

于敏和氢弹原理突破的百日会战

应阳君 李绍孟

(北京应用物理与计算数学研究所 100094)

于敏院士是当代中国杰出的科学家，20世纪50年代开始在近现代物理所（1956年改为原子能研究所，即现在原子能研究院和高能物理研究所的前身）从事原子核理论的研究工作，1961年调到中国工程物理研究院从事核武器的研制。从第一颗原子弹爆炸成功到氢弹原理爆炸试验成功仅用了两年零两个月，那是我国核武器发展最为激动人心的时期。于敏在我国氢弹突破中做出了开创性的贡献。值此纪念我国第一颗原子弹爆炸成功50周年之际，应《现代物理知识》之约，撷取于敏院士从基础科研到投身核武器事业的几朵浪花，以飨读者。本文参考《科学家成长资料采集工程研究报告》（温天舒、李绍孟）整理。

1949年，于敏以物理系第一名的成绩成为新中国成立时北大第一届毕业生。随后成为张宗燧先生的研究生，开始量子场论方向的学习和研究。那时张先生在国际理论物理学界已经享有很高的声誉了，所以当他的学生要面对“两高”：一是起点高。张先生讲课从头到尾全用英文，而且内容很深，不下去做认真的钻研很难学懂；二是要求高。指定的参考书学习起来难度也非常大。而于敏的学习习惯和思维方法正好跟张先生的要求非常



20世纪50年代于敏在北京

合拍。

张先生常说“复杂的物质世界，能为理论物理的数学方程表达，无比美妙”，他擅长数学在物理学中的应用的特点，更是使于敏受益匪浅，也成为他日后学术生涯中最具特色之处。

1950年，张先生身体抱恙，指导于敏的任务就交给了刚刚回国的胡宁先生。胡宁先生在美国师从理论物理学大师泡利（W. Pauli），从事核力的介子理论和广义相对论方面的研究。

胡先生无论是授业，还是指导研究都非常强调物理图像和物理概念，同时还有极强的物理直觉。先生在讲课中尽量避开复杂的公式，而注重思想简洁清晰，一些很难的课程如广义相对论、量子场论和电

动力学，他都非常突出物理本质，这一特点被好学的于敏抓住并青出于蓝。

刚刚诞生的新中国经济和科学技术百废待兴。钱三强看到于敏的材料后，认为是有望做出好成绩的尖子人才，点名把他要到了新组建的近代物理所。1951年25岁的于敏开始了他正式的科研生涯。1年后，于敏完成了他的研究生毕业论文《核子非正常磁矩》。

20世纪50年代初，国家科学发展规划把在我国基本处于空白的原子核物理学科列为重点学科。于敏被分在了彭桓武领导的原子核理论研究组。当时组里还有朱洪元、邓稼先、黄祖洽、金星南、程开甲等共八个人。为了了解国际上核物理研究的进展情况，彭桓武组织了一次调研。于敏在这次调研中，除了阅读文献外，又仔细地钻研了大物理学家费米的名著《原子核物理》一书。于敏在1953年递交了一份完整的调研报告。从调研报告中可以看到，他对原子核模型、轻原子核能极、裂变、中子反应、 β 放射现象、 γ 放射现象都有了深入而系统的认识。彭桓武看完报告说：“真正钻进去了的只有于敏”。

于敏认为自己这个阶段工作的收获是：通过调研和实践论的学习，逐渐明确联系实际的工作方向

纪念我国第一颗原子弹爆炸成功五十周年

和从具体到抽象，从感性到理性的工作方法。同样地，他也看到了自己工作中的缺点，就是比较没有条理和不够细心。没有很好地收集和整理数据，因此影响了调研的效果。

于敏告诫自己“这一点的改进对将来工作很重要”。事实证明，他对这个问题的认识是深刻的，在他以后的学术生涯中他高度重视数据的全面性和可靠性。

1953年后，原子核理论组人员发生了比较大的变化，黄祖洽去了核反应堆物理组，金星南去了计算数学组，邓稼先兼职中国科学院副学术秘书，原子核理论组的工作主要落在了于敏的肩上，1956年，他担任了原子核理论组组长。

于敏在广泛地阅读核物理文献的基础上，还特别精读了梅耶（M. G. Mayer）和詹森（J. H. D. Jensen）合写的《原子核壳结构基本理论》。梅耶是德裔美籍女物理学家，1963年她的壳模型理论获得了诺贝尔物理学奖。于敏在反反复复地研读梅耶的论文时发现，梅耶之所以能创立壳模型理论，除了她有坚实的物理基础和数学功底外，很重要的一点是她非常重视物理实验。她的壳模型理论正是在分析大量的物理实验的基础上建立起来的。

由此，于敏感悟到从事物理理论研究，一定要非常重视物理实验，要同时仔细地了解相关物理实验的内容，注意和分析相关的物理现象，去伪存真，总结有关的物理规律。只有这样，才能做到有所发现，有所前进。这一感悟后来几乎成了他

从事理论研究的信条，一直贯穿他终身的研究生涯。后来与于敏共事的科技人员，发现他对相关的物理实验总是了如指掌，无不感到十分惊讶和佩服。

著名实验核物理学家王淦昌后来也说：“我所接触的我国理论物理学家中最重视物理实验的人是于敏”。“这篇文章给我的影响很大。注意和分析物理现象，总结规律成为我从事理论研究的观点和方法。”

1957年于敏在物理学报上发表《关于 ^{208}Pb 附近一些原子核的能级》，1959年在物理学报发表《关于重原子核的壳结构理论》。在他的指导下，研究小组发表的《一个具有等间隔能谱的费米系统》和《原子核在短程力下的相干效应》等研究成果在当时位居国际前列。

1961年1月12日，正当于敏和同事就原子核结构的理论研究下一步开展什么内容的工作时，钱三强把于敏叫到他的办公室，非常严肃地对他说：“经所里研究，并报请上级批准，决定让你作为副组长领导和参加‘轻核理论组’参加氢弹理论的预先研究工作”。钱先生这次谈话，改变了于敏从事基础研究的夙愿，成为他终身奉献核武器研制的开始。于敏这个名字从此也从原子核理论研究领域“隐形”了。

氢弹的理论涉及理论物理、原子物理、核物理、中子物理、辐射运输、辐射流体力学、等离子体物理、凝聚态物理、爆轰物理、应用数学和计算数学等诸多学科。

黄祖洽和于敏把全组人员按

学科划分为几个研究小组：研究和计算轻核反应截面，中子输运及中子在氢弹爆炸中的作用，高温高密度物质性质和辐射输运过程，中子和辐射流体力学等。大约每隔两个星期或一个月，黄祖洽、于敏和何祚庥便向钱三强汇报一次轻核理论组的工作进展情况。

从1960年到1965年初，“轻核理论组”在黄祖洽、于敏、何祚庥的带领下，对氢弹的物理基础和各种物理过程进行了扎扎实实的探索和研究，同时还对氢弹的作用原理和可能结构方面作了一些初步探索。在这期间，解决了一系列有关热核材料燃烧的应用基础问题，对氢弹的许多基本现象和规律有了认识，产生了六十多篇论文，当然因为是保密的，所以由钱三强直接送到国家科委，作为秘密文件保存。

1965年1月，黄祖洽、于敏等原子能研究所“轻核理论组”的31位科研人员携带着预先探索研究的所有成果和资料，来到了九院理论部，与我国核武器研究主战场汇合。于敏被任命为理论部副主任。

于敏在原子能研究所已经认识到要实现充分的热核反应需要温度、密度和约束时间达到足够高，满足“点火点”和“燃烧点”的条件。为了突破氢弹原理，九院理论部分兵作战，多路探索。邓稼先、周光召、于敏、黄祖洽等部主任，带领有关研究室的人员分别攻关夺隘。探索工作在理论部的四个研究室中陆续地全面开展起来。

有一次，二个攻关小组进行交流研讨，吸引了众多同志。会议是



纪念我国第一颗原子弹爆炸成功五十周年

在当时理论部一个最大的会议室召开的，整个屋子座无虚席，靠墙壁也站满了人，还有一些人不得不站在会议室外听会。会议的气氛十分热烈，双方对问题的讨论越来越深入，不时激发出新的思路火花。会议的高潮出现在周光召和于敏轮番上台对氢弹的“自持反应”问题进行的阐述与争论。

为了提高科研人员的业务水平，活跃学术思想，理论部举办了等离子体物理、二维计算方法等各种问题研讨班，组织专题学术报告会。当时的学术民主气氛是非常好的。那时已经成名的专家与刚出校门的大学毕业生，自然有知识与经验的差别，但是，在氢弹的秘密面前，大家都是平等的，谁也不知道氢弹究竟怎么设计。那时大家的学术思想非常活跃，几乎每周都要召开学术讨论会和鸣放会。在会上，从彭桓武副院长这样的大科学家到邓稼先、周光召、黄祖洽、于敏等部主任直到年轻的研究人员，不论资格，人人可以发言。不论谁有了新的想法，都可以登台各抒己见，畅所欲言。有不同的意见就展开争论，一场争论下来，常常大家都面红耳赤，但谁说的对，就听谁的，彼此都从中得到启发。许多好的想法，就是在你一言我一语的讨论中产生出来的。许多种突破氢弹的设计和途径被提了出来。

氢弹毕竟是非常复杂的系统，诸多制约因素混杂，几个月过去，多路探索并不顺利，许多种试图突破它的途径被提出来，经过一一仔细的讨论、计算和分析后，又一条

条地被否定了。

1965年9月，理论部决定由于敏副主任率领13研究室的一部分研究人员到上海华东计算技术研究所出差，利用该所的J501计算机（运算速度为每秒5万次），完成加强型核航弹的优化设计任务。邓稼先主任要求去上海出差的人员在国庆节前赶到上海，以便利用华东计算技术研究所国庆节假日期间空出的全部机时，集中突击。4个组的科研人员和为数不多的科研辅助人员共50多人参加此次任务。

9月27日，队伍抵达上海。创造历史的“百日会战”开始了。

那时的计算机性能不稳定，机时又很宝贵，一碰到机器跳动，算出来的结果就不对，就会前功尽弃，浪费很多机时。解决的办法是，每隔一段时间就把计算结果存在计算机的磁鼓里，一旦机器跳动，就把存在磁鼓里的前一时刻的计算结果取出来作为初始条件由计算机重新计算，叫做“取鼓重做”，用这个办法来减少机时损失。但这样一来，机器就离不开人，机器24小时工作，人也要在一旁睁大眼睛，看着纸带上打印出来的计算结果。那时物理工作者与数学工作者混合编组，一起到计算机房算题，数学工作者负责把磁带里的程序输送到机器里，并时刻关注程序的运行情况，物理工作者则负责监视打印机打印出来的计算结果是否合理，发现问题及时解决。

于敏在计算机房和宿舍里，埋头于输出纸带卷中仔细分析计算结果。他从众多的计算模型中挑出三

个用不同核材料设计的模型，进行了深入细致的系统分析。

于敏发现在加强型原子弹中，聚变材料虽然能起到加强原子弹威力的作用，但对于加强弹中聚变材料自持燃烧，这种加强作用是远远不够的：“这不是个量变到质变可以解决的问题，因为技术途径不对”。

“这是个大科学工程，必须要凝聚大家的共识，依靠大家群策群力，共同完成。我就想着把在原子能研究所探索氢弹机理时积累下来的氢弹物理知识，结合眼前加强弹优化设计的实践给大家做系列报告。”

10月13日，于敏开始了他在上海持续约两周的一系列报告的第一讲。他从炸药起爆开始，将加强弹的全过程分为原子阶段、热核爆震阶段和尾燃阶段，并对其中每一阶段进行分析。通过这样的学术报告，大家对加强弹的物理过程有了进一步的认识。

通过系列报告，于敏也进一步理清了思路，加强弹中“火球内的能量释放率干不过能量损耗率，差了几倍”在如此巨大赤字的压力下，火球温度焉能不每况愈下呢？当然找不到“点火点”。“这不是提高炸药能量利用率能解决的问题，利用率提的再高也是远远不够，只有利用原子能，并且把它作为驱动力，进行内爆压缩”。

于敏紧紧抓住问题的关键，反复思考如何合理利用原子能压缩热核装置，包括如何选用性能合适的材料，采取什么样的构形，才能促

纪念我国第一颗原子弹爆炸成功五十周年

进起好作用的物理因素，抑制起破坏作用的物理因素？

随着物理实质把握下的剥茧抽丝，氢弹构型的方向越来越清晰，新的构型开始浮现在于敏的思考中。于敏将新构型可能存在的影响因素梳理成6个问题。于敏就这6个方面的问题给大家做报告，对这些过程做了详细的物理分解，对可能出现的现象作了具体的分析，引起了大家热烈的讨论。

他又将初级能量传输过程分解为三个阶段，随后将三个阶段的物理现象凝练成20多个具体问题，进行物理分析。

10月29日晚饭后，于敏和研究室副主任蔡少辉在住地附近田间小道上散步，以得到短暂的身心放松。当他俩谈到应如何创造条件让热核材料充分燃烧时，于敏直截了当地谈到加强型核装置的构形不利于热核材料的压缩和燃烧。接着，于敏向蔡少辉详细地谈了他几天几夜以来苦苦思索出的想法。蔡少辉被于敏的崭新思维所吸引，也被于敏所列举的无可辩驳的论据所折服，并马上说：“那我们就马上动手干吧！”于敏说：“可以先计算两个模型看看。其中的一个会比较理想……另一个则比较接近实际……”显然，这是于敏经过深思熟虑后想要走的关键两步。

回到住处后，蔡少辉立即向研究室主任孙和生讲了于敏的想法。孙和生听后表示十分支持。当即找到物理小组的副组长孟昭利一起商



20世纪80年代初于敏在九所科室组织技术讨论会

量落实。新模型试算结果，当量和聚变燃耗果然大幅度提高，达到了自持“点火”燃烧。

兴奋之余，临时又加算了一个材料比例不同的模型。结果也不坏。隔天，另一个模型的计算也取得了完美的结果。至此，两类共三个模型的计算结果表明，只要能驾驭原子弹的能量，我们就能设计出百万吨级的氢弹！

华东计算技术研究所主楼五层东侧大教室里，全体出差人员安静地围坐在大黑板前。蔡少辉简略地介绍了上述两类三个模型的计算结果和特点。黑板上列出的数据立即引起台下一片热烈的议论。

于敏接着登上讲台给大家做学术报告。他首先向大家介绍新模型的设计思想。他说“过去大家都很重视对原子弹的压缩，现在看来，热核材料压缩更重要！”接着他列举了最近算的一个理想模型的结果。年轻同志从纸带里看出来

的东西，经过于敏一分析就变成了活的知识，透过现象触及到了事物的本质，一条条规律被归纳出来了，就这样通过把基础理论与计算机实验的结合，深化了对规律的认识，找到了问题的关键，明确了充分进行热核反应的条件。

上海的工作进入群情振奋、思想活跃的高潮，对现象、规律的讨论热烈而持续。

在以前理论部突破氢弹原理的鸣放会上，有同志就提出过利用原子弹能量的这样或那样的朴素猜测，因为现象复杂，有的不合理，有的缺乏清楚的物理思想和必要的物理分析和估算，认识不到害之所在，利之所能，提不出趋利避害的措施，无法形成可操作的、合理的物理模型。于敏在抓住苗头之后，不放弃，不懈怠，抓住主要矛盾，抽丝剥茧，深究所以，以自己的学科功力和大家的团结协作，成功建立了氢弹的物理模型。