

中国科学院1986—2000年规划
专题研究报告之八

物 理 学

物理学规划专题组
中国科学院规划攻关办公室
一九八四年六月

核 物 理

一、核物理的发展和意义

核物理研究原子核的性质、结构、核力以及核与核之间的相互作用。核物理是一门比较年轻的学科，自从1911年卢瑟福进行 α 粒子与核的散射实验开始算起，到今天才73年。它的发展是极其迅速的。1939年发现铀核裂变现象，开辟了人类利用原子能（严格一些，应该说是原子核能）的道路。原子能的发现，给人类提供了极其丰富的能源，是人类发展史上的一个里程碑。

原子能的应用是说明基础学科研究的重要性一个最好的、最有说服力的事例。当初科学研究人员研究原子核，纯粹出于对自然界奥秘的探索，对于知识的探索，甚至象当时最伟大的科学家之一卢瑟福曾说过这样的话，“谁谈论原子核能的利用，纯粹是毫无意义的空谈。”但是，在卢瑟福讲这句话之后不到十年，人们发现了裂变现象。

原子能的发现，原子武器的出现，反过来大大推动了核物理的发展。第二次世界大战结束以后，各国政府十分重视这门基础学科，给予充分的经济支持，加上社会上的重视，吸引了大批科学工作者进入这一领域，因此核物理和更深入一个层次的粒子物理得到了蓬勃飞速的发展。到今天，核物理还是处于蓬勃发展的状态。各国政府对于核物理的投资，每年增长率虽不如50、60年代，但还是保持了相当大量的投资。美国政府每年投到核物理上的款项大约在1.2亿美元左右。

核物理是原子能的利用的基础。现在是利用核的裂变来取得原子核能。这种方式的原子能有一个严重的缺点，在利用过程中产生大量放射性物质。这些物质，如果处理不当，将对人类发生危害。人们希望能利用“干净”的聚变来取得原子核能，这就是可控热核反应。此外，人们还希望发现其他的途径来获得原子核能。随着人们对于原子核的认识的深化，十分可能找到新的途径。

核物理跟国防是密切相关的。核武器的制造和改进离不开核物理的基础研究。

核物理所研究的是物质结构的一个层次，它跟研究上一个层次的分子、原子物理和凝聚态物理密切相关，跟研究下一个层次的粒子物理更是密切相关。跟天体物理也是密切相关，有些核物理现象先在天体中观察到，然后在实验室里实现。核物理给很多学科提供新的研究技术和工具。核技术在工业、农业、医学方面有着日益广泛的应用。

为了研究原子核，必须变革原子核。加速器和反应堆提供了变革核的‘探针’。加速器所加速的带电粒子以及带电粒子打靶所产生的次级粒子（例如 π 介子、光子、中子等）是常用的探针。反应堆所产生的中子也是常用的一种探针。为了观察核的性质和变化以及种种过程中所产生的粒子，人们发明了多种探测器。核物理的发展，是与所用的研究工具，加速器和探测器等核技术的发展分不开的。

原子核是一个有限粒子数的多体系统。粒子之间存在着强相互作用。这就使原子核的研究面临着两个相当困难的问题：核子之间的相互作用问题；多体系统的求解问题。

五十年代前后，积累了大量核谱学数据和不少核反应截面数据。主要通过分析实验所得到的这些结果建立了一些模型理论。例如原子核的液滴模型，壳层模型，集体运动的综合模型以及核反应的光学模型等。这些模型理论可以分别解释一部分实验结果，但只在一定的范围内正确。通过核子—核子散射实验，在此时期，对核子之间的相互作用建立了一些唯象的理论。

六十年代以来，由于实验上发现了一些新的运动形态，例如对关联、同位旋相似态等等，从而推动了核结构的微观理论的研究，理论上发展各种核多体方法，例如 Hartree—Fock—Breuckner 方法，格林函数方法，核场论方法，共振群方法以及核反应的中间结构理论等等，使得原子核理论的研究向前深入了一步。

近十多年来，实验手段有了新发展。过去常用的探针是低能（100 MeV 以下，1 MeV 是 10^6 电子伏）的质子、氘核、氦核和中子，以及电子和光子。七十年代初，常用的探针的范围扩大到重离子，中、高能粒子和由中、高能粒子产生的次级粒子（ π 介子、K 介子、反质子等）等。实验上观察到大量新现象，使核物理的研究添加了新的生命力。下面分别举例说明。

（一）用轻离子作探针的低能核物理仍旧是重要的方面之一。核的低激发的运动形态（低于几十 MeV）远比想象的复杂。例如关于巨共振态，近年来发现了一些新的。过去只知道巨偶极共振，现在已知有巨单极共振，整个核作径向扩大和收缩，好象在“呼吸”。另外还观察到了巨四极共振和巨八极共振。此外，还观察到一种新的类型，自旋振动态。已观察到了两种属于这种新类型的振动：巨 Gamow—Teller 共振和巨磁偶极共振。

（二）重离子核物理已成为核物理的前沿之一。五十年代末，人们逐渐用锂、碳、氮等核作为探针。六十年代，开始加速中重核。七十年代，加速了铀核。重离子的能量约 8—10 MeV/核子。近十多年来，重离子核物理发现了不少新现象，开辟了新领域：

发现了新的运动形态和反应机制。由于重离子带有很高的角动量，反应过程中所形成的核可处于高自旋态。观察到了高自旋态的回弯现象。深度非弹性散射中，观察到入射粒子的动能可以大部分转化为核的内能，这是人们没有预期的一种反应机制。①

合成了许多新的核素。人工合成的所有超铀元素，从 92 号到 109 号元素都是用重离子反应合成的。最近合成的 109 号是用铁轰击铋得到的。

重离子核物理的研究，提出了需要解决大块核物质之间的碰撞以及相互转移的理论问题。近年来除了建立了一些唯象的理论以外还逐步将统计物理中的输运方法用到这方面来。

（三）相对论重离子核物理正在开始探索。能量约 2 GeV/核子（GeV 是 10^9 电子伏）。由于束流弱，只能作些初步探索工作如入射粒子和靶核的碎裂，介子和奇异粒子的产生等等。现在初步看来，进一步提高能量，可以期望得到超密度的核物质。②

（四）中、高能粒子和中、高能粒子所产生的次级粒子（包括各种介子、反质子等）与核的作用得到了大量新现象。

中、高能粒子与核的作用的研究，不仅由于粒子的能量高，可以研究核内核子高动

量分布情况，例如高能电子可以探测核子的高动量分布及核子的内部结构。更重要的是将核物理与粒子物理联系了起来。

用中、高能粒子及其所产生的次级粒子与核作用，在能量达到了 π 介子产生的阈能以后， π 介子的自由度以及 Δ_{33} 的自由度显然在许多强相互作用的过程中占有相当重要的作用。因而研究核内 π 介子自由度的问题，包括由 π 介子引起的各类核反应过程已成为核物理中的一个重要的课题。对 π 核作用，各类 π 核反应机制以及包括 π 及 Δ_{33} 共振在内的核多体理论的研究是近几年来十分活跃的领域，对各类反应机制及 π 核多体系统的研究，已取得了一些进展。

在核力的研究方面，也有了一些可喜的进展，通过 πN 散射振幅，得出了一个 2π 交换的核力，可以很好地解释核力的中、长程部分，但是对于短程部分仍然需要采用唯象的办法。近几年来，开始把核力的研究与强子结构的夸克模型联系起来，成了一个引人注意的理论研究新方向。

K介子进入核，可以与核内中子结合成 Λ 超子。 Λ 超子也是中性，与中子相似，因此整个核的性质基本没有大变，成为超核。超子可以处于中子受泡里不相容原理而不能占有的能级。已经观察到超核特有的能级，人们希望由此来研究核内核子与超子的相互作用。

用反质子作为探针，是一个全新的方向。过去由于反质子束流强度太弱，有些新现象，如是否存在重子素的问题，在实验上有争论，无法确定。最近在西欧核子中心（CERN）建成了一台低能反质子储存环（LEAR），反质子能量从0.1至1 GeV。反质子在环内储存到一定流强后引出打固定靶。现在已有十多个实验正在LEAR上进行，其中有反质子与核的作用，核子和反核子组成的系统等以及粒子物理的研究。

人们越来越认识到，把研究原子核结构与研究强子结构及各种强相互作用过程联系起来，是使核物理研究深入一步的一个基本方向。

二、我国和我院的物理研究工作

解放前，我国有极少数学者在非常困难的条件下进行少量工作。解放后，国家对于核物理十分重视。1950年我国第一个核物理研究机构，近代物理研究所，在我院成立。到1957年底，先后建成了两台静电加速器，一台高压倍加器。在云南落雪建立了宇宙线观测站。并完成了核乳胶、盖革计数器、闪烁计数器以及相应的核电子学等的研制。核物理实验技术约相当于国际上40年代末的水平。核理论方面逐步开展了核结构的研究。在1950—57年这一时期内我国在核物理方面初步开始了人才的培养、技术的掌握和设备的建造。

50年代中期，二机部成立，组织全国有关人力物力开展核武器和原子能方面的研究工作。1955年在北京沱里，1956年在兰州，1959年在上海先后筹建新的核科学基地。1958年在北京沱里建成了7000 KW重水反应堆一座和1.2米回旋加速器一台。

1958年北京沱里基地和物理所〔注〕合并成立原子能所。原子能所归二机部领导，但原子能所一部由二机部和科学院双重领导。兰州近代物理所和上海原子核所经过一段时间筹建后，分别在1963和1964年正式成立，都归二机部领导。从1958年至1977年，在

实际上,我院极少过问物理研究工作。1963年在兰州建成一台1.5米回旋加速器,1964年在上海建成一台1.2米回旋加速器。

在高教系统方面,1955年后,北京大学、清华大学、兰州大学、复旦大学等高校先后设置了核物理专业,并装备了一些加速器和实验装置。

到六十年代中,我国核物理实验方面,具备了一定条件,初步开展了核反应机制、核谱学、中子物理等方面的研究,取得一些成果。理论方面在核结构的壳层模型、集体运动模型、对关联、多体理论以及核反应的统计理论等方面都作出了较好的成绩。有些课题已能跟上国际进展的步伐。

在60年代初,我国核物理界为我国核武器研制和核工业的建立作出了出色的贡献,向这两个方面输送了大批优秀科学家和青年物理工作者。实际工作结果表明,这批在基础学科研究中培养出来的人才能够在工作需要时很好地及时解决核武器、核工业的实际问题为我国国防建设、工业建设作出了很大贡献。这批人现在大都已成为重要业务骨干。这一例子也很好说明了基础科研的重要作用之一。

文化大革命期间,除了核工业所需的核数据测量外,核物理基础研究几乎全部停顿。

粉碎“四人帮”后,核物理研究逐步重新开展。机构也作了调整。原子能所一部回科学院,改为高能物理所。兰州近代物理所和上海原子核所划归科学院。科学院重新承担核物理研究。核工业部领导原子能所和1980年新成立的四川大学原子核科学技术所(设于四川大学内,与教育部双重领导)。

表1列出了五个研究所的侧重方向,限于实验工作。这五个研究所是国内目前从事核物理基础研究的主要单位,此外,科学院还有新疆物理所,以辐射物理为主。还有高等院校及其附属的研究所,国防科研单位,地区研究所,工农业产业部门的有关原子能利用的研究所也作一定量的研究。

近几年来,我国核物理研究工作情况大致如下。

(一) 实验核物理:

原子能所、原子核所目前主要从事轻核反应研究。包括少体问题,予平衡发射,大角度反常散射等,对核反应机制与轻核集团结构作出了较好的研究成果。

原子能所主要结合核数据测量,在中子物理和裂变物理方面进行了多方面的工作,取得了较好的结果。

原子能所、原子核所与近物所还在核谱学方面开展了研究,并已开始在中 γ 谱学的研究。

近代物理所在重离子核物理方面取得了很好的开端。在70年代初,合成了铜、镍等四种同位素。在实验技术上为73年以后开展重离子核物理基础研究创造了初步条件。近来在重靶的大质量转移反应研究方面初步确定 ^8Be 转移现象,观察到轻系统深部

注:近代物理所在1951年与电子学所筹备处和数学所的计算机组合并为物理所。1956年,从物理所分出部分人员筹建电子学所,并军所和兰州近代物理所,1958年,物理所与地质部合并成立原子能所,原来物理所那一部分称为原子能所一部,地质部称为原子能所二部。原来的应用物理所在1958年改名为核工所。

非弹性散射的某些现象。

(二) 核理论

核理论研究近年来在原子能所、高能物理所、理论物理所、原子核所和近代物理所，以及北京大学、吉林大学、兰州大学、南京大学、南开大学、北师大、四川大学、苏州大学等高等院校都开展较快，并扩大了研究领域，一方面向原子核的微观理论深入研究，同时也向重离子核物理及中能核物理逐步开展了研究工作。在原子核多体理论、单粒子自治场、相互作用玻色子模型、核场论、微观光学势、集团结构、少体问题、共振群方法及生成坐标方法、裂变机制、重离子反应机制、高自旋态、 π 核物理、超核物理以及核内夸克等课题的研究取得了较快的进展，做出了不少成果。不完全的统计，从77年到82年，在学报上共发表了230篇核理论论文。其中一些课题的研究，已经或正在形成自己独创的研究特点。

(三) 核数据的测量与编评

表1 五个研究所的侧重方向

	轻核反应 (p, d, α)	核谱学	重离子核物理 Li至Ar, Ar至Xe	核数据 Xe至U	中子 测量	裂变 物理	应用 基础和应用	原子、 分子物理
近代物理所 (兰州)							√	
原子核所 (上海)	√	√	√				√	
高能物理所							√	
原子能所 (核工业部)	√	√	√		√	√	√	
原子核科学技术所 (四川大学)	√				√	√	√	√

核数据是原子能工业的基础，核数据工作仍是核物理工作支持原子能发展的一个重要方面。我国正在建立能区配套的测量条件，并得到了一些高精度的数据。同时成立了核数据中心，组织各方面有关力量，编评中子数据。我国核数据第一版即将完成出版。

(四) 核技术的应用：

核技术在国民经济建设各部门和其他学科领域里的广泛应用，是核物理发展到现阶段的一个重要特点。我国同位素核技术应用的研究和推广工作从70年代初期以来有了较快的发展。放射性同位素的生产和应用，辐射育种，辐射加工，离子注入等技术的推广应用已比较广泛。中子活化分析技术、离子束分析技术、穆斯保尔效应，固体径迹探测器，中子散射等技术也已经有了不同程度的推广应用。

关于核技术的应用问题，因另有专题报告，这里不再多作介绍。

表2列出五个研究所的人员情况。其中从事核物理的科技人员总数（包括基础研究、核技术研究和应用等各个方面，但不包括核工程）总的算来，从事核物理（包括应用）的科技人员，就这五个研究所估计，已超过2000人。高等院校、国防科研单位、地区研究所、产业部门还有大量人员从事核技术的应用以及应用基础研究。

表3列出了用于核物理工作的加速器，这里不包括专用的离子渗杂机、电子辐照机以及医疗用加速器。

表2 从事物理研究的五个研究所人员情况（82年）

	总人数	科技人员	高研、高 级工程师	助研、 工程师	研实、助 理工程师	从事核物 理的科技 人员总数 估计	其他专业 技术人 员、科技 辅助人员	工 人
近代物理所（兰州）	901	474	15	233	226	474	95	204
原子核所（上海）	1124	545	21	286	138	467	128	286
高能物理所	1909	981				约180		
原子能所（核工业部）	约 4000	约 1600				约800— 1000		
原子核科学技术所 （四川大学）	约 300	约 170				约 150		

注：1、高研包括正研、副研、教授、副教授，科技人员总数中不包括管理、图书、卫生等其他专业技术人员。

2、高能物理所主要任务是进行粒子物理研究（包括粒子物理、加速器、宇宙线、实验技术、电子学、计算机等）。这里估计的180人是从事核技术应用、核理论的科技人员，不包括质子直线加速器的研制人员。

3、原子能所和原子核科学技术所的人数是估计值。

4、研实、助理工程师的人数中包括技术员。

5、工人包括工厂工人、实验室工人。

原子能所有一台10,000K W重水反应堆（原为7000K W）和一台3500K W游泳池式反应堆。清华大学有一台游泳池式反应堆。

从人员总数来看，科学院的从事核物理研究的人数跟核工业部大致相同，各约一千多人，在全国居多数。

从实验设备来看，我院没有一座反应堆，对于开展应用工作十分不利。在加速器方面，我院将在88年建成的分离扇重离子回旋加速器可以加速直到氙的重离子，是国内唯一的一台。根据设备条件，今后我院与核工业部的发展，在实验工作方面，可能自然形成大致的分工。我院将着重重离子核物理和低能轻核反应。核工业部将着重核数据测量，中子物理，裂变物理、轻核反应，也作一些重离子核物理（限于较轻的重离子）。至于应用，大家都重视，都将大力发展。由于我院没有反应堆，目前在应用工作方面受到很大限制。

至于核理论方面，全国到处开花。我院的工作面很广，力量较强，偏重中、高能核物理、重离子核物理。

总的说来，经过解放以来三十多年来的努力，核物理在我国已经发展成为具有几千人从事研究、发展和应用工作的一个学科。实验设备条件正在逐步更新，到1988年前后，实验工作将有较大的开展。理论工作发展较快、领域较广泛，可以期望，在今后十年内，理论工作的某一些领域可以形成自己独创的特点。

表 3 用于核物理工作的加速器

	回	旋	串 列 静 电	静 电	电子静电	高压倍加	电子直线	质子直线	电子感应
近代物理所 (兰州)	1.7 m扇聚焦 (1984)		2 × 2 MV 试验机 (1984)			400 KV			
	分离扇直离子 (1988)								
原子核所 (上海)	1.4 m扇聚焦 (1984)		2 × 6 MV (1987)	4 MV (引进, 1984)	2 MV				
				2.5 MV		250 KV	30 MeV	35.5 MeV (1984)	
高能物理所						600 KV			
重离子研究所									
原子能所 (核工业部)	1.2 m扇聚焦		2 × 13 MV (引进, 1984)	2.5 MV	2 MV	600 KV	13 MeV 100 MeV (1988)		
	1.2 m			2.5 MV		400 KV 200 KV			
复旦大学				4.5 MV					
北京大学				4.5 MV (1984)					30 MeV
北京师范大学						400 KV 200 KV			
清华大学			2 × 1 MV (引进)			200 KV			30 MeV
物理所 (科学院)			2 × 1.7 MV (引进)						

• 不包括国防科研部门的加速器。括号内数字是预期建成时间。

三、前 景

(一) 核力的研究和中、高能核物理:

核物理到今天还是一门年青的学科,还有很多问题有待于解决,还有很多未知的领域有待探索。几十年来,关于核力和核结构的问题虽已取得了很大的成功,但还没有根本解决。这个问题今天仍然是核物理发展的前沿之一。

前面谈核物理的发展时已经提到,核力的中、长程部分已经可以用介子交换来很好地解释,但是对于短程部分仍然需要用唯象的办法。即在近距离,约 $1\text{ fm}(10^{-13}\text{ cm})$ 距离之内,介子交换的计算结果,不能令人满意。近几年来,开始把核力的研究与强子结构的量子色动力学联系起来。

根据量子色动力学,核子是由三个夸克所组成的。夸克之间的作用通过交换胶子来完成。组成核子的三个夸克永远禁闭在“袋”中,所以核子是一个含有三个夸克的袋。关于袋的大小,不同的理论不一样,半径大约为 $0.4\text{--}1.0\text{ fm}$ 。核子在核内的距离(约 2 fm)跟袋的大小差不多。尽管在相同的核子之间存在着短程的斥力,但是有可能,两个袋相碰撞而成为一个含有六个夸克的袋。从理论上虽然现在还没有较好的办法来处理这种过程,但是人们都认为,在近距离时,应该用量子色动力学来处理。看来,夸克在核力中所起的作用是一个很根本的问题,也许是了解核力的根本途径。

为了实验上搞清楚核内核子的分布及其夸克结构,必须用能量较高的探针,才能发生近距离的作用。大家一致公认在这种场合最好用高能电子或光子作为探针。这种探针跟质子等核探针相比,优点很多。首先是电子和光子跟核的作用主要是电磁相互作用。电磁相互作用是了解得最清楚的一种相互作用。其次,电磁相互作用的强度低,当电子或光子通过核时,并不使核的结构发生重大的变化。还有,这种探针对于核内局部的电荷和流的密度的变化是很灵敏的。这就使得电子和光子是探索核结构的理想的探针,用它们所得的讯息是直接而明确的。70年代初,在美国斯坦福直线加速器中心进行的高能电子散射实验($0.8\text{--}20\text{ GeV}$)。在高动量转移时,可以看出,在核子内部存在着点状的内部结构。这是夸克存在的一种证明。

现在的要求,是要比那时候更进一步,更提高一步实验精度去研究核和核子的结构。这个领域是一个新的、高分辨的、短量程核物理实验。要求建造新的电子加速器来完成这一任务。这新一代实验是高动量转移,计数率低,往往需要用符合办法来选取事例。因此要求一台高流强(平均约 $100\mu\text{ A}$)、高负载因子(最好 100%)的高能($2\text{--}4\text{ GeV}$)电子加速器。现在一般的电子加速器的负载因子小于 5% 。

目前美国有好几个关于电子加速器的建议正在竞争中,初步中选的是美国东南部22所高等院校(SURA)所建议的,加速器的代号是NFA L。

NFA L的建造费用约一亿美元,每年运行费估计约二千万美元。如果批准,大约在八十年代末完成。电子直线加速器为 2 GeV ,经过一次返航加速达 4 GeV 。电子脉冲的宽度是 $1.2\mu\text{ s}$ 。注入拉宽环,环的周长360米。电子的速度接近光速, $1.2\mu\text{ s}$ 的脉冲长360米,正好差不多把环填满。电子在拉宽环内转约800次之后,第二个脉冲才进来。电子在拉宽环内运动时可以连续地慢引出,这样得到直流的电子束。电子束还可以考虑

注入同步辐射环,用来产生同步辐射。

研究核力和核结构的另一条有前途的途径是利用中、高能加速器所产生的 π 介子、K介子、 μ 子、中微子、反质子等基本粒子来轰击核。这样可以从不同的方面来了解核力,寻找核内相互作用的新的自由度以及各色各样的新奇现象。七十年代初,建造了三台中能加速器(两台500MeV,一台800MeV)专门用来产生 π 介子,名叫介子工厂。近两年多来,美国和加拿大都在讨论要建造K介子工厂。美国洛斯阿拉莫斯国家实验室有一建议,要建造一台强流质子同步加速器,用来产生 π 、K、 μ 、中微子、反质子等次级粒子。 π 介子和K介子的产额将是现在运行中的加速器所产生的75—100倍(将是西欧核子中心28GeV加速器的100倍,布鲁克海文30GeV加速器的75倍)。物理实验的方向也是高精度、高分辨率的核物理实验。所建议的质子同步加速器为16GeV,每一脉冲 10^{13} 个质子,每秒60个脉冲,平均流强100 μ A。加速器约需7500万美元,次级束流管道和实验设备约需7500万美元,总共约一亿五千万美元。从开始提出建议算起,大约需八年完成,也是到八十年代末。

从目前国际上的发展情况看来,发展中、高能加速器(电子、质子),用来研究强子结构与原子核的关系, π 、 Δ 、 Σ 、超子等在核内的自由度,是当前核物理的主要潮流。

(二) 重离子核物理

重离子核物理是目前核物理研究的另一个重要前沿。跟前面所讲的关于核力和核结构的研究不同。前面讲的是以电子或别的基本粒子为探针,探索核和核子的结构,探索近距离的现象,研究核力的短程部分。重离子核物理则以大块核物质(例如铀离子)与大块核物质相碰撞(例如靶核也是铀),以产生种种全新的现象和物质。这些全新的核物质也许在其他星体上存在,或者在宇宙发生演化的过程的某一阶段中曾经存在过。

这两个前沿的最终目的都是为了了解原子核的基本规律,但是在不同的核系统内研究的规律不同。前者用最简单的探针去研究最简单的系统,希望得出最根本的规律,然后用这些基本规律去了解复杂的系统。后者用最复杂的探针去产生更复杂的系统,然后在对于这些全新的、复杂的系统的研究中,扩展核物理的研究领域。

在重离子核物理的研究过程中产生的全新的核物质,其中有些很可能是很有应用价值的。重离子核物理的一个目标是寻找理论上预言的超重元素。另外,在反应中产生的很多远离 β 稳定线的核素,对它们的系统的研究也许可以找出很有应用价值的新核素。

目前已经建成和正在建造中的重离子加速器能够把铀核加速到10MeV/核子,这一能量足以使铀核越过靶核的库仑位垒。这些加速器有的可以把轻核加速到100MeV/核子。表4是世界各国可以加速到铀的重离子加速器。

这几年来,人们对于能量更高的重离子核物理讨论得很多。当能量提高到约10GeV/核子时,即所谓相对论重离子,将开辟一个全新的领域。现在还没有这样高能的重离子,从已有的重离子实验结果看来,能量为10GeV/核子时,当入射离子与靶核接触时,有可能全部能量集中这两者组成的系统上,这样,核的密度和温度将大大上升。由于核子密度大,夸克袋互相接触,夸克可能失去禁闭,因而夸克可以自由活动。原子核就从经典的核物质(核子和介子)变为夸克—胶子等离子体,一种全新的物质状态。宇宙起源的大爆炸理论认为,在宇宙开始的第一秒钟,宇宙是夸克—胶子海。如果我们能在实验室内产生这种物态(只持续 10^{-22} 秒),将使我们对于基本粒子和核物质

的认识前进一大步。

相对论重离子碰撞时还可能产生很多新奇的现象。例如产生李政道所预言的不平常的核态。这种核态的核子数可能从350到100,000。它将具有极其奇特的特点,能吸收大量中子而存贮大量能量,也许将来有一天可以利用它作为新的能源。

Bevalac现能把铀离子加速到0.9Gev/核子,能量还不够高,作为相对论重离子加速器,它只能当作初步探索的模型加速器。美国劳伦斯贝克莱实验室提出建造一台名叫V E N U S的相对论重离子加速装置。设计把铀离子加速到10Gev/核子,并且考虑可以更进一步改装成20Gev/核子的铀离子对撞机,相当于1000Gev/核子的重离子轰击固定靶。这一建议尚未被通过。

至于从100MeV/核子到1Gev/核子是一个过渡区。核物质怎样过渡到夸克一胶

表4 重离子加速器现状

	结 构	完 成 日 期	是否全粒子	能量MeV/核子	
				轻离子	重离子
我国,近代物理所	碳聚焦回旋、分离扇回旋串连	1983 (第一期工程)	到1985 (第二期工程)	100	10
法国, Caen的 GAN IL	两台分离扇回旋串连	1982	是	100	10
美国,密执安州立大学	两台超导回旋串连	1985	是	200	20
加拿大, Chalk River	串列静电、超导回旋串连	1984	是	50	10
意大利,米兰大学	串列静电、超导回旋串连	1985	是	50	10
西德, GS I的 UN ILA C	直线加速器	1982改进,加速到能量为20MeV/核子	是	20	20
美国, Bevalac	Superlac和Bavatron串连	1982年改进加速到铀	是	2,700	900
美国, Oak Ridge	第一期工程,串列静电、回旋串连	1979	第一期到A=160	25	6
	第二期工程,串列静电、超导回旋串连	1986	第二期到铀	200	45

子等离子体,当然是一个十分有意义的问题。不过,现在人们首先感到兴趣的是,是否存在这种等离子体状态。国外还没有人建造这一能量范围的重离子加速器。

重离子加速器有很多应用,重离子在分子、原子物理,固体物理,生物,医学等方面都有应用,用重离子轰击,可以产生许多新现象。有人建议,用重离子加速器作为可控热核反应的点火装置。

相对论重离子核物理将为核物理开辟一个全新的领域,它是当前核物理的又一主要潮流。

(三) 低能核物理

低能核物理是核物理研究的传统领域。它用介子阈能(140MeV)以下的轻离子和较轻的重离子作为探针,研究核力性质和核内核子运动规律。尽管随着大型加速器的建造,在中、高能区和重离子核物理领域为核物理的发展提供了新的可能,但低能核物理的实验手段和理论方法仍然是研究原子核的最常用的有效的工具。迄今人们所积累的关

于核力和核结构的知识，主要来自低能核物理的研究。随着加速器性能的改进和探测器及数据获取系统的发展，低能核物理的研究正向精细方向发展。60年代发展起来的半导体探测器为带电粒子和 γ 射线的探测提供了效率适中而分辨率高的探测手段，与束流能散度小的串列静电加速器配合，人们获得了大量精细的数据。70年代趋于成熟的极化束流技术及正在迅速发展的极化靶技术，为核物理实验提供了新的发展方向。核力不仅与核子之间的距离有关，而且依赖于核子自旋的相对取向。原子核内核子的不同相对取向，形成不同的能态。极化技术的应用及其进一步的发展必将揭示核力对核子相对取向的依赖规律，并将成为新的有力的核谱学工具，还将促进核反应机制的研究。加速器束流脉冲化技术及毫微秒脉冲技术的发展增强了对不同寿命态的研究能力。低能核物理正在继续沿着向能量、时间和空间取向的高分辨方向发展。与重离子核物理和中、高能核物理相结合，人们必将获得更精确的核数据，深化和丰富人类关于原子核的知识。

四、问 题

（一）对于实验设备的建造不够重视：

对于实验设备的建造的重要性是人所共知的，大家也这样谈论。现在为什么说是不够重视呢？这是从过去的历史来看，往往当时由于投资所限，经常把实验设备的建造放在第二位。造成的原因有二：一是认为有了加速器或反应堆，下一步总是好办；二是作预算时为了争取通过，往往估计经费过于乐观，结果不够用，只好先保住加速器。

造成的后果是，以往加速器或反应堆建成之后，在相当长一段时间内，只有少数几个实验在进行，加速器或反应堆的利用率很低。

今后解决的办法是：首先应该认识到，现在的核物理实验设备往往是相当复杂的，数据的获取和分析都必须依赖计算机。不但投资大，建造也比较费时。其次在作规划时，应同时有建造加速器（或反应堆，下同）和实验设备的规划，充分估计经费需要。建造时同时并进。

另外，还要指出一点，加速器和实验设备建成之后还需要不断改进。从国外经验看来，每年运行的经费，大约是建造费用的10—20%，不是一笔小数。

（二）人员老化：

人员老化是科学院内普遍存在的问题，核物理方面也不例外。现在虽然强调人员流动，实际上很难，一个单位无法解决。

科学院的几个研究所，近代物理所、原子核所、高能物理所都是老所，人员编制已满，新人无法进入，老化现象将一年比一年严重。如果不从现在起就采取措施，十年之后，问题将极其严重。解决的办法可以考虑：（1）大量招收研究生，每年招收人数应不少于该所科技人员总数的3—5%。在研究生中挑选人才。（2）不受编制所限，每年进若干新人（例如约为科技人员总数的5%），这些新人必须满足一定的年龄标准（例如大学毕业小于30岁，硕士小于40岁，博士小于45岁）。新人可以考虑采用合同制。

（三）仪器设备：

核物理用得最多的仪器设备是核电子学，此外是一些标准的探测器及其元件（如闪烁晶体等），国内有少数工厂生产。问题是：（1）、价格太贵；（2）、可靠性差。

这两个问题是国内电子学产品普遍存在的问题。如果有关工业部门不采取根本性的改革,恐怕很难有较大的改进。

(四) 基建体制:

加速器、反应堆是大工程,属于国家基建工程项目。按照规定凡是基建项目,在编制扩大初步设计时,必须开列包括今后几年内一直到建成时所用的全部仪器设备清单,以后基建银行按清单付款,规格型号不符合的就拒付。现在仪器设备换代很快,计算机、核电子学二、三年一代。而我们在五、六年后,却不得不用已经淘汰了的产品。这是非常不合理的,可是这是国家规定,一时无法改变。这种办法如不改变,我国的科研工作,尤其是实验室建设,很难赶上先进水平。

五、设想

核物理的研究需要加速器或反应堆等大型设备,是一门需要较多投资的学科。因此在考虑它的发展时,除了学术上的必要性外,还要考虑经济上的可能性。

现在这个设想分两部分。第一部分是保证我院核物理研究能够在现有的基础上正常发展,逐步缩小现有领域与国际水平的差距所必需的,估计在投资上不超过最近几年的水平。第二部分是考虑到国民经济到2000年翻两番,在科研方面的投资相应增加的前提下,扩大研究领域,加快缩小差距。

(一) 设想的第一部分

1、重离子核物理:

1988年我院兰州近代物理所分离扇重离子加速器第一期工程完成,可以加速到氩。离国际上可以加速到铀还有一定的差距。一方面应该加速建设物理实验设备,开展物理实验。另一方面应该在第一期工程完成之后立即开始第二期工程,加速到铀,争取在较短时期内完成。这样在加速器设备条件上达到国际上1982年的水平。

2、低能核物理

由于核内核子之间的相互作用在几MeV到几十MeV范围,低能核物理使用的探针(介子阈能以下的轻离子和较轻的重离子)仍是研究这个能区核子之间相互作用和核结构的最直接、最灵敏、最有效的工具。低能核物理研究中获得的核数据又是原子能应用及各种微观核探针(在凝聚态物理和生命科学中有广泛的应用)的基础。另外,应该特别指出,低能核物理所需的设备(加速器和探测系统)规模较小、投资较少(跟重离子核物理和中、高能核物理相比),在我国经济力量有较大增长之前较易建成具有特色的研究基地。我院在这一领域的人力和设备都有一定基础。上海原子核所1.2米回旋加速器已被改建成1.4米等时回旋加速器,质子束能量从10MeV到30MeV连续可调。正在建造的 2×6 MV串列静电加速器计划在1987年建成,建成一段时间后,端电压可望进一步提高到8 MV。把围绕上述两台加速器的核物理实验室建设好,向能量、时间和空间取向的高分辨率方向发展,在轻核反应和核谱学方面开展深入系统的研究工作,是我院在核物理领域做出有特色的科研成果的有效途径。建议采取下列步骤:

装备1.4米等时回旋加速器核物理实验室,使其达到国外同类实验室水平;

筹建 2×6 MV串列静电加速器核物理实验室,使其达到国外同类实验室水平,包

括增添一台极化离子源为加速器配套。此外，配后加速装置以提高重离子束的能量。

3、核技术应用

为了满足我院各学科对于核技术应用的需要，急需建造一至三座功率不大（约几千KW）的反应堆，用来生产同位素、进行活化分析等应用工作。如能建造三座，可考虑分别建造在北京、上海和兰州三个地区。

4、用电子加速器进行核物理研究

前面已经提到，核物理前沿之一是用电子或介子等基本粒子研究核。国外有人建议建造2—4 GeV电子加速器和十多GeV强流质子同步加速器。这两种加速器的投资都在一亿美元以上，对于我院来讲是太大了。

我们只好降低要求，尽量利用已有条件。可以考虑利用高能所的电子直线加速器。高能所计划在1988年建成一台正负电子对撞机，由一台1.4 GeV电子直线加速器和一个储存环构成。这台电子直线加速器作为注入器。每次注入完毕后，储存环可以运行几小时。所以这台电子直线加速器有不少时间可作别用。当88年对撞机完成之后，为了能够全能量注入，电子直线加速器的能量将逐步提高到2 GeV以上。这样从能量上看，是合适的。但是平均流强只有2—3 μA 。需要作下列改进和添加设备：一是要把流强提高，需要增加加速调管的数量或提高每一个的功率。估计平均流强可能提高到10 μA 。二是必需建造一个拉宽环。这样虽然平均流强比人家弱一个数量级，但是还是有不少工作可做。此外，它也还可以用来产生 π 束，虽然流强也低，但在 π 的能量范围方面，比现在的介子工厂高，有其特色。

（二）设想的第二部分

在完成设想的第一部分之外，应考虑增添下列设备：

1、低能核物理和重离子核物理增添的设备

虽然兰州近代物理所的重离子加速器在第二期工程完成之后可以加速铀，但是在较轻的重离子方面，缺少合适的加速器。2 × 6 MV串列静电加速器能进行的低能核物理研究相当局限，低能核物理研究需要有能量更高一些的轻离子加速器。一台2 × 30 MV的串列静电加速器可以满足上述轻离子和较轻重离子两方面的要求。这样一台加速器在应用上的用途很广。上海原子核所在完成2 × 6 MV串列静电加速器后，可以考虑着手研制30 MV端电压的串列静电加速器。或者研制一台可把质子加速到200 MeV的超导回旋加速器，投资要比2 × 30 MeV串列静电加速器低一些，可以部分满足上述两方面的要求。

2、核技术应用

除了第一部分中提出的功率不大的反应堆外，建议建造一台功率在10,000 KW以上的堆，最好是高中子通量的，用来进行固体物理等方面的应用研究。

3、我国在中、高能核物理，相对论重离子核物理方面，到2000年，除了高能电子方面可能可以有一套不十分理想的加速装置之外，没有相应的加速器，这些方面的工作无法开展。为了弥补这两方面的缺门，可以考虑通过参加国际合作来进行工作。但今后的合作必须是独立自主的，从开始提实验建议一直到制作设备、进行实验、分析结果，我们都应有发言权。不应该把钱投入别人主持的实验，而我们却无权支配。

叶铭汉（高能物理所）

本专题材料初稿经专题组全体同志和张家骅、石双惠等同志审阅，特此表示感谢。