

世界科学

译

丛

SHIJIEKEXUEYICONG

2

《世界科学》译丛

第二辑

《世界科学》编译组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 5 字数 125,000

1978年6月第1版 1978年6月第1次印刷

书号: 13119·732 定价: 0.47元

限国内发行

世界科学译丛

第二辑

目 录

进化与修补.....	[法] F. 雅各布(1)
自然界的力	[美] S. 温伯格(11)
基本粒子的相互作用和统一理论的新动向	[日] 近重悠一(19)
突变理论	[英] E. C. 齐曼(25)
突变理论的主张及其应用结果.....	[英] R. S. 赞勒 H. J. 萨斯曼(33)
微电子学	[美] R. N. 诺伊斯(42)
微电子学和计算机科学	[美] E. 萨瑟兰 C. A. 米德(47)
固态电子学：未来进展的科学基础	[美] A. 乔达梅因(53)
机器人系统	[美] J. S. 阿尔弗斯 J. M. 埃文斯(59)
家用计算机开始出现	[英] N. 维勒烈(64)
植物和动物的营养循环	[美] J. 原尼克 C. H. 萨顿 C. L. 里克尔德(66)
太阳能研究	[美] W. D. 特茨等(74)
太阳热电：电力塔在研究中占了支配地位	(74)
从半导体到太阳能利用的革命——光电学的作用	(76)
光合太阳能：重新发现生物体燃料.....	(77)
中温系统	(79)

进化与修补

[法] F·雅各布

〔提要〕 作者认为自然科学研究对象的复杂程度不同，构成了一种等级。高级层次上的事物包含了低级层次的规律，但本身又出现了一些新的性质，需要有新的原理。不同层次上的规律是不同的，绝对的还原论将导致荒谬。

复杂的生物是从简单的生物进化而来的。作者认为进化不是按预先设计好的方式进行的，而是象修补匠一样，利用手头能够找到的东西，在原有事物上修修补补，通过一系列偶然事件，创造出了新的东西。进化主要是已经存在的东西的重新组合。

本文作者(Francois Jacob)是法国巴黎巴斯德研究院细胞遗传学教授。本文是他于1977年3月在美国加利福尼亚大学的一次演讲。原载美国《科学》杂志1977年6月第196卷第4295期。

十六世纪出版的一些动物学和植物学书籍中，刊有生活在地球上的各种动物的精美插图。有些书还详细描绘了鱼头狗、鸡腿男人，甚至无头女人之类的怪物。把不同物种的特征溶于一身的怪物的概念本身并不使人惊奇，因为人人都曾想象或描绘过这类杂种。今天令人困惑不解的是，十六世纪时这些怪物并不属于幻想世界，而是属于现实世界。很多人曾经看到过这些怪物，并作过详细的描述。这些怪物就出现在日常生活里人们所熟悉的动物的身边。它们是处在可能出现的范围之内。

当人们阅读当代科学幻想小说时，常常被同样的现象吸引住：捕捉在遥远星球上迷了路的可怜的宇航员的那些可憎的动物，竟然是生活在地球上的各种生物之间重新组合的产物。从外层空间到地球上来的生物，被描绘成和人差不多模样。你可以看到它们从来历不明的飞行器里出来，它们是脊椎动物，而且无疑是直立行走的哺乳动物。唯一不同的是身材的大小和眼睛的数目。一般说来，这些怪物的脑袋比人大，说明脑量比较多，头上有时长一、两根无线电天线似的触角，说明有很复杂的感觉器官。在这里，再次令人惊异的是，这一切都被认为是可能的。在达尔文以后的一百多年间，有一种看法认为，不管什么地方出现了生命，一定会产生出跟地球上的动物没有太大差别的动物，最重要的是一定会进化成象人一样的某种生物。

人们对这些怪物的兴趣是，它们表明了文化是怎样处理可能出现的事物和划定其范围的。这要求人脑给宇宙建立起某种秩序。看来可以这么说，一切文化在向其成员提供对于宇宙及主宰宇宙的力量之统一而连贯的看法方面，都在不同程度上取得了成功。人们可能不同意神话或巫术所提供的解释体系，但却不能否认其统一性和连贯性。事实上，由于神话和巫术能用同一种论据来解释一切事物，因此，常常被指责为过于统一和连贯了。尽管神话的、巫术的，或是科学的解释系统差别很大，但实际上所有解释体系都遵循一个共同的原则。用物理学家让·佩朗的话来说，问题的核心永远是“用某种简单而看不见的事物来解释复杂而看得见的事物”。

雷暴雨可以看成是宙斯发怒的结果，或理解为由云层和地球之间的电位差所造成。疾病可以想象为鬼神附体的结果，或看成是病毒感染而罹致的。但是不管在什么情况下，人们都可以观察到某种无形的原因所产生的有形结果，这种无形原因同被认为是主宰宇宙的一系列无形力量是有关的。

科学的宇宙观

无论是神话还是科学，人们所构思的宇宙观主要是想象的产物。因为，科学的进程不仅仅是观察事物、收集资料，并由此演绎出理论。人们可能好多年一直注意一个物体，但始终不能成为有任何科学意义的观察。为了产生有价值的观察，人们先得有一个要观察什么的想法，以及预想到可能观察到什么。科学的进展，常常主要不是由于采用了一些新的仪器，而是由于从不同的角度来观察事物，揭露了事物至今尚未被认识的某个方面。这种观察必然受某种也许是所谓现实的想法所支配。它总是包含了关于未知事物的某种概念，即包含了关于超越了人们根据逻辑理由或实验理由所能设想的事物的某种概念。用彼得·梅达沃的话来说，科学研究开始于“创造出一个可能的世界或其一小部份”。神话的想法也是这样开始的。但是，神话就到此为止。在构思出神话所认为的唯一可能的世界以后，就很容易把现实世界纳入它的体系。科学的思维则不同，想象只是整个过程的一部份。在每一步上，它都必须经受实验和鉴定。最好的世界是现存的世界，并被证实是已活动了很长时间的世界。科学想把可能性与现实性统一起来。

然而，为这种科学的宇宙观付出的代价相当高。它不断抛弃已统一了的宇宙观，过去如此，现在恐怕更是如此。这正是科学发展的结果。其他解释体系——神话、巫术和宗教——通常都是无所不包的。它们适用于一切领域。它们回答任何可能提出的问题。它们说明宇宙的起源、现状和终结。科学的进程与此不同，它通过对自然界进行周密的实验来说明事物，因而“野心”好象小一些，至少乍看起来是如此。科学不想对整个宇宙及其起源和现状，一下子就得出一个完美而终极的解释，而是想就那些能够明确区分开的现象，找到部份的和暂时的解答。实际上当“宇宙是怎样被创造出来的？物质是由什么组成的？生命的本质是什么？”这一类普遍性的问题，被“石头是怎样落下的？水在管道里是怎样流动的？血液在血管里是怎样循环的？”等局部性问题所替代之时，也就是现代科学发轫之日。这种替代取得了令人惊异的结果。提出了普遍性的问题，得到的是局限性的解答；而提出了局限性的问题，反而得出了更为普遍性的结论。

可是与此同时，这种科学方法很难避免将宇宙观分割成若干部份。科学的每一个学科研究一个特殊领域，该领域与邻近领域不一定有必然的联系。因此，科学知识似乎是由许多孤立的岛屿所组成。在科学史上，重大的进展往往是由于在不同学科之间建立了联系。所以会取得这些进展，那是由于认识到可以从新的角度来考察以前两个单独的观察，从而看到它们所反映的只是同一现象的不同侧面。例如，牛顿定律使地球的机械作用和天体的机械作用成为一门科学。热力学和力学通过统计力学而统一起来。光学和电磁学通过麦克斯韦的磁场理论，化学和原子物理学通过量子力学，也统一起来了。同样地，生物化学家已证明，遵循同样一些定律的同样一些原子的不同组合，既构成了无生命界，又构成了生命界。

研究对象的等级

尽管有了这些综合联系,但各学科之间割裂仍很突出,有些虽不能说永远不会有联系,但至少在这段时间里不会统一起来。今天,各门学科不仅所研究的对象的性质不同,而且所使用的概念和语言也不相同。这些学科可以排成一定的顺序:物理学、化学、生物学和心理社会学。这一顺序对应于它们各自研究对象的复杂性的等级。沿着从物理学到社会学的路线,人们的研究对象从简单到复杂。显而易见,人们从事的科学也从古老到年轻;经验内容从贫乏到丰富;假说和实验的体系从生硬到微妙。为了要通过科学获得统一的宇宙观,一再提出了在各邻近学科之间建立联系的可能性问题。因为研究对象的等级不同,问题的症结始终是运用适合于简单对象的术语和概念,来解释复杂的对象。这仍旧是还原、涌现、整体和部份等一类老问题。能不能把化学还原为物理学,把生物学还原为化学加物理学,以及其他等等呢?很显然,认识比较简单的对象对于认识更加复杂的对象是十分必要的;但这样是否就足够了呢?这是成问题的。

这样的问题,引起了无休止的争论。显然,生物进化的两大关键性事件——首先是生命的出现,然后是思维和语言的出现——导致地球上出现了前所未有的现象。为了描述和解释这些现象,需要有在低级层次上是毫无意义的一些新概念。性欲、捕食、疼痛等概念在物理学和化学中能表示什么呢?在生物学中,法治、价值增长、民主力量等概念又能表示什么呢?说到底,绝对的还原论将导致荒谬。例如,那种认为每一层次都可还原为比较简单的层次的主张,将导致运用基本粒子的结构和性质来解释民主概念。这显然是胡说八道。

这个问题可用不同的方式来思考。我们可以考察一系列从简单到复杂的研究对象。分子是由原子组成的。因此,分子遵循决定原子行为的定律。但是,除此之外,关于分子还可以得出两点结论。第一,分子能够具有一些新的性质,如异构化作用、外消旋作用等等。第二,作为化学研究对象的分子——无论是自然界存在的或实验室里制造出来的分子——所代表的只是原子之间可能产生的所有相互作用中很小一部份。因此,化学构成了物理学的一个特例。生物学研究对象的等级更复杂,从细胞到群体一直到生态系统,情况更是如此。每一层次上的对象,构成了较简单层次所提供的全部可能性的一种限制。例如,生物体内的一套分子,只代表化学研究对象中极有限的一部份。在高一级层次上,动物物种虽然多达几百万种,但同可能有的物种数目相比,仍然是很少的。所有的脊椎动物都是由种类不多的细胞所组成,最多也不过二百种,如肌肉细胞、皮肤细胞和神经细胞等。由于这二百种细胞在排列、数目和比例上的差异,结果出现了形形色色的脊椎动物。同样,人种学和社会学所研究的人类社会,仅仅是人们之间一切可能的相互关系中的一个有限部份。

约束因素和历史

自然界通过整合而起作用。无论在哪个层次上,自然科学所分析的对象永远是系统,是体系。某一层面上的每一体系,都是用比较简单层次上的一些体系作为它的组成部份,但仅仅是用一些体系。因此,伴同对象复杂程度的等级而出现的是一系列限制和范围。在每一层次上,都可能出现新的性质,强加给该体系以新的约束。但这些只是附加的约束。在任一给定层次上起作用的那些约束,在所有更复杂的层次上仍然有效。物理学的正确命题,对化学、生物学

和社会学来说也同样是正确的。同样地,对生物学有效的每一命题,也适用于社会学。但一般说来,一个层次上的最重要的陈述,在更复杂的层次上就不是特别引人注意的。理想气体的定律,对生物学或社会学的研究对象来说是正确的,对物理学的研究对象来说也同样是正确的。但理想气体与生物学家所研究问题的内容简直毫不相干,与社会学家所研究问题的内容更是风马牛不相及。

以限制和在每一层次上出现新性质为特征的连续整合的等级产生了几种结果。首先,有必要对所有层次上的复杂的研究对象进行分析。坚决主张还原论看法的分子生物学家之所以能够对遗传进行了成功的分析,主要由于在每一步骤上,都同时在分子水平上和“黑箱”(即细菌细胞)水平上进行了分析的缘故。这一点也适用于免疫学最近的发展。在不同层次上同时进行分析而后加以综合的方法,对人类及人类社会的研究看来也会起重要作用。

第二点是关于可预言性。能否根据低级层次上已知的规律,在高级层次上作出预言呢?只能在非常有限的范围内作出预言。一个体系的性质,可以用其组成成分的性质来解释。但是,前者不能从后者推断出来。从物理学的基本定律出发,是无法重建宇宙的。这就说明,一个特定体系(例如细胞)的出现,只有一定的几率,所有关于它的存在的预言,只能是统计学的预言。分子生物学已证明,细胞的特征最终取决于其分子成分的结构。但是,地球上出现生命,并不是前生命时期存在某些分子的必然结果。事实上,确实也无法估计地球上出现生命的几率。生命完全可能只出现过一次。

第三点关系到在增加复杂性的每一步上出现的限制和范围的本质。为什么一个层次上的所有可能的相互作用中间,只有其中的某些相互作用才能在更复杂的层次上被实际观察到呢?人们能作出解释吗?为什么生物体内,只有某些类型的分子结构呢?为什么人类社会中只存在某些相互作用呢?对于这类问题,没有什么普遍性的答案。对于任何一个特定的复杂层次,是否会有一种专门的回答,看来也是个问题。复杂的研究对象是由进化过程产生的,在这个过程中,有两个因素最为重要:一个是在每个层次上控制所涉及的体系的约束因素,另一个则是控制各体系之间相互作用的历史情况。在每一个层次上都存在着约束因素和历史的结合,虽然两者的比例不同。比较简单的对象对约束因素的依赖大于对历史的依赖。随着复杂程度的增加,历史起更大的作用。但历史总是有份的,即使在物理学中也是如此。根据现代的理论,较重的原子核是由较轻的原子核组成的,最终是由氢核和中子组成的。在原子核聚变过程中,重氢转变为氦,这个过程是太阳和氢弹的主要能源。因此,氦和一切比较重的元素都是宇宙进化的结果。根据现代的观点,比较重的元素被认为是超新星爆炸的产物。它们似乎是稀有的,不超过所有物质总量的1~2%,而氦占有所有物质总量的1/5,氢占4/5。因此,地球和太阳系的其它行星,似乎是在宇宙中很难遇到的条件下,由极为稀有的物质组成的。氢本身的来源还有待于宇宙起源的理论和推测去解决。

自然选择

体系受到的约束因素,随复杂性的层次而变化。永远存在着由稳定性和热力学施加的约束因素。但是,随着复杂性的增加,出现了一些附加的约束因素——如生物的繁殖,人类社会中的经济需求等等。因此,不可能有一般的进化规律,也不存在说明任一层次上复杂性增加的秘诀。自达尔文以来,生物学家对生命进化的机制,逐步描绘出一幅合理的虽还不是尽善

尽美的图景——自然选择。它诱使很多人求助于类似的选择机制，去描述任何一种可能的进化，不管是宇宙的、化学的、文化的、意识形态的、还是社会的进化。但是，这一设想从一开始就注定是要失败的。因为不同层次上的规律是不同的。因此，在每一个层次上都必须提出新的原理。

自然选择是强加在每个生物体上的两种约束因素的结果：(1)需要进行繁殖。这是由突变、重组、性别等特殊方法仔细调节的遗传机制所完成，由此产生同双亲相似但不完全一模一样的生物体。(2)需要与周围环境经常相互作用。因为生物是热力学家所说的开放系统，它只是由于一种稳定的物质流、能量流和信息流才能存在。第一个因素引起随机变异，并产生出所有个体都不相同的群体。这两种因素相互作用引起了生殖上的差别，从而产生出随着周围环境、行为和新的生态龛的变化而逐渐进化的群体。但是，自然选择并不象一般所认为的仅仅作为一个筛子，去掉有害的突变、繁殖有益的突变。在长期发展过程中，自然选择将各种突变整合起来，并经几百万年和几百万代的调整，把它们排列成在适应上相互配合的模型，以应付环境的挑战。正是自然选择为变化和机遇指出了方向，缓慢而逐渐地产生出更复杂的结构、新的器官和新的物种。新物种是从老材料的原先没有看到的结合所产生的。创造就是重组。

工程师和修补匠

人们常常将自然选择的作用和工程师的作用相比拟。其实，这个比拟不一定恰当。首先，与进化过程中出现的情况不同，工程师是按照一个预先订好的计划工作的，他预先知道他所要制造的产品。其次，因为工程师的工作方式不同。为了创造一个新产品，有为此而专门准备的材料和专门设计的机器供工程师使用。最后，因为工程师制造的物件——至少是优秀工程师制造的物件——接近当时技术水平可能达到的完美程度。相比之下，进化离开完美还非常遥远。这一点正是达尔文与完美创造论展开论战时反复强调的。在《物种起源》一书中，达尔文再三强调了生物的结构和功能不是尽善尽美的。例如，当他讨论自然选择时，写道：

“如果自然界的一切设计，按照我们的判断，还不是尽善尽美的，那也不足为奇。如蜜蜂的刺，会引起自身的死亡；产生大量雄蜂，却只是为了一次交配，交配后即被其不育的姊妹们杀死；枫树花粉的大量浪费；蜂王对她自己的有生育力的女儿有一种本能的憎恨；姬蜂就食于毛虫的身体里；以及其它等等类似的例子，都是不足为奇的。按照自然选择的学说，真正奇怪的倒是没有发现更多的不够尽善尽美的例子。”

在《物种起源》中，这类说明不胜枚举。事实上，反对完美论的论据，就是已经绝灭了物种。动物界现有的物种估计约几百万种，而据辛普森的估计，自从地球上有了生命以来，已经绝灭了物种约有5亿种。

自然选择与人的行为毫无相似之处，但人们如果想作一比较，一定会说自然选择的工作不象工程师而象修补匠。修补匠并不确切地知道他将制造什么东西，而是利用他身边所能找到的任何东西，不管是几根绳子、一堆碎木片、还是一些旧纸板；简言之，自然选择的工作，象一个手头有什么材料就用来制造某种可用物品的修补匠。对工程师来说，依靠他拥有的恰好符合设计要求的材料和工具来完成任务。相比之下，修补匠总是同一些另碎杂物打交道。他最后制成的东西，一般同专门设计无关，而是一系列偶然事件的结果；他利用一切机会，用剩余的东西来充实他的材料。正如利维·施特劳斯讨论的那样，修补匠手头没有一样材料有明确的特

定的用途。每一样东西都可以派许多用场。与工程师的工具不同，修补匠的工具无法根据某个设计方案确定下来。这些东西有一个共同点：“它总会有一些用处的”。究竟用于什么？这取决于机会。

象修补那样地进化

修补匠的这种活动方式，在许多方面都同进化过程有共同之处。修补匠没有任何规定好的长期计划，常常可以使他的材料有一些意想不到的用途，从而制造出一种新物品。他可以用一个旧自行车轮子做一个转盘；用一只破椅子做一个收音机外壳。类似地，进化可以用一条大腿做成一个翅膀，或用一片上颌做成耳朵的一部份。自然，这要很长时间才能完成。进化的活动很象一个修补匠。它在漫长的岁月里，缓慢地改进它的产物，不停地修修补补，这里去掉一点，那里增加一点，抓住机会使之逐步适合于新的用途。例如，按照达尔文的说法，地球上脊椎动物的肺，是按下述方式形成的。肺是从生活在缺氧的死水塘里的淡水鱼开始发展出来的。它们养成了吞咽空气的习惯，并通过食管的管壁吸收氧气。在这种条件下，食管表面积的扩大提供了选择的条件。食管上出现了突起，在连续选择的影响下，发展成肺。肺的进一步进化，仅仅是这个变革的精心加工而已——扩大吸收氧气的面积和脉管的形成。用一部份食管制成一个肺，听起来非常象修补匠的手艺。

修补匠不同于工程师，他可能以不同的方法解决同一个问题。这也适用于进化，生物界里发现的眼睛的变种就是个例子。很显然，在很多情况下，具有光感受器就会有很大好处。生物界的光感受器的种类之多令人惊奇的。最复杂的是提供信息的形成映象的眼睛，它不仅依赖于入射光的强度，而且也依赖于反射光的物体的形状、颜色、位置、运动、速度、距离等等。如此精巧的结构必然是复杂的。它们只有在本身已经复杂化了的生物体内才能发展起来。因此，人们可以假定，产生这种结构只有一种方式。但实际情况并非如此。在进化过程中——至少根据三个要素来看：小孔、透镜和多节管——眼睛已不知出现过多少次。软体动物和脊椎动物出现了象我们的眼睛一样的透镜式眼睛。章鱼的眼睛最象我们的眼睛。这两种眼睛几乎按照完全相同的方式进行工作。然而，它们并不是以相同的方式进化的。在脊椎动物中，视网膜的光感受器细胞避开光线，而软体动物视网膜的光感受器的细胞却对准光线。对于光感受器问题的所有解答中，这两种光感受器是类似的，但不是等同的。在每一种情况下，自然选择都是因材施教的。

进化并不是从零开始产生出新的花样。它是根据已有的材料来加工的；或是改变一个体系，赋予新的功能；或是将几个体系结合起来，使之更臻完善。例如，细胞进化的几个重要事件之一——即单细胞生物转变为多细胞生物——就出现过这种情况。这是一个特别重要的转变，因为它拥有使各个部份突变的巨大潜力。这样一种转变可能发生过好多次，它并不要求有新的化合物的出现，因为单细胞生物和多细胞生物分子类型并没有多大差别。它主要是已经存在的东西的重新组合。

分子修补

在分子水平上，自然选择的修补作用可能更为明显。生物界的特征既在于它的多样性，又

在于它的潜在的统一性。生物界包括了细菌和鲸,病毒和象,生活在零下 20°C 的极地和 70°C 的温泉中的生物。然而,所有这些生物的化学结构和功能都表现出明显的统一性;都是由相同的基本成分——四种碱基和二十多种氨基酸,组成了相似的聚合物核酸或蛋白质,它们起着类似的作用。遗传密码是相同的,转译机构也非常相似。相同的辅酶,调节着相似的反应。从细菌到人,很多代谢步骤基本上是相同的。很明显,生命的出现,首先必须形成一系列新型分子。在生命出现以前的化学进化时期和生物进化的开始时期,必须有构成每一种生物的所有各种分子。但是,生命一旦以某种能自我繁殖的原始生物的形式开始以后,进一步的进化主要必须通过改变已有的化合物来进行。随着新的蛋白质的出现,新的功能也发展起来。但是,这些蛋白质仅仅是原有蛋白质分子的改变。上千个核苷酸的顺序编成了一个中等大小的蛋白质的密码。由氨基酸随机结合而重新形成功能蛋白质的可能性,实际上等于零。在复杂程度和整合程度同存在已久的生物一样的生物体中,创造出全新的核苷酸顺序,对于产生新的信息是没有任何重要意义的。

因此,在大多数生物进化期间,新的分子结构的出现,必须依靠原有分子结构的改变。可举下述发现为例。遗传信息——即DNA——的大片段,不仅在相同的生物体内,而且在不同的生物体内,甚至在种系发生上相距很远的生物体内,都是相同的。一般最容易想象得到的、说明这种相似性的假说,是由霍罗维兹、英格拉姆和大野提出的。相当于一个或几个基因的DNA片段,假定是由某种遗传机制复制的。当一个基因在一个细胞或一个配子里不止有一份拷贝时,它就从自然选择强加给功能的约束下解放出来。突变就可以比较自由地积累起来,导致蛋白质结构的变化,其中一些结构的改变,最终将能执行新的功能。因为自然选择对生物连续施加影响,蛋白质的一种改变,可由以后的其它变化作进一步的改进。这也可能打乱了与其他蛋白质的相互作用,而最终有助于改变这些蛋白质。复杂生物的基因组的很大一部份,可能是由少数几个最初的基因演化来的。

因此,生物化学的变化,似乎并不是生物多样性的主要推动力量。生物化学中真正创造性的要素一定在很早以前就已存在了。只有生物体内的大多数重要的分子类型——即涉及能量产生、主要结构成分的生物合成或降解等代谢途径的分子——早就存在于细菌之类非常原始的生物体内的情况下,作为生物界基础的生物化学的统一性才会有意义。一旦通过了这个阶段,生物化学的进化,就会随着更复杂的生物的出现而继续进行。但并不是生物化学上的新东西,产生了生物的多样性。情况可能正好相反。正是由行为或生态环境的变化所引起的选择压力,导致生物化学的调节和分子类型的变化。蝴蝶与狮子,母鸡与苍蝇,蚯蚓与鲸,在化学成分上的差别远小于这些成分的组织 and 分布上的差别。进化上的少数几个重大步骤,需要获得新的信息。但特异化和多样化,却只是以不同的方式利用了相同的结构信息的结果。在一些相近的生物类群中,例如在各种脊椎动物中,化学成分是相同的。一种脊椎动物与其他脊椎动物的区别,在于基因产物的表达时间和相对数量上的不同,而不在于所发现的这些基因产物结构上的微小差异。这是一个调节问题,而不是结构问题。

卵受精后,根据由染色体包含的遗传程序所拟定的准确时间表,按一定的次序出现胚胎发育。这种遗传程序决定何时、何处出现细胞分化,何时、何处制造何等数量的不同的蛋白质。在发育期间,这些不同的蛋白质的质和量,随时空变化而变化。因此在成体中,不同类型的细胞或组织,包含了不同类型的整套分子,这些分子同其功能是一致的。复杂的调节回路开启或关闭生物体内不同的生化活性,由此来执行遗传程序。关于复杂生物发育过程中起作用的调节

回路,目前知之甚少。但现已知道,在有亲缘关系的生物中间,比如说在哺乳动物中间,胚胎发育的最初一些阶段是明显相似的;以后,随着发育的进行,逐渐出现了趋异。这些趋异与细胞的实际结构或分子类型的关系不大,而是跟它们的数目或位置有关。例如哺乳动物的趋异和特化,很可能是由改变了调节回路的突变所引起,而不是由改变化学结构的突变所引起。相同的结构在时空分布上的微小变化,就能大大影响最终产物——成年动物——的形状、功能和行为。问题是对同样的基本成份加以利用、调节、改变这里或那里、排列成不同的组合,从而产生更加复杂的新的生物。这永远是一个修补的问题。

修补的结果

在整个生物界的每一个层次上,都能看到这种修补的标记。当然,下面几个例子表明在人类中也能发现修补。在人体中,如同很多哺乳动物一样,也有负责血液凝固、对异体的炎症反应、由所谓补体系统作中介的免疫防御等功能的非常复杂的过程。近年来,已分别对这三个过程作了详尽的分析。每一个过程都显示出意想不到的复杂性。每一个过程都涉及近十种蛋白质,但没有一种蛋白质是一开始就有酶活性的。第一种蛋白质转化成有催化活性的形式,触发一系列连锁反应。第一种蛋白质在特定的位置上分解第二种蛋白质;反应产物又分解第三种蛋白质;依次类推。在这个反应系列中,各种蛋白质连续被分解,释放出来的碎片又作为反应链中其他反应的激活剂和抑制剂。此外,这三个反应链也不是完全互不相关的。一个反应链中的分解产物能够突然成为另一反应链中的活性成分,或者甚至在完全不同的过程中起作用。这些产物可以作为信号,把在化学上无关但在生理学上相互依赖的系统联结起来。一些偶然形成的蛋白质分子,在形成新功能时,可在各处被作为小而具有活性的多肽的来源。最近发现,许多大小不等的多肽参与了各种生理过程。现已知道,其中一些多肽,如激素肽或脑肽,在它们所激活和抑制的反应中,它们本身在化学上没有什么改变。它们看来正好结合到一些蛋白质上,有利于发生变构转变,因而其作用就象是简单的化学信号。对于这些分子的本质及其跟其他成分在结构上的联系,生物学家一般无法作出预言,甚至也不能提出引人注目的推测。生物学家所能做到的,只是检出、纯化和分析它们。以后,随着更多种蛋白质结构的阐明,或许会有机会确定这些分子之间在功能上的相互作用和进化上的关系。

在人胚的早期发育中,可以见到修补的另一个实例。胚胎发育是目前很少了解的非常复杂的过程。过去10~20年的研究,揭示了一个令人惊奇的现象。在各种人群中,约有50%的胚胎结果是自发性流产。其中大部份发生在妊娠的前三周,一般不被人注意。因此,在全部胚胎中,有一半在开始时就是不正常的。这种自发流产,很多看来是由于染色体总数是奇数所引起的。同带有来自父母的各一套染色体的正常胚胎不同,这种流产胚胎不是少一个染色体,就是多一个染色体,或者甚至有三套染色体,而不是正常的两套染色体。结果就无法正确地完成胚胎发育所必需的某些功能。于是胎儿死亡,被排出体外。这样,很多潜在的畸形胎儿就消失了;但是很不幸,并不是全部都消失了,因为有一些仍发育到出生期。这就说明,作为任何一个生物体系的要害所在,并经过了几百万年不断改进的机制,也还不是十全十美的。

修补的第三个实例是生殖和通常所说的快感之间的联系。当人们想到这个例子时,是非常有趣的。性是进化中最有效的创造。在通过分裂明显进行无性生殖的低等生物中,每一代都丝毫不差地重新复制遗传程序。在一个群体中,除罕见的突变外,遗传程序永远是相同的。

生物体的分裂是生长引起的一个自动过程。当细菌存在着类似于性别的某些特征时，这种特征便成了一种“奢侈品”。在这类群体中，适应必然包含了在某些环境条件下对罕见的突变体的选择。反之也许在进化中早就出现的有性生殖，迫使遗传程序在品种间杂交的群体内重新编排。结果，每一个遗传程序（即每一个个体）彼此都不相同。遗传要素的这种不断地重新组合，为适应提供了无限的潜力。但是，性一旦成为生殖的必要条件时，就需要有特殊的机制：第一，要使不同性别的个体相互辨认，相互接触；第二，促使它们结合。第一种需要，已由精确度和效率都非常惊人的各种特殊信号系统——视觉、听觉、嗅觉系统——满足了。第二种需要也已通过遗传决定的非常刻板的行为程序的发展而得到解决。例如鸟类，不同性别的鸟在适当的季节相遇，便开始完成一个完整过程：求爱和炫耀自己，自动导致交配，受精卵的留巢和抚幼。然而，执行遗传程序有更大灵活性的趋势，是进化进程的特征。当遗传程序变得更加开放时，可以说，基因决定的行为也就变得不太刻板，对性信号的反应也就不再完全是自动的了。为了促使个体进行生殖，性行为必须与其他一些手段相联系。其中就有快感。在牛津词典中，快感被定义为“痛苦的反面”，很明显，也可以定义为“由感到了或看到了美好的或称心的享受所引起的意识状态”。复杂的动物很可能早就有了不舒适和愉快的感觉。如果一种不舒适的感觉能劝阻一个动物不致陷入有害的境地，那么，这个动物很可能留下后代。很明显，神经中枢的存在，具有很大的选择价值；因为它把感觉器官联系起来，并能使感觉为愉快或不愉快的东西与实际上对生存有利或不利的东西协调起来。事实上，现在已经知道，这些中枢是存在的。大约20年前，神经生物学家测定了大脑，首先是大白鼠的大脑，然后是很多脊椎动物的大脑，结果发现存在两个明显的神经中枢——一个称为厌恶中枢，另一个称为自动兴奋中枢。准确地插入一个固定电极，随意刺激后一个中枢，大白鼠就会使自己感觉愉快，直到完全精疲力竭。脑外科手术时所作的实验和病人诉说的感觉，使人们很少怀疑人体里也有这样的神经中枢，以及它与性行为之间的联系。因此，快感似乎仅仅是促使生物乐于性行为从而进行生殖的一种权宜之计。从世界人口情况来看，这的确是一个相当成功的权宜之计。

修补的最后实例：人脑

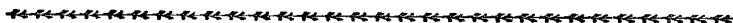
虽然我们的脑体现了人类主要的适应特征，但它适应什么，却根本没有搞清楚。然而，已经知道的是，象人体其余部份一样，我们的脑是自然选择的产物，就是在各种环境条件下，经几百万年时间积聚起来的生殖上的差别的产物。如同弗罗伊德在许多年前就已强调过的那样，我们的脑已经发展到为生殖腺所控制。但是说也奇怪，哺乳动物的脑的发育过程，却并不象由大腿整个变成了翅膀那样。人脑是在古老的结构上加上了新结构而形成的。低等哺乳动物的嗅脑上加上新皮质，就迅速地——或许是非常迅速地——在进化到人脑的进化顺序中发挥了重要作用。对某些神经生物学家——特别是麦克莱恩——说来，这两类结构相当于两类功能，但还没有完全协调，也还没有形成等级。新皮质这种新结构，控制着智力的和识别的活动。从嗅脑演化而来的老结构，控制着情绪和内脏的活动。与前者不同，后者似乎并不具有任何特殊的辨别力，也不具有任何使用符号、语言或自我意识的能力。低等哺乳动物的位于总体控制下的老结构，已经归入情绪一类。在人体内，它构成了麦克莱恩所称的“内脏脑”。或许由于人类的发育是如此之长，成熟是如此缓慢，所以，这些中枢与比较低级的植物性神经中枢保持密切的联系，并继续与觅取食物、寻找配偶、反抗仇敌等基本活动协调着。这种进化步

骤——占支配地位的新皮质的形成；以及在新皮质部份地、但并非完全地支配下，与神经和激素系统继续共存——同修补匠的方法非常相似。这就象在一辆旧马车上装了一台喷气发动机。这两种情况，都有发生意外、困难、冲突的可能，这是不足为奇的。

很难想象我们所知道的这个生物界只是很多可能性中的一种；也很难想象生物界的实际结构是在地球的历史中形成的。然而，生物确是一种历史结构——名副其实地是历史的创造。它们并不表现为工程技术上尽善尽美的产物，而是表现为一有机会就由一些零零碎碎的东西拼凑起来的大杂烩。自然选择的机会主义对于其产物的结构和作用，不只是无关紧要的事。它反映了充满了偶然性的历史过程的真正本质。

正如辛普森指出的那样，各种局部的机会——物理的，生态的和结构的——的相互作用，产生了一种纯粹的历史机会，转而决定了如何利用遗传的机会。主要是这种纯粹的历史机会，控制了适应进化的方向和速度。这就是很可能存在于宇宙间其他星球上的生命体系，为什么实际上决不能进化到人的原因。即使外层空间的生命所利用的是与地球上相同的材料，即使环境条件同我们地球上没有太大区别，即使生命的本质及其化学的本质对实现某些功能的途径作了严格限制，外层空间的历史机会的顺序也决不会和地球上的相同。不同的演员必定演出不同的戏剧。不管科学幻想小说怎么说，火星人毕竟不可能象我们一样。我们也许会看到十六世纪的一种怪物。

(居乃琬译，赵寿元校)



(上接 52 页)务。但是越来越多的证据却又说明，并行结构对于执行适合于并行运算的任务，可以胜过普通计算机好几个数量级。随着这类非传统结构的出现，人们正发现它的应用范围也越来越广了。人们当然期望，注意降低系统方面的实际成本，也即通信系统方面的实际成本问题，以进一步提高性能，而不是仅仅考虑逻辑处理的成本——一种现在几乎快没有了的成本。

我们相信，正确阐明通信成本的适当理论，将成为计算机设计的重要指导，而集成电路的革命提供了这种可能性。我们也相信，这种理论的基础将建立在对规则性的研究上，因此，计算机科学势必包括类似于拓扑学和结晶学的许多理论。这样的发展虽然带有革命性，但本质上还是所有程序设计任务中探讨规则性的继续。因此，计算机科学家们只要在他们已开始熟悉和重视的逻辑规则性问题中，把几何规则性问题也加进去就是了。

(陆秉正译，东川校)

自然界的力

规范场理论为四种自然力——引力、电磁力、弱力和强力的统一观展示了前景

[美] S·温伯格

〔提要〕多年来物理学家就在力求建立一种综合的统一理论，预示着理论物理学中一场新的大革命。这种综合，集中表现在对四种自然力的认识上。

牛顿用万有引力把天上的月亮和果园里的苹果的运动统一起来，麦克斯韦则把电力、磁力和光综合为电磁力。50年前爱因斯坦开始了他的建立一个综合引力和电磁力的统一场论的努力。他的失败的一个根本原因是自然界还存在着另外两种力：强力和弱力。前者把质子和中子粘聚成为原子核，后者使粒子在相互转化中放出电子和中微子。

30年代的量子场论对这些自然力的认识提供了一个基本观念：相互作用都是通过交换某种量子而实现的，正象电磁力通过交换光子而作用，弱力也必然是通过交换某种 W 粒子和 Z 粒子而作用。同时，正如在爱因斯坦相对论中，引力场的存在是由于空间的对称性一样，从量子场论发展来的规范场论也认为力的存在是由于各种基本粒子之间具有内禀对称性，就是说，光子同 W 粒子、 Z 粒子属于同一家族，或者说，它们是同一客体的不同表现。当然， W 比光子重得多，难以互相交换，因而弱力才表现得那么弱。但在高能条件下，弱力同电磁力都是一样的。这样，规范理论就为弱力和电磁力的统一带来了美好的希望。

规范理论同夸克模型一结合，原来的三个夸克就不够了，必须增加第四个粲夸克。1974年发现的 J 粒子正好是两个粲夸克的束缚态。两个夸克愈是接近，作用就愈是弱，因而在很小的距离尺度上，强力也同电磁力、弱力一样的弱，它们可能只不过是同一种东西的不同表现，它们表面上的不对称，或者叫做“破缺的对称”，扰乱了本质上的对称。这不过是一种隐蔽的对称性。——我们似乎又回到了牛顿关于只有一种万有引力的观念。

我们是在建立宇宙的抽象数学模型。宇宙离开我们的日常感觉世界愈来愈远了。有时我相信宇宙比我们所能知道的还要离奇得多，但假如我们按照这个方式最终找到了对自然界的解释的根源，那才是最离奇的事呢。

本文作者(Steven Weinberg)是美国哈佛大学物理学教授、史密森天体物理天文台高级科学家。本文最初是作者1975年10月在波士顿美国科学艺术研究院一次晚会上的讲话，原载《美国科学家》，1977年3~4月号。

许多年以前，我在哥伦比亚大学任讲师时，听到了一个传闻，说本世纪的两位物理学巨擘维尔纳·海森堡和沃尔夫冈·泡里发展了一种将会统一基本粒子物理学的新理论。因此，你们可以想象到，当我获邀参加一个据说是海森堡和泡里主持的秘密讨论会时，我有多么激动。

到了指定的那一天,目睹约 500 位杰出的理论物理学家挤进会场,我不禁有点惊慌失措。但看到尼尔斯·波尔坐在前排,我的劲头又上来了。(我曾在哥本哈根大学当过研究生,一向把波尔奉若神明。)海森堡和泡里论述了他们的理论以后,波尔发表评论,最后说这个理论还不够“狂妄”,因而不相信会成为一场新的物理学大革命。后来泡里也作了重新考虑——他给一个朋友写的对这个理论的评论是一张白纸上,加上一条附注:只是技术细节上还需加以说明!我揣测,海森堡后来可能也对它有所怀疑。

我讲这段往事,部分是因为我想说明,物理学家们多么强烈地感到基本粒子物理学要有一个统一观念。这种统一基本粒子理论的愿望,其实并不奇怪:我们已经知道或自以为知道,在各种自然现象中贯穿着一个个系列的说明,这些系列都开始于微小事物的物理学,开始于基本粒子世界。而今天我们所了解的基本粒子物理学,却还没有呈现出基本的认识水平来。粒子和力还混乱不堪,物理学家们不得不随身携带个小本本记上最新的数据。我们知道的一定还缺少点什么,这也正是我们想从海森堡和泡里那里学到的。

我讲这段往事,还因为我想提醒大家注意,波尔评论海森堡-泡里理论还不够狂妄,还没有狂妄到能满足物理学的需要。这番评语反映了过去 40 年来物理学家中间盛行的一种见解,即理论物理学下一个重大进展将表现为又一场革命——彻底同过去的观念决裂,就象本世纪第一个三分之一中相对论和量子力学发展所引起的大革命一样。这个见解也可能是对的,但是近几年来的发展趋势事实上却表现为与此不同的一种综合。现在大家有一种感觉,物理学各个分支正在各得其所,这不是由于单独的某一种革命思想,也不是由于某一位物理学家的努力,而是许多理论种子开出的花朵,大多还是很久以前播下的。

引力和电磁力

为讨论这种综合的发展倾向,我决定在这里集中介绍一下“自然界的力”。我同样也可以以物质本性和我们对物质基本成分的认识作为话题。这里我希望说清楚:这只不过是对同一实在的不同的说法而已。首先,让我们设想 50 年前美国科学艺术研究院曾举行过一次讨论这些力的会议。会上发言人宣称整个宇宙除了个别神秘的零碎事例而外,都可以用引力和电磁力的作用来说明,当时他这样说是有理的。引力是第一种从数学上得到理解的力,是牛顿的万有引力理论,引起了这样的观念:各块物质即便隔开一定距离,仍然能够彼此施加力的作用。这个观念最初遭到激烈的反对,后来又一直遭到笛卡儿的信徒和其他人的反对,尽管如此,牛顿的理论最后还是成为数学物理的典范。而且,万有引力理论还有一个很重要的作用:它把地上的物理和天界的物理结合起来,作出了近代科学上有本质意义的第一次统一。牛顿用他的平方反比定律解释,月亮朝向地球的加速度要比他的苹果慢 3,600 倍,因为地心离月亮比它离剑桥大学三一学院要远 60 倍。

人们对电和磁虽然不如象对引力那么熟悉,但是从古典时代以来就有所认识了。泰勒斯注意到一根经过摩擦的琥珀棒和羽毛片或线头之间有电力存在,我还相信,荷马也提到过一块天然磁石能够吸引铁屑。到 19 世纪,人们开始认真研究电和磁之间的关系,随着 1873 年詹姆斯·克拉克·麦克斯韦《电和磁》——可以跟《自然哲学的数学原理》和《物种起源》并提的历史上最伟大的科学著作之一——的问世,这项研究达到了它的顶点。麦克斯韦的理论不仅把电和磁之间的明显类似——正电荷吸引负电荷和北极吸引南极——还把电场和磁场不可分割

地结合在一个数学形式系统之中，一组不可分解地联系在一起的数学方程之中。此外，麦克斯韦的理论还产生了更加令人瞩目的综合。他的方程的涵义可以这样来解释：变化着的磁场产生电场，变化着的电场产生磁场。这意味着一种有趣的可能性：存在一种自我永存的情形，就是说，在没有任何电荷或者电流的虚空中，可能有一种电磁波，其中变化着的磁场既产生变化着的电场，变化着的电场又产生变化着的磁场。这种情形确实发生了，这就是我们所知道的光波。这样，把电和磁统一起来的麦克斯韦理论同时也包括了光学。

在一段时期，是电磁力而不是引力，为数学物理提供了理想模型。在麦克斯韦理论的影响下，1905年阿尔伯特·爱因斯坦在一篇题为《论动体的电动力学》的论文中提出了一种崭新的时空观。这种时空观注意到，光速与声速或子弹速度不同，同观测者的运动速度无关。爱因斯坦在以后10年里转向在他看来显然是接踵而来的问题：发展一种象麦克斯韦电磁理论那样的、相对论性的引力理论。他在这方面获得了成功，并于1916年得出了称为“广义相对论”的成果。在广义相对论里，电磁力和引力极其类似，但也只不过停留在类比水平上；它还不是一个统一理论。引力象电磁力一样也可以为波所传递。前几年人们曾认为，已经在探测到发源于银河系中心的引力波，但是物理学家们现在的一致意见却似乎是，宇宙无论哪里都不大可能存在其强度大到足以用现有技术探测到的引力辐射源。

因此，1925年在美国科学艺术研究院会议上的发言者也许可以坚持，整个宇宙都受电磁力和引力支配。原子外部的各个电子和一个又小又重而且带正电的核之间有电力，它支配着一切化学现象，把原子中的电子结合在一起，并把分子和宏观固体中的原子结合在一起。在这个尺度上，引力可以忽略不计。在一个氢原子中，电子和核之间的引力比电力要弱39个数量级还多，原子、分子或固态物理学中的引力效应还没有人探测到，眼下也看不出有这样的前景。尽管如此，因为不存在相互抵消的正负引力荷，引力以电磁力所不能做到的方式增大；这样，在更大的尺度上引力就成了主要的力。对于数量级达到100公里的客体，象比较大的小行星，引力开始占优势；它使星系中的月亮、地球、太阳系、恒星和星团等结合在一起，并使各个星系本身也互相结合在一起。星系团可能也是由引力结合在一起的，虽然还不能肯定。宇宙到底有没有一个强大的引力场，现在还不知道。

统一场论

在1925年看来是由电磁力和引力统治的宇宙里，还有什么比物理学家力求把这两种力放在一个统一场论之中更自然的呢？刚好就在1925年前后，原来并不赞同这种想法的爱因斯坦也转向注意起这个问题来，并且由此一直研究到他1955年去世为止。他的努力由于两个很有趣的原因而失败了——这两个原因为我所要讨论的最新发展提供了背景。

系统阐明一个统一场论之所以失败，首先可以追溯到本世纪30年代中期所认识到的事实：统治宇宙的不仅有电磁力和引力，还有另外两种力，物理学家们以其素有的诗人眼光称之为“弱力”和“强力”。1932年就知道，一个原子的核是由质子和叫做中子的电中性粒子所组成。这就提出了一个问题：是什么性质的力使原子核克服了这些质子之间的电斥力而结合在一起？后来发现，原子核里有一种强相互作用，它同电磁力和引力很不相同，比它们强大得多。它比电磁力要强100倍，能使多至100个质子的原子核结合在一起。强相互作用的强度，还有一个使人印象更为深刻的例子，即一次核反应中每个原子释出的能量大约是一次化学反应的

一百万倍。

弱相互作用是在1896年发现放射性时观测到的。当时法国物理学家贝克勒尔为了考察新发现的X射线现象,把一块晶体放在一张用黑纸包起来的照相底片上,放在太阳下面,看看此底片会不会模糊——结果的确模糊了。他相信这是因为阳光引起晶体发出荧光,产生X射线从而使底片模糊。但在2月份有好长时间没有出太阳,他把照相底片和晶体放在一个写字台抽屉里。当他在那段阴天之后冲洗底片时,发现虽然没有阳光,底片却仍然模糊了。出于偶然,晶体里面含有铀,因此贝克勒尔所发现的射线,就叫做铀射线。我们现在知道,铀射线是叫做 β 衰变的核嬗变、即原子核性质变化的产物。

作为 β 衰变的一个例子,让我们来看看在氢元素最重的同位素氚的核中发生些什么。氚核包含一个质子和两个中子。在衰变过程中,一个中子转变成一个质子,产生另一种核即氦的轻同位素的核。为了带走电荷,释放出一个电子和一个中微子。这些粒子原来并不在核里面,正象在人吹肥皂泡之前肥皂泡也不在吹管里一样。它们是在衰变作用中由所谓弱相互作用力产生的。

弱力在衰变发生之前对核结构没有明显的影响,正象金属铸造的铃上的一道裂缝,在它最后使铃裂成碎片之前,并不会影响铃的音响。但弱相互作用决不仅仅是实验室里的珍品。其实是产生太阳热能反应不可或缺的第一步,是为我们提供能源链条上的第一个环节。太阳主要由氢组成,两个氢核聚集在一起,其中一个转变成中子,为了平衡这一变化,释放出电子的反粒子正电子以及中微子。中微子只有弱相互作用,在这一点上它是一个与众不同的粒子。作用于中微子的力微弱得令人难以置信,以致中微子能够穿过几光年的铝而不会明显地受阻或散射。太阳无时不在辐射中微子,甚至在夜里太阳照耀地球另一面的时候,中微子也能穿过对它们说来是透明的地球而到达我们这里。

四 种 力

这样,1935年人们已经知道,自然界受四种力支配,它们按强度递增依次为引力、弱力、电磁力和强力。我们熟悉引力和电磁力,不熟悉强力和弱力,原因不过是作用范围问题。引力和电磁力的范围是无限的,就是说,平方反比定律在任何距离上都有效,因而从古代以来就为人们所认识了。相反,强力和弱力作用的范围都很小:强力范围的数量级为1费米(1厘米为 10^{13} 费米),弱力范围还要小。因此,只是在作出探测这样短距离的实验时,才发现了这两种力。这四种力同样都是基本的,只是由于我们完全出于偶然地生活在米尺尺度上而不是费米尺度上,才使引力和电磁力似乎是主要的。

自然界既然存在着四种力而不是两种力,要发展一个仅仅包括引力和电磁力在内的统一场论,是注定要失败的。这个失败另外还有一个很有趣的原因。1925年开始出现的一系列论文,标志着人类思想史上又一次最伟大的革命。这些论文发展了一种物理学理论的崭新语言,即量子力学语言。本世纪20年代末和30年代初,量子力学同相对论相结合而产生了一个数学形式系统,即量子场论,这个理论把基本粒子的相互作用解释为基本粒子本身的交换。(有趣的是,爱因斯坦通过他对光电效应和气体统计学的研究,对于引起这场革命所作贡献,比任何其他物理学家都要多。但是当这场革命兴起时,他却由于哲学上的原因而敌视它,因而对这场革命的发展就不再起什么作用了。)