更深刻地让学生从中悟出一点科学创造的“天机”，培养科学创造的“灵性”，增添一些科学的机敏和聪慧。

爱因斯坦说过，学校始终应当把发展独立思考 and 独立判断的能力放在首位。在现今知识迅速增长、新技术革命已经到来的时代，更需要开发智力，培养大批具有创造性的人才。学校教育不仅要教给学生以系统的物理知识，还应使学生学到科学研究的方法，培养他们科学思维的能力，激发他们的创造精神。为实现这一目标，向学生介绍物理学家们的研究方法、创造思路以及他们成功与失败的经验，就不能看作是可有可无的点缀了。把物理学史引进物理教学，正是实现这一教育目标的强有力的手

（下转第291页）