

上下求索

中国海外学子的风采

主编/丁石孙

欧美同学会编

中国青年出版社

❖ 探索通向科学新发现的道路

陈成钧

意外地来到美国

1978年,我考进中国社会科学院科学史研究所,师从何祚麻老师研究现代物理学的历史。能去美国留学,更是出乎意料外。1979年春天,李政道教授来到北京讲学,带来了几个哥伦比亚大学物理系研究生的名额。他要求每一个候选人都要先通过哥伦比亚大学物理系当年的博士资格考试。虽然我并不在候选人名单上,但是何祚麻老师让我参加了这次考试。第一次考试,我是唯一的通过者。通过口试,李政道教授认为我的英语口语水平在美国生活和教书都没有问题。我被接受为哥伦比亚大学物理系的研究生和助教,于当年8月来到纽约。

科学史的启示

1980年春天,我在哥大通过了博士资格考试,成绩打破了哥伦比亚大学物理系的历史纪录。但考试成绩好并不意味着在科研工作中能有新的发现。特别是寻找有价值、有希望的科学研究课题,本身就是一个难题。科学史研究的目的之一,就是解决这个难题。

从现代物理学发展的历史看,几乎所有的重要科学发现都符合一定的模式。首先,所有的重要科学发现都起源于新的、不能用已有的理论来解释的实验事实。第二,能够提出新的理论概念和数学模型来解释新的实验事实。一般说来,这样的理论概念和数学模型是靠直觉和猜测建立起来的,只能说是假说。第三,能够根据新的理论概念和数学模型设计新的实验,做出新的预测。第四,能够用新的实验验证理论。如果所有的新实验都证实了新理论的预测,新的理论概念和数学模型就确立了。重要的科学发现还要符合另一个标准,即以此为新技术发明的基础,促进社会生产力的发展。

当今,把基础研究和高新技术,特别是和高新技术产业紧密地结合起来,是理所当然的。

此外,科学研究是需要资助的。成功的科学发现,往往还会导致巨大的商业利益。这两者都是科研人员不得不面对的问题。在这个问题上,我们可从哥伦布发现新大陆的历史中汲取经验和教训。哥伦布在 1482 年,通过自己的航海经验和天文知识,认识到大地是球形的。从欧洲一直往西航行,一定可以到亚洲。这条新航线的确立,会带来巨大的商业利益。他多次向英国、法国、葡萄牙、西班牙政府提交他的远航计划,要求资助,但是都遭到了拒绝。一直到 1492 年,西班牙女王伊莎贝拉才决定派遣一个有三艘帆船的小船队随哥伦布去探险。新大陆发现后,西班牙的贵族军人集团争先恐后到新大陆去占领土地,与哥伦布发生了冲突。哥伦布多次受到诽谤和迫害,最后贫困潦倒而死。如果哥伦布能功成而退,对那

些欺世盗名、屠杀土人、贩卖奴隶、大发横财的权贵多让几分,他的晚年和他的后代也许会好过得多。而哥伦布仍然还是哥伦布!

对于个人来说,选择研究方向和课题,还要考虑个人的特长和实际环境和物质条件。对我来说,在数字电子技术领域 10 年的经验,使得与电子和信息技术有关的基础研究,更适合于我的特点。

在实际生活中,寻找研究方向的过程常常不是合乎个人想象的。不但正确的信息难以获得,而且环境、条件也不是人的意志可以左右的。我亲身体会到这种像在黑暗中摸索的艰苦历程。

原子的告别舞

由于一个偶然的机会有,我认识了哥伦比亚大学电子工程系教授杨雄哲。他告诉我,电子工程系最近来了一位有名的教授 Richard Osgood。Osgood 教授毕业于西点军校,做过多年技术军官。获得了 MIT 的博士学位后,在国防部的林肯实验室当研究员。他这次到哥伦比亚大学来,带来了国防部的许多研究课题和经费。研究的主要方向,是用激光来加工半导体器件。其中一个题目就是研究有机金属化合物分子的紫外光谱和在紫外线激光照射下的光离解过程。那时,Osgood 教授已经雇了一位物理学博士做博士后来主持这项研究。主要的仪器,包括紫外光栅单色仪,都已经有了。但是,那位物理学博士突然改变了主意,到加拿大去工作,所以他正在寻找合适的接替的人。对我来说,这个题目非常有吸引力。我在

北京大学的毕业论文正是半导体材料锗和硅的紫外光谱。与电子信息技术有关的基础研究,正是我心目中的热点。另一方面,虽然 Osgood 教授想找的是博士后,但我是物理系博士资格考试纪录保持者,过去又有类似的研究经验,不到一个星期,他就决定接受我。物理系好几位教授也都给与我热情的支持。几天后,物理系和电子工程系达成了协议:我仍然是物理系研究生,而答辩委员会则由电子工程系、物理系和化学系有关教授共同组成。

我们的研究对象是二甲基镉,它是激光光化学加工的主要工作物质之一。在室温下是气体的二甲基镉,在紫外线照射下会分解,释放出金属镉。但是,它的光离解过程一直弄不清楚。二甲基镉的紫外光谱有非常丰富的弥散线状光谱。诺贝尔奖获得者 Herzberg 的经典著作《多原子分子的电子光谱》中,对二甲基汞的弥散线状光谱有简单的记述,但是对这种弥散线状光谱的来源,一直没有解释。为了弄清楚这种弥散线状光谱的物理根源,从而了解光离解的过程,我建议把三种类似的分子——二甲基锌、二甲基镉、二甲基汞做一次统一和详细的研究。Osgood 教授欣然同意了。

我第一件工作就是通过实验获得这三种分子的准确的紫外光谱。为此,我设计和制造了一台用 IBM - PC 控制的全部自动化的紫外光谱仪,并且发展了自动分析光谱数据的计算机程序。在 1981 年,这项工作还是新生事物。

当三种分子的紫外光谱用彩色绘图机画在同一张纸上时,它的美丽使我自己也感到惊讶。每一种分子的紫

外光谱都像一只开屏的孔雀,只是羽毛的粗细不同。我查了所有的有关电子光谱的文献,都没有对这种类型的光谱的解释。我试验了各种可能的解释,最后,找到了一个符合所有实验结果的理论模型。根据这个理论模型,实验中观察到的一大串光谱峰,是分子在离解之际内部振动的表现。原来,每一个甲基是由一个碳原子和三个氢原子组成的,像一把小伞似的。“小伞”的张合运动,加上碳原子和金属原子间的伸缩运动,这就是所观察到的振动能级的来源。用一个形象的比喻,一个多原子分子被紫外光子击中而即将分离之际,这些原子们就跳了一场告别舞,留下了整齐的脚步。根据这个模型,运用量子力学,我做出了详细的数学理论,与实验结果相对照,得到了定量的符合。Osgood 教授非常喜欢这件工作。我们写了两篇文章,投到化学物理杂志,文章很快就被发表了。这个理论模型后来又多次被其他科学家的实验结果证实。这两篇文章成了激光光化学加工技术的理论基础之一,也是光化学理论的重要文献,至今还被广泛引用(累计 112 次)。

在 1983 年,我和 Osgood 教授又做了两项与激光半导体加工技术有关的基础研究项目,结果分别发表在声望很高的《物理评论通讯》和《化学物理通讯》上。

正业和副业

1984 年,IBM 华生研究中心派人来哥伦比亚大学招收研究人员。看了我的材料和跟我面谈之后,认为我是“务必要招进来”的人。Osgood 教授对我说,你应该去两

个美国最好的实验室之一——IBM 华生研究中心或贝尔实验室。我分别到这两个实验室做了讲座和面谈。IBM 华生研究中心研究题目之广,使我大开眼界。庞大的物理科学研究部,甚至有一台规模不小的离子加速器和世界上最大的用 beta 谱测量中微子质量的装置。贝尔实验室虽然是诺贝尔物理奖获得者最多的工业实验室,但由于美国电话电报公司(AT&T)的解体,基础研究部门人心惶惶。1985年9月,我加入了 IBM 华生研究中心的物理科学研究部。

80年代,IBM 华生研究中心物理科学研究部的研究员的工作条件是非常优越的,研究员的待遇相当于一流大学的永久教授,而且可以根据爱好确定自己的研究题目。研究资金是相当丰厚的,而且没有规定退休的年龄。

IBM 是世界最大的电子公司。自然我想到把激光半导体加工方法用到生产上。但是不久就发现,用激光直接写出来的金属线,导电能力相当差。经过一年左右的研究,在1986年,我发明了电路自发修复术,可以把导电能力很差的金属线,自动转化成完美的铜导线。这样,激光直接写出来的金属线就可以在工业上应用了。这一项发明得到了研究所和生产部门的重视。研究所指派我成立一个研究组,配备了研究员、程序设计师、工程师,在我领导下工作。1991年,原型演示成功,美国专利局颁布了专利,论文也发表了。因为这种技术的原理很奇妙,《商业周刊》、《大众科学》、美国电子工程学会的《频谱》等几十种报刊都做了专题报道。美国电镀学会授予我1991年度“金质奖”。

但是,我最大的兴趣还是基础研究。在发明受到重视的良好气氛下,我把一半时间用在物理学的基础研究上。那几年,正是 IBM 基础研究的黄金时代。1986 年, Gerd Binnig 和 Heinrich Rohrer 因为发明扫描隧道显微镜而获得物理学诺贝尔奖。1987 年, Georg Bednorz 和 Alex Mueller 由于发现“高温超导体”,又获得物理学诺贝尔奖。在我进入研究所不久,认识到扫描隧道显微镜是一个十分有趣和有广泛应用的新的科学仪器。根据当时对扫描隧道显微镜工作原理的了解,我计划用它来研究半导体内部的电子状态。在“高温超导体”问世以后,不少同事希望我设计一台低温扫描隧道显微镜来探测“高温超导体”的内部的电子态,从而揭开高温超导体的原理。在实验过程中,我发现当时对于扫描隧道显微镜的成像原理了解的非常粗糙。譬如说,所有的实验事实都表明,扫描隧道显微镜产生的图像,与它的探针的电子态有极为密切的关系,但是没有一种理论能阐明这一个基本的实验事实。要用这种仪器做电子态的定量研究,首先要搞清楚它的成像原理。所以,我把重点移到对扫描隧道显微术本身的物理学特性所进行的有系统的研究上,而把自己的实验工作作为验证理论的方法。但是,要用量子力学理论来处理这样一个组合系统,数学问题非常复杂。经过了几年的努力,在 1989 年到 1991 年,我终于完成了一个比较完整的理论模型。这个理论,把显微镜的探针和样品处理成有弱电磁作用的组合量子力学系统,在同等的基礎上建立数学模型。这个理论模型纠正了前人的不正确的数量级估计,证明了在最佳成像条件下,探

针最前端的原子核和样品表面最近的原子核的距离是 3 埃,而不是 10 埃。成像过程的本质,应该是探针和样品之间形成部分化学键,而不是宏观相互作用。新的理论模型解释了为什么扫描隧道显微镜可以看到金属表面的单个原子和在什么条件下可以看到;为什么看到的图像与电压有关;为什么在探针和样品之间有微弱的吸引力和这种吸引力的实验观察方法;而且找出了这种吸引力和隧道电流之间的定量关系。这个理论也对泡令(Linus Pauling)的化学键理论提供了一个定量的证明。

为了研究高温超导体,我设计了一台超低温隧道显微镜。在设计过程中我发现,当时对仪器的基本的设计原理也并不是很了解。例如,隧道显微镜的核心部件——管型压电扫描器,在设计和使用上都是在黑暗中摸索的。因此我运用连续介质力学的原理,推演出了管型压电扫描器的一套基本公式。文章发表以后,受到学术界的普遍重视。生产管型压电扫描器的公司,把我的公式和文章题目印在产品目录上,介绍给用户如何设计和使用。

1991 年 1 月,扫描隧道显微学已经成为一个有相当规模的科学领域,研究人员越来越多,生产厂家也越来越多。但是,当时的学术界还没有一本全面论述它的物理原理的专著。我当时已经发表了两个系列的文章,分别从量子力学理论和连续介质力学的观点揭示了扫描隧道显微术的原理。因此,我打算在这些文章的基础上写出一本专著。同时,还希望这本专著由一个学术名誉很高的出版社来出版。理想的选择就是牛津大学出版社。我

向牛津大学出版社递交了专著的提要和样章,牛津大学出版社将其寄给本领域的知名学者进行审查,绝大部分的审查者都表示满意。从此,我开始了两年的闭门苦干。IBM 研究所有出色的出版软件和印刷机,于是我向牛津大学出版社提供了可以直接照相制版的原件。因此,印刷过程十分顺利。

撰写专著,即使在 IBM 华生研究中心物理科学研究部,也被看作是副业。如果没有诺贝尔奖获得者 Rohrer 的支持,这本专著是不可能完成的。他认真审查了书的大纲,而且在初稿完成以后,详细地复审了全书,写了许多页的意见。在专著即将出版的时候,牛津大学出版社写信给他,希望他书面推荐。Rohrer 回信说,由他书面推荐,分量太重了,一般他是不会做的。最后, Röhler 决定写一段肯定的评价,而且同意牛津大学出版社对外宣布。他说,我的书“对于新手,是这一领域的很好的引论;对于专家,则提供了宝贵的资料 and 提示”。

该书的第一次印刷在一年中就销售一空。对于一本物理学专著,这是出版社也没有料到的。第二年又第二次印刷。从 amazon.com 现在的记录看,这本专著还是整个领域的书籍中销量最大的。

复旦大学的华中一教授在 1994 - 1995 年,领导一个小组,把这本专著翻译成中文,题为《扫描隧道显微学引论》。复旦大学为了出版这本书,花了很多钱。为了把灰度图片印好,他们找到了擅长出版产品目录的中国轻工业出版社。1997 年,本书获中国新闻出版署颁发的“全国优秀科技图书翻译著作奖”。当年获得这种奖的书只

有两种。华教授在 1997 年 4 月来信说：“大作译本发挥很大作用。我专业研究生和四年级学生均已用作教材。此外迄今已分送出 400 本书，反应很好。谢谢您对祖国教育和研究所作的贡献。”

朝华夕拾

正当我埋头著书的时候，IBM 公司的经营状况发生了变化，研究所方向也随之在改变，对与生产技术没有直接关系的基本研究不再无限制地支持。物理科学研究部的研究人员纷纷离去，我开始寻找新的研究方向。我是非常幸运的。扫描隧道显微学专著的出版，算是完成了我一生的一件重要的工作。然而，我对汉语语音和中文计算机输入问题的兴趣由来已久，这是我一生想做的另一件重要的工作。在 1993 年，由于难得的机遇，我把研究方向转到这方面来了。

1993 年 4 月，台湾中央研究院物理研究所郑天佐所长，邀请我到台北作一次关于扫描隧道显微术原理的学术讲演。同时，中国国家科委、科学院、北京大学、上海电子研究所、复旦大学和深圳市科委，也邀请我回中国来做 10 天的巡回学术讲演。我讲演的主要内容之一，是关于电子信息技术的发展前景。在交流中，我认识到中文电子计算机的输入问题，仍然是一个没有解决的重大科学技术问题。一个理想的解决方案，是用语音来输入。尽管在中国、台湾和世界各地，对汉语语音识别技术，都已经做了很多年的研究，但是，还远没有达到可以应用的水平。甚至于英语的语音识别，也很不成熟。汉语语音识

别本身还有其特殊的困难。

回到美国后,我开始在这方面收集文献,进行调查研究。说来也巧,当时发生了两件事,给我提供了难得的机会。首先,IBM 新总裁郭士纳(Louis V. Gerstner)对中国的商务以及语音识别技术都非常重视。20 年来,他每年至少到中国去做一次公务旅行。他认为,将来计算机的输入和输出会以语言为主,提出 IBM 要成为一个“语言公司”。第二,IBM 研究中心的人类语言研究部正在改组,以加快从基础研究到产品发展的进程。因此,1994 年年初,我被指定负责对全世界汉语语音识别的研究、发展、产品和市场做一个全面的调查。同时,我自己也对英语的语音识别理论和技术现状进行了研究。1994 年 6 月,我提出了一个汉语语音识别的新方案。负责语音识别研究的 Michael Picheny 认定这个新方案是合理的,并立即组成了一个小组进行试验。

在第一次实验时,我不但是实验的设计人,而且还是实验的对象。我发明和设计了辨认声调的新方法,设计了一套全新的汉语音素系统,编辑了 3 万词的有语音的词汇,发明和发展了一套分词的程序,将几年的《人民日报》全文进行了分词,录了 1000 多句训练语料和 100 多句试验语料。主要的合作者 Michael Monkowski 对英语语音识别系统十分熟悉。他根据我建议的算法,把英语的语音识别程序改写成了适用于汉语的。1994 年 11 月,连续的、大词汇的汉语语音识别系统创造成功。错误率竟然不次于当时最好的英语语音识别系统。1995 年 2 月,研究所所长麦高地(James McGroddy)颁发给我和三个合

作者以研究部门奖(Research Division Award),并且拨给经费继续研究,把“特定人”的汉语语音识别系统(只能听懂我的话)发展成“非特定人”的连续汉语语音识别系统。1995年春天,由我负责一个小组,在大纽约地区大规模收集原北京市居民的语音,进行处理。1995年7月,新系统发展成功。对10个说话人测试的结果表明,准确度跟当时最好的“非特定人”英语系统不相上下。1995年9月21日,在IBM中国研究所成立典礼上,我在北京公开演示了这个连续中文听写机原型。许多前来参加的各个大学、科研机关的代表,经过亲自使用,一致认为,这是一个重大的突破。在IBM生产部门和研究部门共同努力下,1997年9月,第一个连续中文听写机 Via Voice Chinese 开始投入市场。1998年春,IBM总部因此颁发给我很难得的杰出创新奖(Outstanding Innovation Award)。下面我对此发明做一个简单的介绍。

汉语的语音识别比起英文和其他欧洲语言,有特殊的困难点。第一,汉语是声调语言。同一个音节,不同的声调,代表不同的意义。第二,中文的同音字太多。如果声调不能辨认出来,那么只有约400个左右不同的音节。即使声调能辨认出来,不同的音节的数目也不过是1300个,但是,常用的中文字就有好几千个,有的音节对应一打以上的中文字。这个同音字问题,比所有的欧洲语言都严重。第三,书写的中文是没有词的界限的。英文和其他欧洲语言可以采用单词输入的方法,对中文则是不现实的。只有连续语音输入才有使用价值。此外,对英文和欧洲语言来说,容易作出一个所谓语言模型。但是,

中文文字没有词的界限,建设语言模型就比欧洲语言更困难。

在1994年以前,语音学家都认为,声调是音节的特征。汉语语音识别采用的方法,是先识别没有声调的音节,再识别音节的声调。我的新方法是根据一个物理学上的事实:音节的主元音含有足够的声调信息,足以辨别整个音节的声调。因此,只要把声调不同的主元音定义为不同的音素,把基音扩展成连续变量,加入到声学特征中去,有声调的汉语音节就可以自然而然地识别出来。

同音词的解决,是根据一个语言学上的事实,就是中文和英文的极大的相似性。如果用拼音来写中文,而且用与英文类似的正词法,我们就会发现:中文和英文在构词和语法上是世界上各个主要语言当中最相近的一对。英文也有同音词问题。譬如说,"This four hour period is for our use(PERIOD)."这句话中就有三对同音词。在英文的语音识别中,同音词是靠所谓语言模型解决的。因此,只要把中文的文字分割成像英文一样的格式,英文的语言模型技术就可以全盘套用到中文上。这样一来,实际上,中文比英文还要简单。第一,中文的词尾常常可以当作单词来处理。第二,英文的听写如果把词的界限搞错了,那么在听写的结果上就会显示出来。中文的听写如果把词的界限搞错了,最后的结果是看不出来的。所以看起来,中文听写机的准确度比英文的还要高。

这两项发明,实际上还是基础研究结果的应用。这要从40年前说起。在我二十岁的时候,我被打成右派,到北京市玻璃厂劳动。为了继续学习,我选择了一个费

力而省时间的工作,看管熔炉。名义上每天上 8 小时班,实际工作时间只有 3 小时左右,全是重体力劳动。因此我得以把精力放在学习语言学、理论物理和数学上。我在北京大学时,就上过法文、德文、日文(英文和俄文是在中学学的)。经过几年时间,我不但能看这些文字的文学作品,而且还研究过好几种其他的欧洲语言和一般的语言学。我还发现在这里可以做很好的“实验研究”。因为我的工作地点是北京市的中心。当时,汉语拼音方案刚刚发表,分词问题是一个没有解决的科学问题。对许多欧洲语言来说,分词也不是没有学术争论的。一般说来,欧洲语言的分词,一方面依靠语法关系,另一方面靠词内音节的重音分布。汉语有没有词,本身是一个有学术争论的问题。可不可以靠词内音节的重音分布来分,当时是没有什么研究的。通过仔细听北京居民的语音,我发现北京话有相当明确的音节重音分布和声调变化规律,可以和许多欧洲语言一样,从语音上确定词的界限。汉语的其他的方言也有类似的语音现象。我花了一年时间系统地收集资料,写成一本 30 多万字的专著文稿。对每一种词类,都做了详细的分析。几千条例句和词条,都是用汉字和拼音对照列出的,并且与许多其他语言文字相对照。可惜,管“劳动察看”的人认为我的书稿是“不安心改造思想”的罪证,收去销毁了。但是,这本书稿的内容却还在我的脑海里,这就成为我发明汉语语音识别新方法的科学基础。

新的远航

在北京玻璃厂劳动期间,每天3小时的重体力劳动也没有白做。这是锻炼身体。现在,我的体力和精神,还跟青壮年人不相上下。我仍然有精力从事长期的基础研究。

汉语语音识别虽然取得了初步的成功,但是对所有的语言来说,语音识别的准确度还有待于大幅度提高。实验证明,人的听觉要比现在的计算机听觉大约准确10倍。换句话说,语音界的哥伦布们认识到,只要彻底了解人类发声和听觉的物理和生理原理,在用计算机模拟人的能力的远航中,还有新大陆可以发现。这里,现代物理学史揭示的通向新发现的道路,还是可靠的指南针。而且,准确的理论模型会成为准确的算法,直接运用到技术中去。现在的工作条件,可是哥伦布做梦也想不到的了。在IBM华生研究中心,有很大的研究语言的计算机系统和很大的语音数据库,研究的成果可以很快地转移到产品中去。我相信,新的远航将会取得成功。

在《扫描隧道显微术引论》序言的结尾,我引用了歌德的《浮士德》中的四句诗,华中一教授将其翻译成了优美的中文。这里不妨引来做为这篇文章的结尾:

往往经过多年坚忍,
那作品才呈现完整。
闪光只为炫耀一瞬,
真品方能后世永存。

陈成钧 1965年毕业于北京大学物理系。1979年赴美国哥伦比亚大学物理系修博士学位。1985年加入IBM华生研究中心,任物理科学研究部研究员。



陈成钧获得的主要荣誉有:1991年因发明电路自发修复术技术获得美国电镀及表面处理协会金质奖。1995年因研究成功连续汉语语音识别系统获得IBM研究部门奖。1997年他的《扫描隧道显微学引论》中译本获得中华人民共和国新闻出版署全国优秀科技图书优秀翻译著作奖。1998年因为发明IBM中文听写机产品ViaVoice的基础技术,获得总部杰出创新奖。