

快中子物理研究和核数据工作现状及发展趋向*

唐洪庆

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 本文着重从学术上介绍了去年九月在北京召开的快中子物理会议,也简要介绍了去年五月在于里希(Jülich)召开的核数据会议的情况.于里希会议是国际核数据系列会议,报告很多.本文仅对一些新的动向和倾向性方面提出一些看法.

关键词 快中子物理,核数据,国际会议.

1 北京会议

1.1 概况

国际快中子物理北京研讨会于1991年9月9日至13日在北京召开.会议由中国原子能科学研究院、北京串列加速器国家实验室和中国核物理学会承办,得到了中国核工业总公司的大力支持和具体指导.会议组织委员会主席是原子能院院长孙祖训.参加会议的外国科学家15人,他们来自美国(6人)、德国(3人)、日本(2人)、苏联(2人)、比利时(1人)和意大利(1人),国内的中子物理研究人员47人,他们来自全国各地的12个研究单位.33人在会上作了学术报告(其中邀请报告20篇).这是一个中等规模的专业会议.

1.2 专题报告

会议分七个专题进行了报告和讨论:①快中子散射和能谱;②核裂变;③ γ 射线谱学和 (n, γ) 反应机制;④活化截面测量;⑤核理论;⑥核反应;⑦中能中子物理.下面按专题逐项进行介绍.

1.2.1 快中子散射和能谱

本专题主要讨论次级中子双微分截面和快中子散射微分截面的测量,所研究的主要物理问题是核反应机制和核结构.

美国肯塔基大学的中子物理实验设备不

是很先进,只有一台端电压为5MV的静电加速器.但这个实验室的中子物理研究工作做得不错.他们用中子作为探针,测量快中子散射微分截面和 $(n, n'\gamma)$ 反应,进行核结构研究.这次会上M. T. McEllistrem教授以 ^{48}Ca 为例阐述了集体激发对强子(质子和中子)的依赖关系.

日本大阪大学的A. Takahashi教授在14MeV中子双微分截面测量方面的工作最多、最系统.质量也量高.至今他已测量了30多个核.测量角度范围为 15° 到 160° (16个角度),谱区为 $(0.5\sim 14)\text{MeV}$.飞行距离为8m,谱仪的时间分辨为2ns,对14MeV中子的能量分辨约为0.2MeV.他的结果一方面为日本核数据库(JENDL)提供了数据,另一方面,因为中子能谱的形状与多种反应过程(直接、预平衡、复合核反应等)相联系,可通过双微分截面的分析研究核反应机制.

我评述了 $(9\sim 13)\text{MeV}$ 能区次级中子双微分截面的测量现状,分析了实验数据少的原因和存在的问题,着重介绍了我们解决这一问题的方法及在我院串列加速器上取得的实验结果.由于缺乏可用的单能中子源,常规中子源如 $d+D$, $p+T$,当中子能量大于8MeV时,会伴有破裂中子产生,这会干扰次级中子能谱的测量.因此在这一能区,双微分截面的实验数据几乎是空白.我们采用增

* 介绍国际快中子物理北京研讨会和国际核数据会议

加中子源到样品的距离、缩小探测器到样品距离的办法,在飞行时间上使单能中子和破裂中子产生的次级中子分开,从而消除破裂中子的影响.用此方法测量低能段的次级中子能谱,用常规飞行时间法测量高能段的中子能谱,两者结合起来,给出整个能区的次级中子双微分截面.我们已测量了10MeV中子与 ^{238}U 和 ^{209}Bi 作用的次级中子双微分截面并用包括直接、预平衡和复合核反应的多步核反应过程的半经典理论对实验数据进行了分析,得到了很好的结果.外宾对该工作的评价不错,认为这是在这一能区用常规中子源测量次级中子双微分截面的唯一方法.

另外,清华大学齐卉荃同志介绍了该校快中子小角散射的实验方法、测量结果和模型分析,原子能院沈冠仁同志简述了他们最近的14MeV中子能谱工作.

1.2.2 核裂变

在核裂变研究方面,著名的裂变物理专家、苏联列宁格勒镭研究所的M.V.Blinov通过对裂变中子发射的多重性、微分谱和积分谱的测量分析,详细研究了中子发射的机制,深入探讨了裂变各个阶段(从原子核吸收一个粒子形成复合核、到复合核形变、断裂、变为碎片)中子的发射情况,并讨论了影响中子发射的各种因素,指出了至今尚未解决的问题.

欧洲联合研究中心(Geel)A.J.Deruytter对裂变截面测量现状进行了系统的评述.现在,裂变截面测量的能区范围从MeV到400MeV达14个数量级,测量灵敏度可达 $1\mu\text{b}$,精度对 ^{235}U 从热能到14MeV可达1%.而且能在 α 放射性高达 $10^8/\text{s}\cdot\mu\text{g}$ 、自发裂变率高达 $9/\text{s}\cdot\mu\text{g}$ 的情况下进行测量.他还介绍了有关的测量设备和手段.

国内在裂变研究方面水平也是很高的.会上,原子能院韩洪银同志报告了利用 ^{252}Cf 源进行冷裂变研究.北京大学包尚联同志报告了利用 ^{252}Cf 和 ^{248}Cm 进行裂变中子能谱低能段的测量结果.原子能院的李安利和李

泽分别介绍了他们在中子能量为10MeV和14MeV所进行的 ^{238}U 裂变瞬发中子能谱和裂变产物质量分布的测量.前面已经提到,在(9~13)MeV之间,用常规中子源不能得到单能中子,至今这两方面都没有数据,他们在原子能院串列加速器上进行了这两项工作,取得了较好的结果,在这一空白能区加上了宝贵的一点.

1.2.3 γ 射线谱学和(n, γ)反应机制

在这方面美国橡树岭国家实验室的S.Raman结合他们的实验测量,详细阐述了低能(n, γ)反应的各种机制.他认为,最近的将来一个有趣的问题可能是M1跃迁,因为这与核电流有关.德国果蒂根(Gottigen)大学的K.P.Lieb报告了(n, γ)反应进行核能级密度参数研究和能级寿命测量的结果.他介绍的用 γ 射线引起的多普勒展宽(GRID)确定能级寿命的方法引起了与会者的兴趣.原子能院的石宗仁同志报告了用稀土区变形核的E2跃迁对核结构模型进行检验的结果.此外,原子能院的黄正德、北师大的温琛林以及川大的罗小兵等同志也报告了他们所做的工作.

1.2.4 核理论

在与快中子有关的核理论方面,意大利核能研究中心(ENEA, Bologna)的G.Reffo报告了两成份的激子模型并用它计算了14MeV中子与Nb、Zr和Al反应发射中子和质子的双微分截面.这比以前的单成份激子模型有了较大的改进.

美国洛仑兹·利物莫国立实验室(LLNL)的L.Hansen用微观光学模型分析了中子散射微分截面和极化分析本领,取得了很满意的结果.理论与实验相符合的程度,微观光学势已不亚于普适的唯象光学模型.

原子能院的张竞上同志配合核数据编评,利用多步核反应过程的半经典理论,编了一个能计算反应截面和双微分截面等的UNF程序.经过试算,理论能很好地再现实验数据.原子能院的申庆彪同志通过计算低

能和中能范围内的中子反应, 研究比较了相对论、非相对论的唯象和微观光学势. 在 20MeV 以下, 微观光学势(基于 Skyrme 作用)不比普适唯象光学势计算的结果差. 九院张天元同志报告了他在中子-氘核三核子体系中解法捷叶夫积分方程方面所做的工作.

1.2.5 活化截面测量

目前主要集中于如下三个方面: ①气体产物核的反应截面; ②长寿命产物核的反应截面; ③发射氘的反应截面.

德国于里希核研究中心(KFA)的 S.Qaim 报告了他作的高灵敏度的、产物核为三核子($t, {}^3\text{He}$)的活化截面测量工作. 该实验结果对理论计算进行了检验. 结果表明, 理论计算结果一般情况下要比实验值低一个数量级以上, 有的相差竟达 4 个数量级. 这说明现有理论模型需要改进.

德国 PTB 的 H.Klein 介绍了他们在(8~13)MeV 之间的活化截面的测量方法和实验结果. 对于 $d+D$ 反应, 小于 10° 时, 不同角度的破裂中子谱相对于该角度的单能中子而言都是一样的, 因而可以统一地对破裂中子的贡献进行修正.

日本原子能研究所(JAERI)的 S.Chiba 介绍了他们在 JAERI 串列加速器上用重离子反应中子源[$\text{H}({}^{11}\text{B}, n)$]在(7~13)MeV 能区的活化截面测量.

原子能院的卢涵林同志报告了他们在活化截面方面的测量和评价工作. 多年来他们已测量了近 80 个反应道的截面, 在国际上也有一定的影响. 他们测量、编评的五个反应道的激发曲线已被国际剂量库作为标准数据采用.

此外, 国防科工委放射性计量站的丁声跃同志也介绍了他们的一些实验测量结果.

1.2.6 核反应

美国的三角大学核实验室(TUNL)的 R. L. Walter 介绍了他们的极化中子反应的实验测量方法, 并着重讨论了核子-核子相互作用、色散光学模型和微观光学势. TUNL

在极化中子工作方面有很好的条件: 有一台 FN 串列加速器、有原子束极化源、三对中子探测器. 已作了大量的极化中子工作. 最近, 他们分析了 $n-n$ 和 $n-p$ 散射的数据, 发现核力的电荷无关的假设受到破坏(CIB)和一些其它问题, 决定用极化中子与氢及氘核作用来做这个实验, 研究 CIB. 这是很有意思的. 另外, 在色散光学模型的研究方面也取得了很好的结果, 对全截面的拟合在(0.5~100)MeV 范围内好于 2%.

原子能院的周祖英同志介绍了他们在 HI-13 串列加速器上进行的(p, n)反应工作以及由中子能谱得到反应剩余核的核能级密度参数的方法和结果.

上海核研究所的谢宽仲同志报告了 14MeV 中子($n, 2n$)反应的壳效应.

1.2.7 中能中子物理

美国俄亥俄(Ohio)大学的 R.W.Finlay 等人在洛斯·阿拉莫斯国家实验室(LANL)武器中子研究(WNR)装置上对从 ${}^9\text{Be}$ 到 ${}^{209}\text{Bi}$ 之间的 18 个核素、在(4.5~600)MeV 范围内进行了中子全截面的精细测量, 得到了相当好的结果, 并用改进的光学模型对实验数据进行了拟合.

美国华盛顿大学(Seattle)I.Halpern 讲了快核子辐射俘获的各种过程及其逆过程.

此外, 周德邻同志代表中国核数据中心介绍了该中心的核数据活动.

以上是这次会议学术活动的主要内容. 众所周知, 中子工作具有双重性(应用性和基础性), 一方面, 它与核能开发、核武器研制和其它核技术应用关系密切, 因此它可作为核数据单独应用, 有专门的人从事核数据的测量和编评; 另一方面, 由于中子是核主要组成粒子之一, 而且它又是一个不带电的炮弹, 因此人们用中子这一特殊的探针进行核物理研究. 现从这两方面来总结一下这次会议的学术内容.

从应用性方面来看, 作为中子核数据, 它在向着精、难、缺的方向发展.

所谓精,是指精度高.如裂变截面 σ_f ,从热能到14MeV,已达到1%,全截面 σ_t , $E_n > 100\text{MeV}$ 时,也达到了1%.现有一些实验室(如PTB),它们专门从事放射性计量标准研究,对实验技术不断改进,对数据更是精益求精.

所谓难,是指实技术难度大.如小截面的测量(活化截面已测到1mb甚至更低,裂变截面已到 μb 的数量级),长寿命产物核的活化截面测量以及中子引起的带电粒子出射的双微分截面的测量等.

所谓缺,是指缺数据的中子能区.如(9~13)MeV能区,中子数据很少,很多实验室都想补这一能区的数据.中国、德国PTB、日本JAERI都在进行这方面的工作.另外在中高能中子能区($> 30\text{MeV}$),数据也很少,有条件的实验室(如LANL)在进行这方面数据的测量工作.

从基础研究来看,主要是核反应机制、核模型参数和核结构的研究.总结起来有如下几个方面:①散射平均场(光学位)的描述;②核反应机制(包括直接反应、预平衡反应复合核过程、 (n, γ) 反应机制等);③核能级密度;④核子—核子相互作用;⑤核结构;⑥核裂变;⑦核天体物理(核素生成率).

2 反映和评论

会议期间,不少国内外与会者反映,会后有些外国与会者还来信,对这次会议的学术内容、组织安排等发表了评论.他们认为,这次会议的学术水平是高的.从参加这次会议的实验室来看,外国与会者绝大多数来自世界上一流的中子物理实验室,如美国的三个大学(Ohio, Kentucky 和 Duke)和两个国家实验室(LLNL 和 ORNL),德国的于里希核研究中心(KFA)和国家计量标准实验室(PTB)、日本的原子能研究所和大阪大学,比利时的联合研究中心(Geel),苏联的镭研究所,意大利的 ENEA 中心,参加会议的人

大都是第一、二把手,水平是相当高的,代表了当代中子物理的研究水平和方向.国内报告反映了我国中子物理研究工作近几年来取得的最新成果,有些工作在国际上有一定的影响,同样是具有相当水平的.M. V. Blinov说,从87年 INDC 会议到现在,你们有如此大的进展,我很吃惊.M. T. McEllistrem 在总结报告中说,五年前 HI-13 串列加速器刚刚运行,今天许多实验课题正在进行并得到了值得国际核物理界注意的结果,真令人高兴.

对这次会议的规模,形式和组织工作,与会者认为:会议开得很好,很成功;会议议题集中,人数适宜,讨论方便,收获较大.建议定期召开这种会议,日本的 Takahashi 想在日本召开这样规模适中、不大不小的会议.

我们召开这次会议的目的是:①报告和评述当前快中子物理研究现状和发展趋向;②报告我们近年来的工作,特别是1986年国际北京串列物理讨论会以来的进展;③促进国际国内的相互了解,交流和合作,提高我们的研究水平.会后,原子能院的与会者进行了讨论、总结,回顾了国内外与会者对我们的工作的评论和建议,吸取其合理的东西,以改进我们的工作.另一方面,也总结了外宾和外单位的报告对我们的启发.大家认为这次会议达到了预期的目的.

3 于里希会议

3.1 一般情况

国际科技核数据会议于1991年5月13日至17日在德国于里希(Jülich)召开.来自世界各国的310人参加了会议,其中我国有14人.会议共有报告344篇,内容包括核数据的应用、实验测量、理论计算、编评和数据库等方面.报告形式多样,有大会特邀口头报告,分会口头报告,特邀大字报(口头介绍5分钟)和大字报.我国递交的文章不少,多数是大字报.只有一篇特邀大字报和一篇分会口头报告,两人应邀作为分会主席.

下次会议定于 1994 年在美国 ORNL 召开。

3.2 当前世界核数据进展和发展趋势

3.2.1 核能数据继续受到重视

裂变堆所要的有些数据仍需继续改进。先进裂变堆(如钢系核燃烧堆,中能谱堆、先进热堆和快堆等)的设计、建造则需要一些新的核数据。应聚变堆的要求,国际原子能机构已组织了若干个 CRP(如 14MeV 中子双微分截面的 CRP 长寿命放射性产物核活化截面的 CRP 等)并进行国际合作建立聚变堆用核数据库(FENDL)。

3.2.2 非核能数据有所侧重地发展

各国各地区根据自己的特殊需要有所侧重地测量、编评感兴趣的核数据。例如,美国为满足空间研究的需要,在中能核数据方面作了大量的工作,日本想用中能强流加速器来进行放射性废物处理,欧洲的兴趣则是核技术在生物医学、地质探矿和天体物理等方面的应用。苏联想用快堆进行超铀系核的

废物处理工作。

3.2.3 评价工作转向国际合作

由于国际上几个主要的中子数据库都已公开,因而评价工作不再是以前那种互相保密和互相竞争的状态,而是通过国际合作,共同研究解决一些重要而有分歧的数据。欧美已经成立了六个专题评价小组。

3.2.4 核数据的理论工作有重要进展

这次会上常规理论方法的报告很少。多数文章是关于多步统计、多步直接理论的。现在它已可用于实际的计算。德国 Kalka 的多步统计计算引起了人们极大的兴趣。另外,色散光学模型也取得了较大的进展。

3.2.5 核数据测量

大量的工作仍是核能有关的核数据(如活化截面、中子双微分截、 (n, γ) 反应、裂变数据和积分实验等),但是非核能相关的核数据的比重有所增长,中能核数据工作明显增多,有些新方法(如加速器质谱分析)逐步用于核数据测量。

Current Status and Trends of Fast Neutron Physics Study and Nuclear Data Work

Tang Hongqing

(Institute of Atomic Energy of China, Beijing 102413)

Abstract The International Symposium on Fast Neutron Physics held in Beijing, China in September, 1991 is introduced in great detail from sphere of learning and the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology held in Jülich, Germany in May, 1991 is presented briefly.

The Jülich Conference belongs to the series of international meetings on nuclear data for science and technology. There are quite a number of presentations and posters. Only some new results and trends are described here.

Key Words international conference, international symposium, fast neutron physics, nuclear data.