

学科前沿讲座笔记

adamanteye

1. 出勤情况

在一共 8 次讲座中,我听了以下 6 次讲座

- 物质最深处 | 高原宁
- 磁约束聚变研究概况 | 万宝年
- 激光聚变的科学历程与发展展望 | 赵宗清
- X 射线及其应用 | 唐传祥
- 核燃料循环及技术发展 | 雷增光
- 辐射物理研究与发展 | 邱孟通

在以上的报告中,我对高原宁院士做的报告比较感兴趣,他的报告包括下列内容

- 基本粒子质量起源
- 粒子物理研究和技术
- 后标准模型时代的粒子物理前沿
- 粒子物理在中国: 历史,现状,展望

在这之后我查找了一些公开的资料,对高能物理领域国际国内的规划有了进一步了解

2. 什么是粒子物理

粒子物理研究的特点

- 极端条件
- 最前沿的高新技术
- 多学科和技术的综合
- 由该领域发展的方法,手段和设备极大地推动了其它学科发展

粒子物理的研究水平反映一个国家甚至人类的经济,科学技术和教育的综合实力

例如,粒子物理的研究催生了以下技术

- WWW 协议
- 电容式触摸屏
- 网格计算

此外,欧美日均研究过大型加速器设施的投入产出比,结论为 1:3 左右,即投入 1 元,收获 3 元.

总而言之,科学进步是一种必需.正如 Robert R.

Wilson 针对资助费米实验室时所讲的 “It has

nothing to do directly with defending our country except to make it worth defending”.

3. 高能物理和核物理的前沿问题

“自然” 发布的物理学重大科学问题包括

1. 暗物质是什么
2. 宇宙中正物质为何多于反物质
3. 中微子是其自身的反粒子吗
4. 高能宇宙线的起源是什么
5. 质子会衰变吗

这些重大的科学问题需要更高能量的加速器,更大的探测装置.

高能物理领域的国际规划有

- 以希格斯为探针发现新物理
 - 美国 Muon Collider (未来)
 - 欧洲
 - LHC
 - FCC, CLIC (未来)
 - 日本 ILC (未来)
- 确定中微子的质量及属性
 - 美国
 - NO ν A EXO
 - DUNE nEXO (未来)
 - 欧洲
 - Gerda CUPID KARTIN
 - XLZD LEGEND (未来)
 - 日本
 - Super-K, T2K
 - Hyper-K (未来)
- 探索暗物质的本质
 - 美国
 - LZ, ADMX
 - XLZD LEGEND (未来)
 - 欧洲
 - Darkside CAST

- LZD LEGEND (未来)
- 日本 CALET XMASS
- 理解宇宙加速(暗能量和暴胀)
 - 美国
 - LSST, DESI, BICEP3
 - CMB-S4 (未来)
 - 欧洲 WMAP EUCLD
 - 日本
 - POLARBEAR
 - LiteBird (未来)
- 探索新粒子,相互作用和物理原理
 - 美国 g-2 Mu2e K-decays
 - 欧洲
 - LHC
 - Faser, SHiP (未来)
 - 日本 COMET
- 破解味物理谜题
 - 美国 g-2 Mu2e K-decays
 - 欧洲
 - LHCb
 - PANDA (未来)
 - 日本 K-decays Belle-II Super-KEKB

4. 我国高能粒子物理领域的发展现状

- 以希格斯为探针发现新物理
 - 参与了 LHC 实验上希格斯的发现,参与其质量,量子数,耦合常数等测量
- 确定中微子的质量及属性
 - 大亚湾实验发现第三种中微子振荡
 - 建设江门中微子实验 JUNO
 - 研究中微子质量顺序,振荡参数精确测量,质子衰变,天体中微子等
- 探索暗物质的本质
 - 建设锦屏地下实验室 CJPL,开展 PandaX 和 CDEX 实验
- 理解宇宙加速(暗能量和暴胀)

- 建设阿里望远镜 ALICPT,测量原初引力波,全面检验暴胀理论
- 参加 DESI
- 探索新粒子,相互作用和物理原理
 - 参加 LHC 上相关实验,BESIII 实验上的少量研究
- 破解味物理谜题
 - 北京正负电子对撞机及其改造,发现一系列新强子,对 QCD 检验等做出重要贡献

5. 我国重点关注的大型项目

5.1. 环形正负电子对撞机(CEPC)

CEPC 是 100 公里周长的环型正负电子对撞机,其探索新物理的能力(精度和能量范围)将比 2040 年结束运行的大型强子对撞机 (LHC)提高一个量级.

建设周期 10 年,预算 360 亿元.

科学目标 高精度检验标准模型,解决其不自洽,不完备问题,探索更深层次的粒子世界,研究质量起源,物质起源,暗物质本质,电弱相变、味物理等

战略价值 国际粒子物理的旗舰装置,可以使中国的粒子物理引领世界,其技术溢出价值巨大,可建设国际科学中心和科学城

项目状态 预研已基本完成,“十五五”(2026)开建,“十六五”末期(2035)建成并开始科学实验

国际竞争 与欧洲 CLIC, FCC, 日本 ILC 竞争

5.2. 数十吨级液氙探测计划(PandaX-xT)

PandaX-xT 是数十吨级深地液氙实验,逐步升级至 43 吨靶,建设期 9 年,预算 10.45 亿元.

科学目标 对 WIMP 暗物质做出决定性判断;覆盖马约拉纳中微子的反质量序参数空间;探测低能天体中微子

战略价值 有望在暗物质和中微子方面实现率先突破

项目状态 PandaX-4T 完成运行任务后,2025-2033 建设,2034 年开始全面运行.

国际竞争 欧洲 XENON(6.5 吨),美国 LZ(7 吨)

5.3. 超级陶粲装置 STCF

STCF 是运行在陶粲能区的正负电子对撞机,将成为国际上非微扰强相互作用研究和电弱精确测量专用研究平台,具有重大的科学发现潜力.预算 45 亿元,建设周期 5-7 年.

科学目标

1. 强相互作用的本质和强子结构
2. 味物理与 CP 破坏
3. 超越 SM 新物理

战略价值 将成为国际上唯一运行在陶粲能区的正负电子对撞机,引领国际陶粲物理和强子物理研究

5.4. 中微子项目

- 江门无中微子双 β 衰变实验(JUNO- $0\nu\beta\beta$)

JUNO 实验是一个多用途的中微子观测站,当前正在中国开平建设中.其主要目标是在六年测量后,以超过 3σ 的显著性测量中微子质量排序.为实现这一结果,JUNO 将 $3\%/\sqrt{E_{\text{vis}} \text{ MeV}}$ 的能量分辨率作为首要设计目标.因此,JUNO 使用了 2 万吨的液体闪烁体,并配备了 17612 个 20 英寸 PMT 和大约 25600 个 3 英寸 PMT.

JUNO- $0\nu\beta\beta$ 是江门实验的升级,以 2 万吨液闪容纳百吨级双 β 衰变核素,利用极低本底,高能量分辨率的优势,对中微子绝对质量的灵敏度提高至 meV 水平

科学目标 判定中微子是否为马约拉纳粒子,测量中微子绝对质量,理解中微子质量起源

战略价值 国际最灵敏的无中微子双 β 衰变实验,继续领跑中微子研究

- CDEX 无中微子双 β 衰变实验(CDEX-1T)

国际最大规模的富集锗 76 阵列深地大科学装置

科学目标 中微子性质研究,暗物质探测研究,轻子数破缺问题,宇宙正反物质不对称等新物理前沿

战略价值 实现深地前沿国际引领

- 高能水下中微子望远镜(HUNT)

30 立方公里的立体探测器阵列,高能天体中微子的探测灵敏度将比国际现有的旗舰装置

IceCube 的高数十倍

科学目标 通过对高能中微子的几年数据积累,彻底解决宇宙线起源的百年未解之谜

战略价值 在天文中微子观测领域占据国际领先地位,推动我国深海技术的发展和资源探索