

2023年度重大前沿研究计划项目申报指南

序号	指南方向名称	研究任务	考核目标
1	脑认知的物质基础	针对“脑认知的物质基础”这一重大科学问题，为了系统、全面、深入地解析脑认知的结构基础、功能基础，聚焦于视觉认知系统（亦适用于其他感知觉）：绘制完整、系统、不间断的，具有单细胞分辨率的神经节细胞从视网膜到脑的连接图谱；在视网膜到脑的连接图谱结构基础上，系统地筛选神经节细胞投射的全部大脑核团；全面解析视觉感知调控系列脑认知相关功能的神经环路机制，包括视觉感知对情绪、昼夜节律、睡眠等认知功能行为以及物质代谢、生长发育、免疫屏障等众多外周生理过程的调控机制。全面解析不同层次的感知觉调控的脑认知的物质基础，揭示感知觉到脑、脑中枢活动、神经中枢活动到外周系列生理过程的多系统交互的神经生命活动规律。	获取>2000个外周感觉器官神经节细胞从感觉器官到脑的单细胞连接不间断追踪数据；感觉器官神经节细胞树突形态分型的全覆盖；感觉器官-脑投射核团的全覆盖；解析2-3种被感知觉调控的脑认知行为功能的神经机制；揭示2-3种被感知觉调控的外周生理功能的神经机制。
2	人工智能机器科学家	跨领域、高维度、非线性是复杂体系的重要特征，基于单学科底层规则去理解复杂演化并驱动全局优化，面临巨大变量空间搜索难题与维度灾难等瓶颈。建立智能与物质科学融合的研究新范式，已成为世界各国竞争的科技前沿。在中科大数据科学和人工智能技术的优势基础上，本项目将发展数据与智能驱动的机器科学家系统，以人工智能技术为牵引，自动构建数学、物理、化学、材料、生物、计算机、自动化等多学科知识体系，融合各个学科方法论特点，突破跨学科认知智能，形成高维物质科学新理论和新模型，提升高维世界全局优化和自适应学习能力，加速科技创新。	建立融合跨学科数据的多模态知识库；驱动≥20台智能实验平台，日均≥3000次实验操作；基于理论知识体系预训练基础大模型和机器实验过程大数据联合训练与自适应学习，建立理实交融的智能模型，实现初级的跨学科认知智能；构建能理解物理规律、预测化学演化、创制新型材料的机器科学家平台，为分子制造、蛋白质设计、能源催化、仿生机制、功能材料等领域提供先进工具，提升科研效率3-5个数量级。
3	表面码量子纠错的研究与实现	研制量子比特数目大于100的高精度超导量子计算系统；量子处理器采用可扩展的二维网格状排布的拓扑结构；实现并行高保真度量子门、读取、主动重置等量子操作；开发处理器级自动校准控制软件；研究宇宙射线、态泄露等造成关联错误的噪声源，精确刻画系统噪声模型；开发高效率高精度的纠错线路仿真器、解码器等软件分析工具；开发支持实时反馈的电子学硬件，并实现高效率低延时的实时解码；验证逻辑比特错误率随着码距的增加而减少。	设计并制备>100比特规模的量子处理器，支持码距为3, 5, 7的表面码实现；实现并行单比特门保真度≥99.9%，两比特门保真度≥99.5%，读取保真度≥98%，主动重置保真度≥99%；完成支持态泄露、串扰误差仿真的pauli+仿真器的开发；完成表面码中任意逻辑态制备技术的演示；完成带缺陷表面码的演示；完成码距为3, 5, 7的表面码演示，证明逻辑错误率随码距的增大而被降低，逻辑保真度≥97%。
4	薛定谔猫佯谬——测定量子与经典的界限	针对宏观物体的量子性，在有质量的宏观量子体系中，包括光悬浮微纳颗粒体系和光机械体系，通过基态冷却及量子态制备来探测宏观量子性。主要研究内容包括：在光悬浮宏观量子体系中优化最小平均声子数等体系量子特性指标、高效的信息提取方案、宏观量子态制备的控制方案和检测方案、以及量子性的维度等；在基于光力晶体的光机械体系和基于光纤腔的光机械体系中，冷却机械振子基态及制备相应的量子态，实现光子-声子量子界面及频率转换，通过改变量子体系的宏观尺度大小，测定量子与经典的界限，并进一步探索研究宏观体系之间的量子纠缠产生及度量。	宏观物体所含原子数大于10 <sup>10</sup> 个，尺度不小于10微米；冷却平均声子数<n>小于0.6，量子性的维度不小于2；相干时间大于4微秒，信噪比不低于6:1，可见度不小于0.7；实现机械振子热声子布居数小于0.1，实现机械振子量子态制备与操控，g <sup>2</sup> (0)小于1；实现基于宏观机械振子的光子-声子对，关联函数g <sup>2</sup> (0)大于3；光子频率转换效率高于5%。
5	基于原子自旋的精密测量物理	发展精密测量原子自旋的方法与传感器，并以原子自旋为探针来寻找超越标准模型的奇异物理现象，如由轴子耦合产生的自旋相关作用。发展量子轴指向精确可调的 <sup>129</sup> Xe- <sup>131</sup> Xe-Rb原子共磁力仪，在消除地球自转效应的基础上寻找与自旋相关的引力作用；发展 <sup>171</sup> Yb- <sup>173</sup> Yb冷原子共磁力仪，在百微米尺度寻找自旋与质量的奇异相互作用；发展金刚石NV色心磁力计，利用其高空间分辨率优势寻找宇称破缺的自旋相关奇异相互作用；研究 <sup>3</sup> He惰性气体核自旋对磁场噪声的放大效应，实现极弱磁场的灵敏探测，寻找超轻轴子信号。	测量中子两个自旋态在地表引力场下的能量差别，测量精度达到5E-23 eV；原子进动频率测量精度达E-6 Hz，在100 μm尺度对自旋-质量奇异耦合因子的测量精度达到E-21；制备厚度为20微米的金金刚石色心传感器，在1 mm尺度对自旋-速度奇异耦合因子的测量精度达到E-10；测磁灵敏度优于1 fT/Hz <sup>1/2</sup> ；寻找质量在feV - peV范围的轴子，对轴子与核相互作用的探测灵敏度优于10 <sup>-9</sup> GeV <sup>-1</sup> 。

6	面向化学过程精准调控的催化科学基础和氮资源高效定向催化转化	发展催化剂原子级精准合成新技术，实现催化活性中心原子数、组分的原子级精准调控，打破N≡N键解离能与NH <sub>x</sub> 中间物种吸附能之间的制约关系；发展绿色合成氨新技术，高通量筛选出几类温和条件下合成氨催化剂，突破传统合成氨高温高压的技术瓶颈；借助多方位谱学和显微学技术原位表征催化剂活性中心的动态结构特征，精准揭示活性中心对N≡N惰性键的高效活化机制，颠覆传统合成氨催化剂在高温高压下遵循的“吸附解离”机理，提出“构效”关系全新描述符，建立合成氨新理论，为实现绿色合成氨工业的显著节能减排提供原型变革性技术和理论指导，促进氮资源的可持续利用。	实现5-10种多原子簇金属催化剂原子数和组分的原子精度调控；开发出2-4种新型高效合成氨催化剂，其热催化活性，在反应温度<300 ℃，压力<10 bar的温和条件下逼近现有工业催化剂在高温高压工况下活性（400 ℃，100 bar，转化频率0.54 s <sup>-1</sup> ）；其电催化活性，在常温常压下，实现≥2000 μgh <sup>-1</sup> cm <sup>-2</sup> 的产氨速率，实现单反应器每小时制备≥500 mL氨气。原子层面上揭示催化反应分子机理，建立温和条件下合成氨催化新理论。
7	衰老的生物学基础与理论突破	针对脑衰老如何启动并演化为神经退行性病变这一关键科学问题，利用新型衰老动物模型、脑样本库与衰老临床前瞻性队列，结合多组学分析以及多尺度高分辨成像技术，研究脑衰老早期阶段的组织和细胞稳态改变的分子细胞信号网络；研究免疫炎症因子、细胞代谢异常以及脑血管损伤引起细胞衰老的机制；绘制脑衰老起始阶段的表现遗传（包括DNA/RNA修饰、非编码RNA等）、蛋白修饰以及小分子代谢产物的变化图谱；揭示正常衰老向神经退行性病变演化的细胞分子机制，鉴定关键分子开关，并开发表征这种转化的分子标志物。明确脑衰老及神经退行性变化的共性机制和脑衰老启动的分子基础，建立衰老相关疾病的应对策略，提出新的脑衰老机制的理论假设。	鉴定不少于3种调控脑衰老启动的代谢及炎症分子开关；绘制脑衰老动物模型的组织功能随衰老减退的表现遗传（包括DNA/RNA修饰、非编码RNA等）、蛋白修饰及小分子图谱；鉴定不少于3个新型调节脑衰老的基因；筛选不少于3个与神经功能异常相关的脑衰老早期关键分子；明确不少于3种可用于表征脑衰老的新型分子生物标记物；揭示3种促进脑异常衰老与相关神经退行性疾病发生的关键分子靶标。
8	自旋光电子学	深刻理解并操控电子自旋，探索颠覆性技术变革；发展低标度理论计算方法和开发高性能计算软件，实现大尺度复杂分子凝聚相体系的自旋光电子学计算模拟；合成含有手性中心的有机半导体分子，构筑出只允许特定电子自旋方向通过的“自旋筛”，实现具有特定拓扑属性的低维碳基材料的原子级别精准合成；发展单分子尺度高空分辨电子自旋共振、自旋激发态发光光谱、瞬态EPR光谱、非共线反铁磁材料的磁畴成像等测量技术，表征复杂外场下自旋相关的物性与动力学过程，揭示突破常规自旋选律的分子-场相互作用新规律；利用外场操控自旋并实现特定器件的发光、光/电催化、手性传感、电/热输运等性能。	计算软件并行规模>十万核，激发态计算>五千原子；构建共价手性高分子及非共价手性纳米组装体系各10余种；在非金属表面实现3种光/热诱导共价耦联反应；分子自旋态表征：空间分辨率<5Å、能量分辨率<1 meV、时间分辨率<10 ps；锁相红外测温精度0.1 mK，通过热成像观察至少两种非共线反铁磁材料的自旋结构；常温常压下高附加值产物电催化合成速率≥50 mmol g <sub>cat</sub> <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ，稳定运行≥100 h，光催化太阳能利用效率>1%，选择性>90%；电/热输运材料热磁功率因子≥8000 μW/cm·K <sup>2</sup> ，Z值≥0.005/K。
8	高性能仿生结构材料的设计、制备及应用	结构材料因其高强度、高稳定性等特征而备受关注，它是先进技术材料的主体之一。我国战略性和颠覆性技术亟需具有新颖功能的高性能结构材料。基于对天然生物结构材料生长和结构特征的解析，结合理论设计与模拟，提取结构设计与生长原理，同时实现高质量生物质纳米基元的工程化提取；利用仿生策略，发展具有跨尺度多级结构仿生结构材料的结构设计和基于精准化学合成法的精准制备方案，在组成、结构与性能关系研究的基础上，探索并揭示底层结构、有机无机界面与性能的关系，实现材料变革性功能；开发系列面向航空航天等高技术领域的工程结构材料，以及成本和性能与现有石油基塑料产品具有综合竞争力的塑料替代材料，发展可工业堆肥及生物降解技术。	建立2-3种跨尺度多级仿生结构材料的可控设计和优化的方案。实现可持续纤维素基结构材料和陶瓷基结构材料等多种属材料的仿生创制，相关仿生结构材料的尺寸达到分米级（长、宽）和厘米级（厚）。可持续纤维素基结构材料密度不高于1.7 g/cm <sup>3</sup> 、抗三点弯强度不小于240 MPa、韧性不小于10 MPa m <sup>1/2</sup> 、热膨胀系数不大于10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup> ，在高低温（-80至+120摄氏度）条件下，材料力学性能稳定；陶瓷基结构材料密度不高于2.8 g/cm <sup>3</sup> 、抗三点弯强度不小于200 MPa同时韧性不小于6 MPa m <sup>1/2</sup> 。
10	火星和冰卫星海洋宜居性演化研究	结合火星和类火星环境样品分析、遥感数据解译和实验模拟等多种手段，研究火星含水矿物的成因、火星表面水-岩-大气相互作用历史，评估类地行星表面宜居性演化的关键影响因素，探寻可能的生命痕迹；结合遥感数据分析、实验和理论模拟，研究冰卫星海洋的物质组成、关键生命构成元素的循环过程和宜居性演化；结合上述研究为理解地球生命起源和探索系内地外生命存在的可能性提供支撑。	刻画火星表面流水活动从诺亚纪起的时空分布特征，实现火星表面水岩反应时间尺度的定量分析，构建火星地表和浅地表全球生命痕迹分布模型图一份；厘清火星及冰卫星各圈层间N、P、S和过渡金属等营养元素循环特征，重建行星化学控制过程的45亿年演变历史，探讨火星和木卫和土卫等冰卫星水体的宜居性演化；建立适用于火星和冰卫星样品的高精度、低耗样、元素和同位素以及有机物分析方法，同位素分析精度优于万分之一，主要有机物检出限达ppta的灵敏度。