

兰州重离子研究设备(HIRFL)将重点发展的重离子核物理研究和实验区建设的进展

沈文庆

(中国科学院近代物理研究所)

HIRFL出束后可提供三个能区为重离子物理研究使用(图1)。I₀区由SFC注入器供束,主要进行库仑位垒附近的核反应,原子物理及应用研究;I区由SFC和SSC联合运行不加剥裂器,主要进行低能重离子物理及应用研究;II区由SFC和SSC联合运行且加入剥裂器,可进行中能核碰撞研究。装上ECR源后,HIRFL最高能量大体和图1上GANIL曲线相当,可提供更重的炮弹,进行中能核物理研究。根据我们过去的基础研究状况及正在发展的实验终端的状况,我们重点将从I区开始进行细致的研究,同时逐步向II区发展。

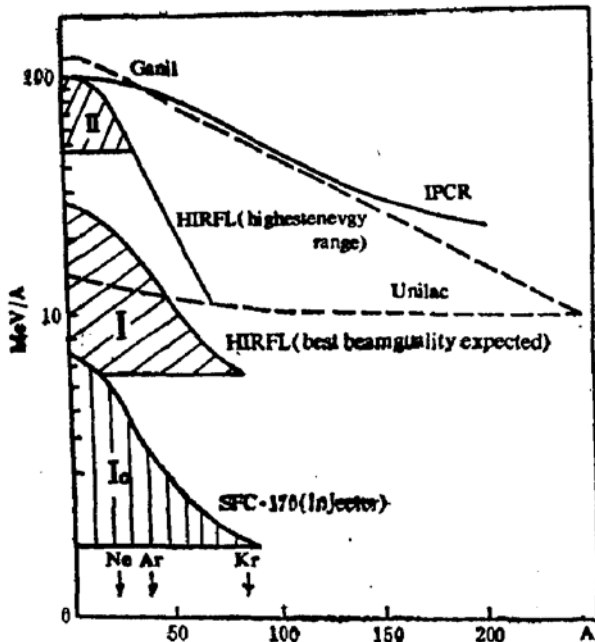


图1. HIRFL工作的三个能区

一、重离子核物理发展简况

低能重离子核反应经历了十几年的发

展,已初步建立了一个唯象的框架,但还有很多问题及重要细节没有解决,特别是核反应初始阶段的特性,系统如何从非平衡态向平衡态,从有序向无序状态发展的;准弹深部非弹及全熔合等各种反应机制边界处的新反应机制,核反应的动力学及形状等一些新的自由度的影响等;亚位垒熔合截面的异常增强,冷熔合反应,熔合反应和核结构的效应、裂开反应,非平衡态发射粒子,核反应中的巨共振激发等都一直是很热门的课题。人们对原子核这一特殊微观量子系统的特性及其在低能核反应中的行为还在继续研究。

目前很多核物理工作者转向中能,甚至相对论重离子方面工作。中能区是低能核反应和相对论性核反应的过渡区,在核物质的相互作用中会出现一些新现象,目前各国正在竞相研究一些重大课题。例如核物质的气液相变,正常核物质状态下每个粒子可承受的激发能的极限; π 介子阈下产生和高能 γ 产生的原因;擦边反应中的碎裂,多重碎裂,发射复杂粒子,中心碰撞中的线性动量转移,熔合的极限等,可以说在这个领域,情况还比较混乱,需要更多的实验数据及更完满的理论来解决这些问题。

六十年代中预言质子数114,中子数184附近存在超重稳定岛以来,各国已投入了大量人力物力来进行研究,成立检验并发展现有核理论的重大课题,同时预言存在的核素有5000多个,目前仅找到2000个左右。随着新核素的发现,也不断发现了 β 延迟中子和

质子双质子衰变, 直接中子、质子和双质子衰变, 甚至发射 ^{14}C 衰变等一些奇异衰变方式。在合成新核素及新元素, 寻找奇异衰变方式领域内, 竞争剧烈, 一些国家的实验室往往占住一个区域, 全力合成该区域内一系列新核素, 并作为他们的重要科研成果加以宣扬。至今还没有一个由中国人合成的新核素。

由于重离子在核反应中可产生高激发能, 高能动量及大形变的激发态, 使人们对原子核性质的研究增加了角动量及形变等自由度, 高自旋态回弯现象, 超形变带的发现等大大丰富了核理论。目前还向更高自旋态(已达 60^+)进军, 同时对 γ 连续谱及级联退激的 γ - γ 能量关联等方面深入进行实验。

二、兰州重离子核物理研究的基础

七十年代初近物所逐步转向低能重离子物理基础研究。主要工作有: 1) 低能重离子核反应中发射 α 机制的系统研究; 2) 轻系统深部非弹性散射的系统研究; 3) 轻重离子引起的裂变及鞍点形态的研究; 4) 轻系统全熔合截面及激发函数研究; 5) 超铀元素及远离 β 稳定线核素的合成及衰变性质的研究; 6) ^{128}Ba 高自旋态的研究; 7) 用放化技术研究反应机制及合成远离 β 稳定线的核素; 8) 低能重离子核反应机制的理论研究; 9) 高速转动核的核内关联的理论研究。这些研究工作表明, 在重离子核物理科学的一些小领域内, 我们已开始作出一点贡献。

与此同时也发展了一些实验和探测技术, 例如: 重离子飞行时间望远镜; 大面积位置灵敏电离室及布喇格电离室; 带 γ 屏蔽室的在束 γ 测量技术; 氦喷嘴系统和 Δt - t 技术; 在线快速化学分离技术及通用散射室等。这些技术、实验方法及上述实验工作为今后在HIRFL进行实验及现在实验终端的建设打下

了基础。

三、HIRFL将重点发展的重离子核物理研究

目前已有十几个在1.7米及将来在HIRFL开展实验的课题, 其中大部分得到了院内基金, 国家基金的资助。其主要内容有: (1) 远离 β 稳定线核素的合成及奇异衰变性质的研究, 主要集中在超铀区, $A = 150$ 及 $A = 50$ 附近的缺中子区; (2) 重离子非完全深部非弹性散射新反应机制的研究; (3) 不完全熔合裂变, 跟随裂变及快裂变的的研究; (4) 非线性动量转移的研究; (5) 深部非弹及发射粒子的阴影效应研究; (6) 轻粒子发射机制及中能下发射复杂碎片的研究; (7) 轻系统全熔合激发函数及全熔合和非全熔合的竞争; (8) 亚位垒熔合的研究; (9) 高速转动核的核内关联理论研究及 $A = 130$ 区域核的高自旋态的实验研究; (10) 中低能重离子反应机制的理论研究。

根据国外情况和本所基础, 我们初步打算:

(1) HIRFL建成前以建好实验终端及共用设施为重点, 抓好从过去的实验向HIRFL的实验的过渡工作, 努力在重离子非完全深部非弹, 准裂变及跟随裂变研究和合成新核素及奇异方式研究三个方面的前期研究中做出一些成果来, 其中重离子非完全深部非弹, 已经在1986年底到1987年初在荷兰KVI以我

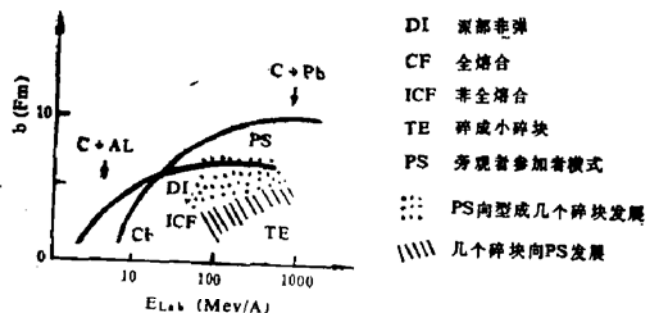


图2. 理论计算的重离子核反应机制随轰击能的变化(核反应相图)

们为主完成了首轮实验。初步分析结果看来很有希望肯定在 $11\text{MeV}/A^{20}\text{Ne} + ^{27}\text{Al}$ 反应中存在这种反应机制，图2显示了Bondof理论预言的核反应相图。我们设想在 $10-20\text{MeV}/A$ 附近对轻的炮弹还应加入非完全深部非弹这一新反应机制，并努力通过一系列实验来研究它。图3显示了我所人员根据在国外的实验数据总结的跟随裂变几率随索麦诺参数变化的情况，显示出壳结构效应的影响，我们将沿着这个方向深入进行研究。这一阶段特别鼓励实验人员和理论人员结合，在裂变和准裂变的理论描述，轻系统深部非弹的理论分析及合成新核素截面，最佳反应道和奇异衰变方式的预言方面作出一些成绩来，为以后在HIRFL开展工作打下基础。

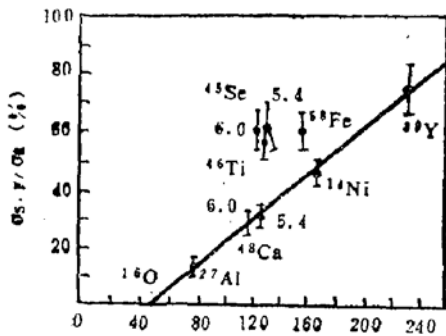


图3. ^{238}U 引起的反应中跟随裂变几率随索麦诺参数的变化情况。

(2) HIRFL建成初期，初步设想以四个方面为重点，力争做出国际水平的工作来。1)以轻系统深部非弹及非完全深部非弹为基础，向中能擦边的碎裂反应方向发展，结合发射中重碎片的测量在重离子擦边反应机制分类，特点及象气液相变这类现象对反应的影响等方面深入工作；2)准裂变及跟随裂变的系统研究，核结构效应的影响及发射粒子和这些反应的联系，向中能对心碰撞研究发展，希望能在核反应动力学，裂变过程的形状描述，各种裂变反应分类，特点等方面做

出高水平的工作；3)如图4所示，我们将在超铀， $A = 150, A = 50$ 区试图合成一些缺中子同位素。并着重研究 β 延迟质子发射及 β 延迟双质子裂变及 β 裂变谱学，希望通过几年努力合成一些新核素，并通过这些研究丰富有

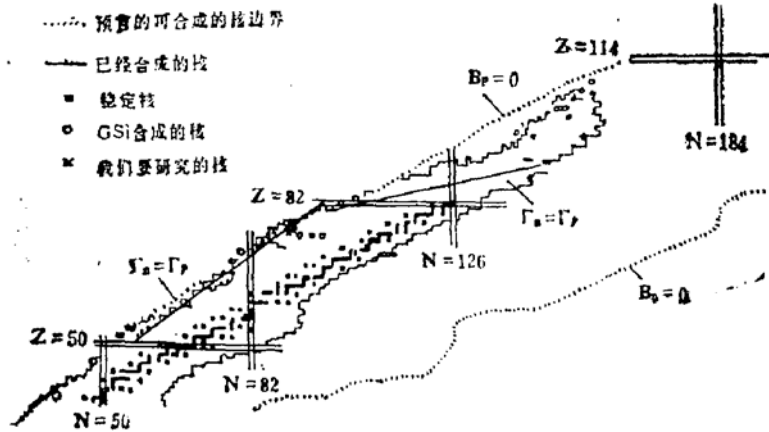


图4. 我们试图合成的新核素的图示

关核结构和核裂变的知识，验证并发展核理论；4)我所在高速转动核的核内关联方面已做出一些成果，几年内努力丰富和发展出一套高速转动核的核内有效关联的思想和方法加以分析和预言实验，同时在实验上对 $A = 130$ 附近的核的高自旋态进行深入研究，图5

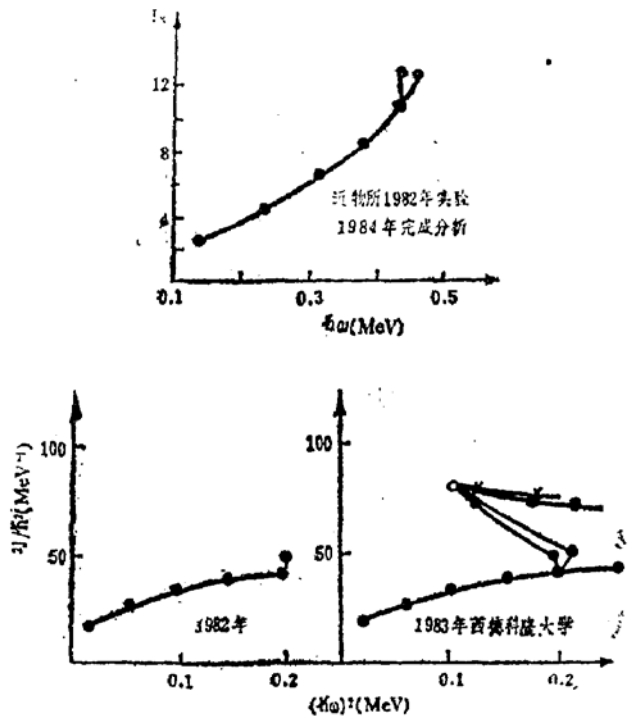


图5. ^{128}Ba 高自旋研究的发展

显示了 ^{128}Ba 高自旋态研究的发展,我所在发展在束 γ 技术的早期已在这方面迈出了一步,希望今后能在这方面有所创新和发展。

(3) 以上初步计划仅涉及我所重离子核物理研究的一些方面。HIRFL将为全国同行提供重离子实验手段。我们相信HIRFL建成前这一段时间内全国同行将会提出一系列好的实验课题。HIRFL建成后将由它的管理委员会和学术委员会评选课题,定出重点发展方向来。

四、HIRFL各物理实验终端建设的进展情况

随着HIRFL计划的顺利实施,一个与之配套的包括8个实验终端及公用的实验设施的较为先进的重离子物理实验室的建设也正在紧张地进行之中。在83年底全国同行及有关专家讨论并通过的初步规划和总体布局的基础上,三年多来我们完成了实验大厅内束流运输,处理和分配系统;8个实验终端及公用实验设施的物理设计和技术设计并投入了紧张的研制建造阶段,个别进展较快的实验终端已经完成了各部件加工测试,等待进行总装和调试。由于HIRFL加速器具有一系列优越的性能,可以开展多方面的工作,只有全国的同行共同来管好用好这台器,才能充分发挥效益。为此我们在HIRFL实验区规划和建设中留下了充分的余地供今后全国同行们发展之用。HIRFL实验区中正在建设的实验终端也仅覆盖了HIRFL可进行的几个方面的物理工作,即低、中能核反应机制研究,远离 β 稳定线新核素的合成及其衰变方式研究,在束 γ 研究,原子物理及重离子辐照效应研究。在HIRFL实验区建设中,我们特别着重加强了公用实验设施建设,包括数据获取和处理系统,测试室建设,公用NIM及CAMAC库,公用机械真空系统及相应的真空、探测器、电子学和制靶实验室,这些公用实验设施将为全国同行利用HIRFL开展工作提供方便。

HIRFL划分成三个实验区(图6)。I区使用SFC束流将安放1米散射室,并留有一根束流管道供发展用。II区内SFC束流经剥离后,除进一步将由SSC加速的电荷态外,相邻电荷态的束流可同时引出使用,这里留有2—3根束流线的空位供发展用。III区是主实验大厅,面积56米 \times 26米,目前仅安放8条束流线及8个实验终端,仅占2/3面积。将来可加入 Ω 形束流处理系统及新的束流线和新的实验终端。

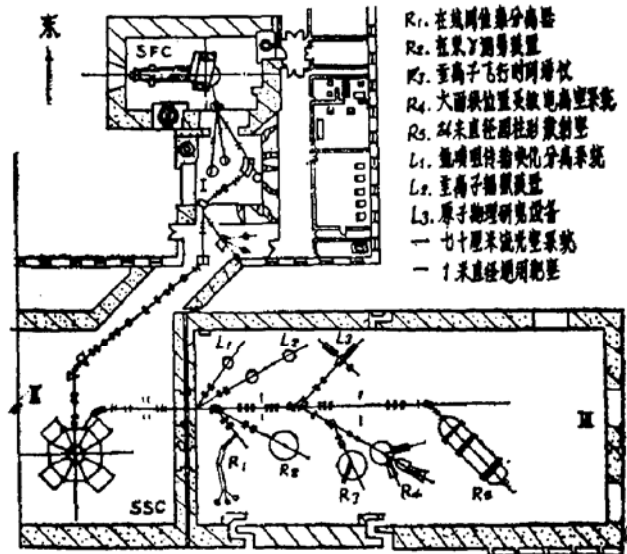


图6. HIRFL实验区的总布局

各物理实验终端建设的进展情况如下:

1. 2.4米直径球筒形通用靶室—全长6米,由二个半球形封头及长1米和4米的二个长筒组成。已完成加工,设计极限真空 5×10^{-6} 托,正等待进行真空试漏。靶室内配三个大环并安装探测器支架,及装靶系统,这些部件正在加工。该设备主要用于中、低能核反应机制研究,最小探测角 1° ,最大飞行距离6米,最小飞行距离1.4米。将安装的探测设备为:12个 $20 \times 25\text{cm}^2$ 双栅雪崩室,分透射式和阻止式二种,位置分辨4mm,时间分辨240PS;5—10套条形位置灵敏闪烁计数器, $100 \times 5 \times 1\text{cm}^3$,位置分辨5cm及5个Bragg电离室,有效长度50cm及100cm二种。第一批探测器的试制工作已完成,首先将在SFC上投入实验。

2. 大面积位置灵敏电离室实验终端—

这是一台为开展10—100MeV/A重离子周边反应机制研究为主要目的的实验终端。包括的主要设备有：带有二个转臂的1.5米直径的靶室；1.4米长度的大面积位置灵敏电离室其阳极分成5部份， θ 方向分成四部分，现有的80cm大面积位置灵敏电离室及二个35cm电离室，主要指标为 $\Delta E/E < 1\%$ ， $\Delta X = 2\text{mm}$ ，

$\Delta Y = 4\text{mm}$ ， $\frac{Z}{\Delta Z} = 40 \sim 60$ ；四个宽量程多

叠层望远镜；四个双维位置灵敏雪崩探测器及一些零时间取出平行板雪崩探测器。靶室和新做的电离室正在上海加工之中，其它探测器的试制工作也已初步完成。

3. 带重离子望远镜的飞行时间谱仪—钢带滑动密封可在 $10^\circ \sim 150^\circ$ 内转动，靶室直径60cm，内装有在平面和出平面转臂，用微道板及平行板雪崩探测器作时间探测器，用Bragg电离室作重离子望远镜。时间分辨

200~300PS，E分辨 $< 1\%$ ， $\frac{A}{\Delta A} = 60 \sim 80$ ，

$\frac{Z}{\Delta Z} = 30 \sim 50$ ，飞行距离0.5米到3米内可调。

该设备将用于某些需要较精细测量的核反应机制研究中，整个设备已基本完成，等待在实验大厅就位。

4. 在线同位素分离器—这个设备专门用于远离 β 稳定线新核素的合成及其衰变方式研究。由靶离子源系统，单透镜和双组合四极透镜， 55° 偏转磁铁，开关磁铁及三条在束实验管道组成。主要技术指标为：加速电压50KV，磁铁半径1.5米，分辨本领1000—1500，质量色散7.5毫米（对 $M = 200$ ），总效率 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ ，可分离半衰期大于100ms的核素。该设备主要部件的加工，测试已完成，已开始实验大厅组装。三条实验管道的建设将在88年开始。

5. 在束 γ 测量装置—主要用于核结构研究，例如高自旋态研究同时也可配合进行重离子核反应机制研究，由六套BGO反康普

顿高纯锗探测器，多个六棱柱BGO组成的多重性滤波器及支架系统构成。六套反康外壳已到货，经测试达到目前国际上通常的水平，支架系统已完成设计正在加工。六个高纯锗探测器已订货。已到货二套BGO六棱柱探测单元，经测试达到国际上通常水平，另二套BGO六棱柱用国内材料自制，正在进行中。多个六棱柱BGO组成的多重性滤波器将在今后逐步发展。

6. 快化分离装置—由带可变体积气喷嘴的靶室系统，化学分离系统（气相，其分离时间1秒，效率 $> 40\%$ 及液相，其分离时间5秒，效率 $> 30\%$ 二套）及测量控制系统等组成。主要用于合成远离 β 稳定线核素及衰变性质研究。该装置已完成设计，正在加工制作中。

7. 原子物理实验终端—由气体碰撞靶室，固体碰撞靶室，光谱和能级寿命测量靶室，X射线和散射粒子符合测量系统，真空紫外光谱仪及X射线晶体谱仪组成。将开展原子能级寿命测量及原子碰撞过程研究，目前已完成物理设计和技术设计，正在进行加工订货之中。

8. 重离子辐照装置—由束流均匀化系统（ $50 \times 50\text{mm}^2$ ，非均匀度 $< \pm 5\%$ ），束流监测系统，包括恒温装置在内的辐照靶室，束流快门及探测器等组成。主要开展重离子束制备核微孔过滤器，单孔膜，材料表面改性及辐照损伤研究。已完成物理设计和技术设计，正在加工订货之中。

五、公用实验设施建设的进展情况

HIRFL实验大厅供实验设备用的公共粗抽（ 5×10^{-2} 托）供水、供气、稳压去干扰的供电系统、屏蔽、调束、电视监控等设施已基本完成设计正在加工之中。HIRFL实验大厅到测试室各种讯号电缆的连接，探测器到

NIM机架, NIM机架到CAMAC再到计算机的传送方式, HIRFL测试室建设也已完成设计正在加工之中。公用NIM库已初具规模, CAMAC订货也已基本完成。正在积极筹建核电子仪器的维修测试中心, 供实验上器用的真空实验室及供实验上器人员使用的钳工间, 数据获取和分析用的计算机已订货。现有的一台PDP11/44将用于SFC实验(大致40参数), 一台PDP11/44及一台MICRO-VAX-II分别用于HIRFL实验(供200~300参数实验)。一台VAX-8300用作数据离线处理及理论计算。第一阶段根据GSI的JuHu软件系统改造的数据获取系统基本上已可工作。该系统可同时获取15个子事件, 每个子事件参数几乎无限, 子事件之间实现跳零写带, 获取速率大致70KW/秒, 有丰富的操作及显示命令, 还带有离线分析功能。第二阶段将加入快速CAMAC机框, 以DMA方式输送数据, 硬件已由我所人员去美国贝克莱实

验室制作。第三阶段将用MICRO-VAX-II作前端机, 方案正在设计中。为了加强对HIRFL上进行实验的支持, 我们正努力加强现有的制靶实验室, 探测器实验室及核电子仪器研制实验室。

六、展 望

HIRFL将逐步成为我国开展重离子实验的中心之一, 它将是流动、开放、联合的实验室, 将由全国的有关科学家来共管、共用、共同发展。目前HIRFL实验区建设仅是它的第一阶段, 留有足够的余地供进一步发展。一些重要的设备, 例如和主束分离的次级束流线, 大型磁谱仪, π 介子谱仪, 正负电子符合谱仪等并未考虑在内。根据HIRFL出束后的实验工作, 世界上重离子有关学科的发展, 八年后我国和重离子有关的科学家们将可定出它的下一阶段发展计划。

会议报导

全国原子分子参数学术讨论会简讯

全国原子分子参数学术讨论会于1987年8月26日至31日在秦皇岛市召开, 由应用物理与计算数学研究所主办。中国科学院学部委员、核聚变与等离子体物理学会理事长李正武教授, 科学院物理所孙湘教授和李家明教授等许多知名学者参加了会议。原子分子物理学界老前辈荀清泉教授非常关心这次会议, 因临时有事未能参加, 特向大会写信祝贺, 并送来题为“我国的原子与分子物理发展”的书面报告。

全国共有35个单位参加了这次会议, 提交论文和特邀报告83篇, 参加人数110人(其中列席代表22人)。特别是许多中青年原子分子参数专家和科学工作者参加了这次会议, 并提交了论文报告。

会议期间, 原子分子物理专业委员会和中国原子分子数据研究联合体分别召开了工作会议。原子分子物理专业委员会初步确定下次全国原子分子物理学术讨论会于1988年第四季度召开, 由武汉物理所主办。在会上CODATA中国委员会秘书处介绍

了CODATA中国委员会的工作情况。

会上报告和讨论了原子分子参数的研究成果, 互相交流了经验。进一步了解了不同领域对原子分子参数的需求以及原子分子参数在科技领域中的地位和作用, 便于选择研究课题; 交流了原子分子参数理论研究成果和计算方法; 报告了实验和测量结果, 对我国原子分子参数实验研究的现状、设备和研究水平有进一步了解; 作了电子碰撞、高电离态原子谱线和光电截面等方面的调研和评论, 为原子分子数据编评和建立原子分子数据库打下了基础。

与会者认为这是原子分子参数研究的一次重要会议。这次会议必将进一步动员全国的原子分子参数研究单位、专家和科学工作者, 加快研究步伐, 提高研究水平, 为逐步满足激光技术、核聚变、天体物理、航天科学、生物医学和同位素分离等方面的需要而努力工作。

(应用物理与计算数学研究所 贾宝琳)