

美国劳伦斯·伯克利实验室(LBL)十五年科技规划

景成祥 王兴林 编译

(中国科学院近代物理研究所)

LBL 在高能物理、核物理、加速器、核仪器、能源、生物学、新材料、核技术应用、天文学等许多领域的研究都处于世界先进水平。现将其制定的十五年(1986—2003年)规划中的“科学技术规划”部分简要介绍如下,以起到抛砖引玉的作用。

LBL 的研究规划是基于美国能源部持续的经费支持而开展的,主要是能源研究办公室的支持,其它部门提供约占 1/15 的经费支持。

能源研究办公室

能源研究办公室资助的重点仍是 LBL 的发展研究,其研究项目主要有:

(1) 积极参加全国性的同步辐射装置的设计和建造工作。LBL 的任务是建造 1~2GeV 能量的同步辐射源,并对阿贡实验室的一台补充的 6~7GeV 环给予合作。

(2) LBL 的核科学家将继续执行在贝伐拉克和 88 英寸回旋加速器上的生气勃勃的研究计划。他们准备在布鲁克海文交变梯度质子同步加速器(AGS)和西欧核研究中心的加速器上开展一些实验研究。为进一步加强极端条件下核物质的研究,正着手改进贝伐拉克装置(相对论性重离子对撞机)上进行各种实验和安装各种探测器的战略性研究与发展计划。

(3) 新材料中心(CAM)将持续为 LBL 的重大目标奋斗。另外,LBL 的另一一些材料科学计划,将加强新材料中心的建设。

(4) 高能物理方面,使用下列尖端设备上的先进探测器:斯坦福 40 兆电子伏直线加速器上的 MarK II、费米实验室质子—反质子对撞机上的对撞机探测器和 D—zero 探

测器、斯坦福改进后的正负电子发射贮存环上的时间投影室,将使该实验室的粒子物理研究得以加强和提高。此外,高级探测器的研究与发展方案,将会在新的最高能量加速器研究计划中得到强有力地支持。

(5) 在国家健康与环境研究规划中,LBL 将执行人体染色体组的研究计划,并同时从事现已进行的研究,如:结构生物学、生物工艺学和环境研究等。此外,在生物医学研究计划中将继续对带电离子放射外科和辐射损伤进行研究,并加强心血管研究,改进图象诊断系统,使之能了解疾病的生成与发展的基因。

一、基础能源科学

LBL 已成为世界上对生产和有效利用能源都很需要的材料物理和材料化学研究方面的领导中心之一。它在核科学、工程和地学、生物能研究等方面都有一些十分漂亮的正在执行的计划。现将它们一一介绍如下。

1. 材料科学

材料科学将继续加强这些前沿研究课题:分析现有材料;发展和鉴定新材料(如高温超导体);探索材料加工系统。扩充的课题有:开发新材料和研究新的同步辐射源;继续执行 x 射线光学、电子显微镜、固体物理学、冶金学和陶瓷学及材料化学方面的出色的计划。

2. x 射线光学

要在软 x 射线和真空紫外线区域研制强辐射源,如 1 ~ 2GeV 的同步辐射源,就还需创造新的光学器件和光学技术。x 射线光学中心正在研制几种辐射源,并正在研制一些能量在 20eV ~ 几个 keV 范围的辐射光子的传输、聚焦、色散和探测的新技术。规划的课题是研制:明亮的不完全相干 x 射线源及其有关的技术;用 x 射线干涉法在软 x 射线和真空紫外线波长范围内给自由电子激光振荡器涂层;用于 x 射线显微镜和 x 射线全息照像的 x 射线衍射器件;微秒量级的 x 射线记录系统;磁插入装置。为提高研究水平,x 射线光学中心在今后几年内将保持相对稳定。

3. 新材料中心

新材料中心扩充的规划是为增强美国工业的活力,满足工业要求的重要研究项目。另外,为研制那些高温超导体,还提出了几个研究计划,以适当加强合成、加工、鉴定和有关材料设备的综合研究。

表面科学仪器研制计划的宗旨是发明新的技术和仪器,核心是那些测试表面和界面特性的仪器和方法,其目的是推进隧道扫描显微镜的研制和应用,推进红外吸收光谱学的研究和改进线性光学和非线性光学技术。

催化与表面科学计划的核心是多相催化剂的合成和特性的研究,包括沸石及有关微孔晶体材料和过渡金属的合成,其目的是在分子级水平上了解催化过程和其它一些表面现象。

电子材料计划的宗旨是解决因砷化物存在而影响超大规模集成电路工业发展的一些技术性问题,搞清晶体生长中缺陷的形成机理、结构间的关系、半导体界面电子的特性及底衬缺陷对生长在它上面的薄膜性质的影响。

聚合物与合成物计划是研究聚合物和合成物的加工处理与其微观结构之间的关系。主要是分析各向异性材料(含聚合物晶体)

的结构情况,分析聚合液体、聚金属及其它一些材料表面间的相互作用,开发以聚金属结构为基础的计算工具。

陶瓷和金属界面计划是结合机制的研究与应用,进行表面附着的微观理论研究。使用先进技术,测定有关界面的微观结构和强结合参量,研究合成工艺及后处理加工。

酶致材料合成计划的方针,是用常规培养的菌酶来制备材料。由氨基酸与单糖单体组成的新型聚合物具有某些适合于非生物学应用材料的性质。研究工作既包括使经过特殊再处理酶的新化学链上的新单体聚合,又包括新增殖酶的现存单体的鉴定。

4. 国家电子显微镜学中心(NCEM)

NCEM 是一个向用户开放的国家设备中心,它除为能源部冶金学和陶瓷计划的研究服务外,主要为其它领域如生物学和地质学的研究服务。该中心的核心设备是全美独一无二的两台显微镜,即① 高压电子显微镜(HVEM),它可使电子加速到 1.5MeV;② 原子分辨显微镜(ARM),分辨率达 1.5 埃,它可对金属和晶体结构中的原子矩阵封闭单元照相。今后,该中心将稳步实施下列研究课题。

研究转换界面的结构与性质,以确定边界上结构原子的组态和界面性质与界面结构间的关系。已研究了几种材料,这些材料也许对半导体工业(如砷化镓)和太阳能元件工业产生很大影响。另一个课题是研究半导体材料的结构与性质间的关系,在用轻粒子轰击材料产生非晶硅的过程中,已认识到两点:① 点缺陷的集聚情况;② 在缺陷集结临界区以上区域非晶带的形成情况。

5. 冶金学和陶瓷学

预计新材料中心和 LBL 材料化学研究部(MCSD)的一些单位都将增加合金研究计划。MCSD 的研究重点是研制双相性合金钢,这种合金钢不但在组成和加工方面有许多优良性质,而且在运输工业和普通构件应用方面都显示出巨大的潜力。中碳钢激光热

处理的研究表明:激光加热中特有的高冷热比,改变了钢的晶细结构,从而改善了钢的强度、硬度、耐腐蚀性和抗疲劳性。其它一些计划是发展能源和航空所需要的高级金属合金,研究强磁场和低温对几种合金钢的结构与强度的影响。这类研究直接推动着超导加速器的发展。

6. 固体物理

LBL 的固体物理研究,将持续执行其在实验物理和理论物理方面的计划。实验方面包括远红外谱学的研究,用最新的红外技术成就来提高红外测量的灵敏度。对光的二次谐波的研究将使人们加深对表面催化系统中使用的激光探针的了解。另一些实验计划是用直流超导量子干涉仪来研究新的高温超导体的性质。用金钢砧(技术)来研究压力和结构相变转化情况下材料的性质。

理论研究集中在量子力学理论的应用方面,用量子力学理论研究分子、分子团和固体的性质。这一努力在描述所观察的固体性质时已取得了巨大成功,还曾预言硅的高压六面体具有超导性,这已被实验所证实。新的理论研究计划将研究材料的表面、化学吸附,以便提出能从本质上说明物质和系统的导电与结构性质的固体理论。

7. 材料化学

LBL 将继续在材料化学的以下领域投入很大的力量:物质材料的低温特性、高温热动力学、液体化学和固体界面化学。其中主要的一项计划是研究固态反应和表面反应,重点是表面催化反应化学和表面催化反应动力学。另外,正用核磁共振(NMR)技术研究材料化学。材料化学科学研究部研制的 NMR 先进技术,可测定出多晶材料中质子的位置。双量子 NMR,更是一项固体研究中具有高分辨的重大技术。最近用一项改进型的零磁场 NMR 技术测量了细长分子液晶中的分子排列。

8. 化学科学

MCSD 的核化学研究计划是钢系材料的

合成方法和安全加工方法,为人们现在和将来安全而经济的使用这些材料提供必要的基本知识。该计划继续开展的两个主要项目为:① 配制并合成使钢系元素分离的制剂,想用这种制剂处理钢系元素毒性沾污,并用来处理反应堆用过的核燃料;② 制备添加有钢系元素的新化合物。

理论化学反应计划是要推出较严谨的化学反应动力学理论,重点解决那些实验不能解答的复杂问题。光化学和辐射科学研究计划是研究大气平温层中物质的光化特性(主要指稀有气体的作用)。

另一些得到能源部资助的正在执行中的新计划是美国全国科学研究委员会报告中推荐的有关化学研究课题。表面和界面计划的课题将用激光谱和 x 射线散射等新技术对界面现象进行分子级研究,以增强对能源科学和能源技术方面下述关键领域内化学行为的了解:绝大部分的催化反应体系、太阳能转换技术、光致化学合成、电化学能转换技术和腐蚀现象。同步自由电子激光器的物理研究重点是发展波长在约 100nm、具有较强光子流量的光源,以便进行激光谱学、激光泵和激光探针的化学动力学研究。

正在执行中的一个未来研究计划是进行化学能研究,即探索过渡金属(如铼)与有机分子间的新反应。这些反应对研制活性反应中间体和改进包括煤的转换过程在内的催化剂都是重要的。化学能领域继续执行的计划是环境保护重要方面和主要燃料方面的基础化学研究,包括碳和硫的水状物与气状物研究。为发展用于碳氢化合物生产中的、更有效的催化剂,将研究碳氧化合物和碳的氢化物变成气体或液体燃料的催化转换过程。

二、高能物理

1. 加速器物理与加速器设计

LBL 的加速器物理学家在 SSC 核心设计小组中起着领导作用,已解决了许多重要

问题。另外的工作是研究支架结构参数、束流一束流相互作用效应、阻抗、容许公差问题、磁场的稳流效应和质子一反质子任意选择的可能性。为研制强子对撞机的束流控制部件,LBL的加速器专家正借助他们的专业优势和实验的运行经验,制备束流冷却系统。LBL的研究表明,该设备优胜于已运行中的任何其它设备。

LBL的磁研究工作将持续加强发展高电流密度的超导导线和改进电缆设计,也将推进细股线(直径为2—3 μm)超导电缆的研究。如获成功,将会解决低强度场的场畸变,同时也可不在强子对撞机中铺设修正绕组线圈了。

LBL对高能物理的另一些贡献是为费米实验室的Tevatron I研制了束流冷却系统。今后,两实验室合作对这个运行着的系统进行测试。此外,它将继续研制用于束流冷却的电极和信号处理技术,研究抑制感应束流的不稳定性;为将来的改进,正合作研究更高频率(4~8GHz)的高频系统。

利弗莫尔实验室电子激光设备上的自由电子激光器为检验下一代直线加速器中可能用的原理提供了机会。高频微波高效源产生的高加速梯度,将敲开高能正负电子对撞机的大门。LBL首先推出的双束加速器将用一台自由电子激光器产生所需的微波。

三、核物理

LBL的核科学研究重点仍是极端条件下核子的理论研究和实验研究。在这些研究中,LBL的核科学研究部将继续在相对论性重离子领域发挥领导作用,同时也在非相对论性重离子科学、轻离子科学、核数据评价和先进仪器研制方面提出了补充计划。

1. 相对论性重离子物理

在过去几年里,因LBL的Super HILAC与Bevatron的串列(Bevalac)式运行,已开辟了相对论性重离子物理的研究领域。因为可

使用能量为2.1GeV/A(对铀可达960GeV/A)的重离子束,所以研究小组可探索重离子碰撞时产生的高温(100MeV或 10^{12} K)压缩物质的新状态,测量“热斑”的大小。

今后几年内,准备在Bevalac上做许多新实验,重点仍然是用几个GeV的重离子轰击固定靶,以评价核的态方程,解释有关奇异不稳定核结构的新设想,研究有高剥离重离子态的原子物理。一些新的和经改进的探测系统将投入使用,如双轻子谱仪、重离子谱仪系统、大面积漂移室和MUSIC II探测器。按计划,他们正为重离子谱仪系统研制“第二代 4π 探测器”样机,这种探测器最终将取代塑料球探测器和流光室。

在1989年财政年度中,LBL的科学家已对改进的CERN超级质子同步回旋的高能 ^{16}O 和 ^{32}S 离子束进行了研究。核科学部的20余名研究人员积极参加了CERN的重离子研究计划,现已组成了一个GSI/LBL/CERN协作研究组,共有19个国家62个单位的300多名科学家参加。LBL已设计、并建造了一台高频四极透镜(已与电子回旋加速共振源接通),以便把 ^{16}O 和 ^{32}S 离子注入超级质子同步回旋加速器。为探索夸克—胶子等离子体,在CERN安装了流光室、时间投影室和塑料球等一些探测器。虽然现在还不能说在这些能量的核碰撞中已产生并观察到了夸克—胶子等离子体,但已看到了如核阻止、热能化和适当的能量密度等一些必备情形。

2. 非相对论性物理学

非相对论性核物理研究计划仍将用88英寸回旋和Bevalac/Super HILAC联合体进行广泛而多种多样的研究。由于电子回旋共振源的使用,增加了88英寸回旋的束流时间,提供了新的研究机会,可用轻、重两种离子束研究核结构、核反应机制、奇异核和天文核物理。

88英寸回旋上进行的核结构研究,主要目的是认识大角动量的核子。从用于高自旋态研究的、由21个单元件组成的、可抑制康

普顿电子的 Ge- γ 高级能量分辨阵列探测器所得的结果来看,这类研究有了进展。研究者们已研究并观察了超形变带,测量了甚高自旋核的个别态的寿命。另外,还要增加一个铋锗球探测器,以扩展这类研究。

中能(5 ~ 35MeV/A)重离子反应机制的研究将处于先进水平。这是因为他们的探测系统得到了不断的提高,使用了新 ECR 源的更高能量的束流,增设了 Bevalac 低能束流线,炮弹离子的质量和能量范围都是其它实验室没有的。

在奇异核研究方面,准备用 88 英寸回旋研究滴线,从而完成 β 衰变双质子发射实验,并直接观察双质子发射的现象。目前正用超级重离子直线加速器同位素分离在线装置研究重元素同位素和远离稳定线核,如稀土区的 β 衰变双质子发射。LBL 是合成与研究超铀核的领导性实验室之一,它将积极保持这种传统的作用。

天文核物理的新计划有下列工作,测量假设类核物的截面、电磁作用、重要的 β 衰变特性和天文物理过程。

3. 加速器运行与改进

88 英寸回旋加速器,为核物理、生物学和应用研究提供各种轻、重离子的束流。因采用了 ECR 源,使束流的种类和能量都扩大了范围。这些束流已在核科学实验中得以使用,如 400MeV 的 Ar^{11+} 、429MeV 的 O^{7+} 和 1GeV 的 $^{36}\text{Ar}^{18+}$ 。因为新 ECR 源的运转,使加速器的运行效率(束流在靶时间)、束流的稳定性和用户的满意程度都有了戏剧性的改善。

对 ECR 源改进的结果,使源的稳定性变好,高电荷态运行能力明显提高。现在已从 ECR 源引出三条用于原子物理和材料科学研究的束流线。鉴于这种源的成功和其它加速器装置对它的竞争性需要,现在已进行第二代 ECR 源的设计工作。

Bevalac 具有世界上独一无二的功能,即提供相对论性能量范围的所有离子的束流。现已准备对其联合体做重大改进,即用一台

现代化的强聚焦同步回旋加速器取代 Bevatron。这套新加速系统提供的束流能量范围,基本与原有系统相同,但束强要高的多,并将改善负载因子和运行的灵活性、可靠性及经济性。

健康与环境研究局

能源部的健康与环境研究局资助的研究计划主要有以下六个领域:基因的定位、定序和表达;核医学;致癌作用与诱变;结构生物学与核糖酸研究;生物体损伤;环境研究。将在结构生物学、细胞生物学、基因表达和生理学等有关生物技术方面提出新计划。

1. 染色体组定位、定序和基因表达

LBL 重点发展的研究领域就是研究人的染色体组结构、基因表达。在基因表达领域准备增加的研究有下列三个方面的实验:① 人乳房上皮细胞分泌活性的控制;② 血液组织细胞的变异,包括免疫反应、氧气输送和贫血;③ 脂蛋白生成和循环系统疾病的基因遗传规则。这些研究已在确定控制疾病细胞发展的关键内外因素方面发挥了作用。

脂蛋白生成的基因规则和早期动脉粥样硬化的研究将引起重视,并将使用一些新的生物技术方法。脂蛋白研究小组已在脂蛋白基因、新陈代谢、动脉粥样硬化等研究领域处于世界前茅。现在持续进行的主要研究项目是:① 人体脂蛋白表型的分子遗传学;② 把人的基因掺入酵母菌或其它一些传病媒介,以研究模型系统的基因表达;③ 研究脂蛋白的合成。

2. 核医学

LBL 在核医学方面,继续从事使用放射性源的诊断与治疗应用及医疗仪器的研制工作。为满足病理实验的许多用户对同位素源的需要,正准备建一台新的生物医学同位素设备,以便生产急需的发射短寿命正电子的同位素。已用研究的高分辨正电子发射断层照像方法,对人和动物做了正电子标记示踪

摄影。将用核化学与有机化学方法、断层照像术、自发辐射照像和先进的计算机动力学模拟法,研究心脏、人脑和动脉粥样硬化等。

今后,将致力于无侵害放射性同位素的生产方法和生物化学基的标记方法的研究,以便更有效地使用那些诊断、照像工具。要研究放射性同位素的生产,使之能更灵活合适地使用吸收参量,洗提寿命的母体,生产出发射正电子的短寿命的放射性同位素。

重离子治疗作用的研究,是 LBL 生物和医学部基础研究与应用研究的重要组成部分。用 Bevalac 提供的重离子束,进行生物效应的基础研究,探求重离子束外科治疗的最佳方法。此外,还将继续开展人脑中动静脉血管畸变处理的研究,重离子效应的生物学基础与临床成果的研究,放射性束流示踪物的研究,以便确定肿瘤或靶体位置的、最高的、精确的辐照剂量。

3. 致癌作用与诱变

LBL 计划今后加强基因重组、DNA 结合蛋白质、DNA 的损伤与修复和肿瘤发生、发展、生成的细胞生物学等方面的研究,用人工培育的人体乳房上皮细胞更好地了解这些细胞的表示和演变的变化,详细分析试管细胞的变化。

必须进一步了解被加速的重离子的分子效应和细胞效应,以便更有效地用重离子束进行放射性诊断和治疗。重离子,这种高线性能量转移辐射的致癌作用和诱变作用,对宇航中重离子辐射的危险性的研究和辐射防护校准的研究都是十分重要的。

4. 结构生物学和核酸研究

化学生物动力学研究将会扩大,其目的就是进一步探索核酸结构与核酸功能间的关系,其中包括用 x 射线结晶学、核磁共振、氟核磁共振和荧光(相关物)光谱学等方法确定蛋白质—脱氧核糖核酸合成物的结构。

5. 人类健康影响的研究

目前正用一系列细胞、组织和实验动物(这些东西,对磁场作用这种非电离辐射是相

当敏感的)进行实验研究,评价磁场作用及其作用机制,目的是为建立磁场与生物体相互作用的理论模型提供基本数据,也为评价人类健康影响提供必要的的数据。

环境污染对人类的危害这一计划,主要是搜集、分析和解释与人类健康有关的环境污染数据,核心是发展进行生态概况数据分析用的统计学技术和计算技术。

6. 环境研究

LBL 的环境研究包括许多方面,如:室内和室外空气质量研究、大气科学、分析方法研究、燃烧研究和环境与流行病因素的统计学研究。发展分析方法的计划包括研究各种光谱学、放射性探测器和磁辐射剂量仪。大气研究集中于大气化学反应方面,特别是气溶胶形成过程中的化学作用。空气质量问题的研究在野外和实验室进行,目的是了解室内(氡、有机物)和室外(硫酸盐、硝酸盐、有机物)的污染特性。

大气生物圈燃烧效应计划将研究对整个大气生物圈内有明显影响的问题,开拓解决普遍性问题的方法与技术,测量大气,开展生物圈物理和生物学研究。

其它部门

1. 国防部

军舰研究局支持 LBL 研究难溶性铝化合物(Al_2O_3)水垢的结构与特性、定量的蒙特卡罗算法、薄膜与非均匀性超导体的性质。

陆军部正利用 LBL 在建筑物领域的研究成果,建立军事建筑物中空气泄漏率特性的数据库。海军部支持 LBL 为军舰更有效照明而开展的研究计划。

国防部核子署正支持 LBL 为其开展的“核冬天”假说产生的烟尘的测量工作。目前,已用典型的建筑材料,做了中型试验,了解到烟尘的质量、大小、光吸收特性等。

(下转 18 页)

使粒子发生偏转,引起束的发散甚至损失掉。因此要采取一些措施来抑制这一场的影响。其中一个办法是增加阑片孔径来减小这个场的影响。横向的尾场及加速器长度和阑片孔径之间有这样的关系:

$$W_T \propto a^{-2.8} \quad (3)$$

$$L \propto a^{-0.8} \quad (4)$$

因此增加一些阑片孔径不会使加速器长度增加非常多。

此外因为我们要求直线加速器中束的发射度(emittances)非常小,因此要用很强的聚焦磁场,也有人建议采用 RF 聚焦办法。

表 2 列举一个可能的 1TeV 二级直线加速器的设计参数。

表 2. 1TeV 二级直线加速器参数

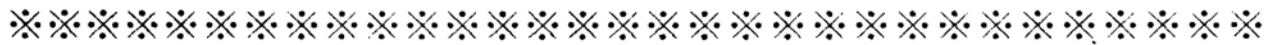
主直线加速器(Main Linac)		
频率(GHz)	30	30
加速梯度(MV/m)	80	160
长度(km)	12.5	6.25
束团粒子数(10^9)	5.4	5.4
重复频率(kHz)	5.8	5.8

平均射频功率(MW)	100	100
碰撞处束半径(nm)	77	77
亮度($10^{20}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	1	1
激励直线加速器(Drive Linac)		
频率(MHz)	350	350
加速梯度(MV/m)	6	15
品质因素(10^9)	5	5
长度(km)	2.5	0.8
电压增益(GV)	15	12

表中第一列超导再加速腔的加速梯度为 6MV/m,相当于目前能达到的水平,而第二列加速腔的加速梯度为 15MV/m,是今后期望达到的数值。

也有人建议使用超导直线加速器作为激励加速器,这里就不再多述了。

综上所述,TBA 是一种很有希望的电子-正电子直线对撞机用的高能加速器,虽然这方面仍有大量工作要做,但是看来没有什么原理上的困难,一些技术问题总会得到解决的。



(上接24页)

2. 内政部

LBL 的科学家与加利福尼亚州等单位合作研究加州农业用水(地下水库)中硒和其它微量元素的地质生物、地质化学特性,估价因隔离水库底部的硒而产生的环境净化效果,试验从农用抽水中除去硒的方法。

3. 国家宇航局

目的是确定复杂的高、低线性能量辐射的宇宙辐射空间对人体致癌因素和诱发癌变的危险性。LBL 把 88 英寸的回旋加速器作为中能离子源,检测宇宙空间部件中集成电路的灵敏性。目前正研究空间站或长期空间飞行器用的密封式生命维持系统中氮的再生循环,确定用青色固氮菌减少 N_2 气的最佳条件。