

统中,因此压强 p 、化学势 μ 和温度 T 都是固定的。如果系统是封闭的,那么体积(在一维的模型中就是两个墙之间的距离 H)、粒子数 N 和温度 T 是固定的。于是经典粒子的运动就受到相应的限制。动力学方法仍然可以用于讨论这样的系统。

综合以上的讨论可以说明,动力学方法是浸润相变的理论研究中很有效的方法。它不仅可以讨论无限空间(一个墙)的情况,也可以讨论有限空间(两个墙)的情况;不仅可以讨论简单流体,也可以讨论多元流体;不仅可以讨论开放系统,也可以讨论封闭系统。它的优点是物理图像清楚,便于解析研究。

· 浸润相变的现象十分丰富,研究方法也多种多样。我们不可能在一篇短文中包括所有的内容。有兴趣的读者可以阅读其他更详细的书籍,例如文献[1—3]。

参 考 文 献

- [1] 黄祖洽、丁鄂江,表面浸润和浸润相变,上海科学技术出版社,(1994)。
- [2] P. G. de Gennes, *Rev. Mod. Phys.*, **57** (1985), 827.
- [3] S. Dietrich, Wetting Phenomena, in "Phase Transitions and Critical Phenomena" vol.12, C. Domb and J. Lebowitz ed., Academic Press, (1988).

核军备控制与物理学¹⁾

杜祥琬 胡思得

(中国工程物理研究院,北京 100088)

摘要 阐述并分析了国际军备控制的新形势对物理学提出的挑战,包括实验室条件下核武器物理的研究、军备控制物理学的研究,非核新原理武器研究及核武器有关技术的和平利用等问题。

关键词 军备控制,物理学

90年代初以来,国际战略格局的新变化,使国际核军备控制进入了一个新阶段。其标志是:核试验可能被禁止;核裁军将会有实质性的进展;核扩散和防止核扩散问题更趋尖锐。

这一新的形势在社会科学和自然科学领域都提出了一系列新的问题。其中,与物理学有关的,至少是以下三方面的问题:

(1) 如何在实验室条件下研究核武器物理。

(2) 核军备控制涉及许多科学技术问题,其中包括核军备控制物理学问题的研究。

(3) 与核军备控制的新形势有关的其他新研究课题。

本文试图对这些问题作初步的阐述。

1 核武器物理的实验室研究

1.1 研究的意义

核禁试远不意味着核武器的消亡。我们姑且撇开核禁试的定义问题和稳定性问题不谈,即使出现一个稳定的全面核禁试局面,在今后相当长的历史时期内,核武器仍将是一个重要的社会存在,各核国家都不会轻易放弃核武器,它仍将是一个最有效的军事威慑手段。

因此,各核国家将在不违反核禁试条约的

1) 1995年5月12日在中国物理学会第六届全国会员代表大会上的报告。
1995年4月26日收到。

实验室条件下继续核武器物理的研究,这一研究虽不能发展新核武器,但对维护现有核武器的有效性是必不可少的,它具有两方面的意义:

- (1) 保持现有核武器的安全性和可靠性。
- (2) 加深对核武器物理的理解,并保持后继有人的核专家的水平。

1.2 研究的内涵和方法

为了说明实验室条件下核武器物理研究的内涵和方法,我们介绍一下美国洛斯·阿拉莫斯实验室提出的设想,它具有一定的代表性。

(1) 地上实验——I: 包括研究初级(引爆弹)物理问题;进行高能炸药实验;研究冲击波物理。

(2) 地上实验——II: 包括研究次级的物理问题;激光驱动的实验;脉冲功率驱动的实验。

(3) 惯性约束聚变: 包括激光驱动。

(4) 强化数值模拟研究: 包括利用已有的核试验数据建立基准;利用地上实验的数据改善物理模型。

(5) 流体核实验。

以上五方面的工作主要涉及到以下三个物理学科的研究:

一是爆轰与冲击波物理。流体核实验也主要属于这一类。它主要研究核弹关键之一“初级”的物理问题^[1],为此目的,已发展了一些性能先进的实验装置,如双轴闪光照相设备,它需要具有高的分辨率,可用于“一点安全”等实验,提供层析 X 射线摄影。

二是高温高密度等离子体物理。有代表性的研究手段是激光驱动的惯性约束聚变^[2]。它包括激光驱动器研究、靶材料及微靶制备工艺研究、实验与诊断技术研究、数值模拟与理论分析及靶物理研究。靶物理中的核心问题有:激光等离子体相互作用、辐射波的运输、辐射驱动对称性问题和内爆动力学与界面混合问题等。惯性约束聚变在近期内是核武器物理实验室研究的手段,其潜在的长期目标是提供基于 ICF 堆芯的核聚变反应堆能源。此外,基于脉冲功率技术的特种实验装置也可进行高能量密度物

理 (high energy density physics) 研究,为初级和次级的研究服务。

三是计算物理学。实验室的核武器物理研究受到许多局限,其时空尺度远小于核试验的实际尺度,必须借助于计算物理的手段进行完整的规律性研究和实验结果的外推研究。因此,禁试后要强化计算物理和理论分析。另外,为分析武器安全问题和库存中的老化问题,需要进行三维的高精度的流体力学计算;为进行 ICF 等高温高密度核聚变过程研究,需要包含激光-等离子体相互作用、电子热传导、非热动平衡原子物理、辐射运输、流体力学、中子- γ 运输等在内的总体软件包。二维的 LASNEX 是一个典型的代表(图 1)。由于计算量和精度的要求,必须大容量、高速度,并具有高性能计算环境的计算机。

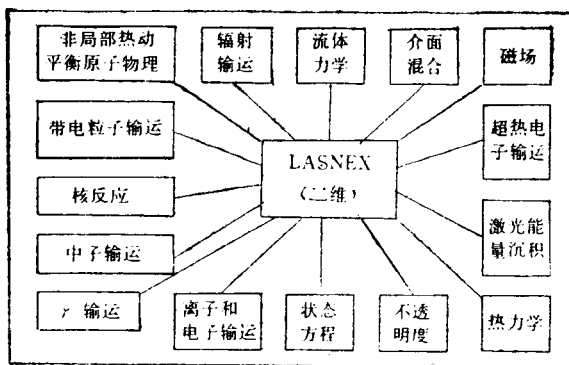


图 1 LASNEX 物理软件包内涵示意图

应该说,核武器物理研究最节省的办法是进行核试验。在实验室条件下,想要获得核试验可提供的同类数据,要困难得多且昂贵得多。举一例可见一斑:前面提到的双轴闪光照相装置的预算是约一亿美元;而用于 ICF 研究的驱动器 NIF——国家点火装置的预算高达十几亿美元。

2 核军备控制物理学研究

美国和前苏联的核武器本来已生产得过多,成了沉重的包袱,而新的国际战略格局下,这样庞大的核武库更显得没有必要。因此,

核裁军开始进入实质性阶段,并会有进一步的发展。各核国家早晚会一定条件下,加入核裁军进程。核裁军需要相应的核查手段,同时,裁下来的核武器需妥善地予以销毁,并对其中的核材料进行处理。另一方面,为了制止生产新的核武器,需对武器级核材料的生产进行监督和控制。此外,全面核禁试条约也需有效的核查手段作保障。为了防止核武器技术向无核武器国家的扩散,也需相应的技术手段以加强国际核安全保障体制。在这些需求背景下,军备控制物理学应运而生,并正在深化发展^[3],它主要有以下几方面的内容:

2.1 禁止核试验的核查

除卫星遥感探测外,对地下核爆炸的核查方法主要有:(1)地震法。天然地震是由岩层错动产生的,尺度大,持续时间长,因此产生的地震波主要是横波,而且在低频段;核爆炸持续时间短、尺度小,主要通过挤压岩石产生地震波,这样的地震波主要是高频段的纵波。两种地震波的这种差别可用以区分核爆炸和天然地震,进一步再由震级估算出核爆炸的威力。(2)流体力学方法。地下核爆炸引起进的冲击波高速向外扩展,在开始的一段时间其波前速度与爆炸威力有一定关系。流体力学可以计算出这一关系,从而提出了冲击波阵面半径随时间变化的连续反射测量技术(CORRTEX),它估算出的威力比地震法精确,对被核查方又无太强的“入侵性”。(3)地球物理方法,探测核爆炸引起的局部地球物理性质的变化,如地面电阻率的变化,可判定核爆炸的产生及其方位。(4)监测核爆炸产生于环境中的放射性核素。现有的这些技术对判定极低威力的核试验尚有困难,有必要进一步研究。

2.2 核裁军的核查

根据核裁军条约裁减下来的核弹头的数目,需要进行核实。主要是采用主动法和被动法来探测、鉴别和统计核弹头。主动法是利用外部激励产生可探测的信号,如通过中子激活,在弹头的裂变材料中产生可探测的中子与 γ 射线;被动方法是利用被探测物本身发出的信号

进行监测,例如探测核材料衰变产生的 γ 射线和自发裂变产生的中子。此外,经探测核实后的弹头,可加上物理的或电子学的“标签”,或确定其“指纹”,以减少再核查。最后,裁下来的弹头如何销毁和妥善处理,是一个相当复杂和花费很大的问题,已提出了一些办法,如地下深埋、地下集中炸毁、将核材料卸出稀释后加以利用等,都存在值得研究的问题。也有人提议通过停止氙的生产来自然削减核弹头,因为许多类型的核弹头中,都用到氙,氙的自然衰变将使一些弹头逐渐报废。但,停止氙的生产也不是一件简单的事。

2.3 核不扩散的核查

核不扩散的核查需要了解无核国家是否有能力制造核武器,是否准备获取这种能力,有核国家是否在向无核国家转移核武器、核武器部件或核武器技术。但实际上,全面了解这些信息是困难的。因此,目前核不扩散的核查主要集中在了解无核国家是否拥有或有能力制造武器级裂变材料。武器级的铀必须经过浓缩,提高铀-235的含量。钚-239是由铀-238在反应堆中经中子辐照后生成的,然后在后处理厂将铀、钚和裂变产物分离获得钚。因此,对核材料的监督主要是监视铀浓缩厂、反应堆和后处理厂。适当浓缩的铀有民用价值,因此不能完全禁止铀的浓缩,但要限制浓缩度,制止浓缩到武器级。而武器级的钚可通过规定反应堆换料时间来控制,还要对后处理过程中钚的提纯加以控制。目前,核不扩散的核查是由IAEA通过安全保障(safeguaed)体制来实施的。但伊拉克出现的情况表明,目前的safeguard体制是不完备的,需要强化和发展。

2.4 外空军备控制的核查

在外空军备控制的核查中也有一部分是物理学的工作。除了利用卫星进行遥测外,外空军控核查还包括在现场核查地面布署的针对外空目标的武器以及在卫星发射场检查将发射到外空去的装置是不是武器或武器部件,这种现场核查根据外空武器(例如定向能武器、动能武器等)的物理和技术特征来进行判断。此外,还

发展了对空间武器的试验进行核查的方法,以及核查空间反应堆的红外探测方法(通过限制空间反应堆可以限制相当一部分空间武器)。

除军备控制核查技术中的物理问题外,军控物理学的研究还包括对武器效能和战争效应的研究。例如,对核战争效应的研究建立了“核冬天”的概念和臭氧层变薄的概念,使人们认识到发动一场核攻击之后,受到惩罚的不仅是对手,发动攻击的一方也难免自食苦果,从而使得有核国家对发动核战争持十分谨慎的态度。也可以说使核武器产生了一种“自威慑”作用。

军备控制物理学是应用物理学的一个分支。涉及到物理学的许多领域,如核物理、工程物理、电子学以及一些有关的技术学科。物理学家们所做的工作不仅为军备控制提供有效的核查方法和销毁技术,还使得对军备控制的分析研究走向定量化和科学化。因此,有关国家的物理学家已建立了专门的研究组织或研究中心,培养军备控制物理学的研究生。世界有影响的期刊“Physics Today”已设立了军备控制专栏,现在已有了国际性的专业杂志“Science & Global Security”,这标志着军备控制物理和科技问题的研究已进入更深入的阶段。

3 其他有关的新课题

核军备控制的新形势还提出了其他一些新的课题,这里仅谈以下三点:

3.1 新原理武器的研究趋于活跃

冷战时期,大国着重发展以大规模破坏和杀伤为目的的武器,核武器是其代表。而冷战后,则转为重视发展以使对方丧失功能为目的的武器,海湾战争更促进了适用于局部战争的这类新概念武器的研究。人们愈来愈深刻地理解到:科学技术上的创新是宝贵的作战倍增器。下面举出几个非核新概念武器的例子。

电磁脉冲武器(或称射频武器)也已有多种方案在研究,可认为属于“非杀伤性武器”或“非传统武器”的一种。它是电子战的手段。它利用强的电磁波辐射使电子设备失效或破坏。宽

带高功率微波和窄带射频定向能武器都被列入美国国防研究计划中。与此相关的还有所谓“电磁导弹”的概念,是用特殊方法产生和发射的电磁波,具有定向和慢衰减的特性,像“导弹”那样。

等离子体武器已有若干不同的设想。有代表性的一种是俄罗斯建议同美国合作研究的设想,即利用强的辐射(如强的微波)在飞行物运动前方造成有一定空间尺度和持续时间的“等离子体团”,当飞行物(导弹、飞机等)进入此等离子体团的区域后,由于此区内外条件的骤然变化,使飞行物自己发生气动力学的不稳定性而失效。

光武器是激光发现以来人们执着追求的目标。美国的SDI计划蜕化为BMD计划后,光武器研究仍在推进。除较为成熟的致盲武器外,还在发展更强的战场和战区激光武器,通俗地被称为“死光”。至今,已进行了一系列摧毁飞行目标的演示试验和武器系统可行性的试验。由于军用卫星的发展,还刺激了反卫星武器(包括动能武器和激光武器)的发展。

再一类是高速发射装置,所谓电磁轨道炮和电热炮属这一类。它们可在毫秒的时间内使几克重甚至公斤级的弹丸加速到每秒数公里,以其动能实施杀伤。有关的研究课题有:原理研究,大电流开关器件,电源小型化,高速弹丸侵彻的实验和计算机模拟。

此外,还有所谓“次声武器”、穿地弹、粒子束武器、潜艇静噪技术、隐身反隐身技术以及核武器的常规化(将小型和低威力的核弹头用在常规武器上)等。

这些非核新型武器的研究除涉及其原理外,还有一系列基础性研究,如等离子体物理问题、微波与物质相互作用、激光与物质相互作用、新材料研究以及许多有关的技术问题。

3.2 核爆炸的和平利用

核武器是应该禁止的。但核爆炸能量却是可以也应该加以利用的。和平利用核爆炸曾有过成功的尝试,前苏联在利用核爆炸增产石油与天然气以及地质探测方面积累了不少的经

验。

由于核武器爆炸试验与和平利用核爆炸难以区分,所以在禁止核试验呼声很高、核爆炸成了敏感的政治问题的今天,核爆炸的和平利用也存在政治上的障碍。但不能排除这样的可能性:当全面禁核试的格局有了一定的稳定性,核武器问题变得不那么敏感之后,可以开始有核查的核爆炸和平利用。

和平利用核爆炸的方案和构思已有多种。除用于地质、探矿研究,增产石油和天然气外,还提出了利用系列的地下小型核爆炸建立地下发电站;利用核爆炸改变山脉结构和大气环流走向,以利于气候的改善和水力资源的开发,例如,在喜马拉雅山脉炸开一个山口,使南亚的暖湿气流北上,以改变我国西部多山少水地区的气候和生态环境,也缓解南亚的炎热。这只是一畅想,当然,这里有许多问题需深入研究。

彗木相撞事件使人们自然联想到要避免类似事件在地球上发生。事实上,发生这类事件的几率并不为零,好在较大天体与地球相撞是可以提前预报的。有些科学家建议利用核爆炸能量改变来袭天体的轨道,以避免相撞事件发生,这也不失为利用核爆炸的一种畅想。

3.3 核技术转民

为实施核计划建立的技术基础,是可以经适当改造为国民经济服务的。例如强流加速器可产生强粒子源和 γ 源,图2是几种可能应用的示意图。

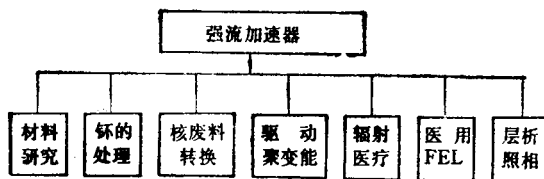


图2 强流加速器可能的应用示意图

脉冲核反应堆产生的核粒子可用于泵浦某些激光工作介质,产生核泵浦激光。俄罗斯已报道了这种紧凑型的高功率激光器研制成功。美国也有类似的研究计划。拟将它用作惯性约束聚变的驱动器,还设想用来建造空间的核激光站,实现地球—卫星—星体之间的空间供能。

此外,脉冲功率和化工材料研究的基础可用于环境净化技术,而计算物理的基础可进行环境模拟分析。高压物理研究的基础可用于生产金刚石和其他超硬材料。等离子体物理和原子物理的基础可用于等离子体X射线激光与可控聚变能源的研究等。

致谢:作者感谢于敏先生对本文提出的宝贵修改意见。

参 考 文 献

- [1] 经福谦、胡思得,物理,20(1991),482.
- [2] 陶祖聪、杜祥琬、彭翰生等,物理,20(1991),467.
- [3] 杜祥琬、李彤、宋家树等,物理,21(1992),654.