

## 第二部分 年度总结

### 一、研究水平与贡献

#### 1. 承担任务

(全面概述实验室一年来承担科研任务的总体情况,取得的研究成果,包括奖励、论文、专著、授权发明专利等。)

2021 年度实验室承担的国家重大科技任务有:国家重点研发项目 1 项(2021 年立项), 课题 5 项。国家自然科学基金创新群体项目 1 项、重大项目 1 项、中德跨学科重大合作研究项目 1 项、重点项目 3 项(2021 年新增 1 项); 国家杰出青年科学基金项目 4 项(2021 年新增 1 项)、优秀青年基金 3 项(2021 年新增 1 项); 理论物理专款彭桓武创新研究中心项目 1 项。中科院“从 0 到 1”原始创新项目 14 项; 中科院战略性先导科技专项项目(A、B)课题 12 项; 先导 B 培育项目“早期宇宙演化的核心理论问题研究” 2021 年立项; 中科院青年团队项目“物质与暗物质起源的研究” 2021 年立项。承担的横向项目有: 中科合成油合作项目 1 项, 其他横向项目(华为等) 3 项。

2021 年度, 实验室在引力波物理、暗物质理论、粒子物理与场论、奇特强子态以及统计物理与复杂系统、软物质物理、凝聚态物理与量子物理等方向取得了一系列原创性研究成果, 多项工作获得编辑推荐。共发表 SCI 期刊论文 262 篇, 其中在影响因子  $IF > 4$  的期刊上发表论文 170 篇, 在 NATURE ( $IF=49.962$ ) 上发表 1 篇, 在 ADVANCED SCIENCE ( $IF=16.806$ ) 上发表 1 篇, 在 PHYSICAL REVIEW X ( $IF=15.762$ ) 上发表 4 篇, 在 JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY ( $IF=15.419$ ) 上发表 1 篇, 在 NATURE COMMUNICATIONS ( $IF=14.919$ ) 上发表 3 篇, 在 SCIENCE BULLETIN ( $IF=11.780$ ) 上发表 3 篇, 在 PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA ( $IF=11.205$ ) 上发表 3 篇, 在 PHYSICAL REVIEW LETTERS ( $IF=9.161$ ) 上发表 18 篇, 在 JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS ( $IF=5.810$ ) 上发表 36 篇, 在 PHYSICAL REVIEW D ( $IF=5.296$ ) 上发表 49 篇。

列举不超过 5 项当年新增的重要科研任务。

序号	课题名称	项目(课题)编号	负责人及单位	起止时间	总经费(万元)	本年度实到经费(万元)	任务来源	任务类型	研究方向
1	能量代谢仿生体系的理论基础与表征技术	22193032	欧阳钟灿	2022.01-2026.12	517.5	258.75	基金委	重大项目	统计物理与理论生物物理

2	强子物理理论	12125507	郭奉坤	2022.01-2026.12	400	240	基金委	国家杰出青年基金	粒子物理与粒子天体物理及核物理
3	玻色-爱因斯坦凝聚体自约束液滴态的新理论	12135018	易俗	2022.01-2026.12	290	145	基金委	重点项目	凝聚态物理与量子物理
4	早期宇宙演化的核心理论问题研究(B类先导科技专项培育项目)	XDPB15	蔡荣根	2021.06-2022.05	360	360	中科院	B类先导专项(培育)	场论、引理论与宇宙学
5	物质与暗物质起源的研究	YSBR-006	舒菁	2021.06-2026.06	1500	300	中科院	稳定支持基础研究领域青年团队计划	粒子物理与粒子天体物理及核物理

任务来源：科技部、基金委、中科院、其他

任务类型：指计划名称，请填写具体的项目类别。

当任务来源为科技部时可选项：国家科技重大专项，科技基础资源调查项目，国家重点研发计划，国家科技支撑计划，国家重大科学仪器设备开发专项，国际科技合作，其它。

当任务来源为基金委时可选项：国家杰出青年基金，面上项目，重点项目，重大项目，重大研究计划，青年科学基金，地区科学基金，优秀青年科学基金，创新研究群体项目，国际合作，联合基金，数学天元基金，国家重大科研仪器研制，其它。

当任务来源为中科院时可选项：A类先导专项，B类先导专项，C类先导专项，前沿局重点部署项目、重任局重点部署项目、科发局重点部署项目、其它。

当任务来源为企业合作时可选项：横向项目。

当任务来源为其他时可选项：部委课题，其它。

研究方向：与第一部分实验室基本情况列表中的研究方向对应

## 2.代表性研究工作进展

代表性工作 1	名称	本实验室固定人员参加名单	所属研究方向
	轴子探测研究	李田军	粒子物理与粒子天体物理及核物理
简要介绍	<p>(1500 字以内)</p> <p>随着希格斯粒子的发现,标准模型已经被各种实验证实。虽然标准模型是二十世纪物理学最伟大的成就之一,但是它有一些问题,如暗物质和强 CP 问题等。故标准模型不可能是粒子物理的终极理论。Peccei-Quinn (PQ) 机制自然解释了强 CP 问题,并预言了轴子。轴子是暗物质候选者,如果质量约为 50 <math>\mu\text{eV}</math>,其剩余丰度与目前观测值相符。轴子及其推广类轴子与主流超出标准模型的新物理如超对称理论,大统一理论,超弦理论,和暴涨理论等有着紧密地联系。故轴子/类轴子是非常有希望的超出标准模型的新物理,其理论和实验研究是目前粒子物理前沿研究热点。</p> <p>李田军研究员,北京工业大学理学部国际教师 Nick Houston 博士,以及中国科学院理论物理研究所博士研究生 Aagaman Bhusal 同学创新性提出了利用 SNO 实验结果开展轻型暗物质或长寿命粒子的探测研究,并首先于太阳轴子探测研究中取得进展。</p> <p>太阳轴子产生于质子-质子的二级聚变(Fusion)过程,即质子-质子湮灭产生氦核、正电子和电子中微子,或者质子、质子和电子共湮灭产生氦核和电子中微子,然后质子和氦核湮灭产生氦 3 核和轴子,其轴子能量约为 5.5 MeV。在 SNO 探测器内,正如 1978 年诺贝尔奖获得者 Steven Weinberg 教授首先指出的,能量大于 2.2 MeV 的轴子可以将氦核离解为质子和中子。离解产生的中子平衡之后,中子与氦核湮灭产生氦核和 6.25 MeV 的光子,该光子可以被光电倍增管 (PMT)观测到。其背景是中微子与氦核湮灭产生中子、质子和中微子过程。该轴子探测方案优点是不依赖于轴子是否是暗物质候选者,并且其结果与模型无关等。</p> <p>利用 SNO 全部数据,对于质量小于 MeV 的轴子,李田军研究员与合作者排除了轴子和核子之间的 Isovector Coupling (<math>g_{an}^3</math>) 大于 <math>2 \times 10^{-5}/\text{GeV}</math> 的参数空间,并在部分参数空间给出了目前世界上最强的实验限制,这也是世界上首次对此耦合常数给出直接探测的实验限制。如果该耦合常数中轴子质子耦合常数与轴子中子耦合常数没有精确相消,该结果能够排除以前实验如 SN1987A 和 Neutron Star Cooling 等没有排除的相关参数空间。此项工作发表于 Phys. Rev. Lett. 126.091601。</p>		

代表性工作 2	名称	本实验室固定人员参加名单	所属研究方向
	格点模拟电弱一阶相变—原初磁场和引力波的产生	蔡荣根	场论、引力理论与宇宙学
简要介绍	<p>(1500 字以内)</p> <p>随着 2012 年欧洲大型强子对撞机 (LHC) 上希格斯粒子的发现,粒子物理标准模型被证明是一个非常成功的描述物质微观结构和相互作用的模型。但是暗物质,中微子的震荡现象,电弱真空的不稳定性,物质反物质的不对称性等预示着粒子物理标准模型可能是一个不完备的理论模型。对宇宙早期演化过程中各种物理现象的观测是探索超出粒子物理标准模型新物理的一种有效途径。相对于高能加速器上的实验,对各种宇宙起源信号的观测,</p>		

	<p>如引力波和原初磁场等，可以提供涉及更高能标和更弱的相互作用的信息。很多超出粒子物理标准模型的新物理模型都预言了电弱一阶相变的存在。在相变过程中，希格斯场的真假真空被势垒隔开，由于量子隧穿效应，真空泡泡不断产生，膨胀、碰撞，最终希格斯场稳定在真真空附近。人们可以通过探测一阶相变产生的特征引力波能量谱来确定相变的强度、快慢等，进而对新物理模型参数给出限制，产生的磁场可以提供已观测到的星系间磁场所需的种子。对电弱一阶相变的研究将目前的两个研究热点，引力波和原初磁场联系在一起，给出相互关联的预言和模型参数的限制。</p> <p>蔡荣根研究员及其合作者首次运用格点模拟的方法研究了电弱一阶相变的动力学以及相伴产生的磁场和引力波的特征。该工作发现磁场和引力波都可以由相变过程中真空泡壁的碰撞产生，磁场在碰撞后希格斯场的振荡阶段得到放大，导致磁场的峰值频率略高于引力波的峰值频率。相变过程中产生的磁场峰值强度在关联尺度 0.0000001 秒差距处达到 100 纳高斯,经过后期磁流体的演化可以提供星系间磁场演化的种子。磁场和引力波能谱均有分段幂律的特征，其中引力波能谱的谱指标在红外和紫外波段与包络近似给出的解析结果相吻合。该工作比较了不同真空泡形成率下的情形，发现更小的真空泡形成率对应产生磁场和引力波的峰值频率更大。研究成果发表在 <i>Phys. Rev. Lett.</i> 126 (2021) 251102 上。</p>
--	--

	名称	本实验室固定人员参加名单	所属研究方向
代表性工作 3	X 原子-奇特强子态研究	郭奉坤	粒子物理与粒子天体物理及核物理
简要介绍	<p>(1500 字以内)</p> <p>强子是参与强相互作用的能被实验直接探测到的亚原子粒子。在夸克模型中，最基本的强子包括由三个夸克构成的重子（如质子、中子）和由一对正反夸克构成的介子（如 Pi 介子），超出这两种构型的强子称为奇特强子态。2003 年由日本的 Belle 实验首次发现的类粲偶素 X (3872) 是最早被发现也是最重要的奇特强子态之一。X 的命名便代表了发现它的物理学家们对于它的内部结构的未知，而括号里的数字则表示了它的以 MeV 为质量（是质子质量的大约 4.1 倍）。它的神秘性质之一是其质量与一对正反粲介子 <math>D_0^+ D_0^-</math> 的质量和几乎相等，他们之间的差别中心值为零，误差仅为 180keV，小于 X(3872) 质量的万分之五。目前已有许多模型试图对 X(3872) 的结构进行解释，但至今尚无定论。其中一种被广泛讨论的模型是强子分子态模型，它认为 X(3872) 主要是由中性正反粲介子对 <math>D_0^+ D_0^-</math> 构成的类似氢分子的强子分子态，只是这里构成分子的“原子”是粲介子，粲介子之间的相互作用力则为与核力类似的强作用力（原子核则可被看做由核子构成的强子分子态）。在强子分子态模型中，X(3872) 的质量与正反粲介子 <math>D_0^+ D_0^-</math> 质量之和的差称为 X(3872) 的束缚能。强子分子态模型可以对 X(3872) 的很多性质进行较好的解释，它也被广泛地用于讨论其他新强子态。</p> <p>除了强子分子态，实验上还发现一类由两个带相反电荷的强子主要通过电磁力束缚在一起构成的复合系统，称为强子原子态，例如，将一个氢原子的核外电子替换为带负电的 Pi 介子得到的 Pi 类氢原子，以及将一对正反带电的 Pi 介子束缚在一起形成的 Pi 介子偶素。强子之间的强作用力会对强子原子态的性质带来修正，因此，对强子原子态的研究可以得到一些强子之间强相互作用的信息。目前研究的较多的是轻强子构成的强子原子态，含有重强子（如粲介子）的强子原子态在现有文献中尚未有提及。</p> <p>郭奉坤与硕士研究生张振华提出了利用强子原子态来研究奇特强子态</p>		

	<p>X(3872) 的新思路。他们首次提出存在一对带电正反粲介子 <math>D^+ D^{*-}</math> 构成的 C 字称为正的强子原子态（以下称为 X 原子），发现该强子原子态的半径大小和作为强子分子态的 X(3872) 半径大小相近，其质量为 <math>3879.89 \pm 0.07 \text{ MeV}</math>，比 X(3872) 的质量高 8 MeV 左右。由于带电的和中性的 D 和 <math>D^*</math> 粲介子之间可以通过同位旋对称性相联系，因此，可以通过研究 X 原子的性质来间接地确定 X(3872) 的性质；特别是，X 原子和 X(3872) 在 高能反应中的产生几率可以模型无关地联系起来。</p> <p>目前，实验上还未观测到原子存在 X 迹象，即使如此，对 X 原子衰变的进一步研究将使得我们可以用之来限制 X(3872) 的束缚能。该工作首次将强子原子态的研究和奇特强子态的研究联系起来，开辟了强子原子态研究的新的疆域，并且为奇特强子态的研究打开了新的窗口。工作发表于 <i>Phys. Rev. Lett.</i> 127, 012002 (2021)。</p>
--	---

	名称	本实验室固定人员参加名单	所属研究方向
代表性工作 4	从“无序”中发现“有序”：机器学习探索复杂非平衡相变	金瑜亮	统计物理与理论生物物理
简要介绍	<p>(1500 字以内)</p> <p>物质从一种状态转变为另一种状态的过程称之为相变。简单而言，相变对应了物质从一种“序”变为另一种“序”的过程。由诺贝尔物理学奖获得者-朗道提出的基于序参量为研究变量的朗道理论，已成为人们研究相变过程普遍采用的统计物理学方法。以水结冰为例：在相变发生之前，水分子是无规分布的；但是，相变发生之后，水分子按照四面体结构周期性的排列方式而形成冰。因而，水结冰这种相变对应着“晶体序”的产生。</p> <p>与水结冰完全不同，由过冷液体在临界温度以下形成的玻璃态的过程，在相变前后，分子都呈现出无序的排列方式。液体态和玻璃态的明显区别在于其各自的动力学行为：处于液体态中的分子运动很快，因此液体具有流动性；而玻璃态中的分子则基本不动，因而玻璃宏观上呈现为没有流动性的固态。相对于平衡态相变（例如水结冰），液体形成玻璃的过程是一个典型的非平衡过程。由于难以定义和测量体系的序参量，对于这类复杂的非平衡态相变，传统的统计物理方法显得束手无策，因而，在世界上，对玻璃态物理本质的理解是公认的难题，在 <i>Science</i> 创刊 125 周年之际被列为 125 个最具挑战性的科学问题之一。由于玻璃态物质在材料应用和科学探索方面的重要价值，科学家们构建了数不胜数的物理和数学模型，试图理解玻璃化转变的物理本质及其规律。美国三院院士、哈佛大学 David Weitz 教授曾经评述：研究玻璃化转变问题的模型远多于研究模型的科学家。</p> <p>金瑜亮副研究员与合作者采用机器学习方法，直接从分子模拟数据出发，研究了玻璃模型中的一种特有的复杂非平衡相变：Gardner 相变，即在降温条件下，玻璃体系呈现出由具有单一 cage size 的 Glass 相到多级次 cage size 的 Gardner 相的动力学转变。基于深度学习算法的特征结构识别功能，通过构造基于分子动力学轨迹的输入数据、并结合“有限时间-有限尺寸”效应分析，研究者们发现机器学习算法不但可以识别这种非平衡相变，而且可以体现体系的空间关联性，从而精确确定该相变对应的临界指标等物理性质。这也是首次基于分子模拟数据对 Gardner 相变临界指标的数值报道。该研究方法无需对体系事先构建物理模型，而是直接从轨迹数据出发，由机器学习算法自动提取体系的非平衡态物理规律，从而有效避免了因人为理解的偏差而导致物理模型的失真。因此，该研究非平衡态相变的思路和方法有望在自旋玻璃、高分子聚合物、生物细胞等非平衡态体系中得到进一步应用。相关工作发表于《美国科学院院报》PNAS</p>		

(<https://www.pnas.org/content/118/11/e2017392118>)。

代表性工作 5	名称	本实验室固定人员参加名单	所属研究方向
	多体系统的有限温变分方法研究	石骏	凝聚态物理与量子物理
简要介绍	<p>(1500 字以内)</p> <p>基于纯化的变分方法已经被广泛地应用于研究多体系统热平衡态的理论计算中。但是，在处理低温问题，特别是系统热态存在自发对称性破缺时，基于纯化的方法存在着一些理论问题，并不能给出体系正确的热态。</p> <p>为了克服这个困难，石骏副研究员与合作者发展了一套系统研究多体系统热态的变分方法。在这个方法中，他们提出了一套全新的虚实演化方程，使得自由能单调递减，从而得到变分流形上的不动点，对应于系统近似的热平衡态。基于对非高斯态的理解，他们提出了 10 种非高斯变换，并在解析上给出了所有变分参数满足的运动方程。通过数值求解运动方程，可以高效地得到系统热态。研究结果发表于 <i>Physical Review Letters</i> 125 (18), 180602 (2020)。</p> <p>作为测试，作者用这种方法成功地得到 BCS 模型正确的超导相变温度和自由能。将这种方法应用于电声子相互作用的体系，得到了 Holstein 的有限温相图，并预言了其中超导相与电荷密度波 (CDW) 相的相分离现象。这种优化自由能的方法也可以用于其他的多体变分方法中，例如，结合 DMRG 以及张量网络方法研究多体系统热态的性质。</p>		

列出本年度 3-5 项代表性研究工作，表格可复制。

### 3. 合作研究的组织情况与实施效果

(简要介绍实验室一年来开展合作研究的情况和标志性成果，组织和参与国际重大科学研究计划的情况(指正式签订协议书的国际合作科研项目)及成效。)

#### 1、立足重大科研任务开展合作研究情况及标志性成果

2021 年度，围绕前沿重大科学问题，组织高能所、近物所、国科大、中科大等院内单位推动并成功立项先导 B 培育项目“早期宇宙演化的核心理论问题研究”，在宇宙暴胀本质、物质起源和质量起源的理论研究以及大数据与机器学习算法研究方面开展合作研究，发表近百篇高水平论文，取得的代表性成果包括：提出了利用强子原子态来研究奇特强子态 X(3872) 的新思路；通过在帕克斯脉冲星计时阵列中搜寻“分段幂律”形态的引力波能谱，对宇宙一阶相变的参数进行限制；提出新的大批振幅张量网络方法，大幅降低计算大量相关位串振幅的复杂度，使得谷歌的量子霸权不复存在等。

立足国家重点研发计划等重大项目开展合作交流，举办了“第一届地下与空间粒子物理与宇宙物理前沿问题研讨会”、“引力波宇宙学波源物理研究”项目启动会暨实施方案论证会、“我国科学计算机软件的现状、问题及对策研讨会”、“粒子物理与宇宙学”创新群体项目活动等交流活动。

组织国家天文台、中科大等院内单位优秀青年科学家联合申报院优秀青年团队项目，并成功争取到“物质与暗物质起源的研究”青年团队项目立项。

在面向国家重大需求方面，与声学所、上海光机所、大连化物所、理化所等单位进行了深入的交流研讨，为解决国家重大需求中的理论问题提供理论支撑。

已与上海光机所联合争取到重任局重大专项“空间激光通信用 Yb/Er 掺杂石英光纤的研制”的立项，负责承担理论计算和模拟部分的研究工作。

## 2、积极开展其他国际合作研究

2021 年实验室成功申报并执行了院国际人才计划 (PIFI) 的 4 个国际博士后计划、1 个国际访问计划，在 PIFI 管理年度评估中获得了较好的成绩。本年度 PIFI 合作研究共计发表合作研究论文 4 篇，重点成果包括：Kelvin 博士在研究所工作期间与杜孟利研究员及课题组其他成员合作，从理论上研究了处于静电场中单价负离子光电子在屏幕上量子干涉条纹受横向磁场的影响问题，推导了在均匀磁场和垂直的随时间慢变化的电场中负离子的外层电子发生光剥离的总截面公式；Sakai 博士在研究所工作期间与郭奉坤研究员及课题组其他成员合作，特别关注与大科学装置相关的奇特强子态的理论研究，对 LHCb 实验组发现的  $P_c$  五夸克态的性质、散射过程中的三角奇点和阈值效应等进行了研究；神谷有辉 (Yuki Kamiya) 博士及其合作者等利用 Kbar N 相互作用的耦合道手征 SU(3) 模型并将其扩展用以描述强子对关联，描述了 ALICE 实验的  $K^- p$  长程关联的相关数据。

实验室一直致力于为国内外不同领域的专家学者打造交流平台。2021 年 8 月 23 日-28 日，线上主办了第 28 届超对称国际会议 (The 28th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions)，1300 多位专家学者参加了本次会议，共做了 45 场大会报告，480 余场分会报告，是超对称国际会议迄今为止参加人数和报告数量最多的一次；

## 二、队伍建设和人才培养

### 1.队伍结构与团队建设

(简要介绍实验室队伍的总体情况，包括学术带头人(课题组长)人数，队伍结构，特别是 40 岁以下研究骨干比例及作用。一年来队伍建设、人才培养(包括青年人才、研究生培养)与引进情况，特别是团队组织和凝聚、吸引、培养国内外优秀中青年人才的措施及取得的成绩。各主要方向 40 岁以下研究骨干承担科研任务情况及取得的研究成果情况等。)

### 队伍总体情况

截至 2021 年底，实验室共有固定人员 48 人(含 1 名外籍)，在站博士后 23 人(含 2 名外籍)，在学研究生 159 人(含 3 名留学生)。固定人员中有科研人员 37 人，其中研究员 29 人、副研究员 8 人。管理人员 10 人、技术支撑人员 1 人，40 岁以下研究骨干 15 人，占实验室固定人员的 31%。研究人员中有中国科学院院士 3 人，发展中国家科学院院士 2 人，杰出青年基金获得者 12 人，国家人才计划青年项目入选者 10 人，中科院人才计划入选者 20 人，国家高层次人才特殊支持计划入选者 4 人，优秀青年基金获得者 4 人。2021 年新增中国科学院院士 1 人、杰青 1 人，优青 1 人。

### 团队建设

#### (1) 人才引进工作

在新冠疫情防控常态化的情况下，采用线上、线下相结合的方式，积极招聘、

引进海内外人才，推荐3位人才申报基金委优秀青年科学基金（海外）项目，推荐1位外籍资深科学家申报教育部高端人才项目，完成3位人才的中科院人才计划备案，并支持其择优答辩。2021年研究所所有2位青年人才到位工作，新增中国科学院院士1人、杰青1人，优青1人。

在广泛征求意见和领导班子集体讨论的基础上，制定研究所特聘研究岗位实施方案及岗位设置方案，并以此为契机结合“我为群众办实事”实践活动，调整青年骨干薪酬发放、经费匹配、团队建设及考核评价机制等。

## （2）人才培养工作

我所博士后流动站是我国最早的博士后流动站之一，我所是国务院学位委员会批准的首批博士学位授予单位。博士后、研究生群体是我所科研队伍的生力军和后备队。2021年进站博士后11人，出站11人，1位博士后获得院特别研究助理项目资助，另有多人获得“博士后国际交流计划项目”、博士后基金等资助。

2021年招收硕士生23人，博士生26人，毕业研究生24人。分别有1名研究生获得院长特别奖、院长优秀奖、院优秀博士论文、院朱李月华优秀博士生奖，3名研究生获国家奖学金，1名留学生获得国科大优秀国际学生奖。

根据教育部、科技部有关文件通知，按照国科大的要求，修订研究生培养方案和科研成果要求，重视人才培养质量和培养过程，科学设置学位授予质量标准；完善德智体美劳全面发展的人才培养体系相关内容，修订部分课程及学分要求。积极参与、推进科教融合工作，配合国科大物理学院完成物理学一流学科建设方案编写，完成2021年物理学一流学科建设总结报告，完成理学门类学科目录修订工作。

## 40岁以下研究骨干承担科研任务情况

郭奉坤研究员，承担基金委重点项目“奇特强子态与低能强相互作用”（2019/1-2023/12），参与中科院B类先导专项“强子结构理论研究”（2020/1-2024/12）；

金瑜亮研究员，承担基金委面上项目“非晶固体的弹性、塑性与屈服”（2020/1-2023/12），承担中科院其他项目“蛋白质分子与玻璃物质的相似性研究——动力学及稳定性”（2019/1-2023/12）；

于江浩研究员，承担基金委面上项目“中性自然性模型的对撞机和宇宙学检验”（2019/1-2022/12），承担基金委优秀青年科学基金“超出标准模型的新物理”（2021/1-2023/12）；

杨刚研究员，承担基金委优秀青年科学基金“量子场论的计算方法”（2019/1-2021/12）；

舒菁研究员，承担基金委国家杰出青年基金“粒子物理和宇宙学”（2020/1-2025/12），承担中科院稳定支持基础研究领域青年团队计划“物质与暗物质起源的研究”（2021/6-2026/6），承担中科院B类先导专项“通过原子EDM测量检验CP对称性”（2016/6-2021/5）；

张潘研究员，承担基金委面上项目“基于神经网络的统计力学新方法的研究”



(2020/1-2023/12)；承担中科院其他项目“统计物理平均场理论在统计推断与机器学习中的应用”（2017/5-2022/5）；

石弢副研究员，承担基金委面上项目“统计物理平均场理论在统计推断与机器学习中的应用”（2019/1-2023/12）。

#### 40 岁以下研究骨干取得的研究成果

(1) 舒菁研究员及其团队研究首先从时空的庞加莱对称性出发定义了任意数量粒子散射的接触振幅的总角动量，并以此确定了有效算符对相关过程贡献的角动量选择定则。该选择定则被一系列标准模型有效理论的 6 维算符相关圈图计算所证实，并可以对 8 维或更高维算符的相关圈图计算给出准确预言。这些选择定则都由标准模型有效场论中的具体计算佐证，是有效场论相关计算的创新突破，并且验证了在壳振幅方法的优越性。研究论文发表在 Phys. Rev. Lett.

(2) 张潘研究员团队提出新的张量网络方法，利用了悬铃木量子计算机所对应张量网络的空间结构和低秩结构，并结合新提出的 sparse-state 概念的张量网络缩并新方法，可以仅仅利用一次张量网络缩并完成大量不相关位串的振幅计算，大大降低了获取不相关采样的计算复杂度，表明谷歌公司的悬铃木量子计算机的经典模拟可由一万年缩短至数十秒，因此谷歌的量子霸权已不复存在。研究论文发表在 Phys. Rev. Lett.

(3) 孟凡龙副研究员及其合作伙伴利用构建解析理论和朗之万动力学模拟的方法，发现微流管道内的磁性微观游泳体可以呈现奇异的类似于量子系统中玻色-爱因斯坦凝聚形式的集体运动模式。此工作不仅丰富了人们对多体相互作用下的活性物质系统所能呈现的集体行为模式的认识，同时对磁性微观游泳体或磁性微观机器人在微流环境中的应用具有一定的指导意义。研究论文发表在 Phys. Rev. Lett.

(4) 杨刚研究员在研究色-动量对偶方面取得新进展，首次发现了一类三圈形状因子的满足对偶关系的解；特别的，他们发现这个解空间还意外的大，比如对于能动量守恒流算符的情形，其解空间包含多达 24 个自由参数。这一成果发表于 Phys. Rev. Lett.。

(5) 何颂研究员在量子场论微扰计算方面取得了重要成果。他们基于一些费曼图也有 Wilson 圈解释这个观察，将许多难以计算的费曼图化为较简单的类似于 Wilson 圈计算中线积分的形式。特别地，他们通过这个方法计算了图中被称为“双圈手征五边形图”的费曼积分，将两圈积分化为一圈积分的两重线积分的形式，并通过一些既有的算法首次给出了该积分结果的结构。研究论文发表在 Phys. Rev. Lett.

(6) 杨一玻副研究员担任 LPC 合作组发言人，为合作组的 LQCD 计算提供架构和方案设计、以及数值计算培训。LPC 合作组使用格点量子色动力学 (QCD) 方法，基于大动量有效理论 (LaMET) 框架，在 MILC 合作组具有物理夸克质量参数的三个格距的规范组态上，系统地计算了含有一个轻夸克和一个奇异夸克的矢量介子  $\rho$  和  $K^*$  的准 LCDA，并基于大动量与连续外推与解析计算，得到了对 LCDA 的第一性原理预言。由于轻夸克与奇异夸克的质量差，横向极化的  $K^*$  介子的 LCDA 具有显著的不对称性；但是类似的不对称性却未在径向极化的  $K^*$  介子的

LCDA 中观察到。该研究是在基于 LaMET 的格点 QCD 计算中，目前唯一在具有物理夸克质量参数的多个格距的格子上完成计算、并进行连续外推的结果。研究论文发表在 Phys. Rev. Lett.。

## 2. 实验室主任、副主任简介

(依次简要介绍实验室主任、副主任情况，在实验室发挥的作用以及在国家科技计划担任咨询专家情况。)

姓名	蔡荣根	身份类型	实验室主任
性别	男	年龄	57
最后学位	博士	获得最后学位 所在院校	复旦大学
任职时间	2017.10.20	依托单位职务	所长
学习及工作经历	1981.09—1985.06 杭州师范学院物理系本科学生 1985.09—1987.06 四川大学物理系理论物理研究生班研究生 1987.07—1992.08 青海师范大学物理系讲师 1992.09—1995.06 复旦大学物理系理论物理专业博士研究生 1995.07—1997.06 中国科学院理论物理研究所博士后 1997.07—1999.06 韩国汉城国立大学理论物理中心博士后 1999.09—2001.06 日本大阪大学物理系 JSPS 博士后 2001.06—2003.06 中国科学院理论物理研究所副研究员 2003.07— 中国科学院理论物理研究所研究员		
研究方向	引力理论与宇宙学		
代表性工作	“引力体系动力学和热力学性质及其内在联系的研究”（2011 年获得国家自然科学二等奖）		
个人荣誉	2003 年，获得国家自然科学基金委杰出青年基金 2006 年，入选新世纪百千万人才工程国家级人选 2006 年，享受政府特殊津贴 2011 年，国家自然科学奖二等奖，重庆市自然科学一等奖 2014 年，汤森路透全球高被引科学家奖 2016 年，中组部万人计划“百千万人才工程”领军人才 2016 年，中国科学院优秀共产党员 2017 年，当选中国科学院院士 2018 年，当选中国人民政治协商会议第十三届全国委员会委员 2019 年，当选国际广义相对论和引力学会会士 2020 年，当选发展中国家科学院院士 2021 年，获得中央国家机关工委“优秀共产党员”称号		
学术兼职	中国物理学会常务理事，中国物理学会引力和相对论天体物理分会主任，国际广义相对论和引力学会理事，亚太物理学会天体物理，引力和宇宙学分会副理事长，金砖国家引力，天体物理和宇宙学学会理事长，亚太理论物理中心（APCTP）理事，中国空间站基础物理首席科学家等		
学术期刊兼职	《International Journal of Modern Physics D》、《Modern Physics Letters A》、《Advances in High Physics》、《科学通报》等杂志编委，《中国科学》（物理，力学和天文学）副主编，《Communication in Theoretical Physics》副主编		

姓名	周海军	身份类型	实验室常务副主任
性别	男	年龄	48
最后学位	博士	获得最后学位 所在院校	中国科学院理论物理研究所

任职时间	2017.10.20	依托单位职务	无
学习及工作经历	1991.09-1995.07 南开大学物理系，本科 1995.09-2000.08 中国科学院理论物理研究所，硕博连读研究生 2000.08-2003.02 德国马普胶体与界面研究所，博士后 2003.03-2003.08 中国科学院理论物理研究所 访问学者 2003.09-2005.09 德国马普胶体与界面研究所，博士后 2004.11 中国科学院理论物理研究所，入选中国科学院人才计划 2005.09 — 中国科学院理论物理研究所，研究员 2020.12 — 闽江理论物理协作中心，主任 2021.11 — 中国科学院大学物理科学学院，副院长		
研究方向	统计物理与复杂系统		
代表性工作	1. Hai-Jun Zhou, Kinked entropy and discontinuous microcanonical spontaneous symmetry breaking, Physical Review Letters 122: 160601 (2019). 2. Yi-Zhi Xu, Chi Ho Yeung, Hai-Jun Zhou, David Saad, Entropy inflection and invisible low-energy states: Defensive alliance example, Physical Review Letters 121: 210602 (2018). 3. Salomon Mugisha and Hai-Jun Zhou, Identifying optimal targets of network attack by belief propagation, Physical Review E 94: 012305 (2016). 4. 《自旋玻璃与消息传递》（科学出版社，北京，2015）. 5. Zhijian Wang, Bin Xu, Hai-Jun Zhou, Social cycling and conditional responses in the Rock-Paper-Scissors game, Scientific Reports 4, 5830 (2014).		
个人荣誉	2010 年，获得第十一届中国青年科技奖 2012 年，国家杰出青年基金获得者 2015 年，国家百千万人才工程入选者，有突出贡献中青年专家		
学术兼职	第 27 届 IUPAP 国际统计物理大会（2019）国际顾问委员会委员. The Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO, 荷兰) 研究基金评审专家 (2018). Research Grants Council (RGC) of Hong Kong (RGC, 香港) 研究基金评审专家 (2017, 2018, 2019).		
学术期刊兼职	《Journal of Statistical Mechanics》、《Journal of Physics: Complexity》、《European Physical Journal B》、《Scientific Reports》、《Helion》、《Science China: Mechanics Physics, Astronomy》、《Communications in Theoretical Physics》等杂志编委		

姓名	周宇峰	身份类型	实验室副主任
性别	男	年龄	48
最后学位	博士	获得最后学位所在院校	中国科学院理论物理研究所
任职时间	2017.10.20	依托单位职务	第一研究室主任

学习及工作经历	1992/09-1996/06 华中师范大学物理系，本科 1996/09-1999/01 华中师范大学粒子物理研究所，硕士 1999/03-2002/03 中国科学院理论物理研究所，博士 2002/05-2003/10 德国慕尼黑大学理论物理研究所，洪堡学者(Humboldt Fellow) 2003/10-2005/10 德国多特蒙德大学物理系，德国 DFG 基金会资助，博士后 2005/10-2007/10 日本高能加速器研究机构，日本学术振兴会特别研究员 2007/10-2009/02 韩国高等研究中心， Research Fellow 2009/03- 入选中科院人才计划，现为中科院理论物理所研究员
研究方向	粒子物理与粒子宇宙学
代表性工作	在暗物质理论、暗物质与对称性破缺、CP 对称性破缺机制研究等几个方面开展了长期系统性的研究。系统研究了利用高能宇宙线粒子能谱限制暗物质属性，提出了数个具有原创性的相互作用机制、计算方法和暗物质理论模型。其中包括：提出了 TeV 电子能谱结构形成机制、确定宇宙线传播模型的新方法、赝标量粒子索末菲效应、暗物质组份转化机制、基于 CP 对称性的暗物质模型等。
个人荣誉	2018 年，国家杰出青年基金获得者
学术兼职	亚太理论物理中心 (APCTP 总部韩国) TFT 委员 Dark Side of the Universe 系列国际会议顾问
学术期刊兼职	无

身份类型：实验室主任、实验室副主任  
此表格可以复制，请自行添加。

### 三、开放交流与运行管理

#### 1. 对外开放

(访问学者制度建设情况,吸引国际同领域实验室人员到本实验室开展访问学者研究工作和国内外优秀博士毕业生到实验室开展博士后研究工作的情况。

设置开放课题的情况,以及开放课题所取得的重要成果等。)

为进一步深化“开放交融、求真创新”的办所方针,促进优质科研资源共享,活跃研究所科研交流与合作氛围,实验室制定了《访问学者管理办法》。实验室访问学者分一般访问及彭桓武中心高级访问。一般访问面向来理论物理所从事学术交流活动的国内外访问学者(北京地区除外),按照职称可分为正高级职称(教授、研究员)、副高级职称(副教授、副研究员)、中级职称(讲师、助教等)、博士后。彭桓武中心高级访问面向正在或曾在国内外知名科研机构或者大学工作(北京地区除外),具有较深学术造诣,有意来我所从事一定期限合作研究工作的优秀科学家,具有正高级(教授、研究员)相当专业技术职务。

实验室访问学者由固定科研人员邀请,实验室为他们提供旅费和生活补贴,实验室主管负责来访事宜的全程协助,包括国外学者来华签证办理、食宿交通安排、办公室安排、计算平台账户开设等等,为来访的国内外科学家提供全方位的管理和服务,以便于他们在实验室开展长期的科学研究并与实验室固定研究人员建立起合作关系。访问期间,实验室要求来访科学家在访问期间至少做一次学术报告,与所内合作科研人员和研究生博士后开展讨论。受疫情影响,2021 年实验室共接待国内外来访科学家 69 人次。

#### 2. 科学传播

（实验室开展科学知识、科学精神和实验室文化的传播情况，向社会公众特别是学生科学传播的情况，以及取得的成效。）

2021 年度实验室通过科普报告、直播平台、微信公众号平台等形式大力开展科学传播工作。

2021 年 5 月 22 日，举办了“第十七届公众科学日”活动，邀请张潘研究员为大家带来了一场名为“大自然的计算”的精彩科普报告。清华大学物理学院的本科生以及来自周边学校的中学生、小学生等 120 多名听众聆听了此次科普报告。本次活动在寇享和 B 站上同步直播，3000 多人在线收看了本次科普报告，社会反响热烈。

2021 年 10 月 31 日，金瑜亮和孟凡龙研究员做客央视微视频“解读 2021 年诺贝尔物理学奖”。两位研究员从鸟群这样一种存在相互作用的大量个体导致的集体行为这样一种现象开始说起，通过解释了相空间、自旋玻璃、亚稳态、分形等一系列概念来向大众介绍 Parasi 的工作的科学意义以及 Parasi 工作对于基础科学工作的启示。直播当天，有近 6 万人在线观看，观众对我所两位研究员的学识和风度好评如潮、反响热烈，大大地提升了实验室的公众影响力。

截止 2021 年 12 月 31 日，2021 年理论物理所（实验室）在微信公众号平台发布了共 391 篇推文，其中原创文章 91 篇，关注人数 39233 人。

#### 四、依托单位的支持

理论物理所为实验室提供了完备的支撑保障，实验室目前拥有近七千平米的办公面积，基本满足实验室固定人员和临时来访学者的办公需求。大会议室 1 间，中小型多媒体教室 2 间，圆桌会议室 2 间，大会议室根据需要可使用视频联网，可容纳参会人员至 300 人左右；两栋办公楼内均设有独立的咖啡厅，讨论室；学术交流用房主要集中在新楼的五六两层，加之新楼天井开放式设计，宽敞明亮，有利于研究人员相互交流讨论。实验室专项经费做到专款专用，专人负责，财务制度公开透明。