

## “宇宙与生命”系列讲座之一——

## 万物之图

章德海



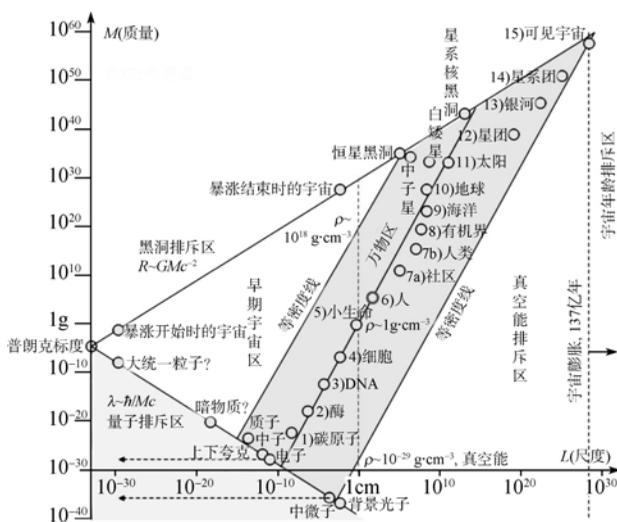
2002年,我在中国科学院研究生院开设了一门面向全院的公共选修新课程——

“宇宙与生命”。该课本来是为了介绍一些有关宇宙与生命的基础知识和精美图片,但是数年来许多同学的提问和与我的讨论,促使我思考了更广泛和更深层次的一些问题:宇宙为何如此?宇宙与生命之间的关系是什么?我们的宇宙特殊吗?当今前沿科学怎么认识我们的宇宙和其中的生命?开课6年以来,该课深受同学们的欢迎。通过数年的备课、教学和思考,除了解到科学界对这些问题的激烈争论外,还感觉到我自己也产生了一些比较独特的看法。应《现代物理知识》的邀请,我特地对该课和我的一些独特看法加以总结,为该杂志写几篇介绍文章,以便抛砖引玉,启发读者获得更深入的见解。以下是我的各篇文章标题:万物之图,万物之数,宇宙之大,生命之难,调控万物,核之精细,质量的生成,宇宙的格局、演变与未来,从弦与膜的世界到我们的宇宙——未解之谜,我们宇宙的中心角色——高级生命。

当今科学发展分工越来越细,推算越来越繁,隔行犹如隔山。许多事情只知其然而不知其所以然。对我们的宇宙与生命我们要多问几个为什么,要作一些整体性与相互关联性的再思考,这有可能为我们带来意想不到的收获。企盼读者能积极参与我们的探讨。

自古以来,人们就对自己居住的宇宙感到神奇和向往,渴望破解宇宙的奥秘。宇宙中充满万事万物,它们争奇斗艳、多姿多彩。宇宙向宏观上看去似乎无穷无尽,往微观上探索似乎也无限可分。但是,物理的规律告诉我们,可见的宇宙在宏观上似乎有一个限度,从微观上看也未必能无限可分。非常有趣的是,我们能够用一张有限的图把宇宙中的万事万物尽数标记在其中一个有限区域中,让人一览无余。这样一张总体图很有可能启发我们对宇宙的深层思考,了解“宇宙为何如此”的基本原因。现在让我们来描写一下。

这张万物图的横坐标是事物的尺度(对数刻度),从最短的微观距离  $10^{-33}$  cm 到最长的宇宙可见距离  $10^{28}$  cm,跨越 61 个量级。此图的纵坐标是质量(也是对数刻度),从最小质量  $10^{-36}$  g 到最大质量  $10^{56}$  g,跨越 92 个量级。稍后会解释为什么我们的宇宙处在这样一个有限对数值的区域中。我们首先看看该图的大格局,它由四个大板块构成,其中中央大板块又分为三个小板块。第一大板块是底边上倾的左上方三角形,它代表了“黑洞排斥区”。也就是说,如果宇宙中有某物体,它的质量足够大而尺度足够小,那么它们都将成为黑洞,从而其内部不可被观测,因此我们把这个黑洞区排斥在我们的观



万物图:宇宙“万物”的尺度-质量图(章德海绘)

测区以外。第二大板块是底边下倾的左下方倒三角形,它代表了“量子排斥区”。即,如果宇宙中有某物体,它的质量足够小,那么它的量子特征波长就足够大,我们难以分辨它们的在量子特征波长以下的在经典意义上的结构细节,因此我们把这个量子区排斥在我们的观测区以外。由于这两个三角形的倾斜底边相交于一点(叫“普朗克标度”点),代表宇宙在普朗克标度已收缩为单一质量和单一尺度的原始对象,在其左边经典宇宙不复存在。在该万物

图的最右边有一条竖线，位置在 137 亿光年即约  $10^{28}$  cm 处，这代表了光在我们宇宙的有限年龄(137 亿年)中所能穿越的最远距离。因此该线的右方，伴随将来我们宇宙年岁的变大，虽然可以被观测，但目前我们还不能观测到该区域的事物，我们把它排斥在观测区之外，叫做“宇宙年龄排斥区”。于是在我们的万物图中只剩下了中间一个有限的区域，其形状是个长底边直立的左向大三角形，称作“可见区”。但是这个可见区又划分成了三个较小区域。这就是左边的一个小三角形，它代表宇宙早期经历过的状态，需要我们采用特殊手段用推理去想象而得知，叫做“早期宇宙区”。中间一个深色的带状区就是我们今天的宇宙所能探测到的万事万物所处的区域，即“万物区”。右边剩下的一个极大三角形(下部未被画出)几乎是空荡荡的。这是由于我们的宇宙有非零真空能，这个非零真空能会使宇宙加速膨胀，导致宇宙空虚。因此，在万物图的这部分区域，现在和将来都不大可能出现令人感兴趣的生命现象，我们叫它为“真空能排斥区”。

万物区的上下边界当然是由黑洞和量子两条线决定的。它的左右两条边界是平行线，都是等密度线，质量除以尺度的 3 次方，因此在对数图上倾斜度更加陡峭。右边界的等密度线叫“宇宙密度线”，密度值为  $\rho \sim 10^{-29}$  g/cm<sup>3</sup>，相当稀薄，由宇宙总的重子质量除以宇宙总体积决定。其上端通过最右上角的“可见宇宙”表示点，其下端接近“中微子”代表点。这里有些细节问题，例如宇宙的各成分及比例等，将在以后的文章中陆续解释，但该线的大体位置在目前是明确的。左边界的等密度线叫“恒星黑洞密度线”，密度值为  $\rho \sim 10^{-18}$  g/cm<sup>3</sup>，相当稠密，由恒星黑洞的质量(约为太阳质量)除以其体积决定。该线的上端为“恒星黑洞”代表点，下端在“核子”代表点的左上方附近。这两条密度线间的密度相差 47 个量级，可以从 1cm 的红色垂线向水平方向查看对应的质量，从而得知它跨越的巨大质量量级。在一个中间位置， $\rho \sim 1$  g/cm<sup>3</sup>，即水密度，是“原子密度线”。这是最重要的一条线，几乎大多数重要的事物都在这条线附近，这当然是因为这些重要的事物大都是由原子构成的。总结为一句话说，由“可见宇宙”、“恒星黑洞”、“核子”和“中微子”这四个点为顶点的区域构成了我们的“万物区”。

这个区内，除“原子密度线”最著称外，还有

几条直线值得进一步重视。第一是其下边界，它叫“基本粒子下斜线”，有大量的基本粒子和其复合态在这条线上，除已被标出的“核子”和“中微子”边点外，我们只选择标出了“电子”、“上下夸克”等点。第二是“太阳质量横线”，由“太阳”、“白矮星”、“中子星”和“恒星黑洞”四个代表点组成，呈水平分布。第三是“星系斜线”，由“星团”、“星系”和“星系团”三点组成。第四是“地球尺度纵线”，由“地球”、“海洋”、“有机界”和“人类”四个代表点组成。

在宇宙的等级结构中，我们选择了一共 15 个等级，每个等级列举了一些典型的对象，后面紧跟的数字是其核子数：(1)核子及原子和小分子， $1 \sim 10^2$ ；(2)酶， $10^6$ ；(3)DNA， $10^{12}$ ；(4)细胞， $10^{18}$ ；(5)小生命个体(例如蜜蜂)， $10^{24}$ ；(6)人， $10^{29}$ ；(7a)社区， $10^{34}$ ；(7b)人类， $10^{39}$ ；(8)有机界， $10^{43}$ ；(9)海洋， $10^{48}$ ；(10)地球， $10^{52}$ ；(11)太阳， $10^{57}$ ；(12)星团， $10^{63}$ ；(13)银河， $10^{68}$ ；(14)星系团， $10^{72}$ ；(15)可见宇宙， $10^{78}$ 。有些等级所标的核子数并非绝对准确，可能有一个较宽的分布，我们只是为方便起见选取了一些典型数据。这里个别小等级间相差约 1 万倍，大多数等级间一般相差 100 万倍，平均每个等级间约为  $10^{5.5}$  即 31 万倍，一共  $14 \times 5.5 = 77$  个量级。等级 6 与 7 之间实在跨越太大，于是把 7 分成了 7a 和 7b，但后面的 8、9、10 这三个等级间的距离就会适当密集。这个 31 万倍的等级倍数是非常典型和有趣的，例如太阳地球质量之比就是 33 万倍，与此数相当接近。宇宙中典型事物还很多，之所以选择这些事物作为具有代表性的等级，是因为它们对于在宇宙中出现高级生命——人类具有关键意义，在以后的讲解中我们会对各个层次做出仔细深入的分析。

整个万物图的基本轮廓已经出现。最大特征上是上倾的黑洞线和下倾的量子线。我们非常有必要解释一下这两条线的来历，以便深入理解这张万物图。任何有质量的物体，都不能收缩得太小，否则就成了黑洞。考虑万有引力定律，引力加速度为  $a_g = F/m = GM/r^2$ 、离心加速度为  $a_i = v^2/r$ ，如果旋转速度达到了最高速度——光速  $v=c$ ，那么两个加速度的平衡  $a_g = a_i$  就决定了一个半径，叫作一个质量为  $M$  的物体的引力半径  $R \sim GMc^{-2}$ ，它与质量成正比，于是排除了尺度-质量图的左上三角区。左下三角区被

排除在外的原因是量子效应。量子力学中有一个最精髓的观点,叫做“测不准定律”,认为坐标和动量不能同时准确测量,表达为 $\Delta x \cdot \Delta p \sim \hbar$ 。它在一定意义上也能表达为能量和时间的测不准性 $\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar$ 。而测不准的时间 $\Delta t$ 乘以光速 $c$ ,是一个距离的不确定性 $\lambda = c\Delta t$ 。一个有静止质量 $M$ 的粒子在量子产生和湮灭时有静能的不确定性 $\Delta E = Mc^2$ ,于是得到 $\lambda \sim \hbar/Mc$ ,表示由于量子效应使粒子具有一个典型的量子波长,叫康普顿波长。可见,粒子质量越小,康普顿波长越长,“尺度-质量”图的左下三角被排除。但是这个典型波长并不代表基本粒子的“尺度”,量子场论中往往把基本粒子看作在量子场论意义下的“点粒子”。但实际上,量子场论的应用范围仍然是有限的,“点粒子”的概念并不绝对正确。例如在普朗克能标的甚高能时,“点粒子”甚至可能被“弦”乃至“膜”所代替。因此当我们把电子,中微子和夸克标在这条直线上时,向左画了条长长的横虚线,代表这些粒子可以在更小的尺度上被看作量子场论的“点粒子”。由于这两种排斥对于质量依赖的相反行为(一个正比、一个反比),导致它们必然相交于一点 $GMc^{-2} = \hbar/Mc$ ,决定了一个标度,叫“普朗克标度”,其质量叫“普朗克质量”,为 $m_{\text{pl}} = \sqrt{\hbar c/G} \sim 10\mu\text{g} = 1.2 \times 10^{19}\text{GeV}$ ;其长度叫“普朗克长度”: $l_{\text{pl}} = \hbar/m_{\text{pl}}c \sim 10^{-33}\text{cm}$ 。如果广义相对论和量子力学是正确的话,那就找不到比普朗克长度更小的经典事物了。我们设想的物质无限可分,至少在经典意义上遇到了一个终止点。中国人说的“一尺之棰,日取其半,万世不竭”,实际上照这么分下去,不到4个月就“竭”了!哪里用得着一年?更不用说“万世”了!我们的宇宙万物从尺度的对数来看,只能处于一个有限区域。这是令人深思的问题,我们的宇宙在一定意义上讲往上往下都有限!

一旦做出这张万物图,我们会感觉到它有惊人的和谐与美观!它们如此井然有序,相互关联,令人叹为观止!其内在的深刻联系有待发现。我们的一个初步发现是,有三个明显的黄金分割(0.618)点决定了“人”在万物图中的位置:(1)“核子”质量是 $10^{-19}$ 个普朗克质量,“中微子”质量是 $10^{-31}$ 个普朗克质量,从对数来看“核子”点正好处在从“中微子”点到“普朗克”点的这条线段的黄金分割点附近( $19/31 \approx 0.613$ )。(2)原子密度比宇宙密

度大29个量级,恒星黑洞密度比宇宙密度大47个量级,于是“原子密度线”正好在万物区的黄金分割点上( $29/47 \approx 0.617$ )。(3)“人”的质量为 $10^{29}$ 个核子,“可见宇宙”总核子数为 $10^{78}$ ,“人”似乎也处在“原子密度线”的黄金分割点附近,即 $(78-29)/78 \approx 0.628$ 。总结起来,万物之灵的“人”,似乎处在这个对数图的中心位置!从“人”往小尺度看有5个重要的结构等级,从“人类”往大尺度看有8个重要的结构等级。我们将在以后逐一讲解每个等级的基本结构和功能,内容极为丰富多彩。我们不禁要问,所有的这些等级都是必要的吗?每个等级相差的倍数是恰当和必需的吗?为什么宇宙给我们预留了78个量级以便作此15个等级的安排?这78个量级从何而来?为什么这个对数总量不是一个更大的数或者更小的数?这三个黄金分割是偶然的吗?万物图中出现的这些奇妙的数值关系,其中有何深刻道理?它们与基本物理常数之间的关系是什么?一句话,宇宙为何如此?

今天,我们对宇宙万物的认识归结到了两大块知识体系,即以量子场论为基础的粒子物理标准模型和以广义相对论为基础的宇宙谱和模型。但是这两大模型中需要许多物理常数,它们的值往往不能被基本理论决定,而需要通过高技术、高成本的观测或实验来确定。我们的万物图之所以如此模样,是因为一些基本物理常数取了特殊的值。那么问题就被归结到:宇宙中有哪些最重要的基本物理常数?这些基本物理常数与万物图中的数据间是什么关系?为什么这些基本物理常数要取这些值?为什么这些基本物理常数取了这些值后,使宇宙得以产生了人类,使“人”这个代表点处于万物图的中央?难道我们的宇宙是为“人”而生?以前,古人由于科学知识的贫乏,误认为地球在空间位置上是宇宙的中心,“人”于是也处在宇宙空间的中心点上。后来,人们才发现,原来地球是绕着太阳转的,而太阳外面还有无数个太阳,地球不是宇宙的中心,看来人也不是宇宙的中心。但是,随着科学的进步和发展,人们感觉到,原来人虽然不是宇宙“空间”的中心,却是在宇宙的“物理参数空间”中处于中心位置,在宇宙的“空间尺度对数值”中处于中心地位!我们画出的万物图,明显可以让人感觉到人与宇宙之间可能存在一个已有所猜测的深刻联系!这正是我们的后续文章要探讨的重要问题。

# 电磁学以及相对性原理和狭义相对论的变革

郭汉英

19 世纪的物理学在热力学、光学、电磁理论和统计力学等方面取得了重大进展。以至到 19 世纪末，不少学者以为物理学已经基本完成。著名物理学家迈克尔逊就认为：“当然无法绝然肯定物理科学不再会有像过去那么惊人的奇迹，但非常可能的是大部分宏伟的基本原理业已确立，而今后的进展仅在于将这些原理严格地应用于我们所关注的现象上。在这里测量科学的重要性就显示出来了——量化的结果比定性的结果更为可贵。一位卓越的物理学家曾经说过，物理科学未来的真理将在小数点六位数字上求索。”然而，恰恰是他为首的以太漂移实验的零结果和黑体辐射与理论的冲突，成为晴朗天空中的“两朵乌云”。

其实，当时物理学天空中的“乌云”并不只这两朵，夜黑和引力佯谬早就是“乌云”，只不过深藏在山坳里；放射性的发现，更是革命性地动摇了以

往关于物质一成不变的概念。可以说，19、20 世纪之交的物理学其实是“山雨欲来风满楼”。理论概念体系和基本原理的一些潜在基本问题，也没有任何实质性的进展。在这些问题和冲突中，相对性原理、绝对空间和“以太”论与“以太漂移”零结果之间的冲突；以及黑体辐射、放射性等向经典的物质和辐射观念的挑战，很具代表性。前者主要涉及空间、时间和宇宙，以及物质和运动在宏观尺度上的奥秘，后者则主要涉及在微观尺度上物质及其运动规律的奥秘。显然，这两个方面具有密切联系。特别是有关相对性原理的惯性运动、惯性参考系等观念，以及有关对称性的作用等等，作为力学和物理学的基础，对于这两个方面都具有重要意义。

总之，物理学面临其发展带来的挑战，物理学家面对巨大“危机”。而以上述两方面为代表的“危机”的解决，便导致以狭义相对论和量子论的提出



也许有人会问，在粒子标准模型和宇宙谱和模型中不能由理论定出的那许多参数，是否能被将来更基本、更统一、更完善的理论计算出来？弦与 M 理论就是一个被人们寄予厚望的“万物理论”。但是 30 年来的研究表明，情况可能有些令人意外。弦与 M 理论似乎也无法“计算”出我们宇宙所需的特殊参数。这些理论大大改变了我们对宇宙的认识。以前认为，宇宙包涵一切、宇宙是唯一的。但是新理论却往往向我们暗示，我们的宇宙可能不只一个，而是许许多多，各个宇宙的参数可能很不相同。我们宇宙所取的特殊参数值很可能与我们的存在有关。从原则上讲，就不可能从这个多宇宙的基本理论中计算出我们这个特殊宇宙的基本参数。因此通过研究万物图找出我们宇宙参数的特殊性是一个非常重要的问题。

这个问题太深刻和深奥了，这几乎是整个科学的重要目标之一，即要解释这个世界。今天要全面满意地回答这个问题的条件可能不够成熟，但是也可能存在我们应该能发现却忽略了的或分析不够充分的线索。这张万物图就有可能潜藏着揭开奥秘的

重要线索。通过这张万物图，我们已经初步发现了区域的划分方法和三个黄金分割，我们将继续仔细观察和分析这张万物图及其中万物间的相互关系，使我们有可能得出崭新的看法和结论。我们将在以后的讲解中阐明我们的新看法和新结论，为“解释这个世界”的重要科学目标做出努力。

(中国科学院研究生院 100049)

## 作者简介



章德海，1946 年生于四川成都，1964 年考入北京大学技术物理系，1978 年考入北京大学物理系理论物理专业，研究生导师为胡宁院士。1981 年硕士毕业后留北大任教，1990 年调入中国科学院研究生院物理学院，现为教授、博士生导师。主要教学和研究量子场论、规范场论、粒子大统一理论、广义相对论与宇宙学、弦与 M 理论。研究兴趣广泛，试图理解一些基本问题，以加强教学交流，并在探寻中怡然自乐。