

世界科学

译

丛

SHI JIE KE XUE YI CONG

1

出版说明

为了配合我国科学技术事业大干快上的需要,我们以不定期的方式出版《世界科学》译丛。

本译丛是以介绍世界科学技术研究动态、水平、进展情况,以及科学方法论、科学史等为主要内容的综合性丛刊,其目的是为科技战线的广大干部、科技人员及与科技工作有关的同志提供一些材料,以及时了解世界科学的现状与发展动向。

毛主席教导说:“我们的方针是,一切民族、一切国家的长处都要学,政治、经济、科学、技术、文学、艺术的一切真正好的东西都要学。但是,必须有分析有批判地学,不能盲目地学,不能一切照抄,机械搬运。”毛主席又教导说:“你们学自然科学的,要学会用辩证法。”所以我们既要学习外国好的东西,又要用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点识别和批判外国不好的东西,并在批判中进一步学会用辩证法来指导我们的工作。我们希望,读者能够本着这样的精神来利用这个丛刊。

这一辑是创刊,也是试刊。欢迎各条战线的同志们,特别是科技战线的同志们提出意见、提供题材,帮助我们将它办好,使它能在我国实现科学技术现代化的伟大进军中起一些作用。

《世界科学》译丛

第一辑

《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 上海市印刷六厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 6 字数 150,000

1978年3月第1版 1978年3月第1次印刷

书号: 13119·729 定价: 0.54元

限国内发行

世界科学译丛

第一辑

目 录

科学的前沿.....	[美] W. F. 韦斯科夫(1)
科学研究与工业发展	[美] J. 巴丁(9)
科学预测是预测技术发展的基础	[苏] B. A. 利西奇金(15)
1940 年以来的美国数学	[美] J. H. 尤因等(18)
电子革命	[美] P. H. 阿拜尔逊等(33)
数学和计算机科学	[美] G. 伯可夫(39)
四种颜色就够了.....	[苏] И. М. 雅各龙(49)
计算机和计算的发展.....	[美] R. M. 戴维斯(54)
电子学的词义和定义的变迁.....	(61)
J 粒子的发现:个人的回忆	丁肇中(62)
在发现 J/ψ 粒子以后	(68)
从 ψ 到 ψ' : 1975 年和 1976 年的实验	[美] B. 里克特(69)
新粒子新在哪里?	[日] 荒船次郎(78)
量子化学 50 年	[美] E. B. 威尔逊(82)
分子生物学向何处去?.....	[瑞典] A. 利马-德-法利亚(90)
量子生物学	
——发展的历史、意义和必要性——	[日] 永田 亲义(94)

科学的前沿

[美] W·F·韦斯科夫

〔提要〕 十九世纪发现了电和热的性质以及原子和分子的存在，构成了科学世界观的基础。以后相对论和量子论的发展又起了十分重要的作用。量子理论是人类对自然界更深层次的理解，表现为三个重要的“量子阶梯”。

科学的前沿从而分为内部前沿和外部前沿。内部前沿大部同量子阶梯的第一梯级、即原子领域有关，其对象是研究原子领域中的结构的特征及其各个层次，如热力学、化学、生物学研究中的许多问题。在这些科学中还有许多新的基本规律有待发现。大脑的研究也是当前最重要的内部前沿之一。外部前沿同量子阶梯的第二、三梯级、即原子核领域和亚核领域有关，典型的表现是亚核研究和天文学这两个领域，可以帮助我们对一些突出的基本问题找到答案。

自然界的层次概念把历史观带进了自然科学，世界演变的历史也有一系列从简单到复杂地逐步发展的阶梯。为了理解现有的这些层次的本性和它的发展，需要更深透的洞察力。我们只有分清主要的和表面的，相干的和不相干的，才能对许多现象在理智上弄得一清二楚。

本文原载《美国科学家》1977年7~8月号，作者是美国麻省理工学院物理学教授。原题是《科学的前沿和限度》，现摘译其《前沿》部分。

自有文化以来，人们对他们生活于其中的世界一直感到好奇，他们不断地为自己和世界的存在求得解释——世界是怎样创造的，怎样发展的，怎样产生有生命的东西和人类，以及有朝一日又会是怎样消灭的。早期关于这个问题的思想是在神话或宗教的体系中展开的。这些神话和信仰是用十分美妙而复杂的故事精心构成的，而这些故事往往包含众神与其它超自然力量之间的颇为奇怪和戏剧性的冲突。所有这些思想有一个共同的特点：它们指向现象的整体，它们想说明一切存在的事物。它们试图对以下这些关于存在的根本性问题提出直截了当的回答而展示绝对真理：为什么世界是我们现在看到的这个样子？生命是什么？宇宙的开端和终结又是怎样？

什么是科学？

几百年前，人类的好奇心改变了方向，人们不去求得全部真理，而开始考察能够明确限定的和清楚区分的现象。他们不问物质是什么？生命是什么？而问血液在血管里是怎样流动的？他们不问世界是怎样创造出来的？而问行星怎样在空中运行？换言之，他们避开普遍性的问题，而注意一定范围的问题，这种问题似乎容易得到直接的、毫不含糊的答案。

随着对一定范围的问题答案日益带有普遍性，这种有限制地提出问题终于得到了报酬。放弃直接触及绝对真理，在各种各样的经验中迂回前进，这就使科学方法变得比较深入，使对它

们的见识成为比较根本的了。对移动物体的研究产生了天体力学和对万有引力定律普遍性的理解，对磨擦和各种气体的研究产生了热力学的一般定律。对青蛙肌肉的抽动和对伏打电池的研究产生了那些被发现为物质结构基础的电学定律。爱因斯坦认为这一发现是科学的伟大奇迹。用他自己的话来说：“自然界最不可能理解的事实就是自然界是可以理解的这一事实。”用这种详细追问的方法，人已创造出一个理解自然界的框架，一个科学的世界观。这样，在二十世纪出现了一个象是宇宙的科学神话，过去五百年来所获得的科学见识的一次综合。

科学的世界观是以十九世纪关于电和热的性质以及原子和分子的存在这些伟大的发现为基础的。本世纪初期，它由于相对论和量子论的发展在深度和洞察力方面都增长了。相对论造成了对时间和空间关系一种较深刻的理解，通过人们进一步懂得了电磁场的性质和无所不包的引力现象，这种理解就惹人注目了。

在科学神话的逻辑结构中，量子论起了十分重要的作用。二十世纪开始时，量子力学为理解原子族类的个体性创造了基础，它阐明了 94 种原子存在的原因。它表明，一切原子性质都是原子核和在原子内部环绕着它的电子之间的电的相互作用的结果。由于电子的波性，这种相互作用产生了每个原子族类特有的个别结构。当它们被限制在微小的空间范围内时，如它们被原子核的电力吸引在原子内时，波的一个典型性质就是形成明确的模式。这些模式是基本形式，自然界中的每一典型形状，从晶体到花朵，都来源于此。量子理论还提高了我们对原子键的理解，原子组成分子、液体、固体等。这些键是由于原子核与电子之间的电力和电子波模式的交织而引起的。

量子理论不仅把物质的基本性质解释成为电子在受到原子核的电的吸引时的行为的一种表现，它还导致了对自然界的较深层次的理解。在物质结构的随后层次中，同样的量子原理的反复出现，就表现在我喜欢说的“量子阶梯”中。理解量子阶梯的关键是能阈概念。我们知道，必须有在一定的阈值以上的能量才能激活一种特定体系的动力，例如原子内的电子。如果得不到那种阈值以上的能量，这个体系就没有变化地停留在它的特定的基态上；它的内部动力仍然潜伏着。体系越小，就越难激活它，就需要更多的能量。

原子内的电子可以用很少几个来自日光或点火时发生的电子伏特(能量单位)来激活，反之，原子核的动力在地球上却是潜伏状态。要有大得多的(几十万倍的)能量来激活原子核。这种能量在星体的中心可以找到。支配原子核的动力是核子力。这种力在质子与中子——构成原子核的粒子——之间起作用。这股非常强大的力是非电性的，它在许多方面对科学家们还是个谜。

量子阶梯有三个重要的梯级。第一梯级是原子领域，即产生生命的环境，这是一个由原子核与电子之间为电力吸引所支配的世界，即化学、生物学和地质学的世界。第二梯级是原子核领域，这个领域在地球上处于潜伏状态，在多数情况下是不活动的。这个领域在自然界中有足够能量的地方——在靠近星体中心的地方——是活动的。在地球上，被激发的原子核、核反应、聚变、裂变以及放射的世界，在很大程度上是一种人为的世界。天然出现的放射性物质，是五、六十亿年以前产生出地球物质的一次巨大的星球爆炸中的核火所遗留下来的最后的余烬。

量子阶梯的第三梯级是激活质子和中子内部的一种新动力，需要几十亿电子伏特才能在自然界激活一个崭新的领域，即“亚核”领域。在这里，我们又看到一些完全不同的现象：被激发的质子、中子、介子、新粒子、重电子和反物质。在这个世界中，能量的交换多到这种地步，

以致能量借以转化为物质和反物质的过程起着决定性的作用。这个领域在自然界中的位置是未知的，这种过程有些发生在宇宙射线冲击到物质的时候。它可能在一些巨大灾变事件中出现过，出现在星体或星系的爆炸中，或许出现在宇宙初始的所谓“大爆炸”之中。

科学的两个前沿

以这样一个科学世界观为背景，我现在可以考虑一下科学的前沿了。我要区分两种前沿，外部的和内部的。外部前沿划定了对当前已知原理之外自然界领域的探索范围。内部前沿是一片比较广阔的领域。这里的基本原理被认为是已知的，但是，在这里，现象的表现复杂性使我们不能理解和说明它们。内部前沿大部分同量子阶梯的第一个梯级有关：原子和分子的世界，这个世界我们理解为一些由一个原子核和一群电子组成的体系，在原子核和电子之间的电力起着作用。研究原子世界而并不十分了解原子核的结构，这是可能的，只要我们局限于地球过程之内。在地球过程中，能量的交换通常比激发原子核和它的组成部分所需要的要低得多。在这里，原子核处于潜伏状态，它只起着把整个原子联结在一起的电力的质量中心的作用。然而，我们虽然对原子活动的原理有所了解，但其活动的复杂性仍然是很大的。

让我以以下的方式来说明这一点。假定一批聪明的理论物理学家自出生以来就生活在一座封闭的建筑物中，从来没有机会去看一看自然界中的种种结构物。这些物理学家所应知道的一切只是原子结构所依据的基本原理，即原子核和电子的存在，量子力学和电力的性质。如果我们请这些物理学家预测，原子是怎样在自然界出现并产生怎样的结构，我们将得到什么结果呢？

最有可能的是，他们能够预测到有原子存在。他们大概能预测到，一些原子结合起来构成分子。他们或许能叙述自然界实际存在什么种类的简单的分子。甚至他们能预见大分子或分子键的构成，分子能连合起来产生固体，有多种不同的固体，如金属、晶体和盐类。但是，我十分肯定，这些理论家绝不会预测到液体的存在。液体是一种高度复杂的现象。在这里，分子居留在一起，而又彼此相依地移动着；为什么会有这样一种奇怪的物质存在？这绝不是显而易见的事。同样，他们将无法预测到化学中的许多东西，而生命的存在是肯定无法预测到的。这就说明，对原理的理解并不意味着对现象世界的理解。

原子世界的复杂性有一个很充分的理由。我们今天了解到的原子结构，容许原子结构或极大数量不同的组合和再组合，从而形成特有的结构和超结构，一个迭加在另一个上面。组合起来构成特有结构这一倾向，要回溯到电子波的“形态”特性，这种特性就容许特有的和典型的组合，以及原子单位的交织。

但是，还有两个理由也说明为什么在原子领域特别易于形成复杂的结构和超结构。这同原子中存在电子和核这两种不同类型的基本组分大有关系。它们具有反向电荷，因此原子在电的方面是中性的，而且它们可以大量地集合在一起，而不致被电斥力所驱散。此外，原子核是重的，而电子是轻的。它们具有很不同的质量，这就有可能使分子中或其它原子结构中的原子核占有明确的位置，而电子则分布在空隙之中，形成使原子核定位的波结构。原子核在分子中构成的或多或少的固定的架子产生了人们可以称之为“分子建筑”的东西。它们在原子和分子的空间作出典型的特有的排列，例如，“生命的螺旋”，脱氧核糖核酸(DNA)分子的特有的螺旋形结构。

自然界的其它领域，原子核领域和亚原子核领域，所有形成的结构的种类要少得多。在原

子核领域,它的两个组分,质子和中子并不合并成为在电的方面是中性的东西:原子核是带电的。因此,在电斥力把一些中子扯开——象在铀的裂变中那样——之前,有多少核子能在一个原子核里结合在一起是有限的。还有,原子核的两个组分实际上具有相同的质量,因此,不适合于作出分子特有的空间排列。关于亚原子核领域的情况,我们知道得还很少。但是,我们今天关于这个领域的全部知识,似乎也排除了大量不同种类的结构和超结构。

回到原子领域中结构的各个层次这个问题上来,我们看到,原子构成分子,分子构成线性大分子链,以及膜的两维体系,或晶体或液体的三维矩阵。这些结构往往联合起来构成更大的排列和组合。一块岩石或金属是许多小晶体的组合。任何一块有机物质都是大量次一级单位的组合。每个次一级的单位又包含一些更低一级的单位。我们现在还不十分了解,或者完全不了解这些结构的许多特征,即使不是大多数的话。研究这些问题就是我们所谓科学的内部前沿的对象。

当我们面临我们环境的现实的时候,我们处理的是结构和超结构,而不是组成这些结构的原子。这就是为什么科学家在试图了解发生的事物时,所使用的对象、概念和观念并不是直接同原子打交道,而是同研究中的现象所直接涉及的结构打交道。这是科学的内部前沿的特定形势。

让我们看几个例子。热的科学,即热力学,是较老的例子之一。在这里,我们要创造适当的概念和观念来处理大量积累起来的原子或分子。其中包括,象温度、压力、熵和相位(聚集态)等。化学科学中有丰富的概念和原理,它们对于描述化学反应现象和分子结构,诸如化学键、反应的动力学等等都是必需的和适宜的。其中每一个概念和原理,或者已知为原子结构基本定律的必然推断;或者似乎可以认为它们与基本定律并不矛盾,也不需要基本定律有所修改或补充。

在生物学方面,适当的概念和原理的形成就更进了一步。在这里,我们所面临的不仅是复杂性,而且是有机的复杂性。这要求我们采用与研究非生命物质世界不同的方法。我们不得不创造恰当的语言来处理其中的现象,包括繁殖,基因,酶、种、进化和有性结合。托马斯·曼在《费利克斯·克鲁尔忏悔录》中十分美妙地说道:自然界中存在的东西比关于它的原子结构的知识多到什么程度:

[眼睛是那]宝贵的胶状物,它正如其它被创造的物体一样,不过是由那些平凡的元素造成的。就象一块宝石,它肯定了元素决定一切……只要生命的火花在那里保持警觉,它就能在人与人之间可能存在的一切生疏之感的鸿沟上架起如此美丽的空中桥梁。

这里有个目的的概念:我们根据某些结构服务于某一明确目的来说明它们。当我们处理自然界中没有生命的部分时,这种推论是不会出现的。达尔文的伟大见解教导我们,当这些结构能以巨大然而有限的准确性进行繁殖,以致偶然的改善可能导致较为多产的繁殖时,目的是怎样进入自然界的推动原则的。

这就提出了一个有趣的问题:既然我们对许多,而也许是多数复杂的、有机物质的现象还不理解,我们怎能肯定,已经知道原子世界的一切基本原理呢?如果在我们的环境中还有这样多的结构、过程和现象我们并不完全理解,诸如液体和膜的结构,某些大气现象,地磁,特别是生命的表现,那么,我们怎能这样大胆地假定我们完全理解支配着原子行为的那些基本定律呢?尽管如此,今天很少有科学家认为,关于我所谈到的生命或其它现象,还有许多新的基本

定律有待于发现。

当然，我们决不能对我们知识状况予以完全的肯定。尽管如此，今天有一种普遍的信念，原子世界的基本原理都是已知的，不需要再有什么另外的定律或原理来解释原子领域的现象，包括生命的存在和发展在内。这种确信在很大程度上来源于这一事实，即虽然我们不能解释许多复杂的现象，但是，复杂性本身是毫不足奇的，而是讲得通的，是意料之中的。我们认识到，原子模式对于组成各种复杂的结构具有一种无限的倾向。因此，似乎没有必要求助于新的基本定律来解释我们观察到的东西。

科学的外部前沿指的是什么呢？它涉及的是这样一些自然现象，它们的基本定理和原理我们还不了解。在一定程度上，核物理学还是一个外部前沿，因为，甚至在今天，把原子核结合在一起的基本力量，我们还不十分了解。而且，关于放射——一个中子缓慢地转化为质子，从而发射出一个电子和一个中微子——的定律，我们的知识还很肤浅。它们的更深刻的意义还没有被发现。

这样，核现象的研究与内部前沿方面的研究工作相比，有一种多少有些不同的面貌。不错，在我们试图揭示核相互作用的复杂性时，诸如聚变、裂变和放射性衰变等，我们遇到一些同我们在研究原子聚集体时所遇到的相似的，或可以类比的问题。但是，与此同时，我们是在试图发现支配其组分的相互作用以及它们转化的那些基本定律本身。其处境同十九世纪化学研究的状况有些相似。当时化学家们在研究原子之间的一种“化学力”的效应，同时又试图发现关于那种尚属未知的力的性质和原因。

典型的外部前沿表现在亚核研究和天文学这两个领域里，亚核研究超过核物理学而更深入了一步。当物质受到每个粒子几十亿电子伏特能量的作用时，我们又观测到一个不同的现象领域——量子阶梯上的又一级。我们发现质子和中子的各种不同的短命的受激状态和另一种粒子即介子的出现。这是粒子与粒子之间高能碰撞所产生出来的各种不同的短命实物。它们使一种粒子转化为另一种粒子，最后衰变成为轻量子或成为电子-中微子对。介子代表一种新形式的短命物质，大概就是我們观察到的那种在质子与中子之间的核子力的载体。另一种电子，即重电子或 μ 介子，也在这些衰变中被发现。

在这个现象领域里，粒子的产生和湮灭是一个常见的过程。能量转化为物质，物质又转化为能量。物质和反物质、粒子和反粒子，在各种不同的形式和现实过程中出现并消失。我们面临着完全新型的自然现象。其中的基本实物和它们的相互作用，大体上仍是未知的。质子、中子和介子不再象是基本的了，而似乎是由被称为“夸克”的一些假设的亚粒子组成的，这些亚粒子同一些其性质和规律还没有被发现的力相互起作用，而且似乎显出奇怪而矛盾的性质。

现代天文学也面临一些不易纳入我们现在对自然规律知识框架之中的现象。我们观测到宇宙不断膨胀。我们发现了一种神秘的冷光辐射（波长为几厘米）充满着全部空间，这可能是世界历史开始时“大爆炸”的残响。还有一些类星体。它们似乎在辐射超过我们平常在星系体系中所观察到的任何数量都要大的能量。我们还发现用新的工艺工具发现的许多其它的奇异的、基本上无法解释的现象，这些工具——如无线电眼，X光眼和中微子接受器——是我们今天用来观天空的。

因此，外部前沿是这样—一个地方，在那里，我们发现在地球的空间和能量的极度之外的新的自然活动方式。在超越上述极限之后，很可能自然界受着新的规律的支配，或是受着我们当前规律的未知范围的支配。在这些领域，发现的传奇性特别显著：随着我们钻入宇宙的更深、

更隐秘的领域,我们发现一些意料之外的、神秘的对象和过程。这些看来是无法解释的和超出任何已知的自然规律之外的。

与此同时,我们有十足的理由可以相信,对这些现象的探索,将帮助我们对一些未解决的基本问题找到答案,这些问题对于我们理解生存于其中的原子世界是带有根本性的。我们不知道,为什么电荷总是以(正或负)并联的电子电荷的形式出现?我们知道这种电荷的数值决定着原子的大小和能量,但是我们不知道这个数量的来源。我们不知道,为什么质子和中子几乎比电子重两千倍?这种质量上的差别使得原子核比它周围的电子重得多。只有到了我们对质子的内部结构有更多了解的时候,我们才能探测到这一差别的更深来源。

我们猜想,中子和质子是由亚单位——夸克——组成的。这就产生了一个问题。这些亚单位是否是最终的物质单位呢?它们是否由更进一步的亚亚单位组成的呢?这样依此分下去会有底吗?

最后,我们对于我们宇宙的初始情况所知甚少。宇宙在发展的早期各阶段中是由什么物质构成的?现代天文学家可能为我们提供较多的知识,因为他们可以观测到距离很远的对象。但由于光线需要很长的时间才能到达我们的眼前,因此所看到的仍是这些物体早期存在的情况。这只是一些对外部前沿的探索可能帮助解决的问题。

自然界的层次

让我们从一个不同的角度来看科学的世界观。我们可以把自然界的各种结构看作是一套层次,并按以下的方式加以排列。让我们从核子(质子和中子)和电子开始,以它们为基本结构,虽然核子肯定不是基本的。核子结合起来成为核;核和电子结合起来成为原子;一些原子结合起来成为分子。到了这里,可以分为两条道路。沿着第一条道路,一些分子结合起来成为液体和晶体群,液体和晶体群集合起来成为矿物和岩石,矿物和岩石结合起来成为行星和恒星,行星和恒星组成星系,星系组成一个宇宙。在炽热的恒星中,分子和原子再次分解为核和电子。

第二条道路是在某些行星的表面上被循行的:一些分子结合起来构成大分子,大分子构成细胞,大细胞构成多细胞种,而多细胞种是可能有头脑的。某一特定的种中的个体可以组成群体、部落和社会。在这后一条道路上,生命进入了这层次的阶梯,其特征是,其中的单位能够从不那么有机的物质中使自己繁殖起来。

层次的概念把历史的外观带进了自然科学。除地质学可能是个例外,其它科学长期以来都是非历史的,物质是就其现状来研究的,它的历史则不予过问。今天,物质的历史成了一件要紧的事情。在层次概念的基础之上,我们可以引伸出一个关于宇宙发展的观念:这是从基本到复合、从较不复杂到比较复杂的前进过程。很久很久以前,有那么一次“大爆炸”,它产生了高能热态下的物质的基本粒子,质子、中子和电子形成了,并结合起来成为氢和氦;这就导致物质的定域浓度,从而创造出恒星、行星和星系,形成了其它更复杂的元素和形形色色的凝缩的物质。在某些行星的表面上,开始了大分子、细胞的自然繁殖、多细胞种的发展,最后是有感觉能力的生物的发展。这一历史的许多阶段,例如在“大爆炸”之后最初产生氢和氦的情况,仍然笼罩在无知和揣测的纱幕之中。

世界演变的历史,从“大爆炸”到目前的宇宙,有一系列从简单到复杂的逐步发展阶段,从无序到有序,从基本粒子的不形成气体到有特定形态的原子和分子,进一步再到更加有结构的液体和固体,最后到复杂的有生命的有机体。自然界有一种从无序到有序和组织的明显趋

势。这种趋势与著名的热力学第二定律——在自然界中,无序必然增长——相矛盾吗?这条定律说,无序的量度,熵,在任何自然体系中必须是增长的。值得指出的是,朝着更高层次发展的趋势,同第二定律是完全符合的。其实当物质同它周围的环境并非隔离时,这正是第二定律的结果。例如,任何以一种无序的热气形式开始的材料都将冷却,最后形成有序的晶体。这个冷却过程可以由于同它的环境接触而发生,但是,甚至在虚空,它也会由于辐射而失去它的热。第二定律告诉我们,晶体中序的增益多于抵销热散入周围环境中或无限暗区中时发生的序的损失。

物质从来就没有同它周围的环境完全隔离开来,而且总是失去热。热是比较大的熵的某种高度无序形式而逸散的。因此,第二定律要求一个暖材料在它同周围环境接触时增加有序。(经常同我讨论这些问题的戴维·霍金斯和我把这个结论称为热力学的第四定律。)特别是,在一个强温梯度出现时,如在高温(低熵)辐射冲击较凉地区的太阳——地球体系中,就出现朝着较为有序、有组织的方向的大踏步前进。这就产生了光合作用,大分子的集结,并提供了为创造充满于有生命的世界之中的那种易于结合的倾向所必需的能量和负熵。

有序在有生命的自然界和无生命的自然界之间是有区别的。当一切事物终结时,那时太阳熄灭了,物质将比现在更加有序,因为一切无规的热运动都将冻结。但一切东西都将是要冷的、死的和不变的。正是炽热的太阳和比较冷的地球之间的温度梯度产生有生命的序,通过繁殖和进化,一直在变化和发展。

当我们看一看物质从基本粒子发展到较高级的形式时,我们或许被一些有趣的观察结果吸引住了。例如,某些结构是“无历史的”。对一个质子或电子进行考察,并不能指示它的历史——它是基本的,不具有任何指示它过去历史的性质。为了说明这个概念,我愿引进一个新的术语来指明有没有关于各种结构的这种历史的知识。在豪尔赫·路易斯·博尔赫斯的一篇短篇小说里,他描绘了一个名叫富内斯[Funes]的人物的可怕的困境,他没有办法忘记他所看到的、听到的、感觉到的、或经历到的事物的任何细节。西里尔·史密斯采用了这个人物的名字,把“记不住任何东西”的客体叫做阿富内乌斯[afuneus]。

核子和电子是非常阿富内乌斯的客体。它们的性质丝毫不能指示出过去在它们身上发生了什么事。原子核也有些阿富内乌斯,但不完全这样。我们可以从原子核身上推论出一点它的历史。例如,假如是个金核,我们就能够推论它的来源,因为,我们有充足的理由可以相信,象金、铅、银这些重元素是在一次超新星的爆炸中产生出来的。这样,一个原子核带一点轻微的富内性(funicity,即上述富内斯那种什么都忘不了的特点。——译者),正如原子和分子也带有一点轻微的富内性一样。

一个晶体的排列的方式可以给我们相当多的关于它过去历史的知识。但是,如果它是物理学家称之为单晶,即其中的原子是完全有规则而有序地排列起来的一个晶体,那就不行。这样一个晶体是很难产生,而且确实会是相当阿富内乌斯的。但是一个普通的晶体在它的点阵中,含有许多由于这块材料的制作方法所造成的不完美和错误的地方。例如,如果有许多不完美的地方,那就表明晶体受到干扰而且突然冷却,如果只有少数不完美的地方,就可以推论,它是逐渐冷却的。金属的表面有相当高度的富内性。一位冶金学专家根据金属表面上的纹理和结构,不仅可以断定一块金属是怎样做成的,甚至可以断定它是何时做成的。

在自我繁殖的结构里所表现的富内斯性质的程度就更高。一个自我繁殖的细胞不仅载有它自己的历史,还载有它的所有前辈的历史;它的全部进化过程都写在它身上了。就自我繁殖的结构而言,进化的机制选择出有用或有目的的复杂性,而且就根据这个组织,我们推出它的

历史。

自我繁殖系的最后一步是大脑。大脑不仅包含它的祖先的历史，而且通过通讯还收编了它的同时代者的历史。在这种情况下，进化和通讯结合起来表现更大的富内性。对于大脑的研究在当前是最重要的内部前沿之一。象思维和记忆的性质这类困难的课题，是从两个方向进行研究的。一个是通过神经生理学的方法，即研究神经系统的物理学、化学和生物学。另一个是通过心理学的方法，从思想和感情的内部表现方面来研究大脑。这项研究可以认为是从两端打通一个隧道：这两种研究工作还没有汇合，但我们希望总有一天会汇合的。

对某一物种的个体——不管是人还是其他动物——之间的社会关系的研究还处于初期阶段。我们正在摸索，以期找出适当的方法、概念和语言，使我们能够得出一些其客观有效性能同自然科学相比的系统的陈述和结论。我在下文讨论科学方法的限度时，还要回到这个问题上来。

在这一层次序列中，外部和内部前沿的界线必然要大致地勾画在原子核上。在这条线以上，在具有较高的基本性的那一面上，一切受着我们至今大部分还不了解的自然规律的支配。而在这条线以下，在具有较大复杂性的一方面一切在原则上都可以被认为是建筑在原子和分子的结构之上的。它可以归结到“不外是”电子和原子核之间的电力。在这些力的影响下，电子波展开它们特有的原子模式，这些模式能够结合起来，形成无限多样的原子和分子的组合。然而基本规律的知识还不足以使我们真正理解，在这套层次的每一级里，“部分”是怎样与“整体”发生关系的。

为了理解现有的这些层次的性质和发展，需要对相互作用及其表现具有比我们今天已经得到的更深透得多的见识。我们对于所谓合作现象了解得很少，在那里，大量的分子在相互作用着。而我们看来，这些现象是错综复杂的。真正的了解意味着要能分清什么是主要的东西，什么是表面的东西。我们只有达到这样的理解能够把有关的东西和不相干的东西区别开来，这些现象才不再使人看来是复杂的，而在理智上是一清二楚的。

(王淦人译)

(上接 60 页)

7) 尽管有种种人为的约束，用计算机实现本质上无限制的智能行为方式的进程，仍将是缓慢而不可逆转的，单靠人或计算机都做不到这一点。

我感到非常乐观的是，人不会象常说的

那样成为计算机的牺牲品，而是成为它的主人。况且我们都非常幸运，能够参与这个对人类智能的未来作出关键性决定的过程。

(刘定一译，徐国定校)

科学研究与工业发展

[美] J·巴丁

〔提要〕 科学研究与工业发展的关系是很密切的。从固体物理学的三个领域——半导体电子学、干印术、超导——来看，它们通过基础研究解决了一些重大的理论问题，导致了电子工业和计算机工业的蓬勃发展。从科学发现到工业中的实际应用虽然需要相当长的时间，但只要不断加强基础研究，就能有效地填补理论和应用之间的鸿沟，有力地促进新兴科学的发展。当前全世界的基础科学研究有一种值得注意的倾向，即只要求有针对性的研究。这对于发展中的前沿科学和可能产生惊人成就的研究，显然是不利的。而且，以应用为目的的研究如果缺乏基础知识，反而会造成劳动力和经费的莫大浪费。

本文是作者 1977 年 3 月 1 日在日本所作的一次演讲，原载日本《科学》第 47 卷第 7 期(1977)。作者是美国伊利诺斯大学教授，曾因发明晶体管和阐明超导理论获 1956 年度和 1972 年度诺贝尔物理奖。

在今天的演讲中，我想以我本人的体验，就科学研究与工业发展的关系向诸位作一个介绍。我所研究并直接有体验的是三个不同的领域——半导体器件、干印术和超导。一般说来，这三个领域都属于固体物理学，但就科学研究的重要作用来说，情况又各有不同。

所有的技术革新几乎都是首先认识到某种必要性，然后再寻求达到目的的手段。如果利用已有的技术能满足这种必要性，就没有新的科学介入的余地。但出现的情况往往是，知道某种必要性，而谁都不清楚达到目的的手段。这时就必须发展新技术，而扩大科学知识或发展新的科学就常常是必要的了。

科学难题偶然的、意外的突破是很少有的，但它会带来新的成果。这种发现一般产生于大学或以基础研究为目的的研究所。一旦有了突破，就可能诞生崭新的技术领域，原子能、抗菌素、计算机技术、半导体电子学、激光等就是几个实例。一般说来，从科学发

现到工业中的实际应用需要相当长的时间。因为生产有用产品，必须大幅度地发展新技术。科学的各种进展之间都是相互依存的，某一领域发现的新理论或技术，有时会对另外的领域具有很重要的意义。

目前，全世界的基础科学研究面对着恼人的压力，这就是预算缩减和要求进行有针对性的研究，即奉命进行短期内可以还原为技术的研究。这种倾向对于加强大学与企业的相互促进也许是有利的，但会造成发展中的前沿科学得不到适当的预算，妨碍可能产生惊人成就的研究，因而是有害的。而且，以应用为目的的研究计划如果缺乏解决问题所必需的基础知识，也会造成经费的、劳动力的莫大浪费。

科学研究对工业发展的影响

现以上述三个领域——半导体电子学、干印术和超导为例，较详细的评论科学研究对工业发展是多么有用。这三个领域都与固

体物理学有关。

固体物理学根据凝聚物质的电子和原子结构,研究其各种性质。这一学科是在二次世界大战结束时迅速发展起来的,当前已成为物理学的最大分支。研究人员数量大约每五年增加一倍。单就美国来说,取得博士学位的固体物理学家已超过 4000 名,全世界的人数就更多。他们的兴趣有的在于应用,有的在于科学研究。

固体物理学的应用面是很广的,如电子学中的半导体,变压器、磁带和计算机储存器中的磁性材料,光源或显示器用的荧光物质,干印术用的光导体,磁电机用的超导体等等。电子通讯、计算机工业的惊人发展应归功于固体物理学的研究成果。就电力工业来说,半导体整流器已广泛使用,超导体大规模应用也为期不远了。固体物理学的进展所引起的新产品,价值每年达几百亿美元。

a. 半导体电子学

第二次世界大战以后,固体物理学已达到了可以应用的成熟阶段。继二十年代海森堡和薛定谔等人发展了量子力学,三十年代在理论上理解固体的各种性质方面,又确立了坚实基础。但是理论与实验之间还有很大的差距。主要原因是半导体的电导率、光导率,甚至连机械强度都对构成物质的成分反应灵敏,即对固体结晶中的极微量不纯物质或其它缺陷很敏感,并易受影响。人们指望通过强有力的研究,填补理论与实验之间的这个鸿沟。

贝尔实验室对这一点认识特别明确,在 1945 年下半年,即第二次世界大战一结束,就组成了固体物理研究小组。我也参加了这个小组,同沃尔特·布拉顿、威廉·肖克利和其它小组成员协作,接受了半导体的入门训练。

半导体的导电性能方面居于金属和绝缘体之间。金属因原子的外层电子在结晶内自

由流动,属于良导体。绝缘体的电子由于价键的排列或其它缺陷,不导电或导电能力极差。在半导体中电子传导电流有二种方式:一是传导电子——即传导超过化学键必需数量的过剩电子,一是空穴,即化学键必需数量的不足部分。由于电子具有波动性,空穴表示各点都带上了正电的粒子,导电或由带负电荷的过剩电子进行,或由带正电荷的空穴进行,或由两者进行,这是由结晶中不纯物质或缺陷的性质所决定的。即使是百万分之一或不到百万分之一的不纯物质,也会大大影响导电。

半导体研究的最终目的,是发现控制半导体中电子流动的方法,排除真空管特有的缺点,起到放大的作用。肖克利从理论上指出,放大作用应是可能的。但怎样最终达到这一目的,谁都不知道。因而决定研究的方向不是如何研制放大器,而是加深对半导体中电子流动的了解。我们对研究所取得的知识,采取尽量利用其中有用部分的态度。

我们决定研究半导体中锗和硅的物理性质。锗和硅是化学元素,同半导体化合物相比,应该是容易了解其物理性质的。而且在第二次世界大战中,锗和硅曾用于研制雷达检波器,已有很大的发展。检波器实际上是一种整流器,电流沿着一个方向流动比沿逆方向流动要容易得多。雷达所用的频率很高,检波器不宜用真空管,于是用“触须线”的检波器问世了。这就是把非常细的金属压在半导体结晶表层。当时已知道可以用硅和锗,但硅的效果更好一些。

我们研究组的组员在大战中都没有研究过半导体。通过共同的研习和讨论,熟悉了文献资料,从而开始研究锗和硅的块状整体的性质和表层性质。肖克利提出,对半导体薄膜施加侧向电场以控制电流,但早期的实验中没有观测到这种效应。布拉顿和我努力尝试从锗的表层观测这种效应,结果发现了使半导体传导率发生变化的新方法,即在适

当的接点导流入电流。由于这一发现,1947年下半年发明了最早的晶体管。此后由于半导体技术的发展,肖克利提出的利用电场效应的方法也使用了。现在上述方法都已应用于半导体器件中。

发明半导体之后的一段时期中,半导体装置的研制是与半导体的基础研究结合起来进行的。当时为了半导体装置的研究和生产,制备了高纯度的或精心控制其组织成分的锗和硅的大块单晶,它对半导体各种性质的基础研究起了极其重要的作用。随着半导体理论向深度和广度发展,许多有关性质的细微之处都确立了理论与实验之间定量的一致。有好几年,半导体研究成了物理学研究中的一个风行的领域。在这个期间,对半导体的科学研究,无论是理论还是实验,大部分都由企业的研究所进行。与这种科学研究相平行,新开创了涉及面广的半导体电子技术。每1~2年就有新的突破,随之人们就眺望到新的地平线,即使在今天也不能认为已达到发展的终点。对半导体研究来说,科学研究与应用的关系如此密切,其它领域恐怕还比不上。一个研究人员往往既从事科学研究,又进行应用探索。在半导体技术革新中,日本也是领先者之一。诺贝尔奖金获得者江崎玲于奈发明隧道二极管就是一例。此外,各大学也都制订了半导体科学研究方面扎实的研究计划。

1951年夏在贝尔实验室举办的夏季学校,我向60名以上的大学教授讲授了半导体的科学基础。1950年出版的肖克利的那本优秀教科书产生了很大的影响,目前各研究所都作为教科书使用。

b. 干印术

科学研究对工业发展起作用的第二个实例是干印术。它作为一种摄影复制方法被广泛运用。干印术一词起源于古希腊语,意思是干的笔记。它主要是由切斯特·卡尔森所

发明的,但经过许多年的研究才应用于实践,从最初发明到现在已过去了四十年,研究还在急速进展之中。这个方法是使光导体表面带电,然后把被摄的影像照射在光导体上,有光照射的部分发生放电,在光导体上留下静电潜像,把它加以传送、显像,便形成了复制品。

我当初担任海洛伊德公司(即后来的泽罗克斯公司)的顾问时,在普通住宅改建成的几个实验室中从事研究活动,每年销售额在五千万美元以下。1960年采用了使整个过程自动化的设备,一秒钟不到就可复印在白纸上。目前全世界的销售额每年已超过40亿美元。日本厂家也在考虑研制新型复印装置,同泽罗克斯公司及其在日本的子公司竞争。

静电学是物理学中最古老的学科之一,而又是长期被忽视的学科之一。对光传导的各个侧面虽然进行了许多研究,但对物质中的电荷移动,特别是干印术所要研究的电荷移动几乎没有作过研究。就是说,对这一方面的技术无所了解,还属于最初的尝试,必须展开大量的基础研究。早期的复印装置大部分是根据经验设计的,这也是迫不得已。

光传导对构造成分的反应灵敏,研制中采用经验手法代价高,但这种情况在工业中是常见的。不了解实质性的因素,要维持产品的规格是困难的。生产上出现问题,要查明原因加以解决,是不容易的。但随着岁月的消逝,收益增多了,基本方法的基础研究有了进展。随着理解的加深,干印术所用的经验方法正逐步被科学的工艺设计所取代。还发明了对成像和显像过程更适用的新材料。复制的质量和速度也大幅度地获得改善。有了这些改良,新产品的研制才成为可能。而这种改革又需要长时间的努力,现在还在努力研究之中。

如上所述,对于干印术而言,基础研究对加深理解和发现新材料起了促进作用,但成

果,不是戏剧性地突破疑难点,而是一种可称为进化的改革。

c. 超 导

超导是许多金属、合金在极低温度下发生的现象。将金属冷却到固有的临界温度以下,电阻就完全消失了。处于超导状态的线圈一旦通过电流,即使不加电压,电流也会持续流动。目前全世界的研究机构都使用装有超导线圈的磁体和其它超导装置。一些国家正在探讨地下超导输电,以及电动机、发电机和电力系统大规模应用超导体的经济价值。从量子角度利用超导现象研制的高灵敏度仪器,对于科学研究以及可能对医学应用都有重大意义。超导是意外的科学发现与应用相结合的一个突出例子。

超导现象是1911年荷兰的卡梅林·奥涅斯发现的,他在发现液化氦的方法时发现了超低温产生的超导现象。在以后的五十多年中,对这一现象的兴趣只局限于科学领域,对此所作的研究也只限于大学的研究所。超导体研究是物理学的一个重大课题,长期未获解决。1957年利昂·库珀、罗伯特·施里弗和我根据以量子论为基础的BCS理论,对此作了解释。

量子论的发展起源于阐明原子和分子中电子的性质。超导体表现了量子的宏观现象。BCS理论不仅仅解释了超导体已知的那些性质,还有助于预测新的效应。由于这个理论的发展,引起了人们对这一学科的很大兴趣,进行了许许多多的研究。

60年代初期有两项发现导致了崭新的应用。一是发现了在很高的磁场中也具有超导体性质的合金。这种金属线一旦通上电流,就不再需要更多的电力了。用这种金属线可以制成高磁场用的磁体,目前国际上的一些研究所正使用这种磁体。陆地上高速运输用的磁悬浮列车也打算用这种磁体。目前日本正在考虑研制同著名的东京——大阪新干线

并行的、时速五百公里以上的列车。如果一切顺利,将来也许有一天会行驶这样的列车。

如前所述,目前正在探讨把这种超导金属线应用于电力工业,应用于地下输电或小型电动机、发电机的可能性。

另一项发现是约瑟夫森效应。这是1973年同伊凡·贾维尔和江崎玲于奈博士同时获得诺贝尔奖金的布赖恩·约瑟夫森发现的。他根据BCS理论预言,超电流能流过把两个超导体分隔开来的一层很薄的绝缘层,还预言了服从有关超导量子力学的效应。这给目前最灵敏的磁性检波器奠定了理论基础,可用于测定微电流和电压,也可以用来测出高频电磁场。令人意想不到的是,还可利用约瑟夫森效应提供标准电压。但这个效应最重要的应用,是用到计算机上。人们还利用约瑟夫森效应设计了超导电路,它的运转速度为半导体电路的一千倍,而功耗只有后者的千分之一。如这一点具有充分可靠性,将来可用于大型计算机的研制。

从上述简短的历史可以看到,重大的科学发现付诸应用,需要化费很长的时间。解决许多低温工学的技术问题之后,最后才产生大规模应用的可能性,但目前是否能实现尚无把握。也许在5~10年之中得到解决。但十分清楚的是,在科学领域中将来超导的应用是十分广泛的。

工业界的基础研究

从上述三个例子就可以了解到科学研究在各个方面对工业发展的影响。

下面我想谈一谈,以应用为目的的研究所,把一部分努力放到加深对基础科学的了解上,也是有利的。谈一谈其理由是什么,为此目的需要什么样的研究环境,以及哪些因素与选择研究范围有关等等。人们往往认为,研究的主要目的是寻找将导致重要发明或技术革新的突破口。假若找不到这样的突破

口,有人就认为这种研究或该研究所濒于失败了。

但是更加重要的,是对工业上的研制与技术所起的间接作用。一个从事基础研究的研究所如果没有组织得能够充分吸取这种间接作用,这个研究所无异是失败的。从事基础研究的人员,必须明确协助其研究计划的企业的长期目标。必须通过工程技术人员来充分了解,企业所关心的技术在进展中所存在的重大问题。研究范围必须慎重选择。一经选定范围,就应进行顽强的研究活动,长期走在该领域的最前面。那些不具备充分的规模或能力的基础研究组织,可以说没有什么价值。

科学研究的方向总是扩展知识面,加深理解,目的不在于应用。

总之,我认为科学研究的目的在于认识,但许多良好的基础研究工作把应用放在目标之中,于是出现了强调目标中的哪一方面的问题,基础研究与应用研究不能明确加以划分。往往同一个人既从事基础研究又开展应用研究。

可以认为,采用高级技术的、具有大规模应用研究计划的工业,易从科学研究(基础研究)中得益,即使是比较小型的企业,如果对自己关心的某一科学领域制订了研究计划,也能够利用科学上的新发现。

技术革新的一个条件

几乎所有的技术革新都是适应需要而诞生的。我认为,从事基础研究的研究所长期间完全脱离教育、应用研究和工程,要取得成功就是不大可能的。

为了从研究中获得间接的利益,研究场所和有关的研制、技术工作场所必须设在靠近的地方。这种研制、技术人员和研究室的往来,对双方都是有益的。

研究目的在一定程度上是受到限制的,而且选择的研究范围也受到一定限制。但从

事基础研究的人们在一定范围内应能自由选择自己的研究课题。对于基础科学研究人员,应鼓励他们研究成果发表在专业杂志上,并动员他们参加各种科学会议和学会等。还应鼓励他们去大学访问讲课。由于科学迅速发展,只有参加世界性的科学活动,特别是那些与自己有关领域的科学活动,才能使研究者了解国际上的情报。从这个意义上说,基础研究的科学家们能够成为非常重要的交流渠道。

决定一个研究所是否取得成就,很重要的一点是选择研究项目。有时研究项目取决于与新技术发展有关的大问题。例如电话、电视、原子能、宇宙开发计划以及最近的太阳能发电等。在这种重要的研究计划中,为克服技术上的问题,需要进行极其大量的基础研究。倘若技术人员赶在必要的技术发展之前,可能浪费很大的经费。

对于已经形成的工业来说,研究的目标应当是:从理论上分析有重大的进展可能,但实践中无法解决的项目。第二次世界大战后,贝尔电话研究所的基础研究选择半导体这个项目,就是一个很好的例子。当时的情况是,由于灯丝过热,真空管的效率非常低,寿命也短。如何解决这个问题谁也没有把握,但从理论上,控制半导体中电子的流动是可行的,人们认为经过持续的研究,能找到解决问题的突破口。

大学开展基础研究对 工业发展的意义

下面我想谈一谈以纯粹科学研究为目的的大学基础研究为何对工业发展有重大价值。

在过去30年中,科学研究以空前的速度发展,不仅有经过非常周密研究的领域,还开创了全新的知识领域,如高能物理学、天体物理学、大陆漂移学说和固体物理学等研究分支。如果说,了解人类自己居住的世界是人

