

物理学的最新进展与科普

李学潜

(南开大学物理科学学院 300071)

20 世纪的伟大物理学家，如普朗克，爱因斯坦，泡利，等等，构建了近代物理学大厦的基础，他们光彩夺目的名字已经是耳熟能详。量子力学，相对论等光辉的成就已经写进中学，大学或研究生的教材中，成为我们这些以物理为专业的教师和研究人员的思维依据了。同时，这些物理成就对那些不是从事与物理直接相关工作，但受过良好教育的人，也不感到陌生。20 世纪 50 年代，李政道和杨振宁提出的弱相互作用中宇称不守恒向人们揭示了自然界的奥秘，似乎完美的对称性并不真正完美，是可以破缺的。这个结果的伟大怎么形容都不过分，随后关于 CP 破坏的研究正是在这个启发下开展的。规范场理论已经成为粒子物理学的最基本理论，规范场的破缺更是得到实验的支持，成为广泛接受的原则。在凝聚态领域，BCS 理论是超导的基本理论，玻色-爱因斯坦凝聚的理论预言也和实验观测达到完美的一致，还有了新的应用前景。20 世纪物理学的成果非常辉煌，它改变了人类对自然的认识，也为人类创造了美好的生活条件。当然事情也会有消极的一面，原子能的应用，既造福于人类，也带来核战争的恐怖。但无论如何，物理学的发展推动了人类文明向前大幅度地迈进。举个例子，20 世纪，人们使用的照相设备，且不说镜头的改进，只看看底片到照片的复杂化学过程，曝光，显影，定影，彩色印刷，好复杂，又好贵，还需要精美相册去保存。是物理学的进展改变了这一切。用数码相机，几乎可以无限制地拍照，成本接近于零，再看照片，就可以在分辨率很高的计算机屏幕上欣赏了。不但成本低，而且完全没有化学过程带来的污染。我们确实是在享受物理学的成果。这些改变就发生在我们身边，所有人就像我们理解量子力学和相对论那样接受了这些物理学成果，并且已经习惯了物理学带来的革命。

但同时却似乎忘掉了物理学家如何克服各种困难，实现概念上和技术上的突破。这对大众来说没有什么不对，我们的成就理所当然地要为社会服务，让大众受益，但对那些物理学家和立志为物理献身的年轻人就不同了。他们要从过去的发展史中汲取经验和教训向更高深的方向发展。这时一个尖锐的问题出现了，只有专业物理学家了解这一切够了吗？是不是我们应该对大众进行科普？

“现代物理知识”2016 年第 5 期发表了程民治和朱爱国的文章，引经据典，深入地探讨了科普的重要性。在此文中，他们从观察现象入手，讨论科普的必要性，特别强调它的大众性和对任何人（包括物理学家）的普适性。

进入了 21 世纪，物理学是以让人瞠目结舌的速度向前进展。在许多领域内的成就几乎动摇了我们传统的理解。Higgs(上帝粒子)的确认使标准模型的最后一个砖块放到了它应在的位置，我们可以说为标准模型打上了句号。然而随着标准模型的完全成功(它的各种预言和迄今为止的所有实验结果在误差范围内高度符合)，数不清的新问题仍然等待回答。首先当然是宇宙中物质不对称性(物质远远多于反物质)的起源，其次，我们所看到的重子物质(日月星辰和我们周围的一切)只占宇宙物质的 4%，那什么是宇宙能量的大头呢？暗物质是这个问题的答案之一，但暗物质是什么，到今天对我们还是个谜！

我们的宇宙在加速膨胀，这是对我们传统的物理概念的极大挑战！太阳所以不塌陷是由于内部的核反应产生的向外的压强抵消了引力造成向内的压强，那什么“力”造成宇宙向外的压强呢？于是，暗能量的理论出现了，根据数据分析暗能量占宇宙总能量的 70% 以上！

引力波的发现无疑是物理学中惊天动地的大事，爱因斯坦的广义相对论一百年前就预言它的存在，但是一直没有找到。2016年，美国的 LIGO 实验高精度地测到了两个大黑洞并和时产生的引力波。另外，在南极的 BICEP 也曾宣布找到原初引力波，虽然他们的数据分析有问题，结果不可信，但研究方向是正确的，工作还在继续。

最新的研究表明纯粹的数学在理解物理规律上有重大作用，例如拓扑，反德西特空间和共形场论 (AdS/CFT) 在凝聚态物理和场论等领域的应用都取得了巨大的成功，等等。

这些物理学的最新进展似乎只在物理学家的圈子里传播，讨论和激起他们的热情，鼓励他们继续深入地开展工作。

量子物理已远远超出普朗克时代的认识，它不仅是微观领域研究的基础，而且得到了许多实际应用。20世纪人们已经大量应用量子力学解决具体问题，例如大大提高计算机存储功能等。在21世纪，量子通讯技术和量子计算机的研究都已在世界各研究机构和大学中如火如荼地进行，并已经取得了长足的进展。

但这些成就没有广大群众的理解和支持，没有国家的资助和统筹安排是不可能取得的。我们有没有在一定程度上剥夺了广大群众，特别是那些热爱物理的年轻人的知情权呢？我认为或多或少是有一点的。换句话说就是我们的科普工作做的并未完全到位。

什么是科普：科普是向非本专业的科研人员，教师，研究生，大学生乃至中学生以及一切对物理学感兴趣的公众介绍物理学的基本知识，研究方法，物理学史还有物理学家，但特别重要的是该领域的最新进展，成就，这些新发现的科学意义及应用前景。科学研究又分为研究物理基本规律的基础研究和应用已取得物理规律为人类造福的应用研究。前者是根本，我们熟知的量子力学，相对论都属于此范畴，而2014年诺贝尔奖项目——发光二极管就属于后者。两者对人类文明都有重大意义，互相支持。科普也就应该涵括这两方面。

科普是要人来做的，科普作家必须是对科普有热情的人。我认为科普也分若干层次，这并不是指科普

作品的质量，而是指内容深浅和涵盖范围不同。层次不同，科普的对象也不同，这点做科普的人必须要分清。事实上，有低级，中级和高级科普。低级科普的对象是对那些几乎没有任何物理知识准备的学生和社会人员，他们大概只有初，高中的物理知识，但对物理科学有浓厚的兴趣。特别是那些中学生，如果引导适当，他们可能会选择物理作为终身的事业。对他们，科普用的语言要尽可能的通俗，简单，趣味性很重要，就不必过分强调物理学中的严格性和严密的逻辑性。相应的，报告用的幻灯片 (power point, ppt) 也要更精彩，更有吸引力。笔者就没有做这种动画 ppt 的能力，很羡慕那些制作精美 ppt 的年轻人，在给中学生讲课时，就得求助于我的学生帮忙做 ppt 了。第二个层次是对大学生和研究生 (低年级) 的。大部分听讲座的大学生 (一，二年级) 还没有学过量子力学，统计物理等略为“高深”点的课程，对他们进行科普，就既需要趣味性又需要有真实的物理内涵，这个“度”是要认真把握的。

最高层次的科普的对象是非本专业的研究人员，教师和高年级的研究生。其实，即使是本专业的研究人员听听别人 (其实他们本人也在做类似的科普报告) 的科普报告也往往很有心得，至少学习别人如何把这个课题讲得很精彩的经验。学术报告分两种，一是专门的学术报告 (seminars)，是给非常专业的人准备的，实际研究的各个细节，报告期间可以有讨论，甚至激烈的争论。另一种是高级科普 (colloquium)，如我上面所说的，听众可以是任何人。

现在，在个别大学中有个很不好的风气，那就是教师从来不去听非本专业的科普报告。在美国的大学中，除了密集的 seminars 外，还有 colloquium。笔者曾在的明尼苏达大学 (不是顶尖的大学哟!) 每周有一次 colloquium，邀请世界各地顶尖物理学家 (有理论家也有实验家) 做高级科普报告，内容涉及了各个领域，介绍了物理学最新的进展。我记得有一次邀请了加州大学伯克利分校的一位教授讲超对称，她用了 squark, slepton, gaugino, 等等的名词，有一位听众开玩笑地说，劳驾，请你用英文，我们听不懂啊! (夸克的超对称伴随子是标量因而是 Scalar quark。规范粒子的伴随子是费米子，因而称为 gaugino。) 听这些 colloquium 确实丰

富了我们对物理世界的理解，了解了物理学最前沿的进展。特别是，在听 colloquium 之前，所有的教师和研究生都会聚集在一起，喝杯咖啡，聊聊物理，研究生，也许教授都有收获。我看了费曼的传记，他提到加州理工（那可是顶尖大学之一啊）也有类似的学术活动。他山之石可以攻玉，是普遍真理，温伯格就是在萨拉姆的建议下将凝聚态理论中自发破缺概念引入到粒子物理中来，使我们明白为什么费米子和规范玻色子（如 W 和 Z）能有质量。今天物理学的不同领域彼此借鉴已经是普遍接受的事实了。例如凝聚态理论中借用了声子，Majorana 费米子，Weyl 费米子，磁单极等的概念讨论凝聚态中的一些现象（这都是根据场论可以存在，但在现实世界还没找到的粒子）。场论中的很奥妙的重整化群方程也被用来研究相变，并取得极大的成功。这些都指明借鉴其他领域的成果是走向成功的捷径之一。钱学森曾议论为什么我国物理学家没有得到诺贝尔奖（其实现在许多中国物理学家具有世界水平的研究成果，距诺贝尔奖也就是一步之遥了），我想各个学科相对封闭也是其中的原因之一。

我们真的不怎么需要科普了吗？显然不是。例如，最近听说的美国科学家实验获得了百年前就预言了的金属氢，此外，时间晶体、color 和 kinematics 之间的 duality（可能应该译为二元性吧？）对我来说简直匪夷所思。这些新东西，无论对与不对，都是值得我们研究的，至少是应该有所了解的，否则将来真正成为理论的基础，而我们没有做好准备，就很容易被时代所淘汰。举个例子，笔者有个老师，是教过我们数理方法和场论的，20 世纪 80 年代在粒子物理方面做过很多工作。他退休之后，多年没有接触过物理学前沿，就很难理解新的进展。他到我的办公室，让我讲讲物理学又有了什么新东西，我告诉他一些我所知道的新进展，他几乎很愤怒地说这不可能，因为违反了他熟知的规律，然后叹息着离开我的办公室。过了几个星期，他又来到我的办公室，于是这个故事重复了一遍，这个故事周而复始，不断啊。现在，我也退休了，可能过几年我也会到我学生的办公室去问物理学的新进展，也说不定陷入那种尴尬的境地（哈哈！）。

每个人都需要不断地更新知识，参加 colloquium

也许就是最好的办法，国外我见过很多大物理学家退休后还来听类似的 colloquium，甚至还问题不断。我想再强调，做科普报告必须看对象。多年前霍金到北京来曾做过科普报告，地点在亚运村的科学会堂。由于霍金这么大名气，北京的中学生趋之若鹜，千人会堂座无虚席。霍金当天的报告题目是膜宇宙，即我们的四维时空在一个膜上，还存在其他的膜。可怜那些中学生连四维（时空）都没听说过，怎么理解超维时空啊！所以过了没多久，这些中学生的热情就降到零点，开始聊天和做别的事了。倒是我从霍金的“高级科普”报告中学到了很多（得益于朱传界的翻译，要不然我没法听懂霍金的机器合成音），后来我和我的学生根据霍金的模型做了一些研究，结果发表在 *Physical Review D*。这说明霍金的科普合适的听众是我这样的研究人员，而不是中学生。当然对于像李淼，蔡荣根那样的专家，这个科普报告就又没有新意思了。我们学校邀请过很多名家来做科普，但可惜，大部分演讲人的报告内容太专业了，学生听不懂，这样降低了他们学习的兴趣，效果是负的。相反，有些专家的报告深入浅出，很受学生欢迎，报告后学生的问题不断，欢声笑语，气氛非常好，学生的反应也很好。这不仅是口才的问题，而更重要的是理解听众。科普说来简单，但却是一门很深的学问。

科普不仅要靠科学家们的言传身教，各种专业杂志能起到的作用是不可忽视的。美国物理学会专刊《今日物理》(*Physics Today*) 就邀请在物理各个领域有很高建树的专家对物理学的最新进展撰写文章，他们的文章是最高水平的科普文章，内容正确，表述清楚还通俗易懂，适合广大群众阅读。我们国内也有若干较高水平的科普杂志，“现代物理知识”就是其中的佼佼者。每次物理学界发生重大事件，有新的发现和研究进展时，像 *Physics Today* 一样，“现代物理知识”积极组稿，邀请国内在该领域工作的著名学者写文章介绍这些新成就，使广大读者了解世界上发生了什么大事。尽管不会深入到细节，但至少充实了爱好物理的公众的知识，满足了他们的好奇心，甚至可能触发他们在这个领域及其他相关领域的研究。历史上，薛定谔的书《生命是什么》影响了众多的生物学家就是

一个很好的例子。

这些年，特别是 21 世纪以来，中国科学家取得了举世瞩目的成就，而且正在做物理学中有重大意义的超大型科研项目。没有公众的支持，这些项目是不会得到真正的成功的。科学研究的目的是什么，是探索自然界的奥秘并且将它的成果服务于社会。那么公众的参与是至关重要的。在大亚湾中微子实验以超过 7 倍标准偏差的高精度测量到 θ_{13} 并不像以前认为的那样小，从而发现和证实了中微子新的震荡模式，即 $\nu_e \leftrightarrow \nu_\tau$ 。这个发现指出有在轻子部分找到 CP 破坏的可能，这对解决宇宙学中很多难题是有决定性意义的。 θ_{13} 不为零意味着一些基本对称性的破缺，例如轻子间的 μ - τ 对称性，也就是轻子间的普适性在一定程度上（这个程度不大）破坏了。这对我们理解粒子物理世界最基本规律很重要。更有意义的是迄今为止，我们只在强子（实际上是介子）层次上找到 CP 破坏，如果 θ_{13} 严格为零，在轻子部分就不可能存在 CP 破坏，这对理解宇宙学现象是至关重要的。“现代物理知识”组织了专刊，既包括了有关中微子的理论文章，又详尽地介绍了大亚湾中微子实验的方方面面，使读者对中微子实验的意义和一些细节有了全面的了解。

引力波的发现是科学的重大进展，LIGO 的实验是在地面做的，如果能在天上做，就更有说服力。因而中国提出两个方案“天琴”和“太极”，分别用定位卫星来捕捉宇宙引力波的信号。另外，本文前面提到的“原初引力波”既是检验爱因斯坦的理论又是对宇宙早期暴涨理论的验证，高能所提出的“阿里”项目就是探测此类的引力波，与位于南极的 BICEP 实验有互补的作用。“现代物理知识”也专刊介绍了引力波的理论 and 实验。其中张新民教授撰写的文章就是一篇极好的科普文章。我原来不太懂原初引力波，读了这篇文章，感到受益匪浅。

拓扑在物理学上的应用对我们大多数人来说还比较陌生，但 2016 年的诺贝尔物理奖给了三位物理学家以表彰他们“在拓扑相变以及拓扑材料方面的理论发现”。“现代物理知识”也组织了相关文章介绍该领域的工作，给我们这些门外汉做了一次非常有趣的科普。我认为“现代物理知识”确实为我国的科普做

了大量的有益的工作，我在阅读每期的文章时都感到在享受物理。

说到“科普”，我还想简答讨论另一个话题：“民科”。所谓“民间科学家”是指没有受过专门训练或系统学习过本领域知识的，但对这类问题很感兴趣，想要发表自己看法的“科学家”。它们往往以攻击被广泛接受的物理规律或标新立异地创建既无实验支持又违反基本原则的“理论”为主要特征。民科又可以分为几类：最初级的攻击牛顿力学，建立新的体系，中级的攻击爱因斯坦相对论（主要是狭义相对论），高级的攻击量子力学。谢天谢地，他们很少有人懂广义相对论和场论，因而这两个领域受民科的攻击比较少。但从另一个角度看，这些民科对“科学”的热情非常高，甚至到走火入魔的境地。他们中很多人（特别是攻击相对论和量子论的）是受过高等教育的，在认知方面走了极端。因而，我认为如果我们的科普工作做的很到位，能引导他们放弃那些没有意义的胡思乱想，转而做些具体的工作，乃至参加到科普队伍中，将是很强的力量。

众所周知，目前全社会关注的中国是否应该建环形正负电子对撞机（CEPC，也就是 Higgs 工厂）引起了剧烈的争论。争论涉及了建造的科学意义，经费的合理性，乃至伦理等一系列的方面。科学上，争论是有益的，健康和善意的争论是应该受欢迎的，因为它促使科学向前发展，修正错误，提高效率。实际上，CEPC 的方案提出的同时，还有 Z-工厂；超强度的 Tau-charm 工厂等方案被提出，经过多次讨论，目前大家统一认定 CEPC 是最合理的方案，国内外的高能物理学界一致支持这个方案。我们虽然在高能物理圈子里达成一致，但仍需要让大众知道我们在干什么，为什么要这样做。只有得到全国上上下下的一致支持，我们才可能出色完成这个项目。于是向公众的科普就至关重要了。

在这篇短文中，我简单阐述了将物理学最新进展通过科普讲座和科普文章介绍给广大公众的意义和重要性。我们确实有责任和义务做科普，不要让这么美妙的物理学局限在少数人的象牙塔中。这样我国的科学事业才会更加兴旺发达！