

我国高等学校物理教育的现状及改革的思考¹⁾

赵 凯 华

(北京大学物理系, 北京 100871)

摘要 本文对我国高等学校(着重于非物理类专业)物理教育的现状和改革的必要性,从教育思想和教育体制上作了理论和实践的分析 and 探讨。

关键词 大学基础物理课程

在高等院校里除物理类专业外,理、工、医、农、林等各类非物理专业的基础课程表里普遍设有《普通物理》课,70年代后期以来有的改称为《大学物理》课。今天我着重谈这类非物理专业(特别是数量最多的工科专业)的基础物理教育问题。这里所谈的一些原则对物理类专业的基础物理课也适用。我国40余年来的现实是,每当教学改革的呼声高涨时,非物理专业就要求砍杀物理课程的学时。这个问题长期以来困扰着广大的物理教育工作者,常使他们处在迷惘、焦急、挣扎、无奈、消沉的复杂心态之中,这里有认识问题,也有体制问题,下面对此作些理论和实践的分析,供物理教育界的同行和教育决策部门的领导参考。

1 物理与技术的关系

社会上习惯于把科学和技术联在一起,统称“科技”,实际上二者既有密切联系,又有重要区别。科学解决理论问题,技术解决实际问题。科学要解决的问题,是发现自然界中确凿的事实,和现象之间的关系,并建立理论把这些事实和关系联系起来;技术的任务则是把科学的成果应用到实际问题中去。科学主要是和未知的领域打交道,其进展,尤其是重大的突破,是难以预料的;技术是在相对成熟的领域内工作,可以作比较准确的规划。因此在教育规划中,对这两个不同领域应作口径宽窄不同的要求。

科学最初分化为生命科学和物理科学,前

者研究有生命的东西,后者研究无生命的东西。生命科学又进一步分化为动物学、植物学等,物理科学则分化为天文学、物理学、化学等。但是,物理学不仅仅是物理科学的一部分,它研究的是物质和能量的基本规律,构成了各种现象的基础,是每一学科的根基。今日的物理学有如昔日的自然哲学,它无所不包。大部分当代的新学科,如天体物理学、物理化学、生物物理学、地球物理学、生态与环境科学、材料科学、计算物理学、微电子学、光电子学、光学信息处理等等,都是在物理学和其它学科的交叉点上兴起的。物理学与其它学科杂交,受惠往往是双向的。物理学中的新发现激励着有关学科新方向的研究;反过来,其他学科中的新问题向物理学家们提出了意义深远的挑战。但最终受惠的是社会,是人类生活质量的改善和提高。

历史上,物理学和技术的关系有两种模式。回顾以解决动力机械为主导的第一次工业革命。热机的发明和使用提供了第一种模式。17世纪末叶发明了巴本锅和蒸汽泵;18世纪末技术工人瓦特给蒸汽机增添了冷凝器,发明了活塞阀、飞轮、离心节速器等,完善了蒸汽机,使之真正成为动力。其后,蒸汽机被应用于纺织、轮船、火车;那时的热机效率只有5—8%。1824年工程师卡诺提出他的著名定理,为提高热机效率提供了理论依据。到20世纪蒸汽机效率

1) 1995年5月12日在中国物理学会第六届全国会员代表大会上的报告。
1995年4月3日收到。

达到 15%，内燃机效率达到 40%，燃气涡轮机效率达到 50%。19 世纪中叶，科学家迈耶、亥姆霍兹、焦耳确立了能量守恒定律，物理学家开尔文、克劳修斯建立了热力学第一、二定律。这里的模式是技术向物理提出了问题，促使物理发展了理论，反过来提高了技术，即是技术→物理→技术的模式。电气化的进程提供了第二种模式。从 1785 年建立库仑定律，中间经过伏打、奥斯特、安培等人的努力，直到 1831 年法拉第发明电磁感应定律，基本上是物理上的探索，没有应用的研究。此后半个多世纪，各种交、直流发电机、电动机和电报机的研究应运而生，蓬勃地发展起来。有了 1862 年麦克斯韦电磁理论的建立和 1888 年赫兹的电磁波实验，才导致了马可尼和波波夫无线电的发明。当然，电气化反过来大大促进了物理学的发展。这里的模式是物理→技术→物理。但我国工科专业教学计划的制定者往往只承认前一模式，至少没有重视后一模式。

本世纪以来，在物理和技术的关系中，上述两种模式并存，相互交叉。但几乎所有重大的新技术领域（如电子学、原子能、激光和信息技术）的创立，事前都在物理学中经过了长期的酝酿，在理论和实验上积累了大量知识，才突然迸发出来的。没有 1909 年卢瑟福的 α 粒子背散射实验，就不可能有 40 年代以后核能的利用；只有 1917 年爱因斯坦提出受激发射的理论，才可能有 1960 年第一台激光器的诞生。当今对科学、技术，乃至社会生活各个方面都产生了巨大冲击的高技术，莫过于电子计算机，由之而引发的信息革命被誉为第二次工业革命。整个信息技术的发生、发展，其硬件部分都是以物理学的成果为基础的。大家都知道，1947 年贝尔实验室的巴丁、布拉顿和肖克莱发明了晶体管，标志着信息时代的开始，1962 年发明了集成电路，70 年代后期出现了大规模集成电路。殊不知，在此之前至少还有 20 年的“史前期”，在物理学中为孕育它的诞生作了大量的理论和实验上的准备：1925—1926 年建立了量子力学；1926 年建立了费米-狄拉克统计法，得知固体

中电子服从泡利不相容原理；1927 年建立了布洛赫波的理论，得知在理想晶格中电子不发生散射；1928 年索末菲提出能带的猜想；1929 年派尔斯提出禁带、空穴的概念，解释了正霍尔系数的存在；同年贝特提出了费米面的概念，直至 1957 年才由皮帕得测量了第一个费米面，尔后剑桥学派编制了费米面一览表。总之，当前的第二次工业革命主要是按物理→技术→物理的模式进行的。

在有些人看来，今天发展高技术的关键在于新材料、新工艺。如果我们今天培养跨世纪的高技术人才时，把上面所述的物理原理通通看成是“学院式的理论”而从课程表里排除掉，我们的“高技术”岂不成了无源之水、无本之木？何况微电子技术中所用的加工和分析手段本身，如离子注入、激光退火、卢瑟福背散射谱、俄歇电子谱、X 射线发光谱、二次发射离子质谱，以及高分辨的电子刻蚀、离子刻蚀、同步辐射光刻，无不是从各个分支的物理实验室里移植到工业上的。正是这些技术手段推动了微电子学迅猛发展，从晶体管到集成电路，从大规模集成电路到超大规模集成电路，使集成度以每十年一千倍的速率增长着。没有较为深厚的物理基础，侈谈什么跨世纪的技术人才，多半只是空话。但在我国的大多数工科院校中，连有关半导体的内容都不在课程计划里出现，更何况其他。这样培养出来的工程师，很难在工程技术上有世界水平的创新，我国大中型企业搞不活，除了体制上的问题外，技术人员物理基础薄弱，知识更新困难，在技术创新中举步维艰的状况，是否也是一定的因素？

2 教育体制与物理课程设置问题

前苏联的教育模式，基本上是以计划经济为基础的。学校由行业部门领导，专业设置按工种划分，组成一个个小而全的自我封闭体系，分工细腻狭窄，界线壁垒森严。从理论上讲，这样培养出来的人才，应按国家计划的需要，分配到特定的工作岗位上，一辈子也不要改行。然

而与市场经济相适应的人才是一种模式，他们按个人爱好和供求关系选择和调换着自己的职业，需要有较宽的口径，广阔的适应性。用人单位也希望录用有创造性的人才，因为这对提高他们企业的竞争力是很重要的。而造就富有创造性的人才需要较为宽松的环境，那种狭窄而严格的教学框架只能培养“驯服工具”。50年代初，在用前苏联的模式来改造我们教育体制的运动中，吸收苏联教育风格优点的同时，其体制中的固有缺点也被照搬过来，在某些方面还有所扩大。最严重的后果是专业划分极端狭窄，并将理工科分设于不同的院校。

物理课程的设置，是整个教学计划的一部分，是为培养目标服务的。我这里谈的是各类高等院校中影响面最广的基础物理课程。1952年前，我国大体上采用美国当时的做法，理工医农都开设一年的物理课。1952年全面采用苏联的学制后，为不同专业开设物理课的学时数大幅度地拉开了。学时多的如物理类型专业，普通物理课长到两年或两年半，少的则不足80学时。与许多国家不同的特点是，我国工科院校物理课的学时平均说来特别少，远不如师范专科学校。应当指出，这不完全是从前苏联那里继承过来的，前苏联工科院校物理课的要求并不像我国这样低。据说是全国解放前夕，苏联专家在哈尔滨为我们制订了一个工科的普通物理课程大纲，并由杜伯夫撰写了一部“样板教材”风行全国。该教材考虑到东北老解放区的条件，其水平大体上相当于苏联的大专课程。不知是否因为当时定了这样个调子，其影响一直延续至今？另一个发生在我国的奇特现象，就是我在开头提到的，每当教育改革的风浪来临之时，锋芒都要指向物理课程。尽管当前所处的政治和经济背景，已和“大跃进”或“文革”时期有很大的不同，近来又刮起一阵砍杀物理课程学时的风浪。原因何在？可能是因为虽改革开放了十几年，但我国的教育体制并没有发生根本性的变化。

关起门来习以为常的事情，打开国门一看，会使我们大吃一惊。美国著名大学中理工科一、

二年级的课程是不分系、不分专业的，数学和物理课的学时与数学系和物理系一样。例如加州理工大学所有系一、二年级的公共物理课总学时约为540（包括实验课、习题课）。德国的情况也大体上如此，理工科一、二年级不分系，学习周学时4为两年期的公共物理课，以及相应的实验课。在法国，除一般的大学外，有四所特殊的“高等学校”，如巴黎高师和理工大学，专门为培养政府的高级官员、军队的高级将领和高级工程师而设置的。中学毕业生经过竞争性很强的选拔考试进入两年的预科。在预科里，理工科只分物理科学和生命科学两个方向，物理科学的课程设置大体上与德国大学理工科一、二年级水平相当。进入本科后（大体上相当于我国大学的三、四年级）仍不分系，我国物理系的主要课程（如量子力学）在本科的两年内都是公共课。学生进入第三年时（相当于我国的硕士生阶段）开始分专业，决定学习物理，还是电子工程或机械工程。总之，在工业发达的先进国家，工科的基础物理课学时基本上都是和物理专业一样的，在各科中属最高档次，估计一般都在500学时以上。而我国工科物理课总学时的“标准值”只有200，实际执行的还要少得多，180就算很好了，在不少院系中是140，110，而且还有继续下降，乃至取消物理课的趋势。这种强烈的反差，不值得我们为中国教育前途而焦虑的人深思吗？当前在我国出现了理工科院校合并的新潮流，这似乎是1952年院系调整的逆过程。若只是形式上的院系合并，而不触动上述在专业割裂和课程体制上的根本问题，是没有多大意义的。

我国用人单位的人事部门也许会提出质问：用这样宽口径培养出来的人，不能解决岗位上的实际问题。我们需要的是专业对口，来了就能上岗的有用人才。是的，在计划经济体制中培养人的模式，就是要他们能立即上岗。但其实也只是理论上如此，因为学生的专业招生时就定了，而几年后国家需要哪种专业，哪个工种多少人，从来也不可能准确地作出规划。总有相当的毕业生是“学非所用”的。60年代以来毕

业生闹专业不对口的现象已应引起我们的深思,何况今后随着市场经济搞活,人才的需求就更难规划了。培养宽口径人才,侧重打基础,适应性强,学用结合的问题不那么严重;而窄口径的知识,离了某种特定的岗位,或工艺设备更新换代了,真可能没多大用处。在市场经济的体制下解决“上岗问题”,主要不靠正规大学,而是通过“岗前培训”。我国也应逐步建立起这种制度,作为正规教育的补充。

3 大学基础物理课的目的和任务

非物理专业的学生为什么要学物理?在我国现行的教育体制中占支配地位的看法是,为专业课服务。于是,专业课需要的内容就讲,不需要的内容就不讲或少讲。专业课排下来剩的时间多就多讲,剩的少就少讲。著名理论物理学家、诺贝尔奖金获得者理查德·费曼说:“科学是一种方法,它教导人们:一些事物是怎样被了解的,什么事情是已知的,现在了解到什么程度(因为没有事情是绝对已知的),如何对待疑问和不确定性,证据服从什么法则,如何去思考事物,做出判断,如何区别真伪和表面现象。”¹⁾所以,大学里的物理课绝不仅仅是物理知识的教育,更不是主要为专业课服务的。我们认为,物理学是整个自然科学的基础。对于任何专业,大学基础物理课的目的,都是使学生对物理学的内容和方法,工作语言、概念和物理图象,其历史、现状和前沿等方面,从整体上有个全面的了解。这是一门培养和提高学生科学素质、科学思维方法和科学研究能力的重要基础课。

物理学是一门,也是自然科学中第一门理论和实验高度结合的精确科学。在历史上首先为物理学赢得这样声誉的,是牛顿力学。牛顿的万有引力定律把苹果和月亮的运动法则统一起来,不仅成功地解释了由开普勒总结的行星运行规律,由此定律还推算出月球运动的若干细节,说明了岁差、章动和潮汐等现象。众所周知,牛顿力学最辉煌的成就要算对一颗新行星

——海王星的预言,理论推算的误差只有 1° 。近代物理学高度精确的计算和测量更加令人赞叹不已。1957年量子电动力学计算的电子反常磁矩值为 $\mu=1.0011614\mu_B$ (μ_B 为玻尔磁子),它与在此之前所得的精密实验值 $\mu=(1.001167\pm 0.000005)\mu_B$ 符合到第六位有效数字。到了1984年,物理学家竟然能写出它的12位有效数字: $\mu/\mu_B=1.001159652193$ 。1987年测得这一量值的实验结果是 $\mu/\mu_B=1001159652187.9(4.3)\times 10^{-12}$,共13位有效数字,理论和实验的符合达十二位有效数字。在自然科学中唯独物理学达到这样高度的定量化,是因为物理学所研究的物质运动形态最简单,但也正因为如此,物理学中发展起来的思考问题和研究问题的方法也最全面、最深入。这些方法现正在向其他学科(如生命学科)渗透,与它们所用的方法结合起来,发挥愈来愈大的威力。

物理学的理论思维包括直觉、猜想、假设、模型,直至从已有理论出发的逻辑推理和数学演算,但绝不是哲学式的思辨。关键问题是最终一切都要以实验事实为准则。物理学家对“实践是检验真理的唯一标准”这一信条是最坚信不疑的,无法直接或间接用实验或观测来检验的任何论断,在物理学中都被认为是毫无意义的。爱因斯坦把科学家们一代代探索自然界秘密的努力,比喻做读福尔摩斯一类侦探小说。在好的侦探小说故事中,一些最明显的线索往往引导到错误的猜疑上去,凭直觉的推理方法是靠不住的。这里所说的直觉,是普通人天生的直觉。本段开头所说的“直觉”,不是这种直觉,而是经过长期的物理学训练而获得的“物理直觉”。那里所说的“猜想”,也不是不着边际的胡思乱想,需要长期经过物理学训练而获得的预见能力。总之,培养这类能力是物理课的重要任务之一。我在《定性半定量物理学》一书中所介绍的对称性原理、量纲分析、数量级估计、极限情形和特例的讨论,概念的类比等方法,都对培养学生物理的直觉,科学的预见能力,很有帮助。针对

1) 摘自费曼1963年11月21日在第一次美洲物理教育会议上的重点发言《拉丁美洲的物理教学问题》。

一定的现象或实际问题提出大胆的假设,建立起恰当的数量模型,用的是归纳法。从已有的理论出发作逻辑推理或数学演算,则属演绎法。归纳和演绎,相辅相成,都是必要的。我国传统的物理教育侧重演绎法,今后应注意加强归纳法的训练。

物理学的实验无疑是最精密的实验,从物理学中发展出来的各种先进仪器和手段,如穆斯保尔谱仪、核磁共振仪、扫描隧道显微镜、各种超声波或 γ 射线的探测器,等等,早已被化学、生物学、医学,以及许多工业、农业等实际部门,作为最现代化的手段而广泛采用着。但这还不足以构成众多非物理专业的学生应当学习较多物理的理由。因为单纯的操作,甚至一般的维护,可以不需要很多的物理学。实验物理学家和一般的技术人员最主要的差别,在于他们有物理思想。他们不是无休止地记录着看到的事实和数据,也不满足于用“炒菜式”的方法去探索工艺过程。他们在实践的过程中不断地思考着,凡事总喜欢问个“为什么”。这就是说,物理学家做实验的目的是在寻找“机理”,或者说,力图去理解自然规律。这里所说的“机理”或“规律”,从纯唯象的,直到现今最深刻的理论,按照认识阶段的不同,可作各种层次的理解。但是无论如何,在做实验时,不能没有理论思维。如果说,脱离实验的理论是无根据的空想,则没有理论思维的实验,是可能迷失方向的盲目实践。我想,这正是物理实验课在提高各类专业人才的科学素质方面应当发挥作用的地方。

4 基础物理课程现代化问题

本世纪二三十年建立起来的相对论和量子力学,早已成为掌握近代物理和高技术不可回避的基础,现代物理学中每年都有激动人心的新成就、新事物展现在我们的眼前。然而,在我们的课程中对这些光辉的进展很少有所反映。愈来愈多的学生抱怨基础物理课程枯燥乏味。以上虽是各国物理教师所面临的共同问题,

但从这种情况摆脱出来的主要障碍,可能不同国家有所不同。下面我想先谈谈我国的特殊问题。

4.1 全国统一教学大纲的严格集中控制

50年代教育部颁发了一整套所有专业所有课程的统一教学大纲。当时规定,教学计划和教学大纲具有法律效力,教师无权更改。“文化大革命”之后,这种规定逐步松动。诚然,在重点大学里,这种法定的教学大纲从来没有刻板地执行过,但在大多数的一般大学,特别是较边远的学校中,教师的思想和教学实践仍被“统一的教学大纲”严重地束缚着。评价一本教材的标准之一,是它应符合法定的教学大纲,否则很难出版。一度曾经将一本教材的字数按大纲时数计算,不符合每学时3500字左右的不予出版。考题必须严格地框在标准的教学大纲之内,否则教师会受到谴责。久而久之,一些教师已习惯于把自己的思想和兴趣局限在这一框架里,对当代物理学中的新事物漠不关心。

4.2 封闭和细嚼烂咽的讲课风格

在我国,学生学习成绩的好坏要由教师负完全责任。在一些学校里,教师业绩的考核按其学生所得的考分来评定,职称的晋升和工资增长都与此挂钩。有一种普遍的提法:作为一个好的教师,应当“课堂上解决问题”,把所教的内容都“讲深讲透”,不给学生课后留下疑难。所以我国的教师都习惯于把知识组织得井井有条,对课程内容的每个细节作详尽的解说,对学生可能发生的误解一一予以告诫。我粗略地估计,同样的内容,在我国现在所用的课堂学时,至少比西方多50—100%。现代物理学中的新事物,怕不能讲透而引起麻烦的,在课堂上宁可只字不提。据我所知,1952年以前的老北大、老清华,以及抗战时期的西南联大,课从来就不是这样教的,丝毫没有影响那时候人才辈出。

4.3 过分细致的分工导致的各种“脱离”

50年代初,在以苏联的模式来改造中国教育体制的运动中,苏联体制中的固有缺点被照搬过来,在某些方面还有所扩大。最严重的后果是造成理科与工科脱离,科研与教学脱离,专

业课与基础课脱离。课程的现代化需要搞教学的和搞科研的人员密切合作。然而,大多数搞科研的人没有教学经验,特别是教基础课的经验。他们的知识和兴趣往往局限于很窄的专门领域,一味向深处钻研,无暇环顾四周。搞教学的人则年复一年地重复着他们的课程,很少有机会接触现代物理学的前沿。

是否和如何把近代物理和前沿内容加到普通物理课程中?对这个问题的意见是有相当分歧的。对于物理专业来说,有人认为后继课可以给学生以近代物理的训练,不一定有必要在普通物理课程里过多介绍;对于非物理专业来说,有人认为,现行普通物理课程的学时已经太紧了,有那么多既基本又重要的内容要讲,没有余力去介绍诸如夸克、大爆炸、超导一类前沿课题。况且新闻式的匆匆介绍,也不可能使学生对它们有真正的理解,亦谈不上激发学生学习物理的持久兴趣和热情。

上面引述的意见是有一定道理的,在推动普通物理现代化时应加以考虑。然而,为了与科技迅速发展的步伐相适应,使我们的课程生动活泼地保持生命力,必需进行改革。这是时代的要求,是世界上所有物理教师的共同愿望,当然解决问题的途径可以有所不同。

1993年11月中国物理学会教学委员会召开了一次研讨会,讨论大学基础物理课程现代化问题。在此我把讨论的情况扼要地介绍一下。

问题有两个方面:

(1) 近代物理的内容的讲授要与低年级学生的理解水平相适应。应从实验事实和现象入手,建立物理模型和物理图象。理论分析不一定要从第一原理出发;可从数学上较简单的特例入手,然后指明结论的普遍性。推广到普遍

结论时可通过例子来示范,在数学和逻辑上不一定要求严格。

(2) 在经典物理内容的讲授中要渗透时代的风格和精神。即用现代的观点来审视各经典物理概念的提法是否过时,各经典物理定律的相对地位是否发生了变化,等等。据此我们可以来重新组织课程的体系,考虑其原有内容的增删取舍。

为了克服中国式讲课的封闭风格,应鼓励教师在课堂上向现代科技前沿开“窗口”。此外,近代和前沿的课题往往是在普通物理某些原有内容的基础上生长出来的,但是在过去的教材中未为它们留下必要的“接口”。我们需要改变传统教材里某些段落的表述,与知识的进一步发展相衔接。

教师与学生接触的时间总是有限的,永远不可能有足够的时间来教我们想教给学生的所有内容。这是全世界教师所面临的共同问题,但由于上述中国式细腻的教学风格,这个问题格外严重。出路只有改革我们的教育思想和教育方法。

近年来不少高等学校(特别是解放军院校)的物理教师在校内开设了物理学与现代高科技(或现代军事技术)、物理学与交叉学科等一类选修课,并编写和出版了相应的教材,使一向不景气的物理课声誉大振,甚至在校内被评为最有影响、最受欢迎的优秀课程,这是非常可喜的现象。不过要使局面有真正的扭转,不仅需要教育思想上,在广大教师和教育决策部门的领导中取得共识,还得在教育体制上有所改变。教育的改革是不能性急的,得有一个过程。但我们期望改革能够持续地朝正确的方向前进,不再走或少走一些弯路。过去这方面的教训实在太大了。