

缪子反常磁矩实验：见证新物理？

■本报记者 张双虎 ■黄辛

日前，在美国费米国家实验室进行的缪子反常磁矩实验公布首个结果：基本粒子缪子的行为和标准模型理论预测不相符，该结果与早期美国布鲁克海文国家实验室的实验结果一致。这预示着，世界上可能存在新的未知粒子或者作用力。

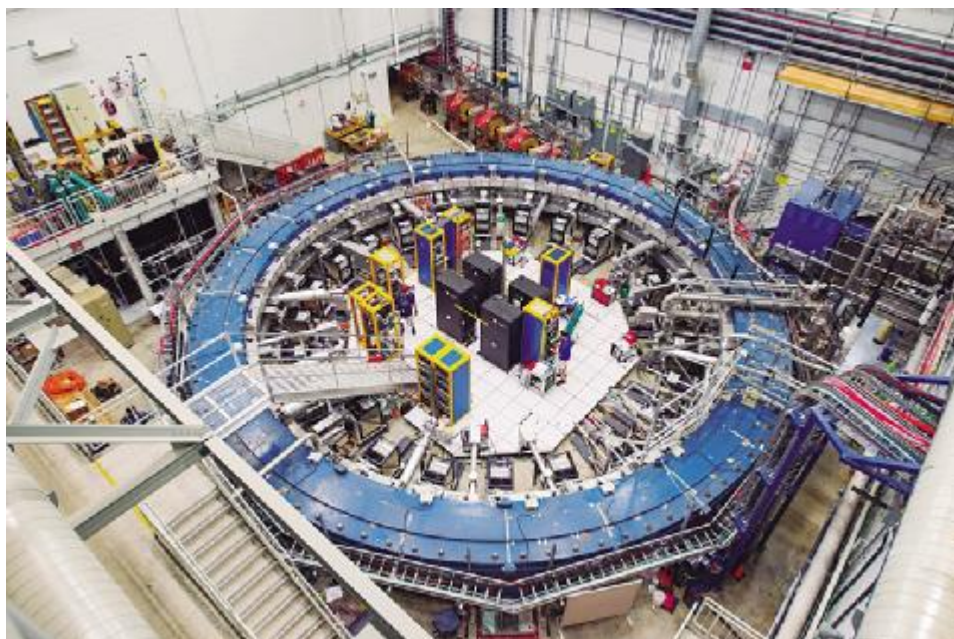
“这意味着原本经历了多次考验、堪称完美的标准模型理论也许并不能完全描述粒子世界的规律，也许会有更完美的理论等待人类发现。”缪子反常磁矩实验早期成员之一、上海交通大学物理与天文学院教授李亮告诉《中国科学报》。

粒子物理学界的里程碑时刻

“今天是伟大的一天，不仅在期待这一天，整个国际物理学界都在期待这一天的到来。”4月7日，缪子反常磁矩实验共同发言人、意大利国家核物理研究所物理学家格拉齐亚诺·韦南佐尼在公布缪子反常磁矩实验结果时说。

缪子在宇宙射线穿透地球大气层时会自然产生，人们也可以通过粒子加速器（比如位于费米实验室的质子加速器）大量制造缪子。与电子类似，缪子也有内禀磁矩，在外界磁场下，缪子的磁矩指向会发生波动或者摇晃，好比旋转的陀螺会发生摇晃一样。缪子内禀磁矩的大小决定了缪子进动频率的大小，这两者之间的比值被物理学家称为“旋磁比”（也叫 g -因子），这个比值能够被理论精确计算。同时当缪子在磁场中旋转时，它也和时空最深处起伏不定的量子泡沫发生相互作用。这些转瞬即逝的量子泡沫（也叫“虚粒子”）会影响 g -因子，从而使缪子进动的频率加快或者变慢一点点。

“粒子物理的标准模型可以对这一反常的磁矩影响作出非常精确的预测。如果量子泡沫中包含新的未知作用力或者粒子，标准模型的预测就将失效。”该实验参与者之一、上海交通大学长聘教授许金祥告诉《中国科学报》。



缪子反常磁矩存储环俯视图。

图片来源：费米实验室

“对缪子进行超精密测量是个了不起的成就。缪子反常磁矩实验将对未来若干年寻找超越标准模型的新物理提供指引。”费米实验室副主任乔·莱肯说，“这是粒子物理学界的里程碑时刻。”

将产生颠覆性影响

“我们测量的是缪子与周围世界的相互作用。当理论物理学家利用已知的标准模型对这一相互作用进行计算时，他们得到的答案却和我们不一样。”美国肯塔基大学物理学家、缪子反常磁矩模拟数据组负责人蕾妮·法塔米说，“这强烈暗示着在现有理论之外有新东西存在，而缪子对此非常敏感。”

20多年前，布鲁克海文国家实验室的研究人员就发现缪子行为与标准模型不符的

迹象。此次费米实验室和布鲁克海文国家实验室的综合测量结果与理论值相差 4.2 倍标准方差，比 5 倍标准方差略小。这已经是一个非常有力的证据，出现统计误差的概率仅为四万分之一。

“当前测得的这一数值，已经足够说明我们现有的标准模型理论可能只是在特定情况下的一种近似理论。”李亮说，“这意味着我们所在的空间可能有尚未发现的新粒子存在，或者有新的作用力存在。而在这一新发现之前，物理学界对物理学的四种作用力以及物理世界究竟有什么粒子已经基本达成了共识。一旦新发现被‘坐实’，将对粒子物理乃至整个科学领域产生颠覆性影响。”

爱因斯坦发现相对论，描述了极速运动和强引力场下的物体运动状态，在人类视野拓展到太空后，其价值凸显出来。如果这一

发现突破了现有物理理论框架，也会对人类生活产生重大影响。

“但这个影响可能不会立刻体现出来，需要一段时间的发展和酝酿。”李亮说。

寻找新物理的信心

费米实验室的缪子反常磁矩实验是一项跨国合作项目，其国际合作组目前由 7 个国家、35 个研究单位的近 200 位科研工作者组成。

2012 年，上海交通大学成立缪子物理团队并参加了费米实验室的缪子反常磁矩实验。在此过程中，该团队前期在量能器的研发和束流测试方面作出了重要贡献，后期在探测器模拟、束流动力学优化与设计、事件重建、能量和时间的刻度、离线数据分析等实验的多方面也有突出贡献。同时，该团队还参与了精确磁场的测量、校准方面的研究，是当前合作组中参与各项测量任务最全面的实验团队之一。

2013 年，布鲁克海文国家实验室的长约 50 英尺（16 米）的超导存储环从纽约运到芝加哥郊区的费米实验室。在接下来的 4 年里，研究人员搭建了各项实验设备；调整和校准了无比均匀的磁场；研发了新的探测技术、仪器和仿真程序；全面测试了整个系统。

2018 年，缪子反常磁矩实验采集的数据量就超过了以前所有实验的总和。现在缪子反常磁矩国际合作组已经分析了超过 80 亿个缪子的数据。

今年 2 月 25 日正式数据分析结果出来时，世界各地的 100 多个成员在线参加了结果的揭晓。许金祥说，当数据分析结果公布那一刻，“可以听到来自世界各地的欢呼声”。“一年后，还会公布一批结果。”许金祥说，“实验的第二期和第三期数据分析正在进行中，同时实验还在进行第四期的取数，接下来还有第五期的运行。通过分析全部五期的数据，科学家们能够得到更加精确的测量结果，从而对发现新物理更加充满信心。”

发现·进展

中科院上海光学精密机械研究所等

实现多色光纤束无透镜衍射成像

本报讯 近日，中国科学院上海光学精密机械研究所（以下简称上海光机所）高功率激光物理联合实验室与上海交通大学智能光子学研究中心合作，基于古希腊光子学筛的色散等效操作，利用多色光纤束自补偿实现了高分辨的无透镜衍射成像。相关成果发表于《光学快报》。

干涉法和衍射法都能够有效重构待测物体的复振幅信息。干涉法满足实时性需求，但干涉记录需要引入参考光，难以共光路干涉。为了提高衍射重构的时效性，上海光机所研究人员从多角度入手解决这一问题，其中无约束的多距离重构逐渐成为热点，与之对应的是多色光衍射重构。

考虑到多色光源以及准直透镜的色散特性，研究人员搭建了基于多色光纤束的衍射成像光路。先用光纤耦合镜将不同波长的激光光源耦合到各自波长匹配的准直光纤，再用光纤耦合器合束，最后经光纤输出准直透镜转换成准平面光照明。对比实验证明，色散补偿后的成像质量有了显著提升。进一步的理论分析和实验研究还表明，大于 50 纳米间隔的多色光源更有利于衍射重构。

研究人员表示，该项工作为生物细胞相位成像、移相干涉等领域研究提供了另一类技术选择。

（黄辛）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1364/OE.419128>

中山大学

发现结直肠癌治疗新靶标

本报讯（记者朱汉斌）中山大学肿瘤防治中心教授陈帅团队通过 shRNA 文库联合二代测序技术，筛选发现结直肠癌候选治疗新靶标。相关研究近日发表于《尖端科学》。结直肠癌是世界范围内最常见的恶性肿瘤之一。近年来，随着我国人民生活水平提高、膳食结构改变，结直肠癌发病率呈上升趋势，严重危害人民健康。新治疗靶标的发现将为抗肿瘤新药开发提供重要理论依据。

DKC1 属于假尿嘧啶合成酶家族，催化 RNA 发生假尿嘧啶 (ψ) 修饰。DKC1 同时也是端粒酶复合物的亚基，其基因突变会导致先天性角化不良，但在肿瘤治疗中的潜在价值目前尚未知晓。

研究人员发现 DKC1 的表达水平在结直肠癌组织中异常升高，且其高表达与患者的不良预后显著相关。功能研究表明，DKC1 能够结合包括 RPS3 在内的多个核糖体蛋白的 mRNA，延长这些 mRNA 的半衰期，从而升高 RPS3 等蛋白在细胞内的表达量，促进肿瘤细胞的恶性增殖。相反，DKC1 的抑制剂 pyrazofurin 则显著抑制 RPS3 等核糖体蛋白的表达，具有抗肿瘤活性。

陈帅指出，上述研究表明，DKC1 是一个结直肠癌治疗的候选新靶标。

在上个世纪寻找肿瘤化疗药物的浪潮中，pyrazofurin 作为核苷合成抑制剂已经在包括结直肠癌在内的多种肿瘤中展开了临床试验，但是疗效不尽如人意。针对这一临床现象，并结合已有的报道称 pyrazofurin 是 DKC1 抑制剂以及 RPS3 能够抑制 ERK 信号通路，陈帅团队提出猜想：DKC1-RPS3 信号轴能否抑制 ERK 信号通路？Pyrazofurin 是否意外活化了 ERK 通路，部分削弱其抗癌效果？接下来的研究证实 DKC1 导致的 RPS3 表达能够结合并抑制 H-RAS，从而抑制 MEK-ERK 信号通路。Pyrazofurin 治疗的同时联合使用 trametinib (MEK 抑制剂)，则具有显著的协同抗癌效果。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adv.202004344>

“橘生淮北则为枳”背后有玄机

本报讯（记者张晴丹）“橘生淮南则为橘，橘生淮北则为枳”，实际上是由于以枳作为砧木的柑橘嫁接苗在移植到气候寒冷的淮北地区后，不耐寒的柑橘接穗被冻死，而耐寒的枳砧能再次萌发出新的枝梢。枳是芸香科枳属小乔木，因其具有抗寒、抗旱以及与大多数栽培柑橘品种嫁接亲和性好等特征，在柑橘产业中作为重要的砧木而被广泛应用。然而，枳砧和接穗之间相互作用的分子机理尚不明确。

近日，《园艺研究》在线发表了华中农业大学园艺林学学院教授徐强课题组的研究论文。研究团队结合 PacBio 测序与遗传图谱，组装了高质量的枳基因组，通过枳与栽培柑橘之间的比较基因组学分析以及转录组比较，发现了枳特有的与抗寒相关的基因，解释了枳相对于栽培柑橘具

有更强抗寒性的原因。

为了研究枳砧木对接穗的影响，作者利用枳 (Pt 表示) 作砧木嫁接甜橙 (SWO 表示) 接穗的组合 (SWO/Pt)，同时使用甜橙本砧嫁接 (SWO/SWO) 作为对照，通过重亚硫酸盐测序分析了接穗全基因组单碱基 DNA 甲基化图谱。结果表明，与 SWO/SWO 相比，SWO/Pt 中接穗的 DNA 甲基化水平明显降低。DNA 甲基化差异基因 KEGG 富集分析发现，其主要富集在类黄酮代谢、植物-病原菌互作等通路。基因表达分析发现植物-病原菌互作相关的基因在 SWO/Pt 中上调表达。这些结果表明枳砧木导致的接穗去甲基化可能激活了接穗抗性基因的表达，使其具有更强的适应性。

本研究组装了高质量的枳砧木基因组，为今后砧木遗传改良研究提供了重要基



▲ 枳砧木
▼ 嫁接后的砧木和接穗
徐强供图

础。通过对不同嫁接组合的多组学分析揭示了嫁接传递的 DNA 甲基化修饰可能是砧木和接穗互影响的一种机制。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41438-021-00505-2>

茶叶如何熬过“冰”“火”两重天

■本报记者 王方

气候，如水热条件，对粮食生产供给影响复杂且深远。二十四节气便是中国先民观察自然节律、顺应天时指导农事的典范。但自第一次工业革命以来，人类活动尤其是大量温室气体的排放，前所未有地改变了全球气候条件。

近日，南方科技大学环境科学与工程学院讲席教授郑春苗团队与韩国首尔国立大学教授 Sujong Jeong 团队合作，以“极端气温对中国茶叶生产影响”为题在《环境研究快报》发表最新研究成果。

该研究结合多源数据和数值模型，揭示了极端天气条件和未来增温情景对中国茶叶生产的影响。

一项很有必要的研究

“粮食安全事关民生，粮食安全是国家安全的重要基础。”郑春苗在接受《中国科学报》采访时表示，大量研究表明，气候变化已经并将持续冲击全球粮食生产。其中，中低纬发展中国家将受到最为负面的影响。

茶作为我国代表性文化符号之一，虽不是典型意义上的“粮食”，却是十分重要的经济作物。我国作为最大的茶叶生产国，茶在全国广泛种植，从事茶产业相关人口约 8000 万。

此外，郑春苗表示，茶叶产业对促进中国农村地区和社会经济发展有十分重要的作用。

然而，历史上茶叶生产时常受到不良气象条件影响，其中寒潮造成的减产效果尤为明显。而且，“在全球变暖的大背景下，特别是极端高温事件频发的情况下，茶叶生产已经在浙



茶叶生产未来可能会遭遇低温寒潮以及高温干旱的多重冲击。
课题组供图

江等地区受到较为严重的影响。”他说。

研究团队认为，中国茶叶生产未来可能会遭遇低温寒潮以及高温干旱的多重冲击，因此，非常有必要针对气候变化对我国茶叶生产作综合性分析研究。

茶叶影响研究考量更多

“国内外多数学者针对极端气温对农作物的影响研究主要集中在粮食作物的产量，关注于籽粒的生产构成，例如水稻、小麦、玉米等，很少有专门针对茶叶的产量和品质的研究。我国作为茶叶的起源国和第一生产大国，理应更加重视其研究。”郑春苗说。

茶作为饮料作物，主要收获新生芽叶。新生芽叶十分脆弱，极易受天气影响。另外，茶叶

的产量和风味品质共同决定其最终经济价值。

目前对于极端天气，特别是极端温度下中国茶叶生产影响的研究缺乏系统性。而且，与其他农作物相比，研究极端气温或气候变化对茶叶生产的影响，需要考量更多、更复杂的因素。

基于全国 41 个地级市以及 1 个直辖市近 30 年的历史数据，该研究采用了经典的回归模型解析历史极端温度事件对茶叶产量的影响，同时采用了 21 个气候模式对未来增温情景的模拟。

与同时期的其他机械性作物模型相比，该研究采用的基于大量历史数据的统计回归模型能较好地反映极端天气对产量的影响，规避了机械性模型在大范围应用上缺乏可靠参数的难题。

“简而言之，相对于机理模型，统计回归模型可以利用相对较少的数据同时获得更可靠的结果。两种方法各有利弊，取决于具体使用条件。”参与研究的南方科技大学讲席教授刘俊国表示。

尽早采取规避措施

研究结果表明，极端高温和低温均显著降低茶叶产量。

在 1990 年至 2016 年间，中国茶叶产量的 50% 以上受到极端低温的影响，最大年减产率达 56.3%。

未来，气候变暖能够减缓极端低温带来的负面影响，因而在未来 1.5℃ 和 2℃ 增温情景下，气候变暖对中国茶叶生产有促进作用。不过，气候变暖也会加剧极端高温的出现频率，进而导致长江流域和南方等地区茶叶产量减少。

具体而言，气候变暖可能将极端低温的负面影响减少至 14%，特别是在目前受极端低温影响最大的北方茶区 (>28°N)。然而，在长江 (约 30°N) 和华南 (< 25°N) 地区，将出现极端高温导致的减产区域，预计减产幅度将达 14%~26%。该研究预测重庆、湖南、安徽和浙江等地因高温导致的产量损失率将高达 11%~24%。

“我们预测，中国将面临更加严峻的高温冲击，因此尽早采取规避措施极其重要。”刘俊国说。

研究团队建议，各地农业部门建立或完善针对极端天气的响应机制（例如高温、寒潮预警系统），引导茶叶种植户提前做好准备，在有条件的地区提供灌溉，在无法引水地区采取提供防晒网、覆盖种植等综合措施，从而将未来出现的极端高温事件影响降到最低，保障种植户经济收益。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abede6>

中科院海洋研究所等

揭示板块俯冲起始机制

本报讯（记者廖洋 通讯员王敏）近日，中国科学院海洋研究所研究员孙卫东课题组李贺、孙卫东与综合大洋钻探计划 (IODP)351 航次首席科学家 Arculus 等 IODP 专家合作，在《自然—通讯》发表了关于新生代伊豆小笠原俯冲起始的文章。

据了解，俯冲带和岛弧早期阶段形成的岩浆特征与成熟岛弧体系的岩浆特征有所不同，是研究俯冲起始的切入点。

伊豆小笠原—马里亚纳 (IBM) 俯冲体系早期阶段主要由低钛—钾拉斑玄武岩和玻安岩组成。IODP351 航次在奄美盆地发现的玄武岩，位于 IBM 最古老的残余弧的下方和偏西部，形成时间在 4900 万年前。晚于此前发现的该区最早的弧前玄武岩 (5200 万年前—5100 万年前) 约 300 万年。由于这些玄武岩正处于弧前玄武岩和典型弧岩作用之间的转折点，表明俯冲起始经历了约 300 万年的时间。

据介绍，文章研究的玄武岩是低钛—钾、含铝尖晶石的拉斑玄武岩。这些伊豆小笠原—马里亚纳岛弧发展早期阶段形成的弧前玄武岩，与大洋中脊、弧后盆地、岛弧或大洋岛玄武岩相比，单矿物组分和全岩组分都存在明显地球化学区别。它们来自热的、还原的、难熔的上地幔幔幔源区。该玄武岩的矿物温度计显示其形成的温压条件变化大，是从斜长石—尖晶石—橄辉岩相边界处的压力到地表的压力，保留了多压多热矿物的遗迹。

这些特征为揭示板块俯冲起始机制提供了关键信息，暗示俯冲起始阶段该区处于挤压环境，而非自俯冲起始对应的拉伸环境。该研究结果支持孙卫东等 2020 年在《科学通报》发表的“新特提斯洋闭合碰撞诱发西太平洋新生代板块俯冲起始”的观点。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41467-021-21980-0>