

学科前沿讲座笔记

杨哲涵

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,解决其不自治,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