

现代物理学成就与物理课程改革

——从 21 世纪诺贝尔物理学奖成果谈起

蔡铁权 (浙江师范大学物理与电子信息工程学院物理系 浙江 321004)

谢佳莹 (浙江师范大学教师教育学院 浙江 321004)

摘 要 对 21 世纪初 20 年的诺贝尔物理学奖成果进行了全面的分析和仔细的梳理,提炼出现代物理学发展成就对中学物理课程与教学改革的启示,包括:引入了课程新内容、引起了课程内容的新变革、引发物理观念与科学思想的改变、引进了科学思维与科学精神的变化、启发学生感悟物理本质和激发学生钟爱物理学习等方面。

关键词 诺贝尔物理学奖 中学物理教育 课程改革

文章编号 1002-0748(2021)9-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

回望 21 世纪刚过去的 20 年,物理学的发展突飞猛进,物理学的成就辉煌穹宇,令人振奋。而今我们正处于新一轮基础教育课程改革推进之际,从当代物理学成就的视角,思考物理课程改革的方方面面,从物理学科核心素养的视域,观照物理教育和教学的变革历程,会得到十分丰富的启示和感悟。本文主要从 21 世纪这 20 年来的诺贝尔物理学奖成果说起。

1 现代物理学成就引入了物理课程新内容

自 1901 年起,诺贝尔物理学奖迄今已颁发 114 次(其中 6 年因战争等原因没有颁发),获奖者共 215 人,按诺贝尔物理学奖获奖项目的工作性质分,一般有重大科学发现、重大理论突破和重大技术与方法发明三大类。21 世纪初的 20 年中,重大科学发现方面有 23 人获奖,重大理论突破方面有 13 人获奖,重大技术与方法发明方面有 18 人获奖。

尽管诺贝尔物理学奖成就不能显示现代物理学的所有成果,也不可能囊括物理学最新成就的全部,但是,作为现代物理学的代表性成果是合理的,因此,我们主要(但不完全局限于)从这一视角来观照现代物理学发展的成果对物理课程改革和物理教育教学的影响,从中得到有价值的借鉴。

物理学日新月异的变化,必然需要物理课程内容的及时反映和更新。

2001 年,获奖者物理学家科耐尔(Eric A. Cornell)、维曼(Carl E. Wieman)和凯特利(Wolfgang Ketterle)根据玻色-爱因斯坦理论,成功地从碱金属

原子的稀薄气体中获得玻色-爱因斯坦凝聚体,并对凝聚体性质完成了早期研究。科耐尔和维曼实现了在 $1.7 \times 10^{-7} \text{K}$ 的低温条件下观察到约 2000 个铷(^{87}Rb)原子的玻色-爱因斯坦凝聚(BEC)。凯特利等科学家在几个月后利用激光和电磁装置冷却和约束钠(^{23}Na)原子气体,奇迹般地使数以十万计钠原子呈现 BEC。在实现 BEC 以后,他们又进行了大量的实验工作,对 BEC 宏观量子态的许多奇妙的物理性质的研究做出了巨大的贡献。BEC 的实现开辟了基本量子力学的一个新研究领域,有力地促进原子钟精度、全息术、纳米技术、特大规模集成电路等领域的发展,并且与天体物理、量子通信和量子计算都有密切的关系^[2]。

2003 年,阿布里科索夫(Alexei A. Abrikosov)、金茨堡(Vitaly L. Ginzburg)和莱格特(Anthony J. Leggett)因为在超导体和超流体理论方面的开拓性的贡献而获奖。金茨堡获奖的工作是 Ginzburg—Landau(GL)理论,阿布里科索夫获奖是有关第 II 类超导体的理论工作。GL 理论的提出被认为是“物理直觉的一个胜利”,其最大价值是在描述超导体的宏观特征上。阿布里科索夫的理论被认为是“开路先锋式的”,开创了对第 II 类超导体的研究。莱格特的理论对于了解超流 ^3He 中库珀对或序参量的结构是极为重要的,为解释实验结果提供了理论框架,特别是他发现的在凝聚态物质中可发生几种对称性的同时自发破缺对了解发生在其他领域,例如液晶物理、粒子物理和宇宙学中的复杂相变有着普遍的重

要性。

2004 年诺贝尔物理学奖被授予格罗斯(David J. Gross)、波利泽(H. David Politzer)和维里茨克(Frank Wilczek),他们发现的强相互作用的渐近自由性质奠定了量子色动力学理论的基础。这一理论除了开辟了量子色动力学本身前沿的研究领域,同时也推动了强、电、弱三种基本相互作用的统一方面的研究。

2008 年诺贝尔物理学奖被授予南部阳一郎(Yoichiro Nambu)、小林诚(Makoto Kobayashi)和益川敏英(Toshihide Maskawa),他们对粒子物理学中的对称性破缺问题做出了重大理论贡献,有力地推动了粒子物理学的发展。

2013 年诺贝尔物理学奖被授予希格斯(Peter W. Higgs)和恩格勒(Francois Englert),他们在 1964 年提出利用自发对称性破缺来使粒子生成质量的机制。这一机制也是粒子物理学中标准模型理论的基石,希格斯粒子的发现,使希格斯机制得到确证,这一成果是粒子物理学发展的里程碑。

物态转变是自然界中的普遍现象。第一类相变称为不连续相变,如水沸腾变成蒸汽,冰融化成水。第二类便称为连续相变,在足够高的压强和温度下,水与蒸汽的区别消失了。第三类相变可能在二维超流膜系统中实现,它的物理图像是量子涡旋和量子反涡旋对的分离:低于相变温度的量子涡旋总是成对,粘滞系数为零,超流存在;高于相变温度,有自由的量子涡旋和反涡旋,粘滞系数不为零,超流不存在。这是索利斯(David J. Thouless)与科斯特利兹(J. Michael Kosterlitz)在 1973 年提出的拓扑相变,或称为超流/超导体中的 KT(Kosterlitz—Thouless)相变。索利斯、霍尔丹(F. Duncan M. Haldane)和科斯特利兹摘取了 2016 年诺贝尔物理学奖,他们的工作显然加深了人类对物质形态和它们之间转化的认识,有力地揭示了物理规律深刻的简单性和统一性。如今,拓扑相变对应领域已从涓涓细流变成了滔滔大河,如拓扑绝缘体、量子自旋霍尔效应、量子反常霍尔效应、拓扑晶体绝缘体和拓扑半金属都成为大有可为的创新领域,为应用研究开辟了一个新天地。

2019 年诺贝尔物理学奖被授予马约尔(Michel Mayor)、奎洛兹(Didier Queloz)和皮布尔斯(James Peebles)。马约尔和奎洛兹发现了飞马座 51b。这是人类发现的第一颗绕着类太阳恒星飞马座 51 运转的系外行星,这让人类重新思考我们所生活的地球在宇宙中是否是独一无二的,这对探索系外宜居

星球和寻找外星生命非常重要。皮布尔斯在原初核合成、暗物质、宇宙微波背景辐射和大尺度结构形成等现代宇宙学的重要领域做出了关键的理论贡献,使人们能够更加精准地把握宇宙演化的历史脉络,能更加清楚地了解宇宙的前世今生。

2020 年诺贝尔物理学奖被授予黑洞研究领域的三位科学家,其中一半授予彭罗斯(Roger Penrose),以表彰他在黑洞形成理论方面的研究工作,另一半则被授予根泽尔(Reinhard Genzel)和格兹(Andrea Ghez),以表彰他们在银河系中心超大致密物体质量测量方面的研究。英国的物理学家、数学家和科学哲学家罗杰·彭罗斯于 1965 年提出黑洞形成的奇点理论,后又与斯蒂芬·霍金(Stephen W. Hawking)一起完成了完整证明(霍金 2018 年去世,遗憾地错过了这次诺贝尔奖),1971 年又提出黑洞形成过程的彭罗斯机制。根泽尔和格兹各自独立地带领研究团队利用最新望远镜技术对银河系中心超大致密天体质量进行了长达 20 多年的精密测量与研究,间接给出了黑洞存在视界的证据。2017 年 4 月全球组网的视界望远镜拍摄了银河中心黑洞和 M87 中心黑洞,与黑洞理论预言几乎完全一致。他们的工作让人们认识到黑洞在宇宙中普遍存在,黑洞天文学方兴未艾。

其他成果如光镊技术和啁啾脉冲放大技术(2018 年获奖)、成功探测到引力波(2017 年获奖)、高效蓝色发光二极管的发明(2014 年获奖)、二维材料石墨烯的研究(2010 年获奖)、光纤通信和 CCD 图像传感器(2009 年获奖)、巨磁电阻效应的发现(2007 年获奖)、光学频率梳技术(2005 年获奖)等,无一不是人类最高智慧的体现和物理学对现代科学的巨大贡献。

这些成果在中学物理课程内容中难觅芳踪,而我们认为,这些成果以恰当的形式呈现于相应的中学物理教材内容之中,是完全可能的,也是切实可行的,一些发达国家的教材早已有这样的先例。应改变我们的课程观和教育观,要让最新的重大科学技术成果反映在中学物理教材之中,让学生不再只是沉湎于百年前的经典科学之内,孜孜不倦地在这中间深挖耕耘。要让最新的科学技术成就开拓学生的视野,激发学生的兴趣,培养学生的思维,激励学生的创新精神,形成新颖的物理观念。

2 现代物理学成就引起了物理课程新变革

现代物理学成就为中学物理课程内容的变革提供了素材,其中部分内容需要更新,有些内容需要丰

富,有些内容需要完善,特别是个别内容需要纠谬,这是尤为重要的。

2015 年诺贝尔物理学奖被授予梶田隆章(Takaaki Kajita)和麦克唐纳(Arthur B. McDonald),以表彰他们在发现中微子振荡也就是中微子有质量上所做出的贡献。

1930 年泡利(Wolfgang Pauli)提出中微子假设来解释原子核 β 衰变,1956 年莱因斯(Fredrick Reines)等宣布探测到中微子,中微子与其他物质的相互作用极小,相互作用截面在 10^{-40} cm^2 左右。1957 年吴健雄的实验发现弱相互作用中宇称不守恒,并表明参与弱作用的中微子是纯左手的,没有右手中微子,这意味着在标准模型相互作用的质量项中,中微子的质量项将不存在,也就是中微子的质量为零。如果中微子有质量,即使极小,其物质波在传播过程中会出现一种奇特的量子干涉效应:中微子从一种类型转变成另一种类型,即中微子的味道会发生改变,这种现象称为中微子振荡。现在梶田隆章和麦克唐纳的实验,发现与证实了中微子振荡现象,明白无误地展现了中微子有质量这一超出标准模型的新物理现象。此外,中微子研究把粒子物理、核物理、地球物理、天体物理与宇宙学多个学科方向紧密地联系在一起。这一成果的体现就需要改写中学物理教材中有关中微子和标准模型的内容。

目前我们所知道的夸克与电子是构成世界的基本粒子,在希格斯(Higgs)场作用下,基本粒子获得质量,最终形成原子、分子等构成物质世界的单元。2018 年 7 月,在欧洲核子研究中心(CERN)大型强子对撞机(LHC)上,ATLAS 和 CMS 实验组分别发现了希格斯玻色子最主要的衰变过程——正反底夸克对衰变($H \rightarrow b \bar{b}$),这一发现进一步确认了希格斯玻色子是组成物质世界的基本粒子(特别是夸克)的质量来源。南部阳一郎的自发破缺理论启动了最后形成弱电统一理论的标准模型,希格斯粒子被找到,使理论预计的粒子都被实验所发现,当然,尚有很多基本问题与希格斯玻色子的研究关系密切,有待不断探索。希格斯玻色子的找到,希格斯机制被确证及其对基本粒子质量起源和对粒子标准模型的影响,在中学物理教科书中得到适当的体现是完全必要的,这对完善粒子物理学内容是不可缺损的。

2005 年,诺贝尔物理学奖的一半被授予格劳伯(Roy J. Glauber),以表彰他在光的相干性量子理论方面的贡献。光是什么?麦克斯韦(James C. Maxwell)早在 19 世纪 50 年代建立的电磁波理论

指出“光就是电磁波”,因而光具有波动性。到了 1905 年,爱因斯坦(Albert Einstein)运用光量子的概念,成功地解释了光电效应,即光具有波粒二象性。1960 年发明了红宝石激光器,激光作为一种新型光源而闪亮登场。那么白炽灯与激光的本质区别是什么?1963 年,格劳伯提出了一种描述光粒子本质的理论——光子相干理论,由此奠定了量子光学的基础,他也因此被称为“量子理论光学之父”。光场可以按爱因斯坦的光子说想象由大量光子组成,由于光子的粒子性,光场中描述波峰与波谷特性的振幅与相位上有量子起伏,这样,“相干”就意味着构成光场的光子各自的波长、振幅与相位都比较一致,即光场的量子起伏较小,激光就是符合这种条件的电磁波,因此有很好的相干性。对于白炽灯的光场,由于其中光子的波长、振幅与相位都不一致,光场的量子起伏较大,形成一定的“混沌”状态,相干性就较差。基于光的量子理论,人们认识到光的量子“噪声”是一种起伏,这种起伏本质上是由于光子的数目在真空中有起伏引起的,符合测不准原理。由于这种起伏,使光子组成的光场的各种特征量(振幅,相位等)都会产生起伏,从而对光场的测量造成一定的限制,称作“量子极限”。20 世纪 90 年代,科学家致力于部分克服这一量子噪声而研制出“压缩态”的光场,由此探测铯(^{133}Cs)原子的跃迁,提高了测量精度。现代利用光梳技术把光波长的测量精度提高到极限程度,达到千万年的时间测量误差只差 1 秒。光的量子理论导致单光子计数器的发明,这种计数器在量子保密通信中得到广泛应用。格劳伯的光相干性的量子理论有助于中学生更深刻地理解光的本性,有利于理解光的波粒二象性,对光电效应的解释也能起到辅助作用。因此,中学物理教材中纳入这一内容可以丰富和更新课程内容。类似地,拓扑相对于拓展学生对物态变化的视野,石墨烯(2010 年获奖)对于展现晶体新材料,巨磁电阻(2007 年获奖)引发硬盘的高速发展对于磁学的深化认识,引力波的成功探测(2017 年获奖)对干涉概念和干涉仪的理解,等等,都是值得体现的,这当中以什么方式呈现,与什么内容衔接,表达到什么程度都是有待课程理论和物理教学论理论进行研究和解决的课题。

3 现代物理学成就引发了物理观念与科学思想的改变

现代物理学日新月异的发展,猛烈地冲击着人们对物理学的认识和看法,或者说对物理学究竟是什么的观点产生不断的变化。

技术发展的根基在科学,基础研究是科学技术之源,黑洞研究的历程就是一个很好的例证。1915年11月,爱因斯坦提出了广义相对论,1916年1月,德国天文学家史瓦西(Karl Schwarzschild)就得到了球对称情况下爱因斯坦方程的严格解,这个解有一个著名的特征,就是原点是一个奇点,这纯粹是一个数学的结果。美国物理学家奥本海默(Julius Robert Oppenheimer)赋予这个解以物理意义,即恒星塌缩的结果是史瓦西解所描述的黑洞。1963年,天文学家发现了类星体,类星体巨大的能源来自何处成为了一个突出的问题。1964年,彭罗斯充分利用了拓扑学的知识在理论上解决了这一问题,令人信服地证明了黑洞的存在是广义相对论的必然预言。1975年,霍金引入了量子场论研究黑洞,揭示了黑洞带有温度和熵的现象。2016年2月11日,人类首次发现引力波,是观测发现的双黑洞合并事件。2019年4月10日,人类获得首张黑洞照片。今天,黑洞已经成为现代天体物理研究最活跃的领域之一,令人振奋的重大成果不断涌现。

科学技术推动社会进步和生产发展。我们可以举一个很切实的例子,欧洲核子研究中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)上发现了希格斯玻色子,使其名扬天下,而CERN对其他方面的影响也是巨大而深远的。全球资讯网(World Wide Web)是一个博士后在CERN发展出来的技术,他当时是为了让世界各地的大学和实验室能够得到和分析欧洲核子研究中心的数据。伯纳斯·李(T. Berners-Lee)创造了基于网络实现的hypertext的概念。这样,在欧洲核子研究中心建设大型正负电子对撞机(LEP)最终导致了亚马逊、Facebook、谷歌等公司的出现。而储存并处理在LHC产生的海量数据的需要催生出了链接大量计算机的网络分布式计算和云计算,这是今天网络购物和社交平台产生形成的关键技术。加速器在医学治疗、医用同位素生产、半导体粒子植入等方面的应用已遍及全世界。目前全球有几万台的医学成像设备运用基于Scientific Linux的系统去寻找断骨、肿瘤、器官损伤,等等,这一操作系统也是为加速器装置而开发出来的。其他的探测成像技术,包括手机也与此相类似。分析粒子物理实验的碰撞事例,需要开发高级软件,这在金融领域、医学领域都很快得到使用。有科学家预言,高能物理实验装置将会成为第四次产业革命的动力。

科学技术研究成果的产生是长期的过程,理论必须经历实验的检验。科学上的创新成果必须获得

科学界的公认,不可能立竿见影和“短、平、快”。2003年获奖的金茨堡成果完成于1950年,阿布里科索夫的成果完成于1953年。2004年获奖的强相互作用的渐近自由理论是在1973年提出来的。2005年格劳伯获奖的成果是他在1963年提出的光学相干量子理论。2013年获奖的希格斯理论,是早在1964年由希格斯以及恩格勒和他的同伴布劳特分别提出的。2016年获奖的超导/超流理论是索利斯和科斯特利兹于1973年提出的。2020年获奖的彭罗斯,1965年提出黑洞的奇点理论,1971年与霍金一起提出了黑洞形成的物理理论和彭罗斯机制。这些成果从提出到获奖经历了50年之久的考验,而其中获得实验的证实是一个重要的因素,这也是由物理学是一门以实验为基础的学科,是一门实证性学科的本质所决定的。

科学研究必须遵从科学自身的规律,学术交流是科学发展的枢纽,必须尊重科学家的自主选择。科学研究是一种承前启后的事业,是要经过长期积累,并且在满足一定条件时水到渠成的工作,因此,违背科学自身的规律,研究不可能获得成功,急功近利的后果就是欲速则不达。一些重要的研究成果在长时间中不被人发现或重视更是常见的事,最主要原因是条件不成熟而使科学界无法认识到其应有的价值。广义相对论所预言的引力波到被观测足足过了100年,黑洞解的得出到第一张黑洞照片的发布等了100多年。科学研究需要开放的环境,20世纪60年代初的苏联与外界隔离,很少有人了解恩格勒、希格斯等人的成果。当时两个19岁的本科生亚历山大·米格达尔和亚历山大·泊里雅科夫也发现了解决零质量问题的办法。他们的方法与希格斯相似,但是他们的工作成果不被当时苏联的主流科学家认可,文章一年后才发表。他们在论文中为具有标量基态的非阿贝尔规范理论创立了一个场论场框架,计算了全部微扰阶数下的自发对称性破缺。但他们的成果几乎被湮没了。

科学研究的动力是好奇心,是科学家对科学研究的执着与痴心。综观获得诺贝尔物理学奖的科学精英,他们在做出划时代的获奖工作时,并不是为了得诺贝尔奖而从事研究的,而是完全基于非功利的目的,受到好奇心的驱使,对科学强烈追求的结果。

认真阅读这些获奖成果的论文,都会被他们深邃的物理学思想所震撼,这些物理学的巨擘,这些科学的大师们都在科学思想史上留下他们宝贵的闪光的一页。基本粒子质量产生的机制、对称性自发破

缺机制、光学相干的基本理论、强相互作用的渐近自由度、现代宇宙学的理论、黑洞形成的理论机制,等等,无不如此。

4 现代物理学成就引进了科学思维与科学精神的变化

物理学研究解决问题,常常从建立合适的模型入手,这是一种特殊的思维方式。广义相对论方程简洁而优美,却是非线性偏微分方程组,求解十分困难,史瓦西(K. Schwarzschild)采用最简单的静止的球对称物质分布模型,求得了方程的第一个精确解。彭罗斯抛弃了严格球对称模型,而运用拓扑学的数学方法提出闭合的二维表面“俘获面”解决“奇点”问题得到成功。在统一理论建立的过程中,汤川秀树(Hideki Yukawa)提出传递强相互作用的介子模型,温伯格(Steven Weinberg)完整地建立了用规范理论结合希格斯机制统一描述弱相互作用和电磁相互作用的模型,南部阳一郎与拉西尼奥(Giovanni Jona-Lasinio)构建粒子物理学中对称性破缺的模型,以及粒子物理学的标准模型,随处可见的物理模型是物理学理论构建中不可或缺的关键。

敢于质疑,勇于创新的批判性思维则比比皆是了。没有对现有理论和现成结论的质疑、批判,不可能产生创新的动机,不可能有别出心裁的天才见解和奇思妙想,不盲从、不跟风,不迷信权威、不迷信书本,独立思考,尊重事实,好学勤奋,大胆尝试,基础扎实,功底深厚,不断进取,是诺贝尔奖获得者的基本精神和特质。

飞秒激光放大是继激光诞生以后最具挑战性的激光物理问题,直到 1985 年才得到解决,其成果在 2018 年获奖。热拉尔·穆鲁(Gerard Mourou)及其研究生斯特里克兰(Donna Strickland)提出了飞秒激光的啁啾脉冲放大(Chirped pulse amplification, CPA)方法,通过啁啾脉冲的方式,先将飞秒脉冲展宽至纳秒宽度,然后注入增益介质进行放大,最后去除啁啾而压缩复原为飞秒激光。CPA 方法体现了“分解问题”的科学思维,非常简单却异常优美又十分巧妙。它破解了飞秒激光直接放大面临的入射脉冲能流密度与介质破坏光强之间的对立性矛盾,使得激光从超快走向超强。

2002 年获诺贝尔物理学奖的是化学家戴维斯(Raymond Davis Jr),戴维斯在耶鲁大学获得化学博士学位,是美国 Brookhaven 国家实验室化学部的研究人员。他采用典型的放射化学方法,研究得到了中微子和反中微子性质上的区别,还首次测定了裂

变反中微子的截面上限和来自太阳的高能中微子通量上限。1955 年他提出了探测太阳中微子的可能性,进而致力于对太阳中微子的观测,这是一个具有极大挑战性而又非主流课题。从 1968 年一直到 1987 年间,全世界只有戴维斯一家从事太阳中微子实验,1988 年发表了最终的成果。戴维斯首次观测到了太阳中微子,进一步又发现了太阳中微子丢失现象(即中微子振荡现象),开创了中微子物理的崭新领域。

2014 年的诺贝尔化学奖被授予了贝齐格(Eric Betzig)、赫尔(Stefan Hell)和莫纳(William E. Moerner),三位都是物理学博士。他们将技术推至极限,最早探测到凝聚物质系中的单个荧光分子,然后发现了荧光分子的开关效应,并巧妙利用物理学中的受激辐射原理和数据分析中常用的拟合定位法,将光学显微镜的分辨率提高至纳米尺度。这种超分辨显微技术可以监测细胞内部分子之间的相互作用,也可以观察与疾病相关的蛋白质聚合现象,在纳米世界里追踪细胞的分裂。这对于分子科学特别是对生物医学的研究有革命性的影响。这一成果是物理思想、光学技术和分子探针相结合的产物。这两个事例充分地表明,跨学科思维的威力,学科交叉的成功。由此又使人想起一个典型的学科相互推进的史实。化学元素周期律是元素按原子质量从小到大排列时,其物理性质和化学性质呈现出周期性的变化。此后,周期律经受住了惰性气体发现和天然放射性元素发现以及人工放射性元素合成的严峻挑战。当前,“超重元素稳定岛”的预言及元素周期表边界的探究,使周期表得到进一步的充实和完善。而从人工放射性元素合成开始,周期表的拓展与本质的解释,完全由物理学登场亮相了。

获得诺贝尔物理学奖的科学精英们,他们特有的奇妙的思维方式在他们获得创造性成果的过程中处处闪亮,他们所具备的科学品质与科学精神为我们树立了光辉的榜样。

5 现代物理学成就启发学生感悟物理本质

美国著名的理论物理学家戈登·凯恩(Gordon Kane)指出,要充分理解物理世界,我们必须知道组成万物的基本粒子,如何描述物理世界,理解我们的世界。凯恩认为组成万物的基本粒子是夸克和电子,从恒星到原子,所有我们看到的東西都是由这些粒子组成,这种组成由相互作用完成,夸克被强相互作用束缚在一起形成了质子和中子,核力将质子和中子束缚在一起形成原子核,从而形成化学元素。

电磁相互作用将电子和原子核束缚在一起成为原子,并进一步由原子形成分子,从而组成了石头、花朵、人,等等。这些物体又被万有引力束缚在一起形成了行星和恒星,从而使生命得以存在^[3]。在中学物理教学中主要是理解和描述我们观察到的现象,但也应使我们的学生更好地理解世界,以观察事实为依据,探求自然界中所发生的各种现象背后的规律^[4],更完整地理解物理学的本质。

物理学的大厦是各个不同民族、不同地区、不同文化的人共同构建的。在希格斯玻色子产生过程的 $H \rightarrow b \bar{b}$ 分析中,包括胶子融合过程(ggF)、矢量玻色子融合过程(VBF)、W/Z 玻色子对伴随产生过程(W/Z+H)、顶夸克对伴随产生过程(ttH)中,ATLAS 组的中国科学院高能物理研究所在 ggF 与 VBF 过程的分析中做出了关键性贡献,中国 ATLAS 组的山东大学、中国科学技术大学、南京大学、上海交通大学和李政道研究所等单位在 W/Z+H 过程的分析中做出了关键性贡献。中国 CMS 组的中国科学院高能物理研究所在 uH 过程的分析中做出了关键性贡献,中国组所有成员单位都对 ATLAS 和 CMS 探测器运行维护以及软件升级等做出了重要贡献,而探测器(特别是像素探测器)是有效探测底夸克的软件基础。2005 年在解决光梳技术最关键的实验课题时,作为霍尔的学生和长期合作者的中国科学家叶军起到关键作用,华东师范大学的马龙生在光梳技术发展的关键实验中做出了显著贡献。

此外,对观察、实验和物理理论之间的关系,物理学的创造性与不断发展,物理学与技术的关系,物理学与社会的关系,物理学的文化属性等方面,21 世纪初 20 年的诺贝尔物理学奖获奖成果中,都有非常生动与有力的证据,这些对于中学生更好地理解物理学的本质,更深刻地认识世界都是十分重要的。

6 现代物理学成就激发学生钟爱物理学习

现代物理学大量激动人心的成就,展现出物理学在未来发展的辉煌前景,物理学在 21 世纪是大有可为的,这对激发学生学习物理学的兴趣与钟爱物理学习是一种学科本身所产生的魅力,具有根本的说服力和长远的驱动力。很多诺贝尔物理学奖成果都开辟了物理学研究的新领域,这样的新领域期待着一代又一代有志青年去发现去探索,是大有作为的广阔天地,这对青年学生具有引领的作用,指引了奋斗的方向。诺贝尔奖的新成就为中学生展示了广袤的未知世界,呈现出一片花团锦簇的景象,这将影

响中学生对未来的思考与人生选择,促使学生树立远大理想,建立雄心壮志。

物理教育要由物理学内容本身去吸引学生,让物理学深邃的思想、深刻的内涵、深奥的问题、深入的发展去感染学生。讲电阻时拓展到超导,讲摩擦力时联系上超流,讲物相变化时提及拓扑相是可行的,因为花不了多少时间,不会影响正常的教学。有些内容学生听了可以不懂,但不能不知道。因为正是这些自然地打开的“窗口”扩大了学生的眼界,更重要的是让学生带着问题去学习,长久地去思考,去进一步探究,这比什么问题也没有只是一片空白去学习去思考去探究要有用,要有效,要有意义得多。李政道对中国的科学发展寄予厚望,他曾说过:“在基础研究领域,中国错过了经典力学的 17 世纪,错过了电磁学的 18、19 世纪,错过了相对论和量子力学的 20 世纪,绝不能错过 21 世纪。”希望在对未来年轻一代的教育培养上。

中学物理学教科书总不能蜕变成高考大纲的说明书,也不能只是简单地演绎课程标准,物理课堂教学也不只是对教材的照本宣科,不能朝着高考的指向而亦步亦趋,把学生训练成解题的高手而忘记了解题的本意。物理课程与教学的改革是任重而道远的,诺贝尔物理学奖的成就为我们提供了宝贵的资源,从多种视角去观照,可以从中获得多样的启示。

7 结束语

从 21 世纪初 20 年诺贝尔物理学奖获得者的业绩与他们获奖过程的艰辛努力以及成果对科学和社会影响来看,可以认为他们都够得上是科学界的精英^[5],他们获得这种殊荣都是实至名归。因此,把 21 世纪诺贝尔物理学奖的成就作为今天中学物理课程与教学改革中在课程内容、课程实施、教育理念、教学方法等多方面的独特资源,并把这种资源化为动力,可以推进我国中学物理课程与教学的改革。

参考文献

- [1] Laurie M Brown, Abraham Pais, Brian Pippard. 20 世纪物理学(第三卷)[M]. 刘寄星,等译. 北京:科学出版社,2016:584.
- [2] 魏晓云,张彤,张端明. 新世纪第一只燕子——2001 年度诺贝尔物理学奖评述[J]. 物理,2002,31(10):629—634.
- [3] 戈登·凯恩. 基本粒子物理学未来展望[J]. 现代物理知识,2019(1):33—43.
- [4] 朝永振一郎. 物理是什么[M]. 周自恒,译. 北京:人民邮电出版社,2021:4.
- [5] 哈里特·朱克曼. 科学界的精英——美国的诺贝尔奖金获得者[M]. 周叶谦,冯世则,译. 北京:商务印书馆,1979:14—18.