我的导师于敏

蓝　可

（北京应用物理与计算数学研究所　　100094）

于敏是我的博士导师，能成为于敏老师的学生是我此生中最为骄傲和荣耀的事情。在北京应用物理与计算数学研究所，许多20世纪60年代就与于敏老师一起工作的老同志都自称是于老师的学生。他们常和我说，于敏是世界上最好的导师。我读博士这几年，让我对这话有了非常深刻的体会。于敏老师对于我真可谓恩重如山。于敏老师为指导我完成博士论文工作，付出了巨大的心血；对我博士毕业之后每一个具有创新特色的科研工作都提供了重要的帮助和坚定的支持；当我在德国病危时刻果断地做出了让我立刻回国治疗的正确决定。耳濡目染于敏老师那挚爱祖国的情怀和坚持科学的精神、深刻感受于敏老师那些被周围老同志们广为传颂的传奇般的科研方法，这对我之后的科研生涯产生了极为重要影响。关于于敏老师，可以写的有很多。这里，应《现代物理知识》编辑部之约，我从学生的角度，通过一些具体事例来谈谈于敏老师培养学生的特点和他的治学特色。

刚开始和于敏老师学习时，我对X光激光一窍不通，于敏老师就由浅入深、从最基本的概念讲起。他讲述的物理图像是那么清晰，复杂的数学公式一经他指点就成了一幅幅生动有趣的过程图像。于敏老师当时虽然已经65岁，但他敏捷的思维、严密的逻辑和快速的数学计算能力常常令我惊叹不已，我深刻地领略到了大师神奇的物理初估能力。和于敏老师讨论工作，对我来讲除了学到知识，更是一次巨大的精神享受，我总感觉自己被带进了奇妙的物理圣殿。不过，每次讨论结束时，望着于老师满脸的倦容，我心中既满怀感激又非常难受。

图1　1992年9月，于敏（左二）、副导师张毓泉（右一）与他们刚招进的博士生蓝可（右二）和硕士生吴建周（左一）讨论

尽管于敏老师常常出差、开会，身体又很不好，但是在我攻读博士的这三年里，只要他在北京，几乎每个星期都至少要安排一次讨论，而且一般都是从早上九点一直到下午两点多。每次讨论，于敏老师都仔细地分析我的计算结果，一个一个数据地查看，一个一个物理量地研究。在讨论结束之后，于敏老师还常常要把一些计算打印纸带回家去继续分析。这些纸带很多很重，有时重达十多斤甚至二十多斤，我的副导师张毓泉常常用自行车帮着他送回家。于敏老师总是把他在家分析的结果详详细细地写在好几张纸上，并在下一次讨论的时候讲解给我们听。

于敏老师对我的要求非常严格。常常是头天刚刚讨论完，第二天甚至是当天晚上就会打电话询问结果。为了能按于敏老师的要求尽快计算出结果并给出物理分析，我那时经常裹件军大衣睡在机房里。在科研的道路上，于敏老师绝不允许我有丝毫的畏缩。记得在用逃逸概率方法处理柱对称等离子体中共振线的输运时，计算公式含四重复杂的积分，而共振线有成百上千条，计算量非常大，十分耗费机时。于敏老师认为可以用一个近似表达式

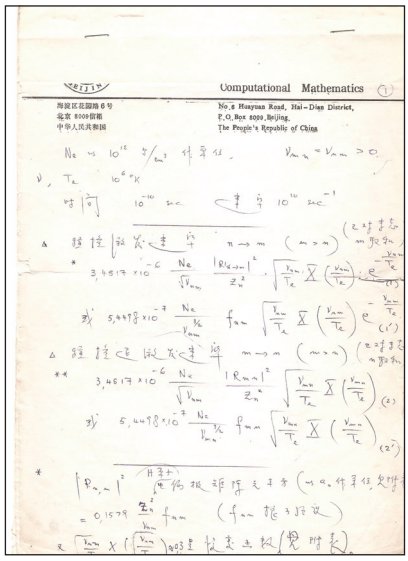

图 2 于敏老师为蓝可写的 X 光激光研究中所用到的各种原子跃迁速率计算公式

来处理。当我通过好些天的工作仍找不到方向、准备放弃的时候，他却坚定地说："必须要有近似表达式，你一定要给出一个。"一点也不给我退路。最后，经过好多天仔仔细细的分析，我从各物理参数的物理意义出发，在研究清楚它们相互之间的物理关系的基础上终于得到了一个计算非常简单、相对误差又很小的近似表达式后，于敏老师这才"放行"，让我进入下一步的研究。

于敏老师身体力行来培养我对待工作的严谨态度。为了保证我编制的模拟激光打靶产生 X 光激光的程序正确无误，在程序刚刚编制好之后，于敏老师要求我把每一行的计算结果都打印出来，然后他用了整整两个星期的时间，每天上午或下午到办公室去用计算器把一个个的物理量计算出来并与我一一核对。在考查程序的同时，他还会给我和张毓泉老师讲解每个物理量的物理含义，使得这些枯燥的公式立刻鲜活起来。他有时还根据物理过程对某些常用的、但过于繁琐的计算方法进行大幅度的修改，然后让我回去重新编程进行计算。之后的模拟结果表明，他的这种改进是完全正确的，简化之后所得计算结果与用繁琐方法给出的完全一致。于敏老师这种从物理出发、勇于和善于创新的科研方法当时使我受到了强烈的震撼，对我之后的科研产生了十分重要的影响。在程序的考查过程中，于敏老师惊人的记忆力、高超的物理粗估能力和利用物理与数学知识快速巧妙地解决科研问题的能力常常令我叹为观止。于敏老师常常在黑板上或纸上随手就写出了重要物理量的计算公式，有的计算公式非常复杂。往往他把公式一写完，就开始把各个已知的物理量带进去进行粗估。我则在旁边赶紧用计算器进行计算。每次都是他已经算完了，我还在小心翼翼地往计算器里敲数据，生怕敲错了还得重来。等我算完后，抬头一看，我的计算结果总和于老师的粗估结果八九不离十。记得有一次我用计算器算出来的是 0.12，而他粗估的结果是 0.1。在求解离子能级速率方程组时，需要求解能级间速率跃迁矩阵的逆矩阵；于敏老师根据能级之间的跃迁关系和跃迁速率，利用计算器就能算出几十阶逆矩阵的各个系数，并与我的数值模拟结果进行比较，以判断我的程序是否正确。于敏老师虽为理论物理学家，但他对程序的编制并不陌生，他甚至教我一些程序编制的方法和窍门，这使我在后来的程序编制工作中受益匪浅。

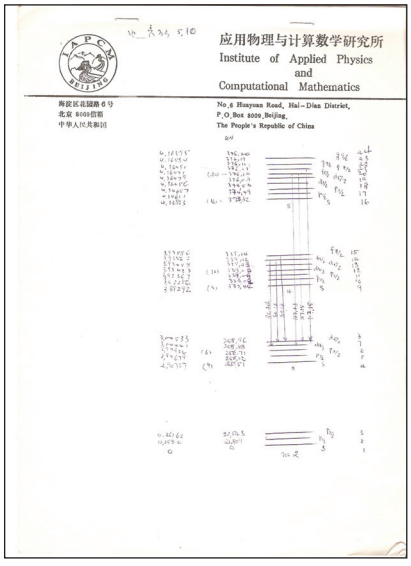

图 3 于敏老师为蓝可画的 X 光激光研究中能级与能级跃迁示意图

于敏老师常常教诲我要"广博学识、坚实基础、活跃思想、勇于创新"。他很重视对我文献阅读能力的培养，传授给我阅读文献资料的经验，并亲自带领我们对重要文献进行精读。关于"勇于创新"，于敏老师特别强调其中的"勇"字，即在创新过程中一定要有足够的勇气去顶住来自各方面的压力和阻力，即便压力再大也绝不能动摇。在一次讨论过程中，于敏老师把"壁立千仞，无欲则刚"写在了我的笔记本上。

于敏老师还非常重视对我的表达能力的培养。记得有一次他让我讲讲准备如何在程序中排列细致组态的能级。我当时觉得自己已经想得够清楚的了，可没想到在于老师的面前却怎么也表达不明白。我便说："我想清楚了，但我说不出来。"然而，于老师却回答说："说不出来，就表明没想清楚。回去想

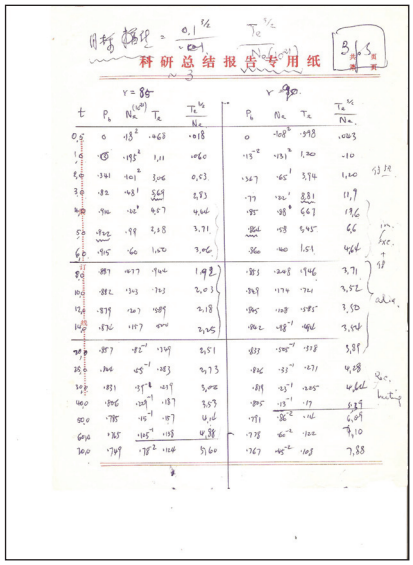

图 4 于敏老师将蓝可模拟结果中特征拉氏点上重要物理量随时间演化的数据挑选出来进行物理分析。

清楚了，下次再讲。”从这以后，我才注意如何用合适的语言明白地表达自己的想法。甚至于关于如何做学术报告，于老师都从如何讲解一张图、一张胶片到如何准备整个报告，指导得细致入微。

攻读博士期间，我和张毓泉老师一共发表了 7 篇文章，这些文章的每一篇都经过于敏老师精心、细致、反反复复的修改。至今，我还珍藏着这些文章的草稿。每一份草稿上都有于敏老师密密麻麻的修改笔迹。虽然他为这些成果付出了如此艰辛的劳动，然而从不同意我在文章上署上他的名字，最多只许我在文章的最后感谢一下他。不过，我还是“擅自”在其中的 3 篇文章上写上了于敏老师的名字。

虽然于敏老师自己是国内成长起来的科学家，但却鼓励和支持青年人出国工作深造。他对我说，博士毕业后，你应该出国去工作两年，以便开阔眼界，看看人家是怎么工作的，然后回来为国服务。2001 年，我得到法国奥尔良大学 GREMI 实验室的邀请，在那里做了一年的博士后，后又获得了德国洪堡基金的资助，在德国慕尼黑的马克思光量子研究所工作。身处异国他乡，更觉得需要于敏老师的指点和鼓励。每次打电话给他，他总是非常耐心地听我的汇报、解答我的疑问，并鼓励我在国外做出好工作。

作为给恩师的回报，我在法国和德国分别做出了一个在 X 光激光领域让他比较满意的工作。在法国 GREMI 实验室工作期间，我通过理论研究和数值模拟指出，该实验室已开展多年的利用电子束产生 X 光激光的方法是不可行的，这使得该实验室不得不放弃了继续升级放电装置的重要计划并从此停止了该方向的研究，之后国际会议或国际期刊上也不再见相关研究的报道。在德国马克思光量子研究所工作期间，我提出了利用 X 光波段自由电子激光通过光电离三体复合 X 光激光机制或内壳层光电离机制产生高增益高品质 X 光激光的物理思想和物理方法，其中后一想法在约十年之后被美国 Livermore 国家实验室研究人员的实验所实现，其结果发表在物理学顶尖杂志 *Nature* 上，所获饱和 X 光激光的波长之短、强度之高、亮度之强，远远超越了以前采用传统办法所得到的 X 光激光，这种高品质、超短波长的 X 光激光在材料诊断、生命科学和国防科技等领域具有重要应用价值。事实上，我在 X 光激光方面所取得的这些成果毫无疑问都是得益于于敏老师毫无保留的指导与培养。于敏老师带我做博士时，研究的主要是复合机制 X 光激光。但为了让我更全面、系统、深入地了解 X 光激光，于敏老师同时还带我探索了实现光共振机制的可能性，并在我博士毕业之后指示我独立地开展碰撞机制的研究，在我结束对碰撞机制的研究之后又让我开展另一种完全不同的产生 X 光激光的方式的研究，即毛细管放电产生 X 光激光机制。于敏老师通过这样全面、系统的科研训练使我对 X 光激光有了深刻的了解并牢牢地掌握了 X 光激光的研究方法。因此，我在法国和德国做出上述这些工作也就是水到渠成。

在我的印象中，于敏老师始终以战略家的眼光密切关注着国际上高科技发展的最前沿，思考着我们国家在重大科技领域的发展战略。众所周知，于敏老师是我国惯性约束聚变、X 光激光等领域的开拓者和指导者。事实上，我国 Z 箍缩（Z-Pinch）的研究也是在于敏老师的大力推动下起步的。1999 年 3 月，于敏老师给我和张毓泉老师写了一封信，并附上关于 Z 箍缩的两篇文章。信中详细地介绍了 Z 箍缩这项研究的起源、发展和目前的进展状况，并说：“现介绍这两篇文章给你们，供你们在完成任务之余参考。希望你们扩大视野，把问题看得更深更透。”当时我国在这个领域的理论和实验研究都还是空白。于是，我跟张老师马上开始对

Z 箍缩进行调研并展开了数值模拟和理论研究工作，并常常通过电话和于敏老师讨论，有时一讨论就是一个多小时。在于敏老师的积极推动与指导下，我们编制完成了我国第一个用于 Z 箍缩研究的磁流体力学与原子过程相耦合的程序，并在国际杂志上发表了我国第一篇有关 Z 箍缩理论研究与模拟的文章。该程序在之后的理论研究与实验设计工作中发挥了重要作用，并一直沿用至今。

虽然于敏老师为国家和人民立下了巨大的功劳，但是在与他交往的二十多年里，我从来没有听他讲过任何一点自己辉煌的业绩，也从来没有看到他流露过丝毫的骄傲。对于敏老师过去的了解，几乎全部来自我身边的老同志的回忆。我在于敏老师指导下学习工作了这么多年，从来没有看到于敏老师对人对事加以激烈言辞，从来没有听到于敏老师高声表达他的学术观点。对于他所不同意的学术问题，无论对方年纪大小、地位高低，于敏老师阐述完他的观点后，最后总会用征询的语气说：是不是这样更好一些？是不是那样更合理一些？语气永远是那么的温和，态度永远是那么的和蔼。于敏老师特别喜欢、鼓励和支持年轻人有自己的见解。我们在一起讨论工作时，只要他发现我有一点想法，就会给我机会让我充分表达出来。如果讨论中，我说错了，于敏老师从来都不会加以斥责和表示不耐烦，而是耐心地帮我把出错的原因找出来。于敏老师总说：不怕出错，关键是要知错就改；如果明知错了却不改，那可就糟了。在我的印象中，于敏老师始终在思考物理问题或国家科技战略。他解决了一个问题，马上又会向下一个目标迈进，似乎完全无暇去顾及物理之外的凡尘俗事。为了寻求一个物理问题的答案，他可以废寝忘食、通宵达旦，全然不顾自己虚弱多病的身体，甚至连节假日都常常忘记。

作为于敏老师迄今为止所带过的唯一博士生，在接受媒体采访中我常被要求用一句话或一个词来总结于敏老师的治学特色，这总让我搜肠刮肚难以作答。因为我始终觉得于敏老师的治学特色实质上是开展科学研究的方法论，难以一词所概况。就我的观察，于敏科研方法有以下几个特点：（1）精深严谨、锲而不舍；（2）知其然，知其所以然；（3）抓住关键物理量，进行理论初估；（4）研究物理问题时需要先进行物理过程的分解，然后对每个环节中的物理现象进行从现象到物理实质分析；（5）将基础理论与实际应用密切结合；（6）广博学识、坚实基础、活跃思想、勇于创新；（7）学术民主、科学求实；（8）坚持科学、坚持真理。于敏科研方法曾经深刻地影响了北京应用物理与计算数学研究所老一代的科研人员们并帮助他们在国防科技事业中做出了重要的工作。

惟愿此拙文通过点滴小事能反映出恩师于敏培养学生的一些特点和科研治学的一些特色，以不负《现代物理知识》编辑部同志之初衷。

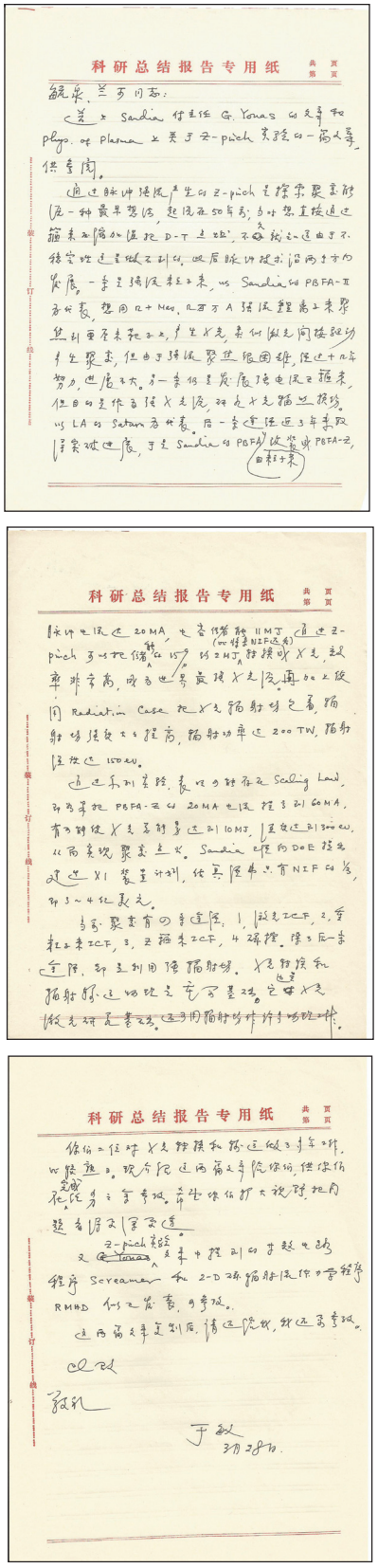
科研总结报告专用纸

图 5 1998 年 3 月 28 日于敏老师给张毓泉、蓝可写信指示开展 Z 箍缩的理论与数值模拟研究（共 3 页）。