

A 粒子物理、场论与宇宙学

分会召集人：蔡荣根、曹庆宏、吴俊宝、龚云贵、杨海棠

A001

专题代号：A

极高能中微子与洛伦兹对称性和 CPT 对称性

马伯强

北京大学，北京 100871

Email: mabq@pku.edu.cn

摘要：通过把极高能中微子与伽马暴的关联，揭示了中微子的洛伦兹对称性破缺。并根据同时存在超前和滞后的关联，揭示了中微子与反中微子不同的传播性质，意味着中微子的 CPT 对称性破缺。

关键词：中微子，洛伦兹对称性，CPT 对称性

A002

专题代号：A

宇宙预热及预热阶段产生的引力波

吴普训

湖南师范大学

Email: pxwu@hunnu.edu.cn

摘要：暴涨之后暴涨子通常会进行周期性振荡。周期性振荡很可能引起与暴涨子耦合的轻场在某些模式处于共振带，从而导致这些模式的轻粒子大量产生，这一过程称为预热。由于只有部分模式处于共振带，预热会引起产生的轻粒子的质量分布具有空间非均匀性，从而可以辐射出引力波。本报告主要介绍我们在宇宙预热和预热过程中产生的引力波方面的相关工作。

关键词：预热，引力波

A003

专题代号: A

Dynamical holographic QCD model

黄梅

中国科学院大学, 北京

Email: huangmei@ucas.ac.cn

摘要: I will introduce the dynamical holographic QCD model, which is constructed in the graviton-dilaton-scalar framework with the dilaton field and scalar field responsible for the gluodynamics and chiral dynamics, respectively. I will summarize the hadron spectra, QCD phase structure and thermodynamical properties and transport properties in this dynamical holographic QCD model.

A004

专题代号: A

强子谱学的研究现状

朱世琳

北京大学, 北京

Email: zhushl@pku.edu.cn

摘要: 2003 年来, 实验上发现了一系列新强子态候选者. 报告将对强子谱学的研究进展和现状作简单回顾。

A005

专题代号: A

额外维与膜世界的发展

刘玉孝

兰州大学, 甘肃省兰州市天水南路 222 号, 730000

Email: liuyx@lzu.edu.cn

摘要: 额外维概念的提出已有一百年的历史, 但直到最近二十余年, 人们对额外维物理的认识才发生了实质性的转变。例如, 人们开始注意到额外维的尺度可以达到亚毫米量级甚至无

穷，而不与当前的实验观测相违背。一些额外维模型还可以对粒子物理学中的规范层次问题以及宇宙学中的暗物质问题给出全新的解释。如果将我们所处的四维世界看成是更高维时空中的拓扑缺陷，例如五维时空中的一个四维畴壁，则可以通过场论的方法得到局域在畴壁上的各种四维物质场。如果进一步要使四维牛顿引力也能被局域在畴壁上，一般需要假设五维时空按照某种方式弯曲。这种弯曲时空中的畴壁称为厚膜。该报告主要介绍典型的额外维模型和扩展引力理论中的五维厚膜模型的近期发展。首先回顾 Kaluza-Klein 理论、大额外维理论和卷曲额外维理论，然后介绍各种引力理论中厚膜模型的精确解和引力局域化，接下来介绍膜世界上各种物质场的局域化和质量谱，最后介绍如何利用引力波来探测额外维。

关键词：额外维、膜世界、引力、引力波

参考文献

- 【1】 刘玉孝，钟渊，杨科. 额外维与膜世界模型简介. 物理学进展, 37 卷, 第 2 期, 42-74 页, 201 年.
- 【2】 Yu-Xiao Liu, Introduction to Extra Dimensions and Thick Braneworlds, arXiv:1707.08541.
- 【3】 Hao Yu, Zi-Chao Lin, and Yu-Xiao Liu, Gravitational waves and extra dimensions: a short review, accepted by Communications in Theoretical Physics, [arXiv:1905.10614].

基金项目：国家自然科学基金资助，资助号：11875151、11522541。

A006

专题代号：A

如何充分利用高能物理 INSPIRE 数据库核心功能

江亚欧

中国科学院高能物理研究所，北京

Email: jiangyo@ihep.ac.cn

摘要：INSPIRE 是高能物理领域充分被认可、广泛被使用，是一线科学家最常使用的文献索引数据库。INSPIRE 数据库稳定运行四十五年，汇集了 arXiv, HEPData, ADS 等大型科研信息平台以及 Springer, Elsevier, World Scientific, IOP 等一流出版商的高能物理相关文献与科学数据，全面、准确、及时地为高能物理领域的用户长期免费提供了可供查询检索的专业文献、科研人员、科研机构、学术会议、高能实验、学术期刊及专业招聘等索引信息以及详实的统计分析功能和丰富的 API 接口。本报告将着重介绍如何利用 INSPIRE 数据库全面展示个人/团队的学术成果，全方位评价个人/团队的学术成就，准确把握学科细分方向的前沿

与趋势,从而更好地利用 INSPIRE 数据库的统计分析与学术交流等核心功能助力科研工作。

关键词: INSPIRE 数据库, 高能物理, 使用技巧

A007

专题代号: A

准拓扑电磁学在引力中的应用

刘海山、麦展风、厉岳洲、吕宏

天津大学理学院, 天津 300350

Email: mrhonglu@gmail.com

摘要: We introduce the quasi-topological electromagnetism which is defined to be the squared norm of the topological 4-form $F \wedge F$. A salient property is that its energy-momentum tensor is of the isotropic perfect fluid with the pressure being precisely the opposite to its energy density. It can thus provide a model for dark energy. We study its application in both black hole physics and cosmology. The quasi-topological term has no effect on the purely electric or magnetic Reissner-Nordstrom black holes, the dyonic solution is however completely modified. We find that the dyonic black holes can have four real horizons. For suitable parameters, the black hole can admit as many as three photon spheres, with one being stable. Another intriguing property is that although the quasi-topological term breaks the electromagnetic duality, the symmetry emerges in the on-shell action in the Wheeler-DeWitt patch. In cosmology, we demonstrate that the quasi-topological term alone is equivalent to a cosmological constant, but the model provides a mechanism for the dark energy to couple with other types of matter. We present a concrete example of the quasi-topological electromagnetism coupled to a scalar field that admits the standard FLRW cosmological solutions.

关键词: 准拓扑电磁学、黑洞、暗能量、电磁对偶。

参考文献

【1】 arXiv:1907.10876 [hep-th].

基金项目：国家自然科学基金项目：11475148，11675144，11875200，11475024。

A008

专题代号：A

二维共形场论中的离散特霍夫特反常

周洋

复旦大学，上海

Email: yang_zhou@fudan.edu.cn

摘要：We study global anomalies for a discrete internal global symmetry G in two-dimensional conformal field theories based on twisted torus partition functions. The 't Hooft anomaly of G can be seen from the noncommutativity of 2 symmetry lines inserted along the nontrivial circles of 2-torus and we propose a criterion to detect the 't Hooft anomaly, which agrees with the truncated modular S-matrix approach as well as the cohomology classification. The obstruction for orbifolding has been recently interpreted as a mixed anomaly between G and large diffeomorphisms. We clarify the relations among 't Hooft anomaly-free, orbifolding condition and invariant boundary state condition, focusing on Wess-Zumino-Witten models.

关键词：Anomaly, Modular transformation, CFT

A009

专题代号：A

The triangle relation and beyond

毛普健

天津大学理学院，天津 300350

Email: pjmao@tju.edu.cn

摘要：Soft theorems, memory effects, and asymptotic symmetries have been shown in recent years to be mathematically equivalent. In this talk, I will give an overview of this fascinating triangle equivalence. In particular, I will explain in detail a very recent prescription to realize this triangle relation beyond the leading order.

关键词: Soft theorems, memory effects, asymptotic symmetries

参考文献

- 【1】 E. Conde *et al.*, Remarks on Asymptotic Symmetries and the Sub-leading Soft Photon Theorem, Phys. Rev. D 2017, 95, 021701(R)
- 【2】 E. Conde *et al.*, BMS Supertranslations and Not So Soft Gravitons, JHEP 2017, 1705, 60
- 【3】 P. Mao *et al.*, New electromagnetic memories and soft photon theorems, Phys. Rev. D 2017, 95, 125011
- 【4】 P. Mao *et al.*, Note on asymptotic symmetries and soft gluon theorems, Phys. Rev. D 2017, 96, 065023
- 【5】 P. Mao *et al.*, Note on soft theorems and memories in even dimensions, Phys. Lett. B 2017, 774, 715

A010

专题代号: A

全息屏上的流体动力学模型和宇宙的加速膨胀

蔡荣根¹、Gansukh Tumurtushaa²、张云龙³

¹ 中国科学院理论物理研究所, 北京 100190 (中国)

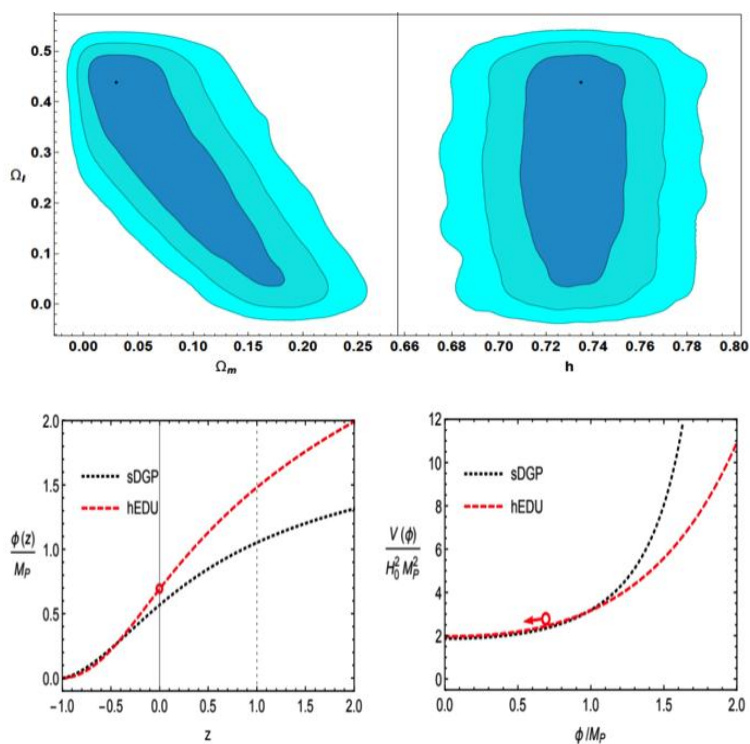
² 基础科学研究中心(宇宙学和理论物理), 大田 34051 (韩国)

³ 京都大学基础物理学研究所, 京都 37673 (日本)

Email: zhangyunlong001@gmail.com

摘要: 我们研究了一种通过引力全息流体来实现宇宙晚期加速膨胀的模型。通过全息屏上的诱导能量动量张量来描述宇宙晚期加速膨胀中的暗能量和暗物质流体, 我们得到修改的爱因斯坦引力场方程。在选取均匀和各项同性的背景度规后, 我们推导出带有新的额外自由度的弗里德曼(Friedmann)方程, 这比传统的 DGP(Dvali-Gabadadze-Porrati)膜宇宙模型多出了一个自洽的参数。在修改后的弗里德曼(Friedmann)方程的基础上, 我们用马尔可夫链-蒙特卡罗(Markov-Chain-Monte-Carlo)方法分析了 Ia 型超新星数据和直接测量到的哈勃常数数据, 并得到了的很好拟合结果(左下图)。这个结果表明我们只需要很少物质组份就可以拟合晚期的宇宙加速膨胀, 这与我们的理论假设一致。在考虑到这些拟合参数后, 我们通过认同全息流体的能量密度和压强来数值重构了动态标量场的有效势(右下图)。进而通过计算有效势的一阶和二阶导数提取出了沼泽地判据(Swampland Criteria)中的参数。我们这种重构有效势的方法也有助于研究其他宇宙学模型中的沼泽地判据。

关键词: 全息流体, 宇宙加速膨胀, 沼泽地判据



参考文献

- 【1】 Cai, R.-G., Khimphun, S., Lee, B. -H., Sun, S., Tumurtushaa, G., Zhang, Y.L. " Emergent Dark Universe and the Swampland Criteria" [arXiv: [1812.11105](#)]
- 【2】 Cai, R.-G., Sun, S., Zhang, Y.L. "Emergent Dark Matter in Late Universe on Holographic Screen" JHEP 1810 (2018) 009 [arXiv: [1712.09326](#)]

基金项目：国家自然科学基金项目（No.11690022, 11435006, 11647601, 11851302, 11821505）等

A011

专题代号：A

30 Years of Pion PDF

常雷

南开大学

Email: leichang@nankai.edu.cn

摘要：我将简要报告 30 年来人们对 Pion 介子结构函数的认识及其最新进展。

A012

专题代号: A

Correlations between exotic hadrons and threshold effects

刘晓海

天津大学

Email: xiaohai.liu@tju.edu.cn

摘要: 国际上诸多实验组自 2003 年以来一共观测到了几十个超出常规夸克模型预期的奇特态候选者(通常又被成为 XYZ 粒子)。些实验观测结果极大地拓展了人们对于强子谱学的认识,同时也给理论研究带来了巨大挑战。对奇特强子态候选者本质的准确判断需要综合考虑其产生过程、衰变模式等。在许多散射和衰变过程中,阈值效应的出现会影响实验上对奇特态的寻找与确认。因此在对奇特态的本质作出判断之前,特别是在宣称实验上看到的某个类共振峰结构为真实的共振态粒子之前,将阈值效应对实验结果的可能影响研究清楚是必要的。对阈值现象的研究涉及运动学奇点导致的可观测效应研究、运动学奇点与动力学极点的区分问题等。

关键词: 阈值效应, 奇特强子态, XYZ 粒子

A013

专题代号: A

SIDIS 过程中产生的靶横向极化自旋不对称效应

毛文娟

周口师范学院物理与电信工程学院, 河南周口 466001

Email: wjmiao@seu.edu.cn

摘要: 本文通过考虑横动量依赖的扭度为 3 的分布函数的贡献研究了半单举深度非弹性散射(SIDIS)过程 π^+ 、 π^- 和 π^0 产生中的靶横向极化单自旋不对称度 $A_{UT}^{\sin\phi_S}$ 和 $A_{UT}^{\sin(2\phi_h-\phi_S)}$ [1], 以及双自旋不对称度 $A_{LT}^{\cos\phi_S}$ 和 $A_{UT}^{\cos(2\phi_h-\phi_S)}$ [2]。通过采用一种包含标量和轴矢量双夸克的旁观者模型, 分别计算了质子中 u 和 d 价夸克的扭度为 3 横动量依赖的分布函数, 其中对单自旋不对称度有贡献的分别是 f_T 、 $f_T^\perp$ 、 h_T 和 $h_T^\perp$, 对双自旋不对称度有贡献的是 e_T 、 $e_T^\perp$ 、 g_T 和 $g_T^\perp$,

并讨论了这些分布函数对 Bjorken 变量 x ，夸克横动量 k_T 和夸克味道的依赖性。在 JLab 实验在轻子束流能量为 5.5GeV 和 11GeV^[3]、HERMES 实验在轻子束流能量为 27.6GeV^[4]和 COMPASS 实验在轻子束流能量为 160GeV^[5]运动学范围内，我们利用模型计算所得的结果，分别估算了这些分布函数对质子靶横向极化的半单举深度非弹性散射过程不同 π 介子产生中的单双自旋不对称度的贡献。通过计算研究发现，时间反演为奇扭度为 3 的分布函数 f_T 和 $f_T^\perp$ 对单自旋不对称度的贡献占主导地位；而时间反演为偶扭度为 3 的分布函数 g_T 和 $g_T^\perp$ 对双自旋不对称度的贡献更优势。这说明可以利用这些自旋不对称效应来提取核子内不同分布函数的信息，这对研究扭度为 3 下的自旋-轨道关联效应具有很好的启示。

关键词：旁观者模型，分布函数，半单举深度非弹性散射，自旋不对称度

参考文献

- 【1】 W. Mao, Z. Lu and B. Q. Ma, Transverse single-spin asymmetries of pion production in semi-inclusive DIS at subleading twist, *Phys. Rev. D.* 2014, 90 (1), 014048.
- 【2】 W. Mao, Z. Lu and B. Q. Ma, Ivan Schmid, Double Spin Asymmetries $A_{\cos\phi}$ SLT and $A_{\cos(2\phi-h-\phi)}$ LT in semi-inclusive DIS, *Phys. Rev. D.* 2015, 91 (3), 034029.
- 【3】 H. Avakian, TMD measurements at CLAS, in Proc. 3rd Workshop on the QCD Structure of the Nucleon, (Bilbao, Spain, 2012), *Nuovo Cimento Soc. Ital. Fis. C.* 2013, 36(5), 73.
- 【4】 A. Airapetian *et al.*, Effects of transversity in deep-inelastic scattering by polarized protons. *Phys. Lett. B.* 2010, 693 (1), 11-16.
- 【5】 M.G. Alekseev *et al.*, Measurement of the Collins and Sivers asymmetries on transversely polarised protons. *Phys. Lett. B.* 2010, 692, 240-246.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11605297）、周口师范学院高层次人才科研启动项目（ZKNUC2016014）、周口师范学院横向科研项目（57189）

A014

专题代号：A

质子自旋和三维结构

曹须

中国科学院近代物理研究所，兰州

Email: caoxu@impcas.ac.cn

摘要：质子自旋和三维结构是新一代电子离子对撞机上的重要物理目标。我们的报告分为两

部分。首先，我们发现，夸克-光子和夸克-胶子的反常泡利耦合能导致深度非弹性散射过程中的单自旋不对称，其角度依赖类似于传统的 Boer-Mulders、Collins 和 Sivers 效应。这种非微扰的效应在光子虚度比较小的时候贡献比较大。其次，我们研究了深度虚康普顿散射在新一代电子离子对撞机上的统计精度，特别是横向极化质子的情况，这可以用来确定夸克的总角动量。

A015

专题代号：A

手征有效场论在中微子物理中的应用

姚德良

湖南大学

Email: yaodeliang@hnu.edu.cn

摘要：手征微扰理论是量子色动力学在低能区的有效场论。本报告将以中微子诱导的在核子上的单 π 介子产生过程为例，介绍手征有效场论在中微子物理中的应用。我们得到的散射界面的结果是模型无关的。此外，也将展示与实验数据以及其他模型的结果的比较。

A016

专题代号：A

赝标量介子和重子八重态相互作用的研究

孙宝玺、张正冉、赵思宇

北京工业大学应用数理学院，北京 100124

Email: sunbx@bjut.edu.cn

摘要：在奇异数 $S=0$ 同位旋 $I=1/2$ 的反应道内，存在着两个核子的激发态： $N(1535)$ 和 $N(1650)$ 。运用传统的组元夸克模型难于描述他们的结构和性质。在手征么正模型的框架内，这些粒子被看作重子的共振态，取得了较好的计算结果。N. Kaiser, P. B. Siegel 和 W. Weise 认为，在 $N(1535)$ 生成中，奇异道 $K\Lambda$, $K\Sigma$ 发挥着重要的作用。2002 年，西班牙瓦伦西亚大学的 E. Oset 教授领导的小组研究 $N(1535)$ 的性质。他们在 πN 末态相互作用中，加入了 $\pi\pi N$ 三体贡献，同时，在 $\pi\pi N$ 的圈函数的实部中增加了 6 个参数。2016 年，Oset 教授和他的合作者又发表了文章，在赝标量介子与重子八重态的相互作用中，考虑了 ρN 和

$\pi \Delta$ 道的贡献。但是, ρN 弹性道主要对 $N(1650)$ 的生成有贡献。在 ρN 的非弹性道中, Kroll-Ruderman 项主要提供了一个常数势, 单 π 交换势非常弱。德国玻恩大学的 P. C. Bruns, M. Mai 和 U. G. Meissner 等人在手征么正理论的框架内, 考虑了次领头阶相互作用势的贡献, 通过拟合 1.56 GeV 以下的 S_{11} 道分波振幅, 能够生成 $N(1535)$ 和 $N(1650)$ 共振态。刘占伟等人把赝标量介子和重子八重态的哈密顿量分成无相互作用部分和相互作用部分, 然后求解相对论 Lippmann-Schwinger 方程, 研究 $N(1535)$ 的性质。北京大学郑汉青教授的研究组在 K 矩阵框架内, 系统分析了 πN 相互作用的分波相移。日本的 T. Sekihara 等人研究了 $\Delta(1232)$, $N(1535)$ 和 $N(1650)$ 的内部波函数, 声称 πN , ηN , $K\Lambda$ 和 $K\Sigma$ 的成分可以忽略。这些年来, 关于这一问题的研究, 一直吸引着强子物理学家的关注。

我们由最低阶手征拉式量推导出赝标量介子与重子的相互作用势, 不仅考虑了 t 道, 也考虑了 s 道和 u 道的作用。并且, Bethe-Salpeter 方程中的圈函数的公式是在维数正规化方案中推导出来的。与在壳近似的圈函数相比, 修正后的方案考虑了相对论动力学效应和离壳修正。

利用已获得的公式, 我们研究了奇异数 $S=0$, 同位旋 $I=1/2$ 的反应道, 在耦合道近似下, 通过求解赝标量介子与重子八重态相互作用的 Bethe-Salpeter 方程, 通过调节赝标量介子与重子八重态的圈函数中的减除常数的值, 可以得到 $|T|^2$ 的极点, 位于 1518-i46 MeV 的极点可能对应粒子数据表中的 $N(1535)$ 粒子。这一共振态强烈耦合于 ηN , $K\Lambda$ 和 $K\Sigma$ 道。

关键词: 手征么正理论 重子共振态 Bethe-Salpeter 方程

参考文献

- 【1】 孙宝玺, 赵思宇, 王祥宇, 中国物理 C, 43, 064111, (2019)
- 【2】 董方勇, 孙宝玺, 庞景龙, 中国物理 C, 41(7), 074108, (2017)
- 【3】 Ulf-G Meissner and T. Hyodo, 中国物理 C, 40(10), 100001, (2016), p815.
- 【4】 T. Inoue, E. Oset and M. J. Vicente Vacas, Phys. Rev. C, 65, 035204, (2002).
- 【5】 E. J. Garzon and E. Oset, Phys. Rev. C, 91, 025201 (2015).
- 【6】 P. C. Bruns, M. Mai and U. G. Meissner, Phys. Lett. B, 697, 254, (2011).
- 【7】 Z W Lui, W. Kamleh D. B. Leinweber et al., Phys. Rev. Lett., 116, 082004, (2016).
- 【8】 Y. F. Wang, D. L. Yao and H. Q. Zheng, Euro. Phys. J. C, 78(7), 543, (2018).
- 【9】 T. Sekihara, T. Arai et al., Phys. Rev. C, 93(3), 035204, (2016).

一个标量场的对偶关系

李文都*、戴伍圣†

*南开大学陈省身数学研究所，天津 300071

†天津大学理学院物理系，天津 300350

Email: daiwusheng@tju.edu.cn†

摘要：对偶是物理中的一个重要的概念，对偶揭示了不同系统之间的深刻的联系。近些年来物理学中关于对偶的研究取得了众多进展。例如 AdS/CFT 对偶【1 - 5】，引力/流体对偶【6 - 12】以及引力电磁对偶【13】。在经典力学中，牛顿发现了牛顿-胡克对偶【14 - 16】。

标量场是量子场论、凝聚态等领域研究最重要的场论模型。 ϕ^4 -场和 sine-Gordon 场等标量场模型的精确解是场论非微扰问题的重要例子。本工作中，我们给出了一个标量场间的普遍对偶关系。在这个对偶关系下，每个标量场都有一系列对偶场。所有彼此对偶的标量场构成了一个对偶家族。在这个对偶家族中只要得到了一个家族成员的场方程的解，其它所有家族成员的场方程的解就可以通过本文所给出的对偶关系直接得到。一般地讲，每个标量场都有无穷多个对偶场。因此利用这个对偶关系，从一个场方程的精确解出发，就可以得到无穷多个不同场的精确解。例如，在这个对偶关系下， ϕ^3 -场的一个对偶场是 ϕ^6 -场，这样一来，只要知道了 ϕ^3 -场的解，就可以直接得到 ϕ^6 -场的解。而 ϕ^3 -场有无穷多个对偶场，因此由 ϕ^3 -场出发可以得到无穷多个场的精确解。

作为例子，我们详细讨论了 ϕ^n -场和 sine-Gordon 场的对偶场以及它们的解。 ϕ^4 -场和 sine-Gordon 场都有精确的孤子解，通过对偶关系，我们就得到了一系列孤子解的对偶。

非线性场方程的研究依赖精确解，本文给出的场对偶可以给出大量非线性场方程的精确解。这将对发展非微扰方法有帮助。进一步地，我们还将研究对偶场 Feynman 规则间的对偶问题。

关键词：对偶，标量场， ϕ^n -场，sine-Gordon 场

参考文献

【1】J. Maldacena, The large n limit of superconformal field theories and supergravity. Adv. Theor. Math. Phys.

1997, 2, 231 – 252.

- 【2】 E. Witten, Anti-de sitter space, thermal phase transition, and confinement in gauge theories, Adv. Theor. Math. Phys. 1998, 2, 505 – 532.
- 【3】 E. Witten, Anti-de sitter space and holography, Adv. Theor. Math. Phys. 1998, 2, 253 – 291.
- 【4】 O. Aharony, S. S. Gubser, J. Maldacena, H. Ooguri, and Y. Oz, Large n field theories, string theory and gravity, Physics Reports 2000, 323 (3), 183 – 386.
- 【5】 E. D’ HOKER and D. Z. Freedman, Supersymmetric gauge theories and the ads/cft correspondence, in Strings, Branes and Extra Dimensions, World Scientific, 2001,3-159.
- 【6】 I. Bredberg, C. Keeler, V. Lysov, and A. Strominger, From navier-stokes to Einstein. JHEP, 2012, 7, 146.
- 【7】 V. E. Hubeny, The fluid/gravity correspondence: a new perspective on the membrane Paradigm. Class. Quantum Gravity, 2011, 28 (11), 114007.
- 【8】 G. Compère, P. McFadden, K. Skenderis, and M. Taylor, The holographic fluid dual to vacuum einstein gravity. JHEP, 2011, 7, 50.
- 【9】 X. Hao, B. Wu, and L. Zhao, Flat space compressible fluid as holographic dual of black hole with curved horizon. JHEP, 2015, 2, 30.
- 【10】 T. Ashok, Forced fluid dynamics from gravity in arbitrary dimensions. JHEP, 2014, 3, 138.
- 【11】 G. Compere, P. McFadden, K. Skenderis, and M. Taylor, The relativistic fluid dual to vacuum einstein gravity. JHEP, 2012, 3, 76.
- 【12】 N. Pinzani-Fokeeva and M. Taylor, Towards a general fluid/gravity correspondence. Phys. Rev. D, 2015, 91(4), 044001.
- 【13】 N. Dadhich and Z. Y. Turakulov, The most general axially symmetric electrovac spacetime admitting separable equations of motion. Class. Quantum Gravity, 2002, 19 (11), 2765.
- 【14】 V. Arnold, Huygens and Barrow, Newton and Hooke: Pioneers in mathematical analysis and catastrophe theory from evolvents to quasicrystals. Birkhäuser Basel , 1990.
- 【15】 T. Needham, Newton and the transmutation of force. The American mathematical monthly, 1993, 100 (2), 119 – 137.
- 【16】 R. W. Hall and K. Josic, Planetary motion and the duality of force laws. SIAM Rev., 2000, 42 (1), 115 – 124.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11575125， No. 11675119）

A018

专题代号：A

Schur 算符关联函数

潘逸文

中山大学物理学院，广州 510275

Email: panyw5@mail.sysu.edu.cn

摘要：在一种 $4d/2d$ 对应中，四维 $N=2$ 超对称共形场论的 Schur 算符构成二维顶点算符代数，使得四维的 Schur 指标严格等于该顶点算符代数的真空特征标。报告将从路径积分

的角度考察这一对应，利用超对称局域化方法（及其推广）把 Schur 指标约化为环面配分函数，并给出 Schur 算符关联函数的围道积分表达式。报告最后讨论面缺陷与模微分方程的额外解的联系。

关键词：超对称共形场论，顶点算符代数，局域化，面缺陷

参考文献

【1】 Pan, Peelaers. Schur correlation functions on $S^3 \times S^1$, JHEP 1907 (2019) 013

【2】 C. Beem, et.al., Infinite Chiral Symmetry in Four Dimensions, Commun. Math. Phys. 336 (2015) no.3, 1359-1433

基金项目：由中山大学百人计划基本启动经费 74130-18831116 支持

A019

专题代号：A

引力波的强引力透镜和引力检验

胡彬

北京师范大学

Email: bhu@bnu.edu.cn

摘要：引力波是天文观测的新窗口，此次报告中，我将介绍利用引力波的强引力透镜现象的时间延迟效应来检验引力理论的可行性。

关键词：引力波

A020

专题代号：A

Spatially Modulated Black Holes: Holographic Pair and Charge Density Waves

李理

中国科学院理论物理研究所

Email: liliphy@itp.ac.cn

摘要: We construct spatially modulated black holes where a $U(1)$ symmetry and translational invariance are broken spontaneously at the same time. Our construction provides an example of a system with pair density wave order, in which the superconducting order parameter is spatially modulated but has a zero average. In addition, the charge density oscillates at twice the frequency of the scalar condensate. Depending on the choice of parameters, it also admits a state with coexisting superconducting and charge density wave orders, in which the scalar condensate has a uniform component. The transport behavior and fermionic response are considered in our holographic setup.

关键词: 黑洞物理, 引力全息性

A021

专题代号: A

黑洞作为一种拓扑绝缘体

王晶波

信阳师范学院, 信阳 464000

Email: shuijing@mail.bnu.edu.cn

摘要: 黑洞物理学是理论物理研究的热点之一, 目前仍然有许多困难的问题, 特别是关于黑洞的量子性质。而拓扑绝缘体是凝聚态物理中的一个热点, 是物质的一种新的序, 可以用来建造拓扑量子计算机。这两者看起来毫无关系, 但是, 作者最近的研究表明, 其实它们有紧密的联系。更准确的说, 黑洞可以看做一种特殊的拓扑绝缘体。作者已经找到几个证据来支持这一观点。第一个证据是黑洞的视界面是导体, 而内部是绝缘体。第二个证据是黑洞的视界上存在无质量的模式。这是拓扑绝缘体最重要的两个性质。第三个证据来源于这两者都具有的无限维对称群。在这个观点的基础上, 我们得到了量子黑洞的微观态, 并且计算了对应的熵, 发现正好满足 Bekenstein-Hawking 熵公式。下一步我们将继续研究相关的问题, 包括 Hawking 辐射, 信息丢失疑难等等。如果这个观点正确的话, 那么将建立起黑洞物理学与凝聚态物理之间的联系, 方便应用凝聚态物理中的方法来解决黑洞物理中的一些难题, 并且会加深我们对于引力本质的理解。

关键词： 黑洞 拓扑绝缘体 边界态 对称群

参考文献

- 【1】 J. Wang, Black hole as topological insulator (I): the BTZ black hole case, arXiv:1703.09365.
- 【2】 J. Wang, Black hole as topological insulator (II): the boundary modes, arXiv:1706.01630.
- 【3】 J. Wang, Compact Chiral Boson Fields on the Horizon of BTZ Black Hole, Phys.Lett. B792 (2019) 56-59.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11647064）

A022

专题代号：A

修改引力厚膜的线性稳定性：张量微扰

崔正权、刘玉孝、古宝珉、赵力

兰州大学理论物理研究所、引力研究中心，兰州 730000

Email: cuizhq15@lzu.edu.cn

摘要：早在二十世纪初，物理学家们开始考虑我们所处时空的维度可能不是四维。早期的额外维模型并不成功，直到超弦理论提出，额外维才引起物理学家们的广泛兴趣。在二十世纪末，物理学家们发现额外维可以大至亚毫米量级，甚至是无限大的。近二十年，多种额外维模型被提出并被深入研究。额外维模型解决了当前物理学的一部分困难，如层次问题、宇宙加速膨胀问题等等。其中，膜世界是一种被大量关注额外维模型，它假设我们的四维世界是高维时空的一张超曲面。在一些膜世界模型中，曲率在膜所在处发散，此模型被称为的薄膜模型。我们主要关注消除了曲率发散的厚膜模型。代表四维世界的厚膜是高维时空中的拓扑孤子，通过一些机制可以实现物质场局域在厚膜上。此外，一个合理的厚膜模型必须满足引力场方程并且是微扰稳定的。

我们研究了 $f(R, \phi, X)$ 引力中厚膜模型。此研究中，我们证明了在 $f(R, \phi, X)$ 引力中厚膜在线性张量微扰下的稳定性，这为分析引力子 Kaluza-Klein 模式奠定了基础。我们在 $f(R, \phi, X)$ 引力框架下通过重构技术找到了解析厚膜解。由于此引力理论是高阶理论，在厚膜框架下我们给出了避免鬼场的条件。进一步，我们给出了高维引力对四维牛顿势修正的定性分析。

关键词：额外维、膜世界、修改引力

参考文献

- 【1】 Z.-Q. Cui, Y.-X. Liu, B.-M. Gu, L. Zhao, Linear Stability of $f(R, \phi, X)$ Thick Branes: Tensor Perturbations, JHEP 1811 (2018) 083.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11875151、NO.11522541、NO.10905027）

A023

专题代号：A

膜上的 $f(T)$ 引力场方程

谭钦、刘玉孝、郭文帝

兰州大学，甘肃省兰州市天水南路 222 号 730000

Email: tanq17@lzu.edu.cn

摘要：为了统一电磁相互作用与引力相互作用，二十世纪初卡鲁扎和克莱因提出了额外维的概念。在这之后，额外维理论沉寂了近八十年。直到上世纪九十年代，ADD 大额外维模型以及 RSI 卷曲额外维模型对粒子物理学中的规范层次问题给出了新的解释，额外维理论重新得到了人们的关注，得到了迅速的发展，也取得了不菲的成就。在众多的额外维理论中，膜世界模型以其独有的特性被大量关注，它假设四维世界是高维时空的一张超曲面（膜），标准模型中的粒子被束缚在膜上，而引力可以在整个时空中传播。根据能量密度沿额外维的分布，膜世界模型又可以分为薄膜和厚膜。本报告主要介绍五维时空中膜上的 $f(T)$ 引力场方程。如果我们的世界是五维时空中的一张四维超曲面（薄膜），那么首先从 ADM 分解出发，通过投影映射得到 $f(T)$ 引力下的“Gauss”方程，然后通过 Israel 衔接条件，在施加 Z_2 对称性后，由抽象的五维 $f(T)$ 引力场方程得到抽象的四维膜上 $f(T)$ 引力场方程。最后我们给出平行引力下的膜上场方程退回至广义相对论的实例。

关键词： $f(T)$ 引力、ADM 分解、额外维、膜世界

参考文献：

- 【1】 W.- D. Guo, Q.- M. Fu, Y.- P. Zhang, et al. Tensor perturbations of $f(T)$ branes. Physical Review D, 2016, 93(4): 044002.
- 【2】 T. Shiromizu, K. Maeda, M. Sasaki. The Einstein equations on the 3-brane world. Physical Review D, 2000, 62(2): 024012.

【3】 E. Poisson. A relativist's toolkit: the mathematics of black-hole mechanics. Cambridge university press, 2004.

基金项目：国家自然科学基金资助，资助号：11875151、11522541。

A024

专题代号：A

Entanglement and chaos in 2D CFTs and its deformation CFTs

何松

吉林大学

Email: hesong@jlu.edu.cn

摘要：无

A025

专题代号：A

Holographic topological semimetals

刘焱

北京航空航天大学空间与环境学院，100191

Email: yanliu@buaa.edu.cn

摘要：The holographic duality allows us to construct and study models of strongly coupled quantum matter via dual gravitational theories. In general such models are characterized by the absence of quasiparticles, hydrodynamic behavior and Planckian dissipation times. One particular interesting class of quantum materials are ungapped topological semimetals which have many interesting properties from Hall transport to topologically protected edge states. We review the application of the holographic duality to this type of quantum matter including the construction of holographic Weyl semimetals, Nodal line semimetals, quantum phase transition to trivial states (ungapped and gapped), the holographic dual of Fermi arcs and how new unexpected transport properties, such as Hall viscosities arise. The holographic models promise to lead to new insights into the properties of this type of quantum matter.

关键词：引力全息、拓扑物态

参考文献

- 【1】 Karl Landsteiner, Yan Liu, Ya-Wen Sun, holographic topological semimetal, invited review by Advanced Quantum Technologies
- 【2】 Xuanting Ji, Yan Liu, Xin-Meng Wu, Chiral vertical conductivity across a topological phase transition, arXiv: 1904.08058
- 【3】 Yan Liu, Junkun Zhao, Weyl semimetal/insulator transition from holography, JHEP 1812 (2018) 124
- 【4】 Karl Landsteiner, Yan Liu, Ya-Wen Sun, PRL 117 (2016) 081604; PRL 116 (2016) 081602

基金项目：国家自然科学基金项目（No.11875083）

A026

专题代号：A

Formation of topological defects in holographic Kibble-Zurek mechanism

张海青

北京航空航天大学

Email: hqzhang@buaa.edu.cn

摘要：We perform the formation and evolution of topological defects from Kibble-Zurek mechanism in a $(2 + 1)$ - dimensional superconductor from gauge/gravity duality, which is a ‘first-principle’ means to solve strongly correlated systems. Magnetic fluxons with quantized fluxes are observed to be generated and trapped in the core of the order parameter vortices. By investigating the dispersion of the typical winding number and vortex-vortex correlation functions, it is found that the spatial distribution of vortices exhibits short-range and nearest-neighboring vortex- antivortex pair correlations, which is in line with the Kibble-Zurek mechanism. Dynamical correlations of order parameter will first scramble in time, but later decrease to a constant as the system saturates to an ordered equilibrium state. This non-trivial evolution is believed to be linked to the presence of the vortices in the equilibrium phase.

A027

专题代号: A

Trivial cosmological analysis of Interacting dark energy and dark matter model

杨维强

辽宁师范大学

Email: 13591199705@163.com

摘要: 1998 年, 超新星观测组发现当今宇宙处于加速膨胀阶段, 暗能量理论可有效地解释宇宙加速膨胀, 考虑宇宙中暗物质和暗能量存在相互作用是暗能量理论研究的课题之一。报告人首先简要介绍暗物质与暗能量相互作用模型及其相关的主要科研热点, 进而开展相关科研工作, 报告人将介绍相互作用真空能模型的观测检验、相互作用暗能量模型的线性扰动方程、相互作用暗能量模型的结构增长历史, 最后给出报告的小结。

关键词: Dark energy

A028

专题代号: A

Microscopic Structure of Black Hole from Thermodynamical Phase Transition

魏少文

兰州大学, 甘肃省兰州市天水南路 222 号 730000

Email: weishw@lzu.edu.cn

摘要: Ruppeiner 热力学涨落的几何学提供了对黑洞微观结构的有力诊断。我们对带电的 ADS 黑洞进行了研究, 发现在大多数参数范围内, 微结构间的相互作用具有吸引力, 而高温下的小黑洞则具有弱排斥作用。这一独特的性质将黑洞系统与范德瓦尔斯流体区别开来, 后者只发现有吸引力的微观结构相互作用。我们还发现了带电黑洞的两个新的普遍性质。一种是排斥作用与黑洞的电荷和温度无关。另一个问题是, Ruppeiner 曲率标量接近临界的行为特征

是一个无量纲常数，它与范德华流体的相同，为我们提供了对黑洞微观结构的新见解。

关键词：黑洞、相变、热力学几何、微观结构

参考文献：

【1】 Wei S W, Liu Y X. Insight into the Microscopic Structure of an AdS Black Hole from a Thermodynamical Phase Transition [J]. Physical Review Letters, 2015, 115(11): 111302.

【2】 Wei S W, Liu Y X, Mann R. B. Repulsive Interactions and Universal Properties of Charged AdS Black Hole Microstructures. arXiv:1906.10840 [gr-qc].

基金项目：国家自然科学基金资助，资助号：11675064、11875175、11522541。

A029

专题代号：A

相对论时空变换微分方程组的广义 Rindler 解

戴又善^{* 1, 2}、戴亮^{# 3}

1. 浙江大学城市学院，杭州 310015; 2. 浙江大学 物理系，杭州 310027

3. 普林斯顿高等研究院，Princeton, New Jersey, USA 08540

*Email: daiys@zucc.edu.cn #Email: ldai@ias.edu

摘要：依据相对论四维时空不变距离 $ds'^2 = ds^2$ 以及时轴正交参考系条件 $g'_{0i} = 0$, $g_{0i} = 0$ ，建立起了普遍的参考系平动(1+1)维时空变换的微分方程组。其既适用于惯性系，也适用于非惯性系。依据相对性原理有关惯性系的物理等价性，无需引进光速不变假设，可以证明满足相对性原理必然要求存在普适极限速度。无需事先假设和证明惯性系的时空变换为线性变换，仅仅由相对性原理就可推导出惯性系之间时空变换的广义 Lorentz 变换公式(其中由普适的极限速度替代了光速)，以及惯性系的闵氏度规。在此基础上，可以进一步求解非惯性系相对于惯性系的时空变换和时空度规。作为例子，在两个参考系的相对运动速度满足 $V'_x(x, t) = -V_x(t)$ 的条件下，通过求解时空变换微分方程组，求得了广义 Rindler 时空变换公式以及相应的时空度规，其中既包含了相对运动速度为时间函数 $V_x = V_x(t)$ 的传统 Rindler 变换(对应于匀加速参考系)，也包含了相对运动速度为常量 $V_x = V_0$ 的广义 Lorentz 变换(对应于匀速惯性系)，以及相对运动速度为坐标函数 $V_x = V_x(x)$ 的类似 Rindler 解(对应于变加速参考系)，我们将其统称为广义 Rindler 解。值得指出的是，在传统给出的 Rindler 变换中，当加速度参数趋于零时，虽然 Rindler 度规会回到惯性系的闵氏度规，但是 Rindler 变换本身并不能回到惯性系的 Lorentz 变换。而我们通过求解时空变换微分方程组而得到的广

义 Rindler 变换中, 由于求解过程给出了正确的不为零的积分常量, 而当加速度参数趋于零时, 广义 Rindler 变换可以回到广义 Lorentz 变换。本文的研究提供了一种依据相对性原理来统一求解惯性系与非惯性系的时空变换和时空度规的新理论框架。

关键词: 相对论时空变换, 时空度规, 惯性系和非惯性系, 广义 Lorentz 变换, 广义 Rindler 变换

参考文献

- 【1】 戴又善, 狭义相对论与运动速度上限, [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(3): 356-364.
- 【2】 戴又善, 戴亮, 普遍的质速关系和狭义相对论, [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(3): 403-410.
- 【3】 DAI Youshan, DAI Liang, Deriving mass-energy equivalence and mass-velocity relation without light, [J]. American Journal of Physics, 2018, 86(4): 284-289.
- 【4】 戴又善, 倪杰, 相对性原理与惯性系的时空变换, [J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(4): 1-7.

基金项目: 浙江省自然科学基金项目: 相对论理论的研究与改进 (NO.LZ17A050001)

A030

专题代号: A

PandaX: the Deep Underground Xenon Observatory in the China Jinping Underground Laboratory

刘江来

上海交通大学

Email: jianglai.liu@sjtu.edu.cn

摘要: 近百年的天文学观测表明宇宙中有大量看不见的“暗物质”的存在, 但是人类却至今没有直接探测到暗物质粒子, 而这方面的突破很可能带来下一次物理学的革命。国际上最深、位于四川凉山州的中国锦屏地下实验室为暗物质实验提供了得天独厚的场所, 我国的 PandaX 液氙暗物质实验在过去的几年取得了国际领先的结果。我将利用这个报告来介绍 PandaX 实验的过去、现在和未来。

A031

专题代号: A

Tau decay and some interesting applications

戴连荣

摘要: Tau decay and some interesting applications L. R. Dai Department of Physics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

First I will present a novel approach on tau decay recently developed, using the basic weak interaction and angular momentum algebra to relate the different processes. The formalism also leads to a different interpretation of the role played by G-parity in these decays. We compare our results with experiment and other theoretical approaches for rates and invariant mass distributions and make predictions for unmeasured decays [1]. Then some interesting applications will be presented, including the polarization amplitudes and final state interaction on different decays:

a) We applied the above novel approach to investigate the different polarization amplitudes on tau decay within the Standard Model. We also extend the formalism to a case that can account for different models beyond the Standard Model. We find one magnitude sensitive and useful to test different models beyond the Standard Model [2].

b) The above developed novel approach was further applied to study the final state interaction:

(1) The triangle mechanism for the decay $\tau \rightarrow \nu \tau \pi - f_0(980)$ was studied with $f_0(980)$ decaying into $\pi^+\pi^-$ and find a narrow peak in the $\pi^+\pi^-$ invariant mass distribution, in which we explicitly filter G-parity states. Similarly, we also study the triangle mechanism for the decay $\tau \rightarrow \nu \tau \pi - a_0(980)$, with the $a_0(980)$ decaying into $\pi^0\eta$. Our prediction of final branching ratios for $\pi^- f_0(980)$ and $\pi^- a_0(980)$ of the order of 4×10^{-4} and 7×10^{-5} , respectively, which are within present measurable range. Experimental verification of these predictions will shed light on the nature of the scalar mesons and on the origin of the "a1(1420)" peak observed in other reactions [3].

(2) We further make some predictions for the decay $\tau \rightarrow \nu \tau P_A$, with P_A π or K and an axial-vector resonance $b_1(1235), h_1(1170), h_1(1380), a_1(1260), f_1(1285)$ or any of the two poles of the $K_1(1270)$, in which explicitly filtering different G-parity states. We evaluate the vector-pseudoscalar amplitudes within the chiral unitary theory, where the axial-vector resonances were obtained as dynamically generated from the VP interaction. We make predictions for invariant mass distribution and branching ratios for the channels considered [4]. Experimental verification of these predictions will shed light on the

nature of these scalar mesons and axial-vector resonance states

参考文献

- [1] L. R. Dai, R. Pavao, S. Sakai and E. Oset, " $\tau \rightarrow \nu \tau M_1 M_2$, with M_1, M_2 pseudoscalar or vector mesons," Eur. Phys. J. A55(2019) 20
- [2] L. R. Dai and E. Oset, "Polarization amplitudes in $\tau \rightarrow \nu \tau V$ Pdecay beyond the standard model," Eur. Phys. J. A54(2018) 219
- [3] L. R. Dai, Q. X. Yu and E. Oset, "Triangle singularity in $\tau \rightarrow \nu \tau \pi - f_0(980) (a_0(980))$ decays," Phys. Rev. D99(2019)016021
- [4] L. R. Dai, L. Roca and E. Oset, " τ decay into a pseudoscalar and an axial-vector meson," Phys. Rev. D99(2019) 096003

A032

专题代号: A

Triple-charm hadronic molecule

刘翔

兰州大学, 甘肃省兰州市天水南路 222 号 730000

Email: lzu_wangsfy@lzu.edu.cn

摘要: LHCb 的双粲重子的发现使得强子谱变得完备的同时, 也激发了我们探索双粲重子与粲介子或粲重子的相互作用的兴趣, 进而预言了三粲强子分子态的性质。在这个报告中, 我们将介绍近年来有关三粲强子分子态的理论研究进展。

A033

专题代号: A

Status and Prospects of Belle II

闫文成

郑州大学物理学院, 郑州 450001

Email: yanwc@buaa.edu.cn

摘要: The SuperKEKB accelerator, a major upgrade of KEKB, is designed to achieve a peak luminosity of a factor of 40 times of KEKB to $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. The Belle II experiment is designed to record data at SuperKEKB, with a performance similar or better than Belle or BaBar, the B factory detectors, in a much more severe beam background environment. Belle II, the first

super B-Factory experiment, is designed to find New Physics beyond the Standard Model of particle physics. The ambitious goal is to accumulate an integrated luminosity of 50 ab⁻¹ by the mid of next decade, which is 50 times more data than the previous Belle detector acquired.

A034

专题代号: A

Overview of PandaX recent results

王秋红 代表 PandaX 合作组

中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800

Email: wangqiu hong@sinap.ac.cn

摘要: The nature of dark matter is one of the fundamental scientific questions. The weakly interacting massive particles (WIMPs), one of the leading candidates, could be detected directly by searching the WIMP-nucleus scattering events in deep underground laboratories. The PandaX-II experiment, located in the China Jinping Underground Laboratory, using liquid xenon as both the target and scintillation medium, has been officially operating since early 2016. World leading results on the limits of spin independent WIMP-nucleon cross section had been obtained based on the 54 ton-days of dark matter search data collected in Run 9 (2016) and Run 10 (2017). In this report, we will present the most recent dark matter search results based on the data collected in the whole lifetime of PandaX-II with improved understanding of the detector.

关键词: dark matter, WIMPs, direct detection, liquid xenon

参考文献:

- 【1】 X. Xiao *et al.* (PandaX Collaboration), Low-mass dark matter search results from full exposure of the PandaX-I experiment, *Phys. Rev. D* 2015, 92, 052004.
- 【2】 A. D. Tan *et al.* (PandaX-II Collaboration), Dark Matter Results from First 98.7 Days of Data from the PandaX-II Experiment, *Phys. Rev. Lett.* 2016, 117, 121303.
- 【3】 X. Y. Cui *et al.* (PandaX-II Collaboration), Dark Matter Results from 54-Ton-Day Exposure of PandaX-II Experiment, *Phys. Rev. Lett.* 2017, 119, 181302.

基金项目:

- Double Top-class grant from Shanghai Jiao Tong University;

- Grants from National Science Foundation of China (Nos. 11435008, 11505112, 11525522, 11775141 and 11755001);
- Grant from the Ministry of Science and Technology of China (No. 2016YFA0400301);
- the Office of Science and Technology, Shanghai Municipal Government (No. 11DZ2260700, No. 16DZ2260200, No. 18JC1410200);

A035

专题代号：A

Understanding the LHCb pentaquark states from an EFT perspective

耿立升

北京航空航天大学物理学院，北京 100191

Email: lisheng.geng@buaa.edu.cn

摘要：The recent LHCb results on the three narrow pentaquark states $P_c(4312)$, $P_c(4440)$, and $P_c(4457)$ have shed new light on our understanding of the so-called exotic hadrons. From the perspective of effective field theory, these results are even more interesting. They allow a model independent description of these states as hadronic molecules. Indeed, there are seven of them. In this talk, I will discuss the EFT framework and its predictions. In particular, we show that how one can determine their spins in a model independent way, which are crucial to decipher their nature. In addition, I will discuss possible reasons why some members of the seven-states multiplet are missing and where and how they can be searched for.

关键词： pentaquark states, effective field theory, lattice QCD, weak decays

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11735003, 11975041）等

A036

专题代号：A

轻介子能谱及强衰变

庞成群¹、王雅蓉¹、郭丹²、王俊璋²、王波²、何丽萍²、刘翔²、Takayuki

Matsuki³

1 青海师范大学, 青海西宁, 810000, 2 兰州大学, 甘肃兰州, 730000, 3 Tokyo Kasei University, Itabashi, Tokyo, Japan, 173-860

Email: pcq@qhnu.edu.cn

摘要: 我们利用改进的 Godfrey-Isgur 势模型夸克对产生模型等唯象模型研究了轻介子家族 ($a_2, a_5, f_5, \omega_2, \phi_2, \rho_2, \phi, K$ 等) 的能谱及强衰变行为, 预言了 $J^{PC}=5^{++}$ 轻介子、 ρ_2, ϕ_2, ω_2 的基态及高激发态、 $\phi(1D, 4S)$, K 介子高激发态等的质量与宽度, 为从理论及实验上建立这些介子家族提供了重要的理论依据。

关键词: 轻介子, 质量谱, 强衰变

A037

专题代号: A

Study of the pentaquark states

J. Nieves、E. Oset、肖赓文

中南大学

Email: xiaochw@csu.edu.cn

摘要: The LHCb collaboration has reported recently three pentaquark states found in the $J/\psi N$ mass distribution. Based on the constraints of the heavy quark spin symmetry combined with the

local hidden gauge symmetry, we investigate the $D(*)\Sigma(*)$ interactions, together with $J/\psi N$ and other coupled channels, using a coupled channel approach. From the poles found in the second Riemann sheets, we dynamically reproduce the three states identified with the masses and the widths. Thus, we determine their quantum numbers and approximate molecular structure as $1/2^- D\Sigma c$, $1/2^- D^*\Sigma c$, and $3/2^- D^*\Sigma c$, and isospin $I = 1/2$. In our research procedure, we also predict some other states: (1) one $3/2^- D\Sigma^* c$ state with the mass of around 4374 MeV, for which indications appear in the experimental spectrum; (2) two other near degenerate states of $1/2^- D^*\Sigma^* c$ and $3/2^- D^*\Sigma^* c$, found around 4520 MeV; (3) a $5/2^- D^*\Sigma^* c$ state, appeared at the same energy. Furthermore, we make some predictions in the hidden strangeness sectors. Our findings also serve as a guide for further experimental studies.

A038

专题代号: A

根据 QCD 求和规则估计轻夸克质量

尹芳卉

河北师范大学

Email: 876739788@qq.com

摘要:在这项工作中,我们通过 SVZ 求和规则和 Monte-Carlo-based 求和规则,估计了在同位旋为 0 的标量通道中轻夸克的质量 m_q , 这里引入了一种新的唯象谱函数。通过对 U(3)手性微扰理论框架中标量形状因子进行单回路计算,利用显式树级共振交换,确定了更新后的唯象谱函数。考虑到 QCD 输入参数的不确定性和同位旋为零的标量通道的谱函数,我们通过 SVZ 求和规则预测了轻夸克质量 $m_q(2\text{ GeV}) = 1/2(\mu(2\text{ GeV}) + m_d(2\text{ GeV})) = 4.50 \pm 0.17 - 0.16\text{ MeV}$,以及用数值分析的蒙特卡洛求和规则预测了 $m_q(2\text{ GeV}) = 4.59 \pm 0.16\text{ MeV}$, 它们之间相互一致,并且在不确定性范围内与粒子数据组值一致。

关键词: QCD 求和规则

A039

专题代号: A

Discerning the two $K_1(1270)$ poles in $D^0 \rightarrow \pi^+ VP$ decay

G. Y. Wang(王冠颖); L. Roca; E. Oset

郑州大学物理学院, 郑州 450001

Email: wgy@gs.zzu.edu.cn

摘要: Within the chiral unitary approach, the axial-vector resonance $K_1(1270)$ has been predicted to manifest a two-pole nature. The lowest pole has a mass of 1195 MeV and a width of 246 MeV and couples mostly to $k^*\pi$, and the highest pole has a mass of 1284 MeV and a width of 146 MeV and couples mostly to pk . We analyze theoretically how this double-pole structure can show up in the $D^0 \rightarrow \pi^+ VP$ decays by looking at the vector-pseudoscalar (VP) invariant mass distribution for different VP channels, exploiting the fact that each pole couples differently to different VP pairs. We find that the final $k\bar{k}^*\pi$ and $pk\bar{k}$ channels are sensible to the different poles of the $K_1(1270)$ resonance and hence are suitable reactions to analyze experimentally the double pole nature of this resonance.

关键词: chiral unitary approach, $K_1(1270)$ resonance, VP channels

参考文献:

- [1] S. Godfrey and N. Isgur, Phys. Rev. D 32, 189 (1985).
- [2] N. Isgur and G. Karl, Phys. Rev. D 18, 4187 (1978).
- [3] S. Capstick and N. Isgur, Phys. Rev. D 34, 2809 (1986)[AIP Conf. Proc. 132, 267 (1985)].
- [4] S. Capstick and W. Roberts, Prog. Part. Nucl. Phys. 45,S241 (2000).
- [5] J. Vijande, F. Fernandez and A. Valcarce, J. Phys. G 31,481 (2005).
- [6] J. R. Pelaez, Phys. Rept. 658, 1 (2016).
- [7] F. K. Guo, C. Hanhart, U. G. Meissner, Q. Wang, Q. Zhao and B. S. Zou, Rev. Mod. Phys. 90, no. 1, 015004(2018).
- [8] M. F. M. Lutz and E. E. Kolomeitsev, Nucl. Phys. A730, 392 (2004).
- [9] L. Roca, E. Oset and J. Singh, Phys. Rev. D 72, 014002(2005).
- [10] Y. Zhou, X. L. Ren, H. X. Chen and L. S. Geng, Phys.Rev. D 90, no. 1, 014020 (2014).
- [11] W. H. Liang, S. Sakai and E. Oset, Phys. Rev. D 99,094020 (2019).
- [12] L. R. Dai, L. Roca and E. Oset, Phys. Rev. D 99, no. 9,096003 (2019).
- [13] S. J. Jiang, S. Sakai, W. H. Liang and E. Oset,arXiv:1904.08271 [hep-ph].
- [14] L. S. Geng, E. Oset, L. Roca and J. A. Oller, Phys. Rev.D 75 (2007) 014017.
- [15] E. Oset et al., Int. J. Mod. Phys. E 25, 1630001 (2016).
- [16] M. C. Birse, Z. Phys. A 355, 231 (1996).
- [17] L. Micu, Nucl. Phys. B 10, 521 (1969).
- [18] A. Le Yaouanc, L. Oliver, O. Pene and J. C. Raynal,Phys. Rev. D 8 (1973) 2223.

- [19] E. Santopinto and R. Bijker, Phys. Rev. C 82, 062202(2010).
[20] A. Bramon, A. Grau and G. Pancheri, Phys. Lett. B 283(1992) 416.
[21] S. Sakai, E. Oset and A. Ramos, Eur. Phys. J. A 54(2018) no.1, 10.
[22] M. Tanabashi et al. [Particle Data Group], Phys. Rev. D 98 (2018) no.3, 030001.doi:10.1103/PhysRevD.98.030001
[23] L. Roca, J. E. Palomar, E. Oset and H. C. Chiang, Nucl.Phys. A 744 (2004) 127.
[24] M. Ablikim et al. [BESIII Collaboration], Phys. Rev. D 95 (2017) no.7, 072010.

基金项目：

The Spanish Ministerio de Economia y Competitividad and European FEDER funds under Contracts No. FIS2017-84038-C2-1-P B and No. FIS2017-84038-C2-2-P B;
The Generalitat Valenciana in the program Prometeo II-2014/068;
The project Severo Ochoa of IFIC, SEV-2014-0398(EO);
The National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.11505158, 11847217;
The Academic Improvement Project of Zhengzhou University;
The support from Zhengzhou University in the program of visiting abroad for Ph.D students.

A040

专题代号：A

标量共振态在有限温度下的性质

高蕊

河北师范大学

Email: gaoruilz1123@sina.com

摘要：在这次工作中我们研究的是最低多重态 QCD 轻味标量共振态的热力学性质，包含了在么正化手征微扰理论框架下的。在介子-介子散射过程中利用一些实验数据对相移和非弹性散射系数进行拟合，在进行成功拟合之后我们可以获得参数进一步的计算共振态在零温下的极点和留数。在么正化介子-介子散射振幅中包含了有限温度的影响，就可以在能量的复平面对标量共振态极点的性质进行研究。

关键词：有限温度

A041

专题代号：A

Lepton universality violations (LUV) in B decays

史瑞祥, Li-Sheng Geng, Jorge Martin Camalich, Sebastian Jäger ,

Benjamín Grinstein and Xiu-Lei Ren

北京航空航天大学

Email: ruixiang.shi@buaa.edu.cn

摘要: We revisit the status of the new-physics interpretations of the anomalies in semileptonic B decays in light of the new data reported by Belle on the lepton-universality ratios $R_D^{(*)}$ using the semileptonic tag and on the longitudinal polarization of the D^* in $B \rightarrow D^* \tau \nu$, $F_L^{D^*}$. The preferred solutions involve new left-handed currents or tensor contributions. Interpretations with pure right-handed currents are disfavored by the LHC data, while pure scalar models are disfavored by the upper limits derived either from the LHC or from the B_c lifetime. The observable $F_L^{D^*}$ also gives an important constraint leading to the exclusion of large regions of parameter space. Finally, we investigate the sensitivity of different observables to the various scenarios and conclude that a measurement of the tau polarization in the decay mode $B \rightarrow D \tau \nu$ would effectively discriminate among them^[1]. Besides, based on 2019 LHCb data, we also updated the global fit results in $b \rightarrow s l l$ transitions^[2].

关键词: semileptonic B decays, right-handed currents, global fit.

- 【1】 L.-S. Geng, B. Grinstein, S. Jäger, J. Martin Camalich, X.-L. Ren, and R.-X. Shi, “Towards the discovery of new physics with lepton-universality ratios of $b \rightarrow s l l$ decays”, PhysRevD.96.093006.
- 【2】 R. X. Shi, L. S. Geng, B. Grinstein, S. Jäger and J. Martin Camalich, “Revisiting the new-physics interpretation of the $b \rightarrow c \tau \nu$ data”. arXiv:1905.08498.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 11375024, No. 11522539 and NO. 11735003) 等.

A042

专题代号: A

搜寻钾-40 地球中微子

王喆、陈少敏

工程物理系, 清华大学, 北京 100084

Email: wangzhe-hep@mail.tsinghua.edu.cn

摘要: 地球中的钾-40 (^{40}K) 衰变大概贡献了目前地球放射性热的 1/3 左右, 但在实验上该数

值从未得到验证，地球 ^{40}K 中微子也没有被观测到。利用液体闪烁体的太阳中微子实验已经观测到了铀、钍地球中微子，在低本底和构建大靶质量的探测器方面是最为有经验的。在我们最近的工作中，我们研究了如何利用中微子和电子散射的过程去探测 ^{40}K 地球中微子。液体闪烁体切仑科夫探测器是对传统液闪的一种改进，例如慢液闪探测器，它能够使我们分辨出闪烁光和切仑科夫光，同时探测带电粒子的能量和方向。有了方向性后，我们能极大的压低 ^{40}K 地球中微子研究中的关键太阳中微子本底。我们模拟了太阳和地球中微子的产生，传播等，研究了中微子电子散射后产生的反冲电子在慢液闪探测器中的散射情况，以及闪烁光和切仑科夫光的产生，传播和利用光电倍增管的探测，尝试了一种可行的能量和方向重建的重建算法。我们发现，在千吨探测器规模的时候，我们的 ^{40}K 地球中微子探测精度在有限的时间内可以达到 3 倍标准偏差，精度的扫描曲线如下图，有望实现 ^{40}K 地球中微子的发现。

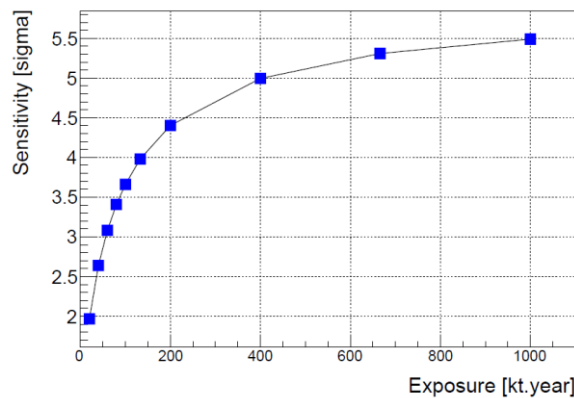


图 1 ^{40}K 地球中微子探测精度随有效靶质量和取数时间乘积的关系。在 60 千吨年位置，达到 3σ 。

关键词: Liquid-scintillator Cherenkov detector, Slow liquid scintillator, Geoneutrino, ^{40}K neutrino

参考文献

【1】 Zhe Wang, Shaomin Chen, Observing the Potassium Geoneutrinos with Liquid Scintillator Cherenkov Neutrino Detectors, arXiv:1709.03743 [hep-ex] 2017.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO.11620101004, 11475093) 等

A043

专题代号: A

六边形光电倍增管集光器设计与测试

赵林 代表锦屏中微子实验组

北京市海淀区清华大学工程物理系（刘卿楼），北京 100086

Email: l-zhao15@mails.tsinghua.edu.cn

摘要：在很多大型中微子实验，如 Borexino 中，为了增加光收集效率和降低探测器建造成本，会在光电倍增管外安装集光器，可以将光阴极覆盖面积提高约 2.5 倍。安装在光电倍增管外部的集光器又被称为温斯顿锥，其曲面曲率通过 String Method 计算得来，可以将进光口处收集到的光子通过高反射率的内壁，经单次反射收集到光电倍增管光阴极面上。本工作通过对集光器曲率计算方法进行了改进，使其在大角度入射的光子收集效率得到了明显提升。同时对集光器几何进行了改良，将传统的圆形进光口改成了六边形进光口，可以实现安装时的密排，并且对大角度入射光的收集效率有了较为明显的提升。模拟结果表明，改良六边形集光器收集效率在 80° 光入射角的情况下，可以达到 97% 的收集效率^[1]。同时，报告展示了以 R5912 为例的六边形集光器实验测试结果。



图 1 六边形光电倍增管集光器

关键词：中微子探测、光电倍增管集光器、温斯顿锥、六边形

参考文献

【1】 Zhi Y, et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 2018, 885: 114-118.

基金项目：国家自然科学基金项目（No.11620101004,11475093）

A044

专题代号：A

使用 PandaX-II 二相型氙探测器寻找无中微子双 β 衰变

倪恺翔、赖奕辉、韩柯

上海交通大学，上海 200240

Email: 1160274182@qq.com

摘要：中微子是组成自然界的最基本粒子之一。对于它的性质，目前仍有大量的谜团尚未解开。有一部分科学家猜想中微子是自己的反粒子，这可以通过寻找无中微子双 β 衰变进行验证[1]。我们知道，中子可以通过 β 衰变转化为质子并释放电子和中微子。在特定的情况下，原子核里的两个中子同时衰变，释放出两个电子和两个中微子，即双 β 衰变 ($2\nu\beta\beta$)。如果中微子是自己的反粒子，那么这两个中微子就有概率互相湮灭，所有的能量均由两个电子携带，约等于衰变的 Q 值。这一过程被称为无中微子双 β 衰变 ($0\nu\beta\beta$)。可以通过观察双电子的能谱寻找这种事例，如图 1 所示。

课题组使用 PandaX-II 的实验数据寻找 ^{136}Xe 的无中微子双 β 衰变。该实验运行在四川省锦屏山下，其使用的二相型氙探测器是世界上最灵敏的暗物质探测器之一[2]。而 ^{136}Xe 则是寻找无中微子双 β 衰变的非常热门的候选物质。目前科学家在 ^{136}Xe 中尚未观测到此类衰变的证据，半衰期下限为 1.07×10^{26} 年。

课题组在相应的能量区间内没有发现超出统计误差的衰变信号，并给出 ^{136}Xe 无中微子双 β 衰变的半衰期下限为 2.1×10^{23} 年。该结果是暗物质探测器用于无中微子双 β 衰变探测的第一个物理结果，展现了此类探测器多能区多物理目标的研究潜力。目前正在建的 PandaX-4T 探测器预计在运行 5 年的情况下可以将灵敏度提高到 10^{25} 年的量级。而之后的 30 吨级的探测器，将有能力直接参与寻找无中微子双 β 衰变的国际竞争。

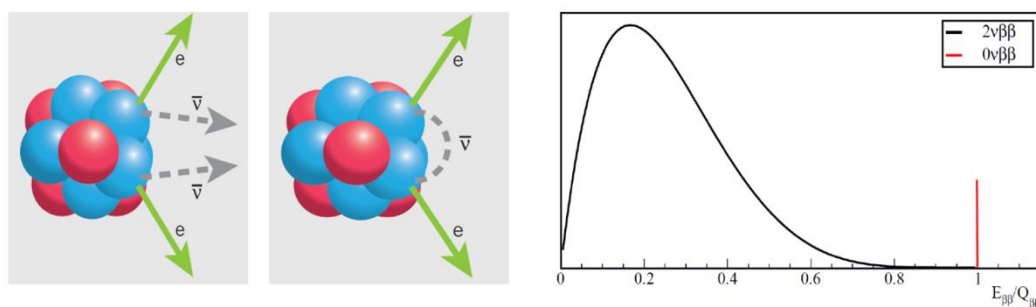


图 1 无中微子双 β 衰变的示意图和理论能谱

关键词：无中微子双 β 衰变 液氙探测器 暗物质 地下实验

参考文献

- 【1】 K. Olive et al. (Particle Data Group), Review of Particle Physics, Chin. Phys. C 38, 090001 (2014).

【2】 X. Cui et al. (PandaX), Dark Matter Results from 54-Ton-Day Exposure of PandaX-II Experiment, Phys. Rev. Lett. 119, 181302 (2017).

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11775142）

A045

专题代号：A

利用三维空间传播模型对宇宙线正/负电子能谱的预期

田珍、刘伟、杨波、傅学东、许海波、姚玉华、郭义庆

北京应用物理与计算数学研究所，北京 100094

Email: happytianzhen@163.com

摘要：宇宙线粒子的传播过程是近些年来天文理论计算领域研究的热点之一，其是联系宇宙线加速与观测的重要纽带，对人们探求天体物体活动有着关键影响。随着探测设备的升级（AMS02, Fermi-LAT 和 DAMPE 等卫星实验），人们对宇宙线电子能谱的观测变得越来越精细及高能（ $\sim \text{TeV}$ ），并发现了很多有趣的结构（正负电子的超出、各核子谱 200GV 变硬、电子谱 TeV 的截断）。这使得传统的宇宙线传播计算模型不能提供很好的解释，需要发展新的传播计算模型。在本项工作中，我们针对最新正负电子能谱的观测数据，对空间依赖传播模型进行了改进：首次，将银河系旋臂的真实结构添加到现有的空间传播模型中；此外，还引入一个临近脉冲星来弥补正电子能谱在高能的超出；在此改进后，我们进一步计算了新模型下总电子谱、正 / 负电子能谱行为，结果显示新模型能够很好地描述现有的实验观测。同时，我们也对正负电子的各向异性做了计算，两者均符合当前的实验观测极限。

关键词：宇宙线传播 电子谱 银河系旋臂 超新星遗迹

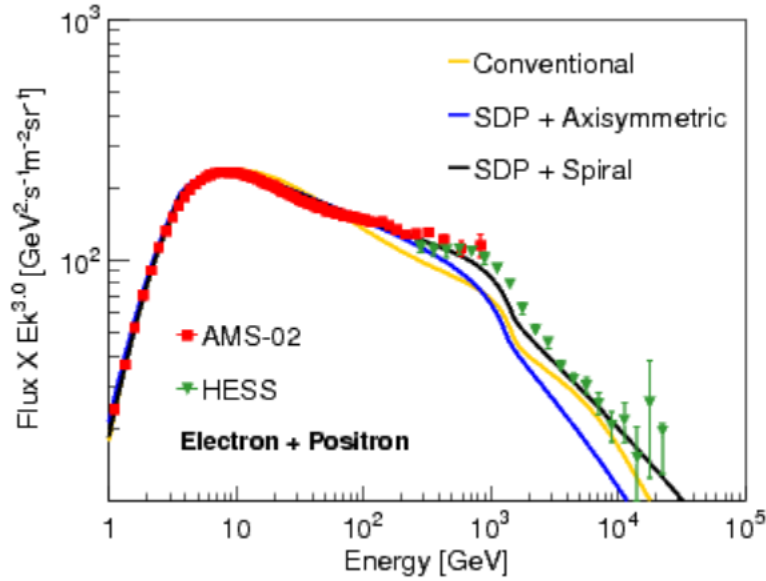


图 1.三种不同传播模型预期总电子分布，红色点为 AMS02 实验 2019 年公布结果，绿色点为地面实验 HESS 的观测结果。

参考文献：

- 【1】 Abdo A A, Ackermann M, Ajello M, *et al.*, Measurement of the cosmic ray $e^+ + e^-$ spectrum from 20 GeV to 1 TeV with the Fermi Large Area Telescope[J]. *Physical Review Letters*, 2009, 102(18): 181101.
- 【2】 Accardo L, Aguilar M, Aisa D, *et al.* High statistics measurement of the positron fraction in primary cosmic rays of 0.5–500 GeV with the alpha magnetic spectrometer on the international space station[J]. *Physical review letters*, 2014, 113(12): 121101
- 【3】 Ahn H S, Allison P, Bagliesi M G, *et al.* Energy spectra of cosmic-ray nuclei at high energies[J]. *The Astrophysical Journal*, 2009, 707(1): 593.
- 【4】 Yoon Y S, Anderson T, Barrau A, *et al.* Proton and helium spectra from the CREAM-III flight[J]. *The Astrophysical Journal*, 2017, 839(1): 5.
- 【5】 Tridon D B, Colin P, Cossio L, *et al.* Measurement of the cosmic electron plus positron spectrum with the MAGIC telescopes[J]. *arXiv preprint arXiv:1110.4008*, 2011.
- 【6】 Chang J, Adams J H, Ahn H S, *et al.* An excess of cosmic ray electrons at energies of 300–800 GeV[J]. *Nature*, 2008, 456(7220): 362.
- 【7】 Ambrosi G, An Q, Asfandiyarov R, *et al.* Direct detection of a break in the teraelectronvolt cosmic-ray spectrum of electrons and positrons[J]. *Nature*, 2017, 552(7683): 63.
- 【8】 Feng J, Tomassetti N, Oliva A. Bayesian analysis of spatial-dependent cosmic-ray propagation: astrophysical background of antiprotons and positrons[J]. *Physical Review D*, 2016, 94(12): 123007.
- 【9】 Guo Y Q, Tian Z, Jin C. SPATIAL-DEPENDENT PROPAGATION OF COSMIC RAYS RESULTS IN SPECTRUM OF PROTON, RATIOS OF, B/C AND ANISOTROPY OF NUCLEI[J]. *The Astrophysical Journal*, 2016, 819(1): 54.
- 【10】 Liu W, Salati P, Chen X. TeV cosmic-ray proton and helium spectra in the myriad model II[J]. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2015, 15(1): 15.
- 【11】 Serpico P D. Astrophysical models for the origin of the positron “excess”[J]. *Astroparticle Physics*, 2012, 39: 2-11

- 【12】 Yin P F, Yu Z H, Yuan Q, *et al.* Pulsar interpretation for the AMS-02 result[J]. *Physical Review D*, 2013, 88(2): 023001.
- 【13】 Zhang L, Cheng K S. Cosmic-ray positrons from mature gamma-ray pulsars[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2001, 368(3): 1063-1070.

基金项目：国家自然科学基金项目（N0s. 11875264, 11635011, 11761141001, 11663006）等

A046

专题代号：A

锦屏中微子实验一吨原型机低本底测量

李进京(代表锦屏中微子实验研究组)

清华大学工程物理系，北京 100084

Email: lijj16@mails.tsinghua.edu.cn

摘要：锦屏中微子实验位于四川锦屏山下，借助于 2400 m 的岩石埋深而带来的极低的环境放射性本底和宇生本底，我们期望能对太阳中微子、地球中微子和超新星中微子等进行更加精细的研究。锦屏中微子目前处于一吨原型机运行的阶段，其靶物质为慢液闪。通过这一阶段对级联衰变事例的探测，我们在一吨原型机上发现并通过能量和衰变寿命等确认了 Bi214 → Po214 → Po210 信号（Bi214 信号）。利用 Bi214 信号的能量信息能够得出一吨探测器的光产额近似为 60 PE/MeV。由于 Bi214 处于 Rn222 衰变链中，所以通过对 Bi214 信号的事例率测量可以推断出，早期数据中的信号主要来自于在探测器中充入慢液闪时从周围空气中溶解的氦气，在探测器后期运行阶段仍会有少量的环境中的氦气泄漏进探测器中。针对于此目前我们已经对探测器部署了氮气冒泡设备，用于去除溶解在液闪中的氦气和氧气。

液闪运行初始阶段溶解的氦气经过一个月的衰变后其含量达到完全可以忽略的水平。因此剩余的 Bi214 事例可以认为完全来自于探测器自身的放射性和后续泄漏进去的氦气。我们通过对后续数据的研究，在长期平衡假设满足的条件下得出探测器慢液闪在经过纯化的情况下，U238 的放射性含量达到 10^{-14} g/g 的水平，Th232 含量的上限达到 10^{-15} g/g 的水平。

关键词：锦屏中微子实验，一吨原型机，慢液闪，氦气，放射性含量

参考文献

- 【1】 John F. Beacom *et al.*, Letter of Intent: Jinping Neutrino Experiment, ArXiv:1602.01733
- 【2】 John F. Beacom *et al.*, Physics prospects of the Jinping neutrino experiment, Chinese Physics C Vol. 41, (2017) 023002

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11620101004-11475093）等

A047

专题代号：A

利用 PandaX-II 实验探测器研究气液两相型氙探测器的信号 产额及其对电场的依赖

黄周、夏经凯、顾琳慧、袁影、张丹、周小鹏、谢鹏伟、燕斌斌、王
秋红、周宁、刘江来、季向东

上海交通大学物理与天文学院，上海 200240

Email: zhouh17@sjtu.edu.cn

摘要： PandaX-II 实验位于中国锦屏地下实验室。该实验使用气液两相型氙探测器是目前世界上对于大质量暗物质探测最灵敏的探测器之一。液氙对于物理信号的响应直接受到探测器内漂移电场的影响。我们利用了多种低能刻度源，探究了在不同电场下液氙对于电子反冲信号的响应，得到了最适合 PandaX-II 探测器的漂移电场，并为将来的吨级实验——PandaX-4T 实验提供了宝贵经验。

入射粒子与氙原子碰撞发生反应，会产生初级闪烁光 S1 和正比放大光 S2。S1 和 S2 的能量配比直接依赖于漂移电场的大小。我们通过注入 $^{129\text{m}}\text{Xe}$ 、 $^{131\text{m}}\text{Xe}$ 和 $^{83\text{m}}\text{Kr}$ 等多种放射源去刻度 PandaX-II 探测器对于电子反冲事例的响应，得到 S1 和 S2 信号的产额。另外我们还调节了 PandaX-II 探测器的漂移电场，研究了 S1 和 S2 信号的产额对于漂移电场的依赖性。通过调整 NEST 1.0 模型中的参数，我们使调整过后的 NEST 和我们的刻度数据一致，进而得到 PandaX-II 探测器对于不同能量信号的响应。除此之外，我们还发现了由于 $^{83\text{m}}\text{Kr}$ 的级联衰变导致的光产额异常。通过 NEST 2.0 进行数据拟合， $^{83\text{m}}\text{Kr}$ 的光产额也能够得到很好的预测。

关键词： 暗物质 液氙 光产额

参考文献

- 【1】 Xiangyi Cui *et al.*, Dark Matter Results from 54-Ton-Day Exposure of PandaX-II Experiment, *Phys. Rev. Lett.*, 119:181302, Oct 2017.

制备 $\text{Kr}83\text{m}$ 进行 PandaX 液氙探测器响应的刻度研究

李逸凡、游景涛、张丹、夏经锐、周宁、符长波、刘江来

上海交通大学致远学院，上海闵行区 200240

Email: mercury123@sjtu.edu.cn

摘要：目前一种被广泛接受的理论认为，组成暗物质的是“弱相互作用有质量粒子”(WIMP)。基于暗物质可能是 WIMP 的理论，PandaX 使用的氙原子作为检测目标，探测氙原子和地球周围数十亿个暗物质粒子之间可能的碰撞所引起的极小的信号。PandaX 二期实验（500 公斤级液氙）已取得了世界领先的暗物质探测灵敏度，项目组正在建造 PandaX-4T 四吨级液氙探测器，将暗物质探测灵敏度继续向前推进 1 个数量级。为了对大体量液氙探测器响应全面的进行刻度，我们在国内首次制备出 83mKr 气体放射源，并在 PandaX 二期实验中成功进行注入实验，突破了四吨级液氙实验刻度的技术挑战。

四吨级液氙探测器的信号区域直径达到了 1.2 米，高度达到了 1.2 米，相比于 PandaX 二期探测器的体量增加了 8 倍，这对探测器响应的刻度研究提出新的要求，需要能够对探测灵敏区域尤其是中心区域进行有效的刻度。传统的位于探测器外侧的放射源由于液氙的自屏蔽效应，放射出的 γ 射线不能够穿到液氙内部。需要能够注入探测器内部和液氙混合的放射源，并且在刻度结束后能够严格的去除。而可供选择的这种可注入放射源如 131mXe （ 164keV ）等放射出的能量偏高，对于暗物质信号区域（几十 keV ）范围不能够高效的进行刻度。我们尝试制备新的放射源 83mKr 进行液氙探测器的刻度， 83mKr 能够均匀混合在液氙中，并衰变产生 9.4keV 和 32keV 的电子，半衰期为 1.83 小时，满足低能信号刻度的需求。我们设计研发了气体靶腔体，充入 natKr 气体，利用中国原子能院 3.4MeV 的质子束流，轰击气体靶，成功制备出约 100Bq 的 83Rb 放射性元素，该元素通过电子俘获衰变为 83mKr ，半衰期为 86.2 天。为了突破 83mKr 的刻度技术，我们设计了气体刻度源注入管路，对无污染注入方式进行了测试，最终成功在 PandaX 二期实验中进行了刻度数据的采集，并对刻度之后探测器中的放射性残余进行了测量，达到了预期的目标。最后，为了进一步增加刻度源产额，我们在中国近代物理研究所的 20MeV 的质子束流再次进行了气体靶轰击实验，得到了 MBq 量级的 83Rb 放射性元素，完全满足了未来 PandaX-4T 液氙实验刻度的需求。

利用 $\text{Kr}83\text{m}$ 对液氙探测器进行刻度，将是 PandaX 实验的首次尝试，是对现有刻度系统的重

要补充。该项目通过对 Kr83m 放射源的制备、活度测量、无污染注入等关键技术进行研究，实现对 PandaX 二期 500 公斤探测器的刻度，对探测器响应进行修正，为未来液氙探测器的刻度系统提供技术支撑。

关键词：液氙探测器 83mKr 放射源 探测器刻度

参考文献

【1】 PandaX Collaboration, Dark matter results from 54-ton-day exposure of PandaX-II experiment, Phys. Rev. Lett. 119, 181302 (2017).

【2】 A. Manalaysay et. al., Spatially uniform calibration of a liquid xenon detector at low energies using 83mKr, Review of Scientific Instruments 81, 073303 (2010)

A049

专题代号：A

Overview and prospect of PandaX-4T dark matter search experiment

谢鹏伟 On behalf of PandaX-4T collaboration

李政道研究所，200240

Email: willandy@sjtu.edu.cn

摘要：PandaX-4T dark matter experiment will be carried out in CJPL-II and is expected to take data in the following years. With target xenon mass of 4 ton, we expect to extend the sensitivity to $6e-48 \text{ cm}^2$. In this talk, I will discuss the upgrade plan of the detector including cryogenics, distillation, TPC, low background control etc. I will also discuss the possible physics reach of the experiment.

A-P001

专题代号：A

面向伽马暂现源地基观测的超广角大气切伦科夫望远镜

陈天禄¹，张毅²，高启¹，胡红波²

1. 西藏大学宇宙线教育部重点实验室，西藏，拉萨，850000

2. 中国科学院高能物理研究所，北京，100086

Email: chentl@ihep.ac.cn(陈天禄); zhangyi@ihep.ac.cn(张毅)

摘要：大视场(或广角)和低阈能是未来地基甚高能伽马射线望远镜的重要指标，特别是对伽马暂现源时变和能谱的测量尤为关键，如爆发源(伽马射线暴, GRB)甚高能辐射、时变源(活动星系核, AGN)甚高能辐射、可能的引力波甚高能波段电磁对应体等。位于极高海拔观测站的超广角、大口径大气切伦科夫望远镜阵列有望实现大视场和低阈能的目标。基于此，本文提出并发展了一种超广角大气切伦科夫望远镜技术，主要工作如下：(1) 提出了一种基于水透镜的超广角大气切伦科夫望远镜方案。受 GAW、JEM-EUSO 菲涅尔透镜方案的启发，我们模仿人眼结构，提出了一种基于水透镜的超广角大气切伦科夫望远镜方案。理想的水透镜由蓝紫光透过率高的玻璃(亚克力)球壳和高纯水构成半球结构，具有视场大、成像一致性好、性价比高等优势。(2) 设计建造了基于水透镜的超广角大气切伦科夫望远镜原理样机系统。设计加工了 0.9 m 口径球冠式水透镜，表面粗糙度(Ra)为 0.8 μm ，几何公差为 $\pm 1\text{ mm}$ 。利用平行光聚焦法测定了水透镜的焦距、光斑，测量结果与 Zemax 模拟结果一致。设计加工了基于光电倍增管(PMT)的照相机系统，由 48 个 PMT 组成的照相机视场达 $150^\circ \times 130^\circ$ 。设计了基于 Nuclear Instrument Module (NIM)标准插件和 LHAASO-KM2A 分布式电子学的前端电子学和数据获取系统。(3) 望远镜原理样机成功探测到甚高能宇宙线事例。实验于 2015、2016 年冬季在西藏羊八井国际观测站进行。实验采用了符合方法测量宇宙线信号，即由原理样机记录宇宙线引发的大气切伦科夫光信号，由中日合作 AS γ 扩展阵列记录宇宙线次级粒子电磁信号，并在一定时间窗($\tau=400\text{ ns}$)内符合。结果表明，符合事例率远高于偶然符合率，说明原理样机记录的信号为宇宙线引发的大气切伦科夫光。利用进入望远镜视场的亮星以及由扩展阵列提供的符合事例信息对照相机像素单元指向进行了离线标定，弥补了实验前期未对望远镜进行指向标定带来的问题。原理样机成功探测到宇宙线事例初步验证了水透镜方案的可行性。(4) 发展了大气切伦科夫望远镜单镜系统联合闪烁体阵列重建原初宇宙线方向的新方法。结果表明，望远镜原理样机对原初宇宙线方向重建偏差与事例的芯位密切相关。鉴于此，利用闪烁体阵列提供的事例芯位信息对望远镜原理样机重建的原初宇宙线方向进行修正，使方向重建精度得到了提高。(5) 通过符合事例研究了原理样机性能指标。结果表明，望远镜原理样机对 $\sim 10\text{ TeV}$ 能量的宇宙线角分辨 ψ_{50} 达 0.9° ，而且原理样机对宇宙线大气切伦科夫光有一定的成像能力。近期，MAGIC 望远镜 $\sigma > 20$ 的显著性探测到 GRB190114C 在 sub-TeV 能区存在辐射、LIGO/Virgo 与 FERMI/GBM 符合探测到双中子星并合事件 (GW170817 和 GRB 170817A)、冰立方(Icecube)中微子天文台探测到的高能天体中微子 IceCube-170922A 与蝎虎座 BL 型耀变体(BL Lac object)TXS0506+056 相关联，这三大发现进一步说明发展超广角大气切伦科夫望远镜技术非常紧要且前景广阔。

关键词：大气切伦科夫望远镜，广角，透镜，伽马射线暴，宇宙线。

参考文献：

[1] T. L. Chen, C. Liu, Q. Gao, et al. Performance of a wide field-of-view atmospheric Cherenkov telescope prototype based on a refractive lens. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2019,A 927C:46-53.

[2] H. Cai, Y. Zhang, C. Liu, Q. Gao, Z. Wang, T. L. Chen(通信作者), et al. Wide field-of-view atmospheric Cherenkov telescope based on refractive lens. Journal of Instrumentation,2017, 12 (9) : P09023(9pp).

A-P002

专题代号：A

气溶胶再悬浮的数值模拟研究

江斌、黄挺、陈炼、常华健

国核华清（北京）核电技术研发中心有限公司，北京 102209

Email: bj_year@yeah.net

摘要: 核电站在严重事故晚期可能由于氢气燃烧或爆燃等瞬间气流导致已经沉积的气溶胶再次悬浮在气空间中，影响释放到环境中的放射性源项。本文利用计算流体力学（CFD）程序 GASFLOW 模拟了压水堆核电站严重事故条件下气溶胶的再悬浮行为，通过拉格朗日粒子模型计算得出再悬浮率，并将所得结果与集总参数（LP）程序 ASTEC 的结果与国际标准例题（ISP）中的 STORM 试验台架的 SR11 试验结果进行对比。计算结果表明，GASFLOW 程序能够较好地模拟气溶胶的再悬浮行为，并且相对于集总参数程序而言，能够清晰直观地看到不同时刻气溶胶的浓度分布，基本功能可以满足工程计算需求。

课题组根据气溶胶粒子受力分析，采用拉格朗日方法进行计算，对粘附力进行了重点分析。结果表明，气溶胶再悬浮率在 60%左右，与试验结果 70%的误差在 20%以内，满足工程计算需求。

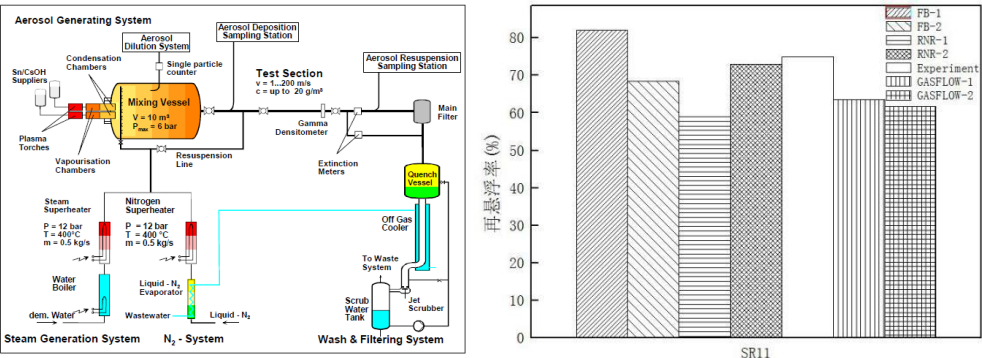


图1 STORM 试验台架

图2 气溶胶再悬浮率对比

关键词：严重事故 气溶胶 再悬浮 拉格朗日 浓度分布

参考文献

- 【1】 C. N. Lin *et al.*, All-Carbon Photodetectors for Solar-Blind Imaging, *Adv. Opt. Mater.* 2018, 6 (15), 1800068. （作者姓名，论文题目，杂志名称，年，卷（期），起始页码）
- 【2】 Bujan A, Toth B Zeyen R. ASTEC V1.3 Code Assessment on the STORM Aerosols Mechanical Resuspension Tests[R]. EUR 23233 EN, JRC, 2008.
- 【3】 Travis J R, Jordan T, Royle P, et al. GASFLOW 3.3: A computational fluid dynamics code for gases aerosols, and combustion, VOLUME 2: User's manual[R]. Germany: KIT, 2012.
- 【4】 肖建军, 周志伟, 经荣清. 核电站安全壳内气溶胶扩散和燃烧分析程序 GASFLOW 及其应用[J]. 核科学与工程, 2005, 25(4): 317-321.

基金项目：国家科技重大专项项目（NO.2017ZX06004）等

A-P003

专题代号：A

Real-time cosmology with SKA

Yan Liu、Jing-Fei Zhang、Xin Zhang*

Department of Physics, College of Sciences, Northeastern University, Shenyang
110819

Email: 1123010349@qq.com

摘要：In this work, we investigate what extent the cosmological parameters can be constrained to when the redshift drift data of Square Kilometre Array (SKA) are used alone and what will happen when the European Extremely Large Telescope (E-ELT) and SKA mock data are combined. The Λ CDM model is chosen as a reference model to reach our aims. We find that using the SKA1-only mock data, the Λ CDM model can be loosely constrained, while the model can be well constrained when the SKA2-only mock data are used. When the combination of SKA and E-ELT mock data are considered, the constraints can be significantly improved almost as good as the combination of the type Ia supernovae observation (SN), the cosmic microwave background observation (CMB), and the baryon acoustic oscillations observation (BAO). Furthermore, we also investigate in the future what role the redshift drift data of SKA will play in the cosmological parameter estimation. We use four dark energy models, namely, the Λ CDM model, wCDM model, CPL model, and HDE model, as examples to make the analysis. These models are favored by the current observations

well. we find that the redshift drift measurement of SKA could help to significantly improve the constraint on dark energy and could break the degeneracy existing between the cosmological parameters. Therefore, we conclude that redshift-drift observation of SKA would provide a good improvement in the cosmological parameter estimation in the future and have the enormous potential to be one of the most competitive cosmological probes in constraining dark energy.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11875102, 11835009, 11522540, and 11690021）

A-P004

专题代号：A

基于气体高次谐波的光发射电子显微镜

郑伟、汪洋、吴成印

北京大学物理学院，北京 100871

Email: cywu@pku.edu.cn

摘要：同时具有超快时间分辨和超小空间分辨的微纳光电器件表征新技术是当今科学与技术的前沿领域，也是发展下一代光电子信息功能器件产业的迫切需求，具有重要的科学意义和应用前景。基于飞秒强激光场与气体原子分子相互作用产生的高次谐波，其光子能量可覆盖真空紫外波段和软 x 射线波段，具有很好的时间相干性。它可以克服所有材料的逸出功，将材料的电子电离，而且可以覆盖整个布里渊区。光发射电子显微镜利用光电效应将电子电离，经过一系列电磁透镜/静电透镜，将电离光电子投射到探测器上，据此成像的光电子具有很高的空间分辨（ $<10\text{nm}$ ）和能量分辨（ $<150\text{meV}$ ）。北京大学物理学院解决了气体高次谐波单一级次谐波的筛选以及与光电子发射显微镜的互联问题，发展出基于气体高次谐波的光发射电子显微镜技术，同时融合光学泵浦-探测的超高时间分辨和光发射电子显微镜的超高空间分辨能力。目前已测量到单一级次谐波入射到固体表面和微纳结构产生的光电子的空间分布和能量分布，实现固体表面和微纳结构电子的超高空间分辨和能量分辨测量。下一步建设飞秒泵浦-高次谐波探测系统，进一步实现固体表面和微纳结构电子的超高时间分辨测量。

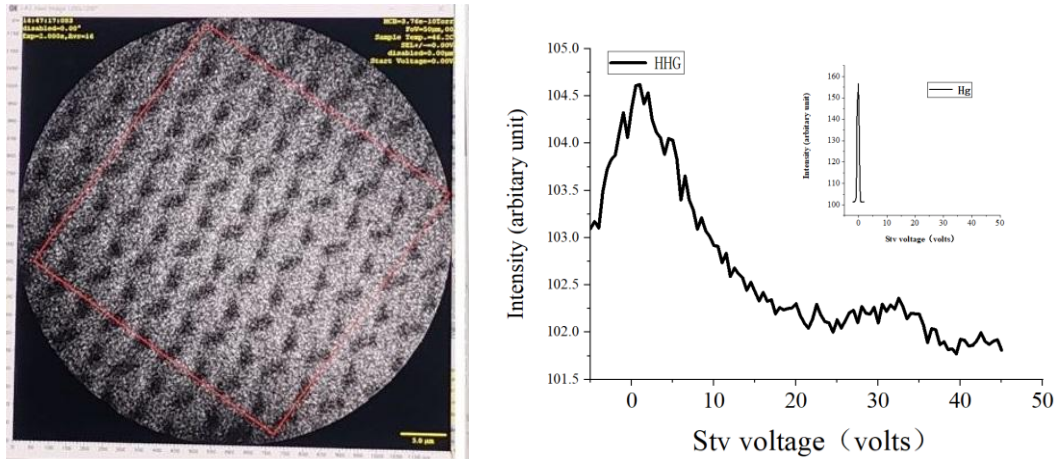


图 1：波长 800 纳米的飞秒激光与惰性气体原子氙产生的 23 阶谐波与光发射电子显微镜结合，左图：空间分辨图像（Si 样品），右图：能量分辨测量（Au 样品）。

关键词：高次谐波，光发射电子显微镜，微纳结构

基金项目：国家重点研发计划 (No. 2018YFA0306302) 和国家自然科学基金 (No.11625414)。

A-P005

专题代号：A

HEPS 中的离子电子相互作用

李超、填塞克、王娜、许海生

中国科学院高能物理研究所，北京 100049

Email: lichao@ihep.ac.cn

摘要：在电子储存环中，局部残余气体会被电子束电离产生离子，这些离子反过来会作用到电子束，从而引起离子-电子不稳定性。狭义上，离子-电子相互作用导致的不稳定性又可以分为 fast-ion effect 和 ion-trapping effect。两者的区别在于前驱束团电离的离子能否被后续的束团俘获，从而对后续的电子束产生持续的影响。如果后续束团能俘获离子，那么产生的为 ion-trapping effect，反之则为 fast-ion effect。电子离子相互作用可能导致持续的束流发射度增长，甚至引起束流丢失，在加速器的初期调试阶段尤其如此。在一般意义上，调整束流的 filling pattern 可以有效的抑制离子-电子效应，其原理是让 ion 丢失在没有束流的长 gap 中。

为了评估 HEPS 中的离子-电子相互作用的影响，课题组采用 C++ 开发了基于

strong-strong 模型的离子-电子相互作用模拟程序。其中电离离子和储存的电子束都采用多粒子模型，电子和离子之间的相互作用通过 Bassetti-Erskine 公式描述。模拟结果可以看出，在 680/756 的束流填充模式下，fast-ion-effect 和 ion-trapping effect 都能比较好的被抑制。

关键词：离子-电子相互作用

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11775239）

A-P006

专题代号：A

Quantifying the impacts of future gravitational-wave data on constraining interacting dark energy

李海丽、何东泽、张敬飞、张鑫

东北大学理学院，沈阳市和平区文化路 3 巷 11 号 110819

Email: 1329750467@qq.com

摘要：In this work, we investigate the impacts of the gravitational-wave (GW) standard siren observation of the Einstein Telescope (ET) on constraining the interacting dark energy models. We simulate 1000 GW events data in the redshift range $0 \lesssim z \lesssim 5$ based on the 10 years observation of the ET. We combine the simulated GW data with the current mainstream cosmological electromagnetic observations including the cosmic microwave background (CMB) anisotropies observation, the baryon acoustic oscillations (BAO), and the type Ia supernovae (SN) observation (Pantheon compilation) to constrain these models. We consider two typical interacting dark energy (IDE) models, i.e., the Λ CDM model and I wCDM model, in the context of a perturbed universe. To avoid the large-scale instability problem for IDE models, we apply the parameterized post-Friedmann (PPF) approach to do the analysis. We find that the addition of GW standard siren data could improve the constraint accuracies on most of the cosmological parameters (e.g., H_0 , w , and Ω_m) significantly. For the coupling constant β , the absolute constraint errors could also be slightly improved when adding the GW data in the cosmological fit.

TABLE I: Constraint accuracies for cosmological parameters of the Λ CDM models and the I wCDM models using CBS, and CBS+GW. Here, CBS stands for CMB+BAO+SN.

关键词: gravitational-wave; interacting dark energy; parameterized post-Friedmann approach

Model	IACDM1 ($Q = \beta H \rho_c$)		IACDM2 ($Q = \beta H_0 \rho_c$)		IwCDM1 ($Q = \beta H \rho_c$)		IwCDM2 ($Q = \beta H_0 \rho_c$)	
Data	CBS	CBS+GW	CBS	CBS+GW	CBS	CBS+GW	CBS	CBS+GW
$\varepsilon(\Omega_m)$	0.0266	0.0130	0.0533	0.0232	0.0267	0.0126	0.0798	0.0665
$\varepsilon(H_0 \text{ [km/s/Mpc]})$	0.0095	0.0044	0.0118	0.0045	0.0123	0.0047	0.0121	0.0048
$\varepsilon(\beta)$	1	1.1731	1.4194	1.9333	3	3	0.9789	0.9886
$\varepsilon(\sigma_8)$	0.0179	0.0168	0.0261	0.0204	0.0191	0.0168	0.0192	0.0168
$\varepsilon(w)$	—	—	—	—	0.0386	0.0322	0.0765	0.0726

参考文献

【1】 X. N. Zhang, L. F. Wang, J. F. Zhang and X. Zhang, Improving cosmological parameter estimation with the future gravitational-wave standard siren observation from the Einstein Telescope, Phys. Rev. D. 2019, 99 (6), 1800068.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11875102, 11835009, 11690021)
国家自然科学基金优秀青年科学基金项目 (NO. 11522540)

A-P007

专题代号: A

Study Of The Structure Of Hybrid Stars And The Constraints
On The Equation Of State

李程明

郑州大学

Email: lichengming92@163.com

摘要: It is known that the equation of state (EOS) plays a critical role in the study of the structure in compact stars, in which the study of the gravitational mass-radius (M-R) relation is a frontier. The NJL model is always employed to study the EOS of the quark matter since the NJL Lagrangian has many good properties such as the dynamical chiral symmetry breaking (DCSB). The currently studies of the QCD phase diagram support the existence of a smooth phase transition in hybrid stars. On the other hand, The simultaneous direct detection of the gravitational wave (GW) and its electromagnetic counterpart by LIGO -VIRGO collaboration and ~ 70 astronomical detectors opens a new era of multi-messenger astronomy. From the observation data

of GW170817, the LIGO-VIRGO collaboration provided a constraint on the dimensionless tidal deformability, which can help to constrain the EOS of neutron stars.

关键词: NJL model, equation of state, mass-radius relation, gravitational wave, tidal deformability

A-P008

专题代号: A

Canonical interpretation of the X(4140) state within the 3P_0 model

郝伟、王恩、李德民

郑州大学物理学院, 郑州 450001

Email: wangen@zzu.edu.cn

haoweizzu@163.com

摘要: Recently, LHCb collaboration has confirmed the state X(4140), with a mass $M = 4146.5 \pm 4.5$ MeV, and a much larger width $\Gamma = 83 \pm 21$ MeV than the previous experimental measurements, which has confused the understanding of its nature. We will investigate the possibility of the $\chi_{c1}(3P)$ interpretation for the X(4140), considering the mass spectra predicted in the quark model, and the strong decay properties within the 3P_0 model. We also predict the strong properties of the charmonium states $\chi_{c0}(3P)$ and $\chi_{c2}(3P)$. Our results shows that the X(4140) state with the small width given in PDG can be explained as the charmonium state $\chi_{c1}(3P)$ in the 3P_0 model, and high precision measurement of the X(4140) width is crucial to understand the nature of the X(4140).

关键词: 3P_0 model screening effect relativistic quark model non-relativistic quark model

参考文献

- 【1】 T. Aaltonen et al. [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. 102, 242002 (2009).
- 【2】 H. X. Chen, W. Chen, X. Liu and S. L. Zhu, Phys. Rept. 639, 1 (2016).
- 【3】 F. K. Guo, C. Hanhart, U. G. Meiner, Q. Wang, Q. Zhao and B. S. Zou, Rev. Mod. Phys. 90, 015004 (2018).
- 【4】 R. Aaij et al. [LHCb Collaboration], Phys. Rev. Lett. 118, 022003 (2017).
- 【5】 E. Wang, J. J. Xie, L. S. Geng and E. Oset, Phys. Rev. D 97, no. 1, 014017 (2018).
- 【6】 D. Y. Chen, Eur. Phys. J. C 76, 671 (2016).
- 【7】 L. Micu, Nucl. Phys. B 10, 521 (1969).
- 【8】 D. M. Li, P. F. Ji, and B. Ma, Eur. Phys. J. C 71, 1582 (2011).
- 【9】 B. Q. Li and K. T. Chao, Phys. Rev. D 79, 094004 (2009).

- 【10】 S. Godfrey and N. Isgur, Phys. Rev. D 32, 189(1985).
【11】 Q. T. Song, D. Y. Chen, X. Liu and T. Matsuki, Phys. Rev. D 91, 054031 (2015).

基金项目

- 1.The National Natural Science Foundation of China (NO. 11505158, 11605158)
2.The Key Research Projects of Henan Higher Education Institutions (NO. 20A140027)

A-P009

专题代号：A

黑洞自旋对于黑洞阴影作为宇宙学探针的影响

赵泽伟、王凌风、张敬飞、张鑫

东北大学理学院物理系，沈阳 110819

Email: zhaozewei@stumail.neu.edu.cn

摘要：在事件视界望远镜的观测中，黑洞阴影首次被精确地测量。由于黑洞附近巨大的引力场，角动量较小的光子将掉入黑洞的引力势阱，无法被无限远的观测者观测到，进而在黑洞附近形成一个二维的黑色区域。除了检验强场下的引力理论，文献 [1] 还提出了黑洞阴影作为宇宙学标准尺的可能性。文献 [2] 的作者分析了黑洞阴影在限制宇宙学参数方面的前景，并给出了与当前宇宙学观测一致的结果。但是上述文献均采用 Schwarzschild 黑洞作为近似，而超大质量黑洞被认为常带有较大自旋，即符合 Kerr 黑洞的模型。因此，我们研究了黑洞自旋对黑洞阴影作为宇宙学探针的影响。对单一低红移事件，在自旋最大，倾角为 0 时，哈勃常数的测量值与实际值差别最大，此时采用 Schwarzschild 近似解会导致测量出现 7.6% 的误差，哈勃常数的实际值与黑洞性质的关系可见图 1。

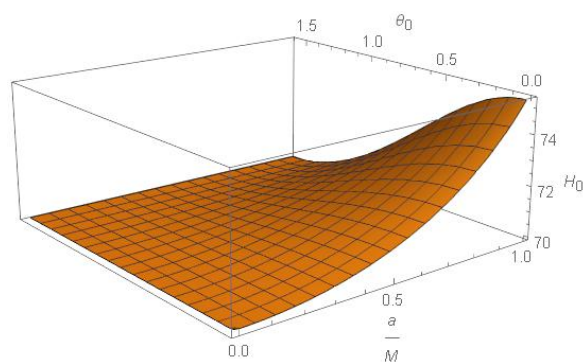


图 1 哈勃常数在近似解下测量值为 70 km/s/Mpc 时，其实际值与黑洞自旋及倾角的关系

需要注意的是，虽然常规误差会随着事件数的增多而减少，但自旋对中心值造成的影响

很难被消除。文献 [2] 指出, 30 个黑洞阴影事件可以将哈勃常数的误差限制在 2% 左右。通过模拟可以发现, 未考虑自旋所导致的系统误差可能会使得真实的哈勃常数值处于测量误差范围之外。因此, 我们认为精确地测量黑洞自旋值, 并带入相应的模型是必要的。而对于高红移的黑洞阴影事件, 我们发现, 若结合其它观测数据, 则未考虑自旋所导致的系统误差对结果的影响很小。

关键词: 黑洞阴影 哈勃常数

参考文献

- 【1】 O. Y. Tsupko, Z. Fan and G. S. Bisnovatyi-Kogan, Black hole shadow as a standard ruler in cosmology, arXiv:1905.10509 [gr-qc].
- 【2】 J. Z. Qi and X. Zhang, A new cosmological probe from supermassive black hole shadows, arXiv:1906.10825 [astro-ph.CO].

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NOs. 11835009, 11690021, 11522540) 等

A-P010

专题代号: A

对于天琴的引力波标准汽笛数据在宇宙学参数估计方面的 初步预测

王凌风、赵泽伟、张敬飞、张鑫

东北大学理学院物理系, 沈阳 110819

Email: wanglf@stumail.neu.edu.cn

摘要: 天琴计划是由中山大学发起的空间引力波探测项目, 预期执行期为 2016—2035 年。天琴计划将承担众多科学任务, 其中通过引力波观测来确定引力波源的信息是一项重要任务。大质量天体 (如黑洞, 中子星等) 是重要的引力波源, 它们在相互绕转及并和过程中将会产生并辐射引力波, 通过对其所辐射的引力波进行观测, 可以获得波源的质量, 自旋, 光度距离等重要信息。如果再对于引力波源所产生的电磁对应体进行观测, 便可以同时得到波源的光度距离和红移。利用这种光度距离和红移的关系, 我们可以得到宇宙膨胀的信息, 从而研究宇宙的演化过程以及宇宙中的物质组成。

本文利用天琴引力波标准汽笛的观测数据, 对于其在宇宙学参数估计方面的能力作了初步预测。在模拟过程中, 我们考虑了三种大质量黑洞的生长历史模型, 即: pop III, Q3nod

和 Q3d。基于三种模型，我们预测了大质量黑洞并和的事件数。通过利用天琴项目建成后 5 年的模拟观测数据，我们对于宇宙学参数进行了限制。我们得到了三个主要结论：(1)在三个黑洞生长模型中，基于 Q3nod 模型所模拟得到的天琴数据可以对于宇宙学参数给出最好的限制结果；(2)天琴计划和欧洲的 LISA 项目相比，在利用标准汽笛约束宇宙学参数的能力方面，没有 LISA 项目更强，但差别不大；(3)天琴项目对于标准汽笛的观测对于未来的宇宙学参数估计有重要帮助。

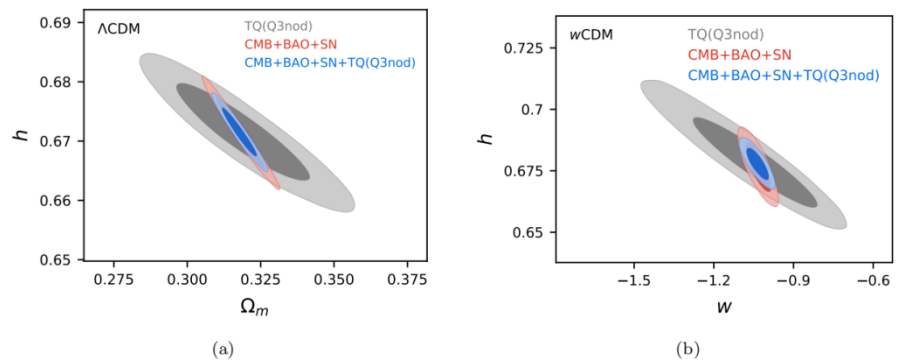


图 1 基于天琴项目所模拟的标准汽笛数据对于宇宙学参数的限制结果

关键词：天琴项目 引力波观测 宇宙学

参考文献

【1】 Hu X C , Li X H , Wang Y , *et al.* Fundamentals of the orbit and response for TianQin[J]. Classical and Quantum Gravity, 2018, 35(9):095008.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11835009,NO.11875102,NO.11690021,NO.11522540）

A-P011

专题代号：A

基于 GPU 光线追踪的中微子探测器建模

刘学伟

清华大学工程物理系，北京，100084

Email: liu-xw16@mails.tsinghua.edu.cn

摘要：在粒子物理实验中，需要准确地理解探测的信号和数据，为此需要通过蒙特卡罗方法对探测器及其探测过程进行建模并模拟。大型的中微子探测器通过在液体闪烁体容器表面安装光电倍增管，检测单光子级别的微弱光信号，进而对光电倍增管输出的波形信号进行分析处理，并重建得到入射粒子的一系列信息。而光子在液体介质中的传播是这类大型探测器模拟中耗时最多的部分，占到 90%以上。近二十年来高速发展的光线追踪技术已经涉及到

型液体闪烁体探测器中光子传播的几乎所有的物理过程, 包括折射、散射、吸收和重发射等。Opticks 是将 NVIDIA OptiX GPU 光线追踪引擎和基于 Geant4 工具包模拟结合起来的一个开源项目^[1]。课题组主要参考了 Opticks 项目, 对原基于 Geant4 模拟项目的 C++ 代码进行从 CPU 到 GPU 的重新编写, 利用 GPU 的并行计算能力, 结合 NVIDIA® OptiX™ 的光线追踪技术对探测器模拟的光线传播过程进行加速, 将模拟速度提高到将近 300 倍, 极大地提升了探测器模拟的效率。该项目服务于位于我国四川省的锦屏地下中微子实验。

关键词: GPU 光线追踪 中微子探测器建模

参考文献

- 【1】 Blyth Simon C. Opticks : GPU Optical Photon Simulation for Particle Physics using NVIDIA® OptiX™. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017, 898, 042001.

A-P012

专题代号: A

慢液体闪烁体的实验研究进展

骆文泰(代表锦屏中微子实验研究组)

中国科学院大学物理科学学院, 北京 100043

Email: luowentai15@mailsucas.ac.cn

摘要: 慢液体闪烁体(慢液闪)既可以探测带电粒子的方向, 也可以探测其能量。因此慢液闪在未来的锦屏中微子实验中被提议用作中心探测器的主要物质。慢液闪中微子探测器可以提高地球中微子、太阳中微子和超新星中微子的测量精度。例如探测 K-40 地球中微子时, 通过方向性重建, 我们可以极大压低来自太阳中微子的本底信号。同时, 方向性重建也可以压低太阳中微子和超新星中微子的本底。

我们研究了基于 LAB、添加不同浓度的 PPO 和 bis-MSB 的各种组合下的慢液闪。研究表明, 0.07 g/L PPO 和 13 mg/L bis-MSB 的组合可以使切伦科夫光和闪烁光有效分离, 光产额可达到 4010 photons/MeV, 其发光时间谱的上升时间为 1.16 ns, 衰减时间为 26.76 ns。

我们利用 Geant4 对慢液闪千吨探测器中的中微子反冲电子进行了模拟。根据慢液闪探测器的光学特性, 我们通过构造似然函数(包含了所有 PMT 上的电荷信息, 所有击中 PMT 的光电子时间和慢液闪的发光时间谱)的方法对反冲电子事例进行能量、顶点位置和入射方

向的重建。当反冲电子动能为 2 MeV 时，基于 PMT 波形的研究，在方向性重建上，我们计算了似然函数重建的方向与真实的方向的夹角，结果显示夹角小于 90 度的事例数超过整体事例数的 85%。这样我们可以很好的区分来自太阳中微子和地球中微子的信号，这对 K-40 地球中微子的研究提供了巨大的帮助。

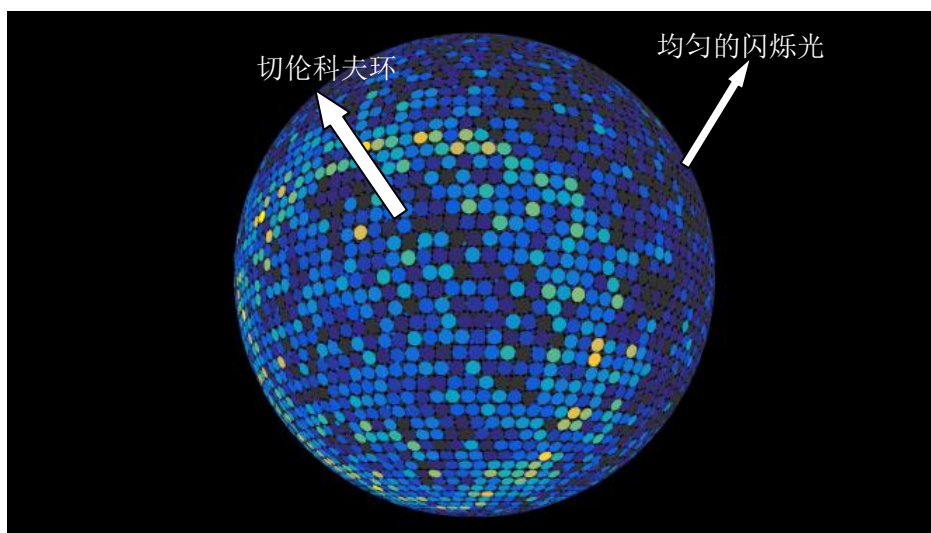


图 1 一个 50 MeV 电子在千吨中微子探测器中的光电子分布

关键词：锦屏中微子实验，中微子探测器，慢液体闪烁体，重建

参考文献

- 【1】 Ziyi Guo *et al.*, Slow liquid scintillator candidates for MeV-scale neutrino experiments, *Astroparticle Physics* 109 (2019): 33-40 ; Mohan Li *et al.*, Separation of scintillation and Cherenkov lights in linear alkyl benzene, *Nuclear Instruments and Methods in Physics* 830 (2016): 303-308; John F. Beacom *et al.*, Physics prospects of the Jinping neutrino experiment, *Chinese Physics C* Vol.41, No.2 (2017): 023002

基金项目：国家自然科学基金项目（NO.11620101004，NO.11475093）等

A-P013

专题代号：A

波形重建算法方法 -- Ghost Hunter 比赛中波形方法总结

张爱强

清华大学工程物理系，北京 100084

Email: 875136184@qq.com （Times New Roman 五号字）

摘要：Ghost Hunter 比赛由清华大学工程物理系近物所主办，通过提供模拟的 PMT 波形数据给参赛队伍，用以找到比较好的波形重建算法。比赛过程中的模拟波形数据使用

JSAP(Jinping Simulation and Analysis Package) 产生, JSAP 是组内基于 Geant4 开发的用于锦屏探测器模拟的软件包, 通过在软件中选择输入的不同粒子入射信息, 可以得到模拟的 PMT 波形输出。比赛中使用的评价指标是 Wasserstein 距离^[1], Wasserstein 距离给出的是两个分布之间的相似程度。Wasserstein 距离越小, 意味重建结果更接近于模拟使用的 Truth。比赛队伍使用的主要是数学和深度学习两类方法。数学方法包括 Lucy 迭代直接解调, 循环减 SPE 法, EMMP 算法, 拟合方法。Lucy 迭代法采用了直接解调方法^[2]在迭代过程中不断设置调整进行非线性迭代, 结果并不是很理想。循环减 SPE 法每次减对应的单光电子响应实现对波形的分解。EMMP 算法和拟合方法都是使损失函数最小, 区别在于拟合的参数数目。其中拟合方法的结果在前述数学类方法中最好。深度学习方法主要使用 CNN 网络模型。模型的结构及复杂度对于最后的结果有比较大的影响。深度学习给出的最好结果要优于数学类方法。

关键词: GhostHunter JSAP Wasserstein 数学方法 深度学习

【1】Herrmann V. Wasserstein gan and the kantorovich-rubinstein duality[EB/OL]. <https://vincen-therrmann.github.io/blog/wasserstein/>.

【2】李惕碚. 高能天文中成像和解谱的直接方法[J]. Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 1993, 3: 2.

A-P014

专题代号: A

A clarification for the re-scattering mechanism

蒋华玉

兰州大学, 兰州 730000

Email: jianghy15@lzu.edu.cn

摘要: 无