

编者按 在第 157 次香山科学会议及三次有关研讨会上, 与会院士和国内有关单位在第一线工作的专家及特邀的国外热中子散射及散裂中子源研究方面的专家、学者, 就我国发展散裂中子源的问题进行了研讨。咨询组根据与会人员的一些共同见解, 写成该咨询意见。原文前 4 部分分别为: 中子科学的内涵及对科技发展的影响; 中子作为复杂物质结构及物性研究探针的独特作用; 强脉冲散裂中子源的优势及发展态势; 新一代脉冲中子源的生命力。现文为前几部分内容摘要和最后一部分内容, 即建议中国科学院第二期知识创新工程考虑建设中国脉冲中子源。

关于我国发展散裂中子源的咨询意见^{*}

(中国科学院 北京 100864)

关键词 散裂中子源. 建议

中子是改造自然界的有力工具之一, 在与国防有关的基础研究、核能源开发以及与社会经济发展、人民生活健康直接相关的领域都有重要应用, 其中一些已产生了巨大的经济与社会效益。中子科学的发展及中子科学研究平台(称为“中子源”)的建设是国家科技创新的技术支撑之一, 是国家科技综合力量的体现, 应属于国家跨部门、跨学科的综合科技发展目标之一。

在物性研究中, 热中子散射有特殊的优点, 在研究复杂物质的结构及物性中具有独特的地位, 并与同步辐射技术互为补充。中子散射及同步辐射两种技术配合将使物质结构及物性的研究手段臻于完备, 将会大大增强一个国家科技的综合实力。

散裂中子源是中能质子与重金属靶的原子核发生散裂反应, 生成几十到几百兆电子伏的次级中子及质子, 这些次级粒子在靶内发生级联的核反应而产生大量中子。

上世纪 70 年代中期以后, 一些实验室改造其退役的高能加速器, 开发了第一代散裂中子源, 共

有 4 台, 于 80 年代开始运行。随着中子科学研究的不断深入, 科学家们希望获得更高注量率的脉冲中子。由于强流加速器技术在近十几年来日趋成熟, 这一愿望有可能在近几年内实现。目前, 世界科技先进国家正着手或正建造高功率质子加速器, 通过散裂反应所得到的脉冲中子注量率比目前世界上已有的中子源装置高出一个数量级以上。为了提高投资效益比, 新建的散裂中子源倾向于兼顾多用途。如英、德联合提出的欧洲散裂源计划(ESS), 设计指标为 1.3 GeV, 束功率 5 MW, 该计划目前已从单一的散裂中子源用途发展为包括核物理、 μ 介子物理、材料及工程科学研究等多用途的设备。近年来, 由于法国的参与, 该计划包括加速器驱动的洁净核能以及核废料处理系统(ADS) 开发的应用在内, 称为“研究及开发技术用的联合中子中心(CONCERT) 计划”。整个投资估计达 30 多亿欧元。

新一代强脉冲散裂中子源的出现必将会推动一些前沿学科及交叉学科的发展, 而且也大大扩展了它的应用范围。如在生命科学、材料科学、中子

^{*} 该文为中国科学院数理学部散裂中子源院士咨询组于 2001 年 11 月 4 日完成的咨询报告中前几部分内容摘要和最后一部分的内容。咨询组负责人为方守贤院士
收稿日期: 2002 年 3 月 22 日

核物理及核天体物理方面都可应用。可以肯定,新一代脉冲中子源将在国防相关研究中扮演重要角色。在新型核能开发方面,功率为兆瓦级中能强流质子加速器还可作为开展与 ADS 相关的物理及技术研究的一个台阶。

可以预期,在 2010 年左右,国际上至少有 JP 及 SNS 两台高性能散裂中子源将运行,在未来二三十年内,散裂中子源在研究物质的微观世界中的地位将从目前低于高注量率堆提高到并列再进而发展为主导的地位。

鉴于兆瓦级的多用途中子科学装置技术复杂,投资巨大、建设周期长以及我国尚缺乏必要的技术贮备,目前还不具备提出具体计划的条件。初步估计表明,一台 1GeV/5MW 的质子直线加速器和与之匹配的重金属液体靶系统,再加上厂房建设及建设安装费用等,可能耗资 30 亿元人民币以上。在技术上对于强流直线加速器的不同能段的加速结构、液体靶系统等均有大量的预研工作应开展,整个工程周期可能需十几年左右。

然而,脉冲散裂中子源在中子散射技术方面有独特的优越性,如能在不太长的时期内建设这种科研平台,用以增强在生物大分子、软物质、材料科学等诸多科学领域内知识创新的装备支撑以及作为开展强流中能加速器技术(HPPA)研发的平台还是十分必要的。

该方案的技术路线应符合我国国情,步子不应跨得太大,应适应我国的加速器技术贮备基础,不致发生短期内不可逾越的技术障碍;在中子产生器(靶及慢化体)方面,宜尽量借鉴国外行之有效的经验;在中子束传输及先进谱仪的建设方面,应尽量吸收国外近十余年发展起来的新构想及新技术,以期最大限度地利用中子产额,提高在研究样品上的中子注量率及数据获取率。另外,作为我国在今后可预期的一段时间内建设的“惟一”的脉冲散裂中子源,除应保证其指标有一定的先进性外,也必须在设计中保留进一步升级和发展的余地,力争在相当一段时间内,可处于国际先进行列并尽量兼顾多

方面的用途。

中国科学院委托物理研究所调研提出的在中国科学院第二期知识创新工程试点工作中建设一台中等规模的散裂中子源(中国脉冲中子源 CSNS)的方案,是符合上述原则的,即争取用五年或稍长一些的时间,建造一台束功率为 100KW,脉冲频率为 25Hz 的脉冲中子源。它的直线加速器能量为 70MeV,再由同步加速器将质子加速到 1.5GeV,轰击钨靶,经慢化后得到约 $5 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 脉冲热中子注量率的中子束流,用于中子散射研究。该方案可能进一步提高直线加速器能量至 140MeV、束功率提高到 400KW。

这是一台中等规模的脉冲散裂中子源,与我国的先进稳态反应堆中子源相匹配,在 2015 年前可在国际上占有一定的地位。如在建成后执行第二步提高计划,使束功率达 400KW,则其科学寿命将会大大延长。该方案可分步实施,第一步,100KW 装置要求的直线加速器的流强比我国已有的要高 10 倍,经过努力是可以达到的;第二步,可成为将来进一步提高流强 100 倍的台阶。其它的技术基本上与我国现有的条件相当,并有较成熟的国外实验室经验可资借鉴。因此,有可能在五年或稍长一点的时间内建成。其优点是投资相对较少,建设周期短,从而能尽快开展各方面的研究,为下一步兼顾多方面的研究及应用打下基础。而且脉冲散裂中子源提供的中子束注量率高,具有脉冲结构,与反应堆中子源相比有很多优点。

总之,我们认为,根据散裂中子源的独特优势及发展态势以及我国的国情,上述方案是比较合适的,即我国争取用五年的时间建造一台束功率为 100KW 的中国脉冲散裂中子源是十分必要的,是有前瞻性的。它将与我国同步辐射光源技术及先进的 CARR 堆相互补充,取长补短,有机配合,必将为我国 21 世纪科技创新提供更多的新机遇。

希望有关领导着手组织力量,尽快开展预制研究,充分利用国内外可能利用的条件培育用户队伍和实验仪器的研发队伍。