

核科学方面的培训

国际理论物理中心是核物理和堆物理科技情报交流场所

M. K. Mehta 和 J. J. Schmidt

国际理论物理中心 (ICTP) 在培训来自发展中国家的科学家方面有着悠久的历史, 培训内容涉及基础理论物理的各领域及其在各技术分支中的应用。进行这些活动所依据的基本原理是, 技术是以科学研究和科学发现为基础的。核技术以核物理为基础, 这一事实充分证明了这个观点。

50年前, 发现了核裂变这一物理过程, 该过程具有以下几个重要特性: 热中子可以使重原子核分裂; 原子核裂变的同时发射出一个以上的中子; 每次核裂变会释放出大量能量 (约 200 兆电子伏)。

这些特点使人们有可能实现可控而连续的链式核裂变反应, 导致早在 1942 年就建成了世界上第一座裂变反应堆, 证实了核动力用于和平目的的可行性。目前正在世界各地运行着的核动力堆有 400 多座, 核研究堆有 300 多座, 核动力堆的总功率将近 300 000 兆瓦 (电)。它们对全世界电力生产, 对核工业和科学界的研究能力, 都作出了极大贡献。

虽然核动力堆的大部分发展主要是在先进国家中取得的, 但是, 17 个发展中国家已着手执行核动力计划, 以填补其能源资源的缺口。此数两倍的发展中国家拥有研究性反应堆, 他们建造这些反应堆的目的是进行基础核物理和应用核物理方面的培训和研究, 以及进行核动力堆运行方面的培训。当前约有 80 个发展中国家在其本国的各个研究和经济部门中采用核技术, 将放射性同位素和核辐射应用于农业、医学、生物学、地质学和环境研究方面。

为了掌握核技术的各个方面 (包括核动力堆和研究堆的设计、运行、维修和安全), 需要彻底了解反应堆中发生的各种核反应和核衰变过程的类型、机理和规模。实验核物理和理论核物理是定性地认识

和定量地计算这些核反应的基本研究手段。作为这种研究最终产品的核数据, 经过评价和计算机处理等几个中间环节的加工而变成适当的数据文件。这些核数据形成反应堆物理计算的基本输入。在预测反应堆内中子的行为和定量地求得核裂变反应堆的最重要的设计、运行和安全参数方面, 这类计算是十分必要的。核数据是连接基础核物理、核技术设计及各种应用的桥梁。

核科技方面涉及理论物理的任何培训大纲, 必须包括以下内容: 基础核反应理论的方法和模型 (已经用与实验核物理的结果相比较的办法对它们作过检验), 及相关的计算核数据用的计算机程序; 核数据和计算机化核数据库的评价和在各核技术应用方面应用; 核动力堆和研究堆的设计、运行和安全参数计算用堆物理方法, 及有关计算机程序。

历史的回顾

ICTP 在低能核物理方面的活动, 是从举办四期核理论培训班开始的, 这些培训班只涉及核理论的基础知识, 不讲授应用问题 (四期培训班的举办时间分别为 1966、1969、1971 和 1973 年)。70 年代, 有更多的发展中国家开始从事核动力技术及辐射和同位素在各个核科学分支中的应用。那时候, 向发展中国家大规模地传播核科学技术中所用方法与技术方面的专门知识的必要性就变得很明显了。就基础理论物理和应用理论物理而言, ICTP 过去是目前仍然是世界上进行这种传播的唯一场所。对于通过 IAEA 技术合作和援助计划进行的那种核动力堆和研究堆技术的专门知识实验和工业传播来说, ICTP 是个必要的补充。

鉴于这种发展并遵照国际核数据委员会 (INDC) 的建议, 国际原子能机构 (IAEA) 与 ICTP 合作于 1975 年在的里雅斯特的 ICTP 召开了一次顾问会

Mehta 先生是 IAEA 物理和化学处核数据科工作人员, Schmidt 先生是该科科长。

议。会议评议了核理论、核模型和计算机程序的现状,及它们在评价裂变堆和聚变堆设计及其他核应用所需中子核数据方面的使用情况。会议的另一个内容是拟定有关今后发展的建议,特别注意到了发展中国家核科学家的要求和可能的合作。

由基础核物理和应用核物理方面的高级专家参加的这次集会,被看成是确定 ICTP 在核理论及其在核技术方面的应用这一领域的地位的一次“奠基者”会议。除了正式提出基础的及应用的低能核反应理论要有进一步的实质性发展外,会议还得出结论:来自发展中国家的科学家,在核理论、堆物理以及核数据的计算和利用等领域作出宝贵贡献的潜力很大。但由于他们与同行缺少联系,因而需要进行“知识更新”性质的培训和接触这些领域的现代化方法。会议最后提出了一项建议:在 ICTP 组织和举办一期为期数周、内容为核理论和与各种应用有关的核模型计算机程序的扩大培训班。

IAEA 核动力和核反应堆处的参加,使拟议中的这期培训班的内容有了扩充,增加了核动力堆方面的内容。1978年1月17日至3月10日,IAEA、ICTP 和位于波洛尼亚的意大利国家核能委员会 Calcolo 中心,联合组织了第一期核物理和核反应堆冬季培训班,整个培训班分两部分进行。

培训班的第一部分专门讲“应用核理论”,旨在向对核理论和核数据感兴趣的,特别是来自打算从事核动力计划的发展中国家的那些核物理学家、核数据评价专家和反应堆科学家,全面评述当代低能核反应理论方面的研究工作。与此同时,进行关于应用这种理论及相关的计算机程序解释和计算核反应堆计算所需中子核数据方面的高级培训。培训的课题包括:核数据对于核技术应用的重要性、中子共振的理论和解释、新型光学模型、中子核反应的统计理论、平衡前核衰变的理论和模型,以及中子诱发核裂变的理论。参加这部分培训班的有 29 个发展中国家的 91 位核科学家、6 个工业化国家的 12 位科学家和 2 个国际研究组织的 5 位科学家。

1978 年冬季培训班的第二部分即“反应堆理论和动力反应堆”的内容,是广泛而充分地评述核反应堆理论及它们在满足核动力堆设计和运行中的工程要求方面的做法。培训的课题包括:供反应堆计算使用的核数据,堆物理中先进的理论、计算和实验方法,热中子动力堆主要堆型中的堆物理问题,动力堆中子计算用计算机程序。27 个发展中国家的 100 位核

科学家、6 个工业化国家的 16 位科学家和 1 个国际研究组织的 4 位科学家参加了这部分培训班。

现状

有若干因素鼓励 ICTP 和 IAEA 在第一期的这两部分培训班之后接着举办一系列每两年一期的专修班和讲习班。这些因素包括:参加核物理和核反应堆冬季培训班的学员数很大;发展中国家的参加者同教员之间,甚至参加者相互之间已经有了广泛的交往和联系。培训班期间及其之后,ICTP 收到了许多申请,内容涉及核数据、科学文献、核模型、反应堆物理以及数据处理程序。其后,于 1980、1982、1984、1986 和 1988 年,又在 ICTP 举办了几期专修班和讲习班。1980 和 1982 年冬季专修班的形式与 1978 年相同:依次举办两个培训班,第一部分培训班的主题为核物理和核数据,第二部分为核反应堆。

从 1984 年开始,出于几方面的原因,培训班采用了不同的形式。头三期的培训班虽然各由两部分组成,但大多是同一个人参加两个班。当时了解到,堆物理学家和核工程师对核理论不感兴趣,并未从中得益;同样,核理论家和核数据评价专家也对核反应堆理论不感兴趣。因此,决定将这两部分培训班分开,继续每两年举办一期,但由核理论和供各种核技术应用使用的核数据的核模型计算(1984 年和 1988 年),以及反应堆物理和核数据应用(1986 年和计划的 1990 年)轮流做主题。

其次,计算机硬件方面的迅速发展,导致价格更低、性能更好的各种微型和超小型计算机——特别是个人计算机的大量上市。这使发展中国家有能力购买较多的高性能微型和超小型计算机,极大地提高了它们利用规模较大的核模型和堆物理程序进行复杂计算的能力。为适应这一发展形势,ICTP 购置了一台 Gould 计算机主机,使数目在迅速增加的个人计算机可以与之相连。

这些因素,导致核理论和堆物理培训班从 1984 年起都采用了不同的形式。第一批培训班的基本形式是讲课、专门的课堂讨论会及座谈讨论会。从 1984 年开始,培训班改为讲习班,包括讲课以及在主机和个人计算机上利用核模型和堆物理程序进行实习。开头的讲课集中介绍基础理论和将在实习中使用的那些计算机程序。新的形式要求完成大量的准备工作,要求教员和实习辅导老师,特别是物理工作人员和计算机工作人员密切合作。例如,必须修改计

算机程序使之与 ICTP 的主机和个人计算机相适应, 学员们在使用计算机设备和进行实习时也需要辅导老师给予广泛的指导。

根据以往几期培训班学员的要求, ICTP 讲习班的内容有所扩充, 具体做法是增加在附近合适的实验室中进行为期一二周的短期培训, 这样一来, 他们就可以深刻地掌握培训班课程中的实际问题。1986 年讲习班期间, 在南斯拉夫卢布尔雅那约瑟夫·斯蒂芬研究所的研究堆举办了一个为期一周的培训班, 内容涉及研究堆的物理、安全和运行方面的一些实际问题。1988 年讲习班之后, 在意大利莱尼亚戈的 INFN 实验室也组织过一个类似的培训班, 内容为典型的基础和应用核物理实验。

从一开始就设想培训班的讲课、实习和讨论诸阶段都应该是高水平的, 事实上也确实做到了。与此相应的是对学员水平的要求也相当高: 博士后或同等学历持有者, 和 (或) 在获得初级科学学位后曾对一个或几个培训专题进行过几年学习和研究的人员。对最近三期培训班来说, 有核模型和堆物理计算机计算方面的经验, 以及一般地使用计算机的经验, 也成了学员们必备的先决条件。

核理论讲习班的学员一般选自实验或理论核物理学家和核数据评价专家, 另外还包括几位兴趣比较广泛的堆物理学家。堆物理讲习班的学员主要选自反应堆物理学家和反应堆工程师, 以及对堆物理感兴趣的核物理学家。

这些培训班一般有来自发展中国家的 70—90 名学员参加。1984 年以来, 学员数一直保持在 60—70 名之间, 这也是 ICTP 现有的计算机设备可以接纳的人数。尽管头几期培训班学员们的科学水平参差不齐 (经验较多的学员必须对经验较少者进行辅导), 但最近几期培训班学员们的这种背景整齐多了, 多数学员都具有与讲习班的要求相配的专业和文化水平。

影响

最近十年在 ICTP 举办的这些培训班和讲习班, 对发展中国家核科学技术的发展已经产生重要影响。从几个统计数字可以看出其直接影响。在这十年中, 来自 60 个发展中国家的 350 多位核科学家受到了有关以下几方面的最新发展的高级培训: 核理论和核模型、核数据的评价和应用、反应堆物理及相关的计算机程序。在此期间, 已有几位学员取得应

ICTP 培训班的论文汇编

• **Nuclear theory in neutron nuclear data evaluation** (《中子核数据评价与核理论》), proceedings of a consultants meeting, ICTP Trieste, 8–11 December 1975, IAEA TECDOC, IAEA-180, Vols. I and II (1976).

• **Nuclear theory for applications** (《应用核理论》), proceedings of part I of the winter courses on nuclear physics and reactors, ICTP Trieste, 17 January–10 February 1978, IAEA-SMR-43 (1980).

• **Reactor theory and power reactors** (《反应堆理论和动力反应堆》), proceedings of part II of the winter courses on nuclear physics and reactors, ICTP Trieste, 13 February–10 March 1978, IAEA-SMR-44 (1980).

• **Nuclear theory for applications — 1980** (《应用核理论—1980年》), proceedings of the interregional advanced training course on applications of nuclear theory to nuclear data calculations for reactor design, ICTP Trieste, 28 January–22 February 1980, IAEA-SMR-68/I (1981).

• **Operational physics of power reactors** (《动力堆的运行物理学》), proceedings of the course on operational physics of power reactors including start-up, testing, and fuel management, ICTP Trieste, 3–28 March 1980, IAEA-SMR-68/II (1982).

• **Nuclear theory for applications — 1982** (《应用核理论—1982年》), proceedings of the course on advances in nuclear theory and nuclear data for reactor applications, ICTP Trieste, 25 January–19 February 1982, IAEA-SMR-93 (1984).

• **Applications in nuclear data and reactor physics** (《核数据和堆物理的各种应用》), proceedings of a workshop, ICTP Trieste, 17 February–21 March 1986, edited by D. E. Cullen, R. Muranaka, and J. J. Schmidt, published by World Scientific Publishing Co. Pte/Ltd., Singapore (1986).

• **Applied nuclear theory and nuclear model calculations for nuclear technology applications** (《应用核理论和供核技术应用使用的核模型计算方法》), proceedings of a workshop, ICTP Trieste, 15 February–18 March 1988, to be published by World Scientific Publishing Co. Pte/Ltd., Singapore.

用核理论或反应堆物理方面的 ICTP 协议进修人员或关系进修人员资格。在这些培训班期间, 培训班的学员们出席了约 40 次专门的课堂讨论会, 向同行们介绍了他们自己的工作, 这些工作一般来说在其国

内本来是是不可能进行的。培训班的论文汇编已经出版,平均地说,ICTP和IAEA两家共向发展中国家发行了500多份。(见附框。)这些论文在核科学出版物中被广泛引用,并成为发展中国家一些大学编写核物理和堆物理教材的基本素材。早期培训班的有几名学员,已经有了飞速的进步,他们已从第一批培训班的学员,成长为最近几期讲习班的教员或实习辅导老师。

ICTP这些核科学活动的长期效应,正在比实际参加者所代表更广泛的范围内显示其影响。例如,1980年以来,IAEA收到发展中国家科学家提出的要求提供数字式核数据、数据处理程序,以及科学文献和报告的申请骤增,70年代每年平均200—300份,80年代增加到700—800份。通过对数据收集、检验及传送程序同步进行的自动化,才有可能满足这些日益增加的要求。

在供实用堆物理计算及其他计算使用的核数据的产生、处理和利用方面,IAEA日益起着引路人和咨询者的作用,培训班则大大加强了发展中国家核科学家同IAEA的相互联系。参加培训班还导致几个发展中国家成立和(或)巩固了专设的核数据小组或中心,其中包括阿根廷、巴西、中国、印度和南斯拉夫。其中的有些中心,如巴西的桑·何塞·多斯·坎波斯的核数据中心和在中国北京原子能研究院的中国核数据中心,成了它们国家产生、收集、处理和传播核数据的联络中心。

向发展中国家转让核模型和堆物理计算机程序的工作已得到加强。例如,在最近举办的1988年讲习班中,便有涉及核截面的核反应模型算法的11个先进计算机程序供学员实习。讲习班结束时,收到了来自8个发展中国家的学员的58项申请,要求转让其中的某些程序,这些申请已转给经济合作与发展组织的核能机构(NEA/OECD)数据库。它的程序服务工作中的相当大部分已转向为发展中国家服务,主要涉及上面提到的那些领域。过去几年内,NEA数据库还组织过不同实验室之间的计算机程序比对练习,内容涉及低能核反应理论的各个方面(例如统计模型、光学模型和平衡前衰变理论)。

ICTP已显示出是发展中国家和发达国家的核科学家们理想的聚会场所。科学家个人之间开展了一些科学合作活动,培训班的学员们甚至拟订了一些新的多年期项目。

1980年培训班的重要成果就是设想了一个关于

核数据技术和核测量设备的IAEA跨区域技术合作(TC)项目,该项目的目标和范围是由参加该培训班的40名学员拟订的。这是机构在这方面的第一个跨区域TC项目,旨在提高发展中国家利用核时代开始以来在核数据领域已经开发出的技术准确地进行核测量的能力。加上一国性技术合作项目的配合,该跨区域项目已使诸如摩洛哥、巴基斯坦和泰国等发展中国家的一些实验室,达到了能独立进行核分析的水平。这些实验室和其他一些实验室,参加了高水平的IAEA协调研究计划,这些计划的目的在于通过对中子截面数据的测量、计算和分析,从而改善裂变堆和聚变堆用此类数据的状况。

该跨区域项目的执行时间为1982年至1986年,计有25个发展中国家的28个实验室和另外11个国家的14个起辅导作用的实验室参加。在IAEA专家对其成果和影响进行了充分的评价后,又开辟了培训核测量技术的第二个跨区域技术合作项目,项目范围拓宽到了包括主要的核测量和核分析技术,IAEA提倡使用这些技术并通过发展中国家中的这类项目给予支助。该TC项目的目的是提高参加实验室在准确和可靠地测量应用核物理数据方面的能力。40多个实验室表示对此项目感兴趣,并已开始积极参加这个项目。该项目的持续时间是1987年至1991年,共计五年。

这些培训班还使IAEA和ICTP之间的关系变得更加密切。IAEA的许多科技人员在这些培训班上讲了课,介绍了各种IAEA计划的情况,例如塞伯斯多夫实验室的活动、机构的核动力计划、切尔诺贝利事故的后果、核设施的辐射防护,以及技术合作和援助计划的情况等。这样做增加了发展中国家的科学家对IAEA的宗旨、目标和工作程序的了解,并且已有助于机构,特别是它的技术合作和援助计划同发展中国家的核组织和研究所之间合作效率方面的提高。

培训班组织者取得并积累了核物理和堆物理培训班方面的许多经验。每期培训班都遇到一些新问题,许多学员通过例行的征求意见会提出了如何提高培训班的效率和影响的许多建议。根据这些经验和建议,逐步改善了培训班的组织工作,使之成为向发展中国家传播核物理专门知识的有效手段。因此,培训班成了ICTP科学活动不可分割的一部分,并且是向发展中国家人数日增的核科学家传播最新的核物理和堆物理专门知识的重要途径。