



数理相关领域大科学装置专辑·评述

极端条件下的重大科学问题与极端
条件设施发展现状及展望

丁洪*, 吴奇

中国科学院物理研究所, 北京 100190

*联系人, E-mail: dingh@iphy.ac.cn

收稿日期: 2014-05-12; 接受日期: 2014-06-30; 网络出版日期: 2014-08-27

摘要 随着低温、高压、强场等各项极端实验条件的拓展及在极端实验条件下测量技术的发展, 人们利用极端条件设施与技术取得了许多具有深远影响的基础研究和应用研究突破. 利用极端实验条件取得创新突破已成为科学研究与技术发展的一种重要范式, 建设世界一流的综合极端条件用户实验设施已成为我国科学技术发展的迫切需要. 本文首先结合实例概要介绍了极端条件下已解决的和所面临的重大科学问题, 介绍了国内外极端条件实验装置的发展概况和发展趋势. 然后, 从科技发展的角度阐述了建设综合极端条件实验装置的重要性, 并对我国综合极端条件设施建设愿景做了展望.

关键词 极端条件, 低温, 高压, 强磁场, 超快激光

PACS: 07.20.Mc, 07.35.+k, 07.55.-w, 42.55.-f

doi: 10.1360/SSPMA2014-00156

1 引言

通常极端条件是指实验室中人为创造出来的、达到或接近目前技术极限的低温、高压、强磁场、超快光场等单项或综合物理条件. 我们所赖以生存的世界上的任何物质都是在一定的物理条件(如温度、压强和磁场等)下形成和存在的. 通过拓展物理实验条件到极端状态, 可以形成许多在常规条件下不能得到的新物态、发现许多在常规物理条件下不能出现的新现象, 从而大大拓展人们探索新物质、认识自然、改造自然、造福人类的能力(图 1).

作为最重要的极端物理实验条件之一, 极低温

可以抑制物质中电子、原子等的无规热运动, 凸现纯净的量子力学现象. 极低温的运用为近年来许多宏观量子力学现象的重大发现创造了条件, 比如 ^3He 超流体的发现(1996 年诺贝尔奖), 激光冷却原子(1997 年诺贝尔奖), 分数量子霍尔效应的发现(1998 年诺贝尔奖), 原子的玻色-爱因斯坦凝聚的实验观察(2001 年诺贝尔奖)等 (http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/), 并且普遍认为在更低温区还隐藏着更多重要的现象等待发掘. 这些新的发现不仅能开拓自然科学的前沿, 培育新的学科生长点, 而且同以往物质科学研究成果(如晶体管、发光二极管、巨磁阻磁头、液晶等的发明将我们带入了信息时代)一

引用格式: 丁洪, 吴奇. 极端条件下的重大科学问题与极端条件设施发展现状及展望. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2014, 44: 1108–1115

Ding H, Wu Q. Major scientific problems under extreme conditions and development of synergetic extreme condition facilities (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2014, 44: 1108–1115, doi: 10.1360/SSPMA2014-00156

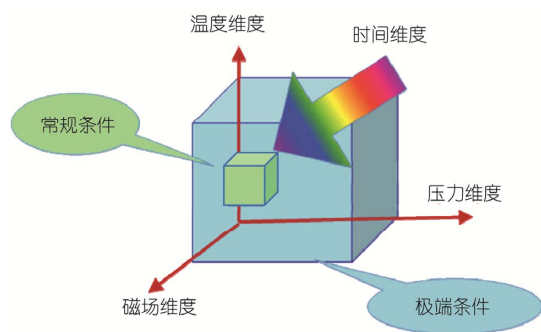


图 1 (网络版彩图)综合极端条件极大的拓展了物质研究的物理维度范围

Figure 1 (Color online) Synergetic extreme conditions greatly increase the scale of physical dimensions for investigation of matters.

样, 具有造福于人类的巨大应用前景.

压力作为一个基本物理条件, 可以有效缩短物质的原子间距、增加相邻电子轨道的重叠, 从而改变物质的晶体结构、电子能带结构和原子(分子)间的相互作用, 形成全新的物质状态. 研究表明, 在 100 GPa 的压力作用下平均每种物质有 5 个以上的不同物相状态, 一些常规条件下不存在的物态将会在高压或超高压和一定的温度、磁场等综合极端条件下形成. 因此, 高压条件对于物质科学研究具有特殊的重要性, 可以实现对物质的存在状态和性能在较大范围的有效调控^[1]. 另外, 利用高压条件可以模拟地球内部的高温高压环境, 探索地球内部物质的形成与运动规律、成矿成岩过程、石油和天然气的成因以及地质灾害的成因等. 高压科学与技术在现代国防中也起着非常重要的作用. 特别是在核物理次临界实验和计算机模拟中, 需要大量精确的超高压实验数据. 正是这些方面的迫切需求, 使得近年来超高压研究在国际上得到快速发展.

磁场作为可以调控相变的热力学参量, 它能改变物质的内部能量, 是一种研究物理现象和机理的有力工具, 而磁场强度的大小决定着调控材料性质能力的强弱. 强磁场下的科学研究涉及对超导体、半导体、关联电子体系、磁性材料等研究的材料科学, 以及地球科学、化学、生命科学、工程技术等等, 其中在凝聚态物理领域已经用于输运特性、磁化特性、磁光特性、磁场与极低温组合、磁场与超高压组合、磁共振特性等方面实验. 在核磁共振实验中使用强磁场不仅所研究材料的物理性质会发生明显变化, 有利于阐明物理机理, 同时核磁共振的信号强度也

会随磁场增强而增大, 大大提高实验的分辨率, 这一强磁场特点目前在核磁医学成像得到快速发展, 前景广泛.

超快激光具有无与伦比的超快时间特性, 快速变化的光场包络是人们能够测量并且控制的最快物理量, 为超快现象的探测和控制提供了前所未有的工具. 通过基于超快激光的泵浦探测方法, 能够实时的测量原子、分子、离子甚至电子的微观运动. 这些微观粒子的运动直接决定了相关物质的宏观属性及其变化规律, 对它的研究是当今物理、化学、生物医学等多学科共同的重要基础内容. 超短激光脉冲将能量集中在极短的时间尺度上, 使得其聚焦后能够产生只有在核爆中心和恒星内部才出现的极端强场高温环境, 不仅能够产生温稠密态这样的新物态, 而且通过与物质相互作用能够产生新的超快 X 射线和电子源. 这些超快脉冲源具有飞秒甚至阿秒的时间分辨能力, 能够在微观尺度上测量和控制物质演化的瞬态过程, 实现物质结构及其变化规律的四维时空研究. 从而前所未有地拓展研究物质世界的深度和广度.

2 综合极端条件下的重大科学问题

综合极端条件可以大大拓展物质科学的研究空间, 为解决当前科学技术中的疑难问题, 为发现新物态、探索新现象、开辟新领域, 创造前所未有的机遇. 借助综合极端条件取得创新突破已成为科学研究与技术发展的一种重要范式. 近 100 年来, 涉及极端条件的获得诺贝尔奖的基础研究和技术进步重大成果见表 1.

调控温度、压强、磁场等基本物理参数可以实现丰富多彩的物态, 下面以几个方面的实例来介绍极端条件下物质科学研究已经解决的和有待解决的重大科学问题.

2.1 极低温强磁场下新量子物态的研究

极低温、强磁场等极端条件的综合的运用为近年来许多宏观量子现象的重大发现创造了条件. 比如, 在对被认为是整个凝聚态物理领域中最重要、最基本的量子效应之一的量子霍尔效应的研究中, 整数量子霍尔效应、分数量子霍尔效应等都是在物质处于极低温、强磁场条件下发现的.

表 1 百年来获得诺贝尔奖的极端条件下的重大突破
Table 1 Nobel prizes awarded to the scientific breakthroughs under extreme conditions during the past century

科学突破	获诺贝尔奖时间 间项与奖项	涉及的极端条件
低温下物体性质的研究	1913 年/物理奖	极低温
超高压装置的发展及贡献	1946 年/物理奖	高压
在化学热力学领域的贡献, 特别是对超低温状态下的物质的研究	1949 年/化学奖	极低温
半导体和超导体的隧道效应	1973 年/物理奖	低温
低温物理领域的基本发明和发现	1978 年/物理奖	极低温
量子霍尔效应	1985 年/物理奖	极低温、强磁场
原子钟和离子陷阱	1989 年/物理奖	极低温
³ He 超流的发现	1996 年/物理奖	极低温、强磁场
激光冷却原子	1997 年/物理奖	极低温
分数量子霍尔效应	1998 年/物理奖	极低温、强磁场
化学反应动力学	1999 年/化学奖	超快激光
原子玻色-爱因斯坦凝聚	2001 年/物理奖	极低温
光梳与精密测量	2005 年/物理奖	超快激光

霍尔效应是电磁效应的一种。美国物理学家霍尔于 1879 年在研究金属的导电机制时发现当电流垂直于外磁场通过导体时, 在导体的垂直于磁场和电流方向的两个端面之间会出现电势差(霍尔电压), 这一现象就是霍尔效应。在霍尔效应发现约 100 年后, 德国物理学家冯·克利青(Klaus von Klitzing)等人在研究极低温度和强磁场中的半导体时发现了量子霍尔效应, 即霍尔常数是量子化的(强磁场中, 霍尔电压和电流的比值是整数), 冯·克利青为此获得了 1985 年的诺贝尔物理学奖。之后, 美籍华裔物理学家崔琦(Daniel Chee Tsui)和美国物理学家施特默(Stormer H L)在极低温和更强磁场下研究量子霍尔效应时发现了分数量子霍尔效应, 使人们对量子现象的认识更进一步, 他们为此获得了 1998 年的诺贝尔物理学奖。最近几年, 量子霍尔效应的研究又取得了令人振奋的进展, 不久前, 由清华大学薛其坤院士领导的, 由清华大学、中国科学院物理所和斯坦福大学研究人员组成的团队在量子反常霍尔效应研究中取得重大突破, 他们从在极低温下(30 mK)进行的实验中首次观测到量子反常霍尔效应^[2], 这是中国科学家从实验中

独立观测到的一个重要物理现象, 也是物理学领域基础研究的一项重要科学发现。这项工作被著名物理学家杨振宁先生誉为“诺贝尔奖级”的科研成果。量子反常霍尔效应不需要任何外加磁场, 在零磁场中就可以实现量子霍尔态, 更容易应用到人们日常所需的电子器件中, 使得在零磁场的条件下应用量子霍尔效应成为可能。如果这一效应可以在室温下产生, 它可能导致新的低功率的“自旋电子学”计算设备的产生。因而, 量子反常霍尔效应的发现可能带来下一次信息技术革命。

2.2 极端条件对超导研究的贡献

1908 年, 荷兰物理学家昂内斯(Onnes H K)将最后一个被认为是永久气体的氦气液化了, 在实验室中实现了在一个大气压下温度为 4.215 K 的极端物理实验条件, 从而打开了一扇通往低温物理世界的大门。他在液化了氢和氦以后, 把研究工作转向系统的测量金属电阻随温度的变化关系。1911 年他发现纯的水银样品在低温 4.22–4.27 K 时电阻消失, 接着又发现其他一些金属也有这样的现象。他把这种现象称为超导电性。由于对低温物理所作出的杰出贡献, 昂内斯获得 1913 年诺贝尔物理奖。超导电性被发现后, 超导电性的研究不断取得突破性的成果, 包括: 1933 年德国科学家迈斯纳(Meissner W)发现超导体具有抗磁性(迈斯纳效应); 1986 年, 柏德诺兹, 缪勒在镧钡铜氧化合物中发现了存在临界转变温度高达 30 K 左右的超导电性, 他们因此获 1987 年的物理奖。这些重要发现以及后来两种重要超导体 MgB₂ 和铁基高温超导体的发现, 都是在一定的低温下取得的。

目前, 化合物和元素超导体中的最高超导转变温度(HgBa₂Ca₂Cu₃O_{8+δ}的 T_c=164 K, Ca 的 T_c=25 K)都是在高压下发现的。而临界磁场是超导态被破坏而转变到正常态所需要的磁场强度, 对于高温超导体其临界磁场值较高, 通常要求具有强的磁场产生装置才能测得到。可见, 综合极端实验条件在对超导电性的研究中的发挥了关键的作用, 是必不可少的实验条件。

最近, 科学家们发现了脉冲激光诱导的室温瞬态超导电性的初步实验证据, 即对非超导样品, 经

70 meV 光的激发会诱导出瞬态的超导电性, 这一发现引起了超导及相关领域科学家们的极大兴趣和关注, 成为“非平衡态弛豫过程的时间分辨测量”这一代表当前物质科学研究发展重要前沿领域的一个重要研究课题, 目前, 在这个领域中已经观察到了大量的全新现象^[3,4].

超导电性的研究已经历 100 多年的历程, 现在仍然魅力不减、方兴未艾. 其中, 对非常规超导体机理问题的研究和室温超导体的发现被誉为凝聚态物理研究领域的两个“世纪难题”. 这些重大问题的解决必需要依赖于以综合极端实验条件为支撑的更加精细的、更具有挑战性的实验研究来解决.

2.3 极端条件下新材料的探索

美国实验物理学家布里奇曼(Percy Williams Bridgman)由于发明超高压装置和在高压物理学领域的突出贡献, 于 1946 年获得诺贝尔物理学奖. 在随后几十年的时间里, 高压科学与技术得到了迅猛的发展, 尤其在物质科学及新材料的探索研究中取得了一系列重大的研究成果, 包括金刚石、超硬材料的高压合成等.

在高压物质科学研究领域中金属氢被誉为高压物理领域“皇冠上的明珠”. 虽然氢元素位于元素周期表碱金属的第一位, 但氢气在常态下并不是金属. 在 1935 年, 物理学家维格纳(Eugene Paul Wigner, 1963 Nobel 物理奖获得者)和哈廷顿(Hillard Bell Huntington)预测, 在 250000 个大气压(约 25 GPa)下, 氢原子失去对电子的束缚能力, 呈现出金属性质^[5]. 此后的实验表明, 对压力的最初假设不足^[6]. 理论计算表明使氢金属化需要更高的压力, 但是仍然是实验可能达到的. 从理论上来看, 在超高压下得到金属氢是可能的, 但要得到金属氢样品, 仍有许多高压技术方面的挑战要解决, 还有待科学家们的进一步努力. 尽管目前还没有真正得到金属氢, 但理论工作者推断金属氢具有一系列综合的优良特性, 包括是一种高温超导体, 是高密度、高储能材料, 因而具有巨大的应用前景.

2.4 极端条件在物质动力学研究中的重大科学问题

物质动力学研究的是物质性质随时间变化的非

平衡的动态体系. 对物质动力学过程的研究与控制, 是解决许多重大基础科学和应用技术的关键. 在基础和应用基础研究方面有许多重大物质动力学方面的科学问题有待于应用极端条件及其相应的表征、测试技术来解决. 如, 对前述的超导研究中超导库珀对的形成和拆对过程的研究; 高温超导体中与磁性相关的反应电子-晶格耦合的杨-泰勒效应的研究; 在材料科学研究中对测量半导体或晶体的熔解速度和晶格震动周期的研究^[7]; 在结构生物学研究中对生物大分子的“库伦爆炸”分解过程进行成像研究来获得重构后得到的分子结构的重要信息^[8]; 对光伏发电中电荷动力学的研究等.

光伏发电是根据光生伏特效应原理, 利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能. 光伏发电的物理过程主要是表面上的光诱导电荷转移, 核心的问题是光诱导的激子是如何分离产生自由电子和空穴的. 对这一核心问题的研究需要在飞秒时间尺度上跟踪物质表面或界面上的电子和空穴动力学过程, 进而掌握其微观动力学规律, 并加以控制. 这一研究将有可能大大提高太阳能电池的光转换效率.

目前, 时间分辨的电子衍射和电子显微镜的发展也正成为物质动力学研究的重要实验手段之一. 具有时间分辨的原子尺度成像技术的应用将推动多个学科的发展, 包括: 物理动态非平衡过程, 材料相变, 超快化学, 生物超快显微分析等.

3 国内外极端条件设施的现状及发展趋势

3.1 国际现状与发展趋势

当今各国科学研究的竞争多体现在科研设备水平的竞争上, 只有拥有最先进的实验设备和掌握相应的实验技术, 才可在相关前沿科学研究探索中取得先机. 近年来, 人们利用极端条件取得了许多具有深远影响的科学突破, 其中不少工作获得了诺贝尔奖, 也有大量创新性的研究成果得到了重要的实际应用. 利用极端实验条件取得创新突破已成为科学研究发展的一种重要范式. 世界上许多发达国家或地区, 如美国、欧洲、日本都竞相在此领域投入大量的人力和物力, 展开激烈的竞争, 产生了许多著名的研究机构, 如美国 Florida 强磁场实验室和极低温实

验室、美国的 Lawrence Livermore 和 Los Alamos 国家实验室拟建中的 MaRIE 设施、美国华盛顿-卡内基研究院的超高压实验室、法国 Grenoble 的 Néel 研究所和欧洲强磁场中心、日本东京大学固体所极端条件实验室、日本东北大学的强磁场实验室、日本 NTT 基础物性实验室、芬兰赫尔辛基极低温实验室、英国的卢瑟福中央激光实验室、德国的马普量子光学研究所及核物理研究所, 等等。

纵观极端实验条件下物质科学研究的发展, 可以看到存在这样一些共性的发展趋势与特点:

(1) 各个单项指标更极端——“更高”(压力、磁场)、“更低”(温度)、“更快”(瞬态时间分辨);

(2) 各类极端条件的集成能力不断加强, 多种极端条件的综合运用成为物质科学研究的总体趋势;

(3) 极端条件下材料的制备、结构与性能的测试等环节结合更加紧密;

(4) 超快技术迅速发展, 并与传统的各种极端条件手段的结合日益密切;

(5) 极端条件与其他大科学装置(如同步辐射装置、中子源等)的结合更加紧密。

3.2 国内极端条件设施情况

综合极端条件实验装置的建设需要投入大量经费、长期的人才和技术积累。目前我国的整体水准与国际先进水平相比还存在着相当的差距, 直接影响了我国在一些相关的核心研究领域的竞争力。例如, 在量子调控的核心问题——固态量子比特的研究方面, 由于国内只有个别单位拥有极低温实验条件, 整体的研究规模和水准还很难与国际一流水平抗争; 再如, 超高压技术结合极低温和强磁场等极端条件下的物性测量设备能力的不足, 直接制约了许多物质科学重要问题的深入研究。在强磁场装置方面, 合肥、武汉正在建设的水冷式稳态强磁场和脉冲强磁场的实验装置。

4 我国综合极端条件实验装置建设愿景展望

《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012–2030 年)》的总体部署中明确指出: “建设极低温、超快、超高压极端条件研究设施, 形成与大型同

步辐射光源结合的格局, 满足研究和发现新物态、新现象、新规律和创造新材料的需求”, 并将该设施的建设确定为“十二五”时期建设的重点内容之一。基于我们多年来对国内外综合极端条件装置发展现状的调研和分析所了解的国际发展态势, 结合国家科技发展的实际需求, 在此, 我们对我国综合极端条件设施的建设愿景做出展望。

我们认为我国将要建设的“综合极端条件实验装置”(Synergetic Extreme Condition User Facility, SECUF)的核心目标应该为“建设以物质科学及相关领域基础研究与应用研究为总体科学目标的, 集极低温、超高压、强磁场和超快光场等极端条件为一体的, 与北京先进同步辐射光源(国家“十二五”预研项目)相结合的, 国际一流的综合极端条件用户实验装置”(图 2)。

这类装置建设的宗旨应该是: “凝聚国内外极端条件领域的优秀科学家, 建设和运行世界一流的综合极端条件用户实验研究平台, 为我国基础研究、应用研究以及新兴科技战略发展提供最先进的科技基础条件设施、培养和储备关键科学技术人才”。其具体科学目标应该设定为“利用包含极低温、超高压、强磁场和超快光场等综合极端条件的用户装置, 拓展物质科学的研究空间, 开展极端条件下的材料制备与物性表征、极端条件量子态调控和超快条件物质研究等物质科学前沿领域研究, 促进新物态、新现象、新规律的发现, 推动我国在极端条件下物质科学的研究达到世界一流水平”。

该装置建成后将是向国内外用户全面开放的根据国际惯例, 将依托装置组建“国家综合极端条件实验室”研究与运行管理机构。建立“开放、共享、流动、合作”的运行管理机制, 制定相应的制度, 严格保证全面对外开放机制; 并通过设立流动岗位和开放基金、聘任兼职人员等开放式的管理模式, 广泛吸引国内外顶尖人才和杰出团队开展研究, 最大限度发挥装置的技术条件优势, 为我国在凝聚态物理、材料科学等与综合极端条件相关的若干前沿研究领域达到世界一流水平提供有力保障。努力实现在物质科学关键前沿领域研究中取得若干重大突破, 包括: 寻找超导体中的 Higgs 集体激发模式、寻找 Majorana 费米子、瞬态高温超导电性的研究、金属氢的研究、分数量子霍尔态的非阿贝尔统计性质研究、制备固态

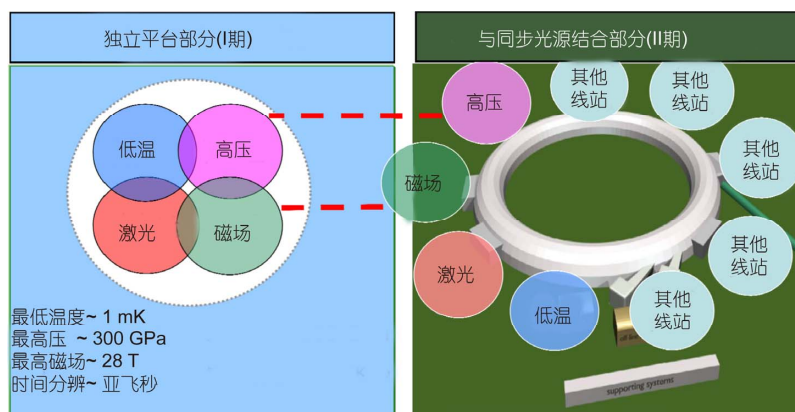


图 2 (网络版彩图)综合极端条件实验装置与北京先进光源的结合的设想
Figure 2 (Color online) SECUF and its integration with Beijing Advanced Photon Source.

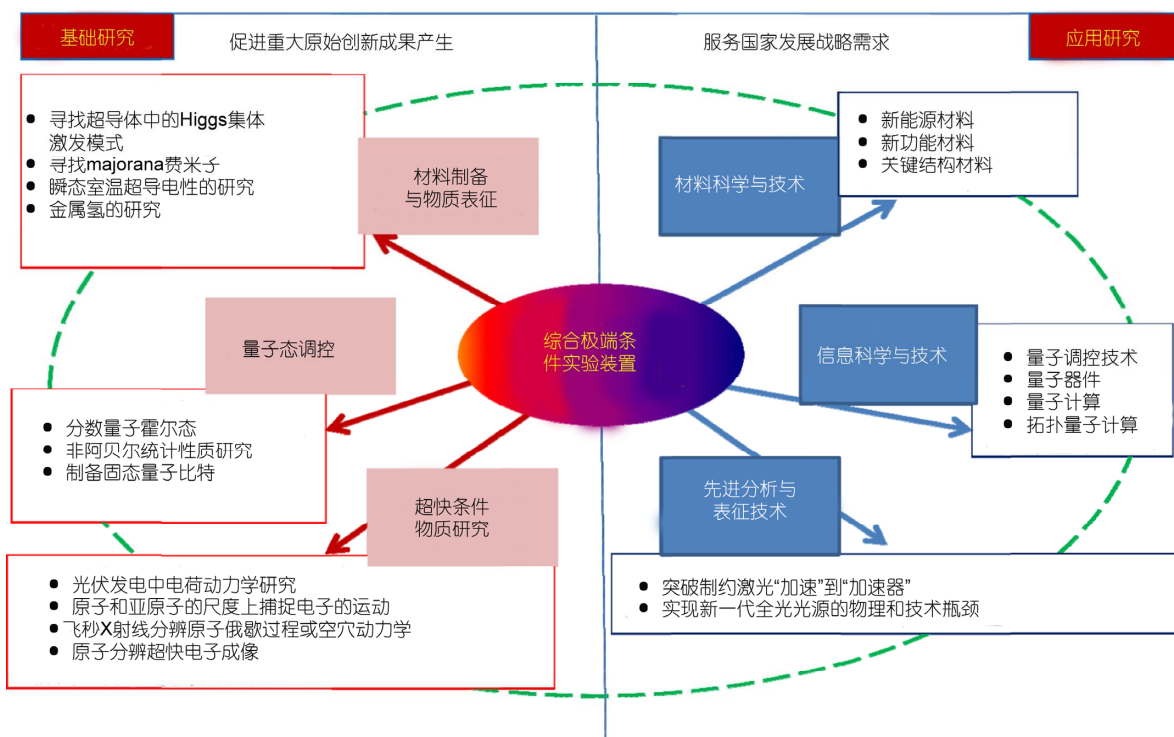


图 3 (网络版彩图)综合极端条件实验装置的建设意义
Figure 3 (Color online) Scientific significance of constructing SECUF.

量子比特等。发展尖端极端条件探测技术用以开展物质科学前沿实验研究,包括:光伏发电中电荷动力学研究、在原子和亚原子的尺度上捕捉电子的运动、飞秒 X 射线分辨原子俄歇过程或空穴动力学、原子分辨超快电子成像等。以及突破制约激光“加速”到

“加速器”和实现新一代全光光源的物理和技术瓶颈等(图 3).

中国科学院经过多年的调研,于 2009 年就提出了《中国至 2050 年重大科技基础设施发展线路图》^[9],其中对极端条件装置的建设做出了构想。几年来,特

别是“十二五”建设规划发布以来,中国科学院及相关单位为规划中极端条件实验装置建设计划的落实做出了巨大的努力. 目前已与北京市签订了合作协议, 拟在怀柔区联合建设以若干相互关联的大科学装置为依托的“北京综合研究中心”. 综合极端条件实验装置”将作为北京综合研究中心的重要大科学装置(还包括北京先进光源和地球模拟器装置)之一, 率先在怀柔开发区建设.

北京研究中心将成为正在建设中的中国科学院北京怀柔科教产业园的重要组成部分, 与园区内教育基地和科研与转化基地紧密结合, 构建前沿与基础研究、教育、技术转移转化与企业孵化等功能于一体的科技创新集群. 综合极端条件实验装置与北京先进光源将是北京综合研究中心的核心大科学装置. 综合极端条件实验装置将与即将建设的北京先进光源实现优势互补, 这两种装置相邻而建, 将实现优势互补, 功效互增, 为广大用户提供前所未有的

联合实验手段,使两个大型国家科技基础条件设施都发挥出更大的功效, 为国家科技发展做出卓越的贡献.

我国正处在经济转型的关键发展时期, 迫切需要大力发展科学基础条件设施来为国家经济与社会的可持续科学发展提供有力的科技支撑. 科学技术的进步、先进实验设备的创造和使用对经济社会发展的巨大推动作用, 已被无数取得重大科学与技术成果的成功经验所证实, 定位于“世界一流”的综合极端条件实验装置也必将会对我国的科学技术、经济和社会产生重大影响. 我国综合极端条件实验装置的建设将会为我国在材料、能源、信息等领域关键科学问题的破解提供最先进的公共实验平台, 为我国科技领域的重大创新研究提供持续的、重要的支撑, 其发展出的新科学、新技术、新材料、新模式, 必将转化为巨大的生产力, 为我国科学技术与社会及经济发展不断做出重大贡献.

致谢 感谢中国科学院物理研究所研究员吕力、王楠林、魏志义等在本文的编写过程中给予的大力支持和帮助.

参考文献

- 1 Basic research needs for materials under extreme environments. Report of the Basic Energy Sciences Workshop for Materials under Extreme Environments, 2007
- 2 Chang C Z, Zhang J S, Feng X, et al. Experimental observation of the quantum anomalous hall effect in a magnetic topological insulator. *Science*, 2013, 340: 167–170
- 3 Kaiser S. Transient superconductivity for above T_c in optically modulated $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$. arXiv:1205.4661
- 4 Fausti D, Tobey R I, Dean N, et al. Light-induced superconductivity in a stripe-ordered cuprate. *Science*, 2011, 331: 189–191
- 5 Wigner E, Huntington H B. On the possibility of a metallic modification of hydrogen. *J Chem Phys*, 1935, 3(12): 764–771
- 6 Loubeyre P, LeToullec R, Hausermann D, et al. X-ray diffraction and equation of state of hydrogen at megabar pressures. *Nature*, 1996, 383: 702
- 7 Rousse A, Rischel C, Fourmaux S, et al. Non-thermal melting in semiconductors measured at femtosecond resolution. *Nature*, 2000, 410: 65–68
- 8 Neutze R, Wouts R, van der Spoel D, et al. Potential for biomolecular imaging with femtosecond X-ray pulses. *Nature*, 2000, 406: 752–757
- 9 中国科学院大科学装置领域战略研究组. 中国至 2050 年重大科技基础设施发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009

Major scientific problems under extreme conditions and development of synergetic extreme condition facilities

DING Hong* & WU Qi

Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

With progresses in achieving low temperature, high pressure and strong magnetic field, as well as related measurement methods under those extreme conditions, many basic and applied achievements with great significance in the area of physical sciences have been achieved. It becomes a successful research mode to utilize extreme conditions in achieving important scientific and technology breakthroughs in many research fields. In this article, we list some of major scientific problems related to extreme conditions, and then introduce current situations and future trend for the development of extreme conditions in both China and the rest of the world. Finally, we present a prospect of the Synergetic Extreme Condition User Facility (SECUF) in China.

extreme condition, low temperature, high pressure, strong magnetic fields, ultrafast laser

PACS: 07.20.Mc, 07.35.+k, 07.55.-w, 42.55.-f

doi: 10.1360/SSPMA2014-00156