

物理学会终结吗

李学潜 任毅志 闫赤元

(南开大学物理学院 天津 300071) (天津市宝坻区科委)

物理学会终结吗？这个持续了几百年的老话题似乎并没有随着 20 世纪物理学以及其他科学的高速发展而停息，相反，关于物理学就会终结的议论，随着新千年的开始又一次活跃起来。

我们的话题是从一本名为“科学的终结”的书开始的。此书作者为美国权威杂志“科学美国人”的专职撰稿人，资深记者约翰·霍根。他在此书的封面上写道“科学(尤其是纯科学)已经终结，伟大而又激动人心的科学发现时代已一去不复返了。”在他的书中不仅物理学已趋向终结而且如哲学、宇宙学、进化生物学、社会科学、神经科学、混杂学，乃至科学神学统统接近了终结，似乎我们人类探索自然的进程已接近尾声，然后的日子就会在混混沌沌中度过了。

李政道先生直斥此书为“一本坏书”，郝柏林院士说“(它)错把极限当终结”，舒曼更是直截了当地说“(它)胡言乱语”，然而也有很多大科学家有完全不同的想法，帕提特说“这是一本开卷有益的书”，诺贝尔奖得主温伯格说“我并不完全否定此书，我明白他为什么这样写，但我不同意他的观点。”

我们觉得此书的观点尽管很荒唐，但是它的逻辑和立论都很突出，如果不仔细思考，很容易被它引入歧途。霍根先生绝不是无病呻吟地乱发议论，他本人对科学有很深研究和造诣。在写此书时，他做了大量的调研、采访、阅读和求证，所以他能把有根有据的科学成果一步步引到荒诞的结论上去。

说实话，乍一看这本书的题目会以为作者在以反问的形式批驳一个悖论，或在以玩笑做为开始，但看下去后，就只好随作者在一个浩瀚的理性海洋中沉浮，时刻小心注意他悄悄塞入的陷阱和悖论。我们不是哲学方面的专家，但我们认为辩证法的一个根本原则就是进步是不可穷尽的。在本文中我们暂时抛开我们不熟悉的课题如生物科学、社会科学等，而集中在物理学和宇宙学方面，尤其是后者，正在给我们带来巨大的冲击和意外的惊喜，我们事实上已经站在了突破的前夜。

“物理学即将终结”这个断言我们已经听了几个世纪，甚至在真正物理(牛顿力学)出前之前就有人认为对世界已认识得差不多了，当牛顿把微积分引入到力学中，人们能够几乎完全准确地预言物体的机械运动行为，在万有引力定律被发现后人们可以在极高精度下计算行星的轨道参数，得到的结果与实验观测完全吻合。根据这些定律，哈雷首次指出哈雷彗星以确定的周期访问地球。这些成功使当时的物理学家们欣喜若狂，他们确信他们已经知道了宇宙的一切奥秘，而且科学的基础就是牛顿力学。从而人们把目光转向更完美的数学形式，最短程线的费尔马原理是力学中的根本原则，从而我们可以得到欧拉方程，哈密顿方程等等，这一切都导致了分析力学，这个标志非相对论力学最完美的数学和物理形式的理论的建立和完成。在几个世纪中，光学理论也被逐步完善。从几何光学到物理光学，人们认识到光实际上就是传播的电磁场，它的规律已经被麦克斯韦理论完美地描述了。在这过程中最重要的突破是场概念的引入，从而消除了超距作用。19 世纪中热力学与统计力学也逐渐完善。尽管是在非常经典意义下的平衡状态或准平衡态的统计力学，但在当时已可以把内能、熵等热力学概念予以深入的理解。至此，整个经典力学的框架已经完成，当时可以观测到的一切运动过程都可以接近完美地解决了，当然如果人类真的停留在那个时代，未尝不是一件好事，许多现代科学带来的负面影响和麻烦就不会有了。然而人们的好奇心，推动他们向更深层次进行探索。

在进行探索之间人们是那样满意已有的成绩，他们断言科学向深度进军历程已临近终结，直到人们发现了“天空上的两朵小小的乌云”。即黑体辐射和迈克尔逊干涉实验，众所周知，前者导致了量子力学的诞生(1900 年)；后者成为狭义相对论的实验基础(1905 年)。这些新发现的过程已有许许多多的文章回忆过了，我们也不打算再去简单重复。

然而,历史真是在简单地重复自己。这不仅在社会变革上,而且在科学史上也在不断重播过去的论调。当然,每次重复一定是有新的内容的,并不会机械地完全照搬过去,因为那样一定不会有人相信。且让我们来看看霍根先生重弹物理学和宇宙学即将终结的断言是有什么依据吧。

在写这本书时,他采访过许多成名科学家,与他们进行过长时间的对话,但他如何能那么肯定 20 世纪末到 21 世纪初,物理学就要终结呢,凭什么得出这么强的结论呢?

将霍根先生引入歧途的是近 20 年发展起来的超弦理论和近几年的 M 理论。在物理学中有一个很强的概念,即能量标度,由于量子力学的测不准关系,它也是长度或时间的标度。当我们到达一个新的能标后,所有的物理规律都会改变。典型的例子就是从经典物理到量子理论。我们现在知道的,如 QCD 能标(大约 0.2GeV),手征破缺能标(大约 1GeV),电弱能标(246GeV)再就是一片没有新物理的“大沙漠”(这当然没有真正确定),上面就是大统一能标(10^{15}GeV),然后是普朗克能标(10^{19}GeV)。目前我们能预见的也就到此为止了。超弦理论认为普朗克能标对应最小的一个尺度($5 \times 10^{-33}\text{cm}$),时空到那时不可再分割了,成为量子化的时空,这个典型长度即为 $5 \times 10^{-33}\text{cm}$ 。那么假如我们真能达到那个能量(我们目前的实验条件最多只能达到 $20\text{TeV} = 20000\text{GeV}$ 的能量),是否物理真的会终结在那儿呢?超弦的大小正是这个尺度,因而人们凭借超弦的理论认为天也有了尽头。

最初引入超弦是由于量子场论中的紫外发散和重整化问题引起的。在量子场论中,高阶微扰的圈图会引起无穷大,称为紫外发散。用“重整化”手段硬把圈图中的无穷大扣掉,不论怎么讨论都有点不太自然。而且更有甚者,引力场不能重整化,也就是说这个人类最老的朋友和其他 3 种相互作用(强,电磁和弱作用)有本质的不同,因而我们不能量子化引力场。人们认识到所有发散都与 $1/r$ 有关,当距离 $r \rightarrow 0$ 时,产生发散。这样如果最小的不可分长度为有限值,无穷大就不存在了。这样超弦理论就应运而生了。人们在计算时发现用了这个理论做单圈计算时,真的看到发散和反常都消失了(反常也是一个基本概念)。但要求时空维数为 26 维(玻色弦)或 10 维(费米弦)对称群为 $O(32)$ 或 $E_8 \times E_8$ 。当时(80 年代初)人们感到十分鼓舞,然而不久就发现了许多

问题,目前这方向的研究还在深入进行。

但不论如何,产生的问题一点也不比解决的问题少。而且 10^{19}GeV 能标是否是空间和时间的极限也是不可知的(至少在目前)。

早在十几年前笔者就和一个研究超弦的学者讨论,他的观点是人既然已从逻辑上走得那么远,为什么还要花很多钱造加速器,制望远镜?这儿有一个原则上的分歧。事实上,我们必须承认物理学归根结蒂是一门实验科学。从已知的领域向新的领域外延时,除了逻辑和数学还需要科学假定。所做的预言正确与否必须由实验来检验。但似乎有些人就忘掉了这一点。

这使我们想起 70 年代到 80 年代,由于标准模型的极大成功,理论物理学家认为完成大统一的理论(即把强、电磁和弱相互作用归结到一种作用)已为时不远。那时提出的 $SU(5)$ 理论,无论从数学上还是逻辑上,还是从人们的心理上都是一个近似完美的理论。这个理论有一个很强的预言,即质子会衰变,它的寿命是 $10^{31} - 10^{32}$ 年。当时关于 $SU(5)$ 的文章多不胜数。但随后的实验指出质子寿命比这要至少长两个数量级。理论物理学家们被迫接受了这个事实,放弃美好的 $SU(5)$ 理论。这个例子说明不论理论有多美好,只要与实验不符就不可能真正成为物理学的组成部分。相同的例证还有爱因斯坦晚年全身心投入的统一场论,也被实验否定。尽管它的形式很美妙,但却不会变成现实。爱因斯坦晚年与玻尔量子论的论战持续了很多年,直到最近贝尔不等式被实验检验了(虽然精度还不够),基本肯定了玻尔的量子论观点。

这一切都表明,最后还得实验说了算,形式逻辑和完美的数学代替不了物理。杨振宁先生 1952 年提出的规范场理论在数学上是极为完美的,也是现代物理的奠基石。然而只有在温伯格把物理内容放入规范场的框架中才得到了 20 世纪最完美的理论——弱电统一模型。

超弦理论在逻辑上是先进的,数学上是美妙的,但它还有许多的困难。例如,当人们想用物理规范来探讨发散抵消时就发现原有的数学工具不够了,而要引入无穷维李代数,非对易几何等等。而且进一步说从 10^{19}GeV 到我们能触摸到的能标,是不是可以直接演化下来呢?我们今天居住的时空是 4 维的,那么另外的 22 维或 6 维藏到哪儿去了呢,于是出现了所谓紧致化(compactification)理论,将这些额

外维紧致为低能标下粒子的内禀空间。它们是否能对应某些观测量,靠我们今天的设备是得不到结论的。

超弦以及 M 理论似乎很完美,但它和实际的世界相距太远,我们无法检验它的对或错。但我们很难相信人们的认识和思维可以跳跃得那么远。要知道,超弦的能标和我们目前能达到的能量差上 15 个数量级即一千万亿倍。这当中是否存在新的未知的物理,以及是否真的这样小的超弦就不再分了?分下去又是什么?普朗克能标是量子论的标志,超出这个能量,物理内容肯定是完全不同的。但它是什么我们没有任何证据。但有一点可以确定,那时对客观物理世界的认识也只是开启了一个新的篇章而绝非终结。退一万步来说,我们离能够理解超弦尺度的物理还那么远,再过几百年我们也未必能到达那个能标。

宇宙学是另一个明证。霍金曾认为物理学的彻底完成已不远了。他建立了黑洞辐射理论,恰当地描述了大爆炸宇宙学,因而成为一代伟大的物理学家。但是他认为终结将至的论断显然是出了差错。绝大多数物理学家相信宇宙是由大爆炸创生,现有的实验证据都支持这个理论。然而不论是“开”、“闭”还是临界宇宙,膨胀速度都会因引力吸引而慢下来。然而最新的观测结果表明,我们的宇宙在以加速度膨胀。目前进一步的实验正在进行。如果这结论被肯定,那一定会对宇宙学、粒子物理以至整个物理学带来一切真正的革命!目前人们认为这是由于暗能量的作用,它可以对应爱因斯坦广义相对论中的宇宙常数。暗能量是一种真空能量。真空能量原来是主宰微观世界的量子力学的结果,把它用在浩瀚无垠的宇宙中是和普朗克当年引入量子理论一样大胆的假定。这理论对否还有待进一步检验。但这充分说明,实验总是提出一些我们意想不到的惊喜!正是在这过程中我们的物理学向前发展了。

事实上,在物理学的各个分支上有千千万万没解决的问题,留给 21 世纪的科学家深入研究。例如现在还没有任何成熟理论可以解释高温超导机制,纳米技术和物理涉及的介观物理,受控核聚变,在粒子物理中希格斯粒子还未找到,因而还不能说标准模型已完全被检验了,而且它显然不是终结理论。那什么是下一步,这些问题,我们将来也许可以另外撰文来谈谈我们可以想到的事。比这些更基本的是关于量子力学的一些基本问题的进展,如贝尔不等

式的实验检验和远程隐形传播等等,都是刚刚有所认识。我们可以说在 21 世纪初,我们知道的远远不如我们提出的问题多。

宇宙论的新发现和粒子物理学面临的难题都告诉我们,断言物理学已经终结或接近终结很像井底之蛙看天,“天有井大”这一谬论在科学上也有市场。不错,科学研究有高潮也有低潮,但“山穷水复疑无路,柳暗花明又一村”。我们的认识不会终结,物理学不会终结。再过几十年,科学的进步和新的发现会告诉霍根先生,他的论调有多么荒诞。我们 21 世纪的科学家正担负着探索新领域的艰巨使命,我们坚信我们正是在一个新的伟大发展的前夜,我们真的希望历史将在我们炎黄子孙手中创造。

作者简介

李学潜,男,1944 年 5 月生。



1966 年南开大学物理系本科毕业,1978 年考入南开大学物理系硕士研究生,1980 年至 1985 年在美国明尼苏达大学攻读博士学位,并于 1985 年获博士学位。

同年回国,在科学院理论物理所做博士后。1987 年到南开大学任教至今。主要工作在高能物理唯象学,粒子物理宇宙学等方面,已发表学术论文 100 多篇。

现任天津物理学会副理事长和中国高能物理学会常务理事。

任毅志 南开大学物理



学院副教授,主讲电动力学及相对论。并主持高自考方面的工作,对社会办学贡献很大。科研方面兴趣广泛。

闫赤元 现任职于天津市



宝坻县科委,自学成才,致力于理论物理研究。