Tevatron加速器上电弱物理的研究

尹航

美国费米国家加速器实验室（Fermilab）

全职回国单位：华中师范大学粒子物理研究所

个人简历

主要贡献

工作设想和研究计划

简历

- 1984年10月出生

- 2005年7月获山东师范大学物理学学士学位
- 2010年7月获中国科学技术大学近代物理系博士学位
  - 指导老师：韩良教授
  - 研究课题：Z玻色子前后不对称性的研究及弱混合角（$\sin\theta^2_W$）精确测量

- 2007年至2010年在美国费米国家实验室（Fermilab）访问学生
- 2010年至今在美国费米国家实验（Fermilab）做博士后研究
  - 2010年至2013年在D0国际合作组工作
  - 2013年至今在CMS国际合作组工作

科研经历

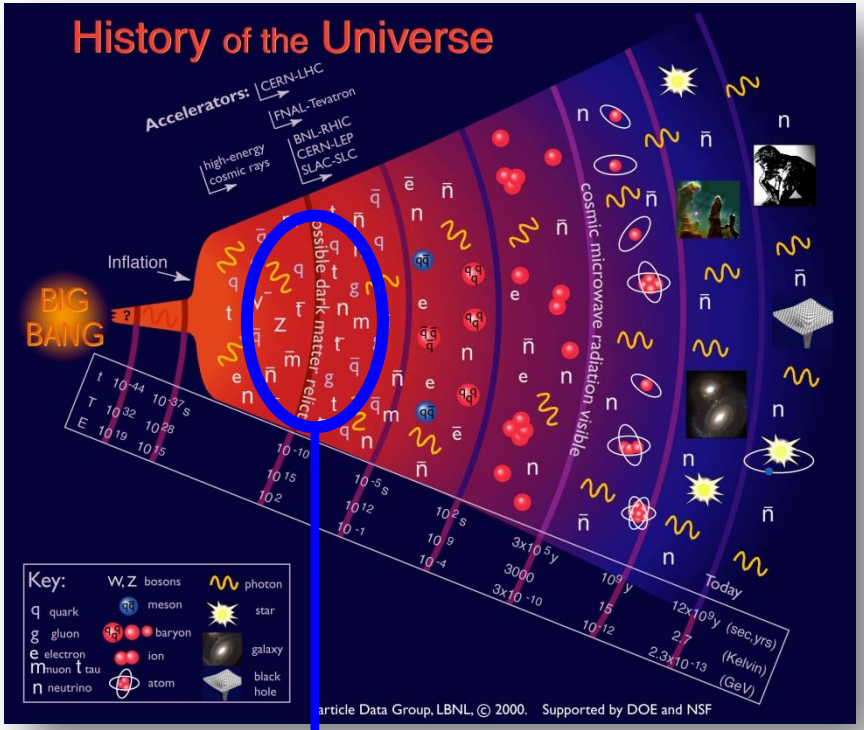
- 物理研究：
  - 2006-2010：D0实验上寻找超对称R宇称破缺eμ共振态新粒子，Phys. Rev. Lett. 2篇
  - 2008-至今：D0实验上精确测量弱混合角，Phys. Rev. Lett. 2篇（包括一篇近期提交论文），Phys. Rev. D 1篇
  - 2011-至今：D0实验上精确测量W玻色子电荷不对称性，Phys. Rev. Lett. 1篇，Phys. Rev. D 1篇（近期提交）
  - 2012-2014：作为D0国际合作组的电弱物理组召集人（Convener）推动>10篇文章的发表

- 探测技术研究
  - 2007-2011：D0实验上量能器的精确刻度及能量测量
  - 2013-至今：CMS探测器升级，硅径迹探测器的一级触发的研发（Level-1 tracking trigger）

研究背景：粒子实验物理

- 基本科学问题：
  - 物质世界最基本的构成、及其之间的相互作用
  - 绝大多数物理现象可以通过四种基本作用力解释

- 高能粒子对撞机实验：
  - 模拟大爆炸之后的宇宙



Tevatron/LHC

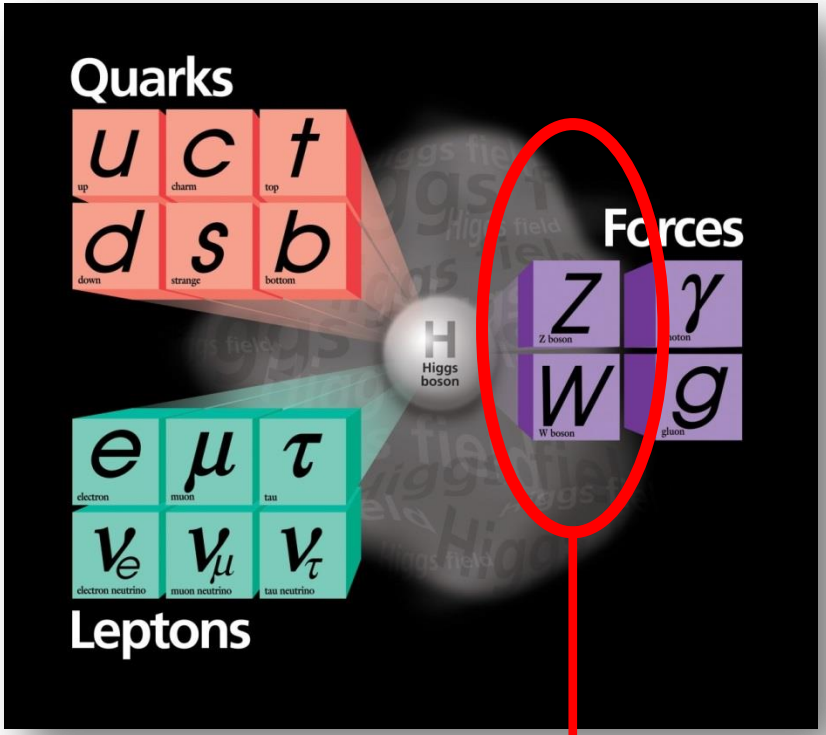
学科特点：

- 大学科装置、尖端技术、高投入（LHC~$90亿）、长周期（~30年）
- 全球性的国际合作

标准模型

- 描述基本粒子及其相互作用的理论：
  - 三代粒子：轻子，夸克
  - 规范玻色子传递相互作用：强相互作用，弱相互作用，电磁相互作用
  - 强相互作用→量子色动（QCD）理论
  - 弱相互作用+电磁相互作用→电弱理论

- 继续探索的问题：
  轻子，夸克是否只有三代
  基本作用力的大统一
  暗物质，暗能量
  物质与反物质的不对称性
  ....



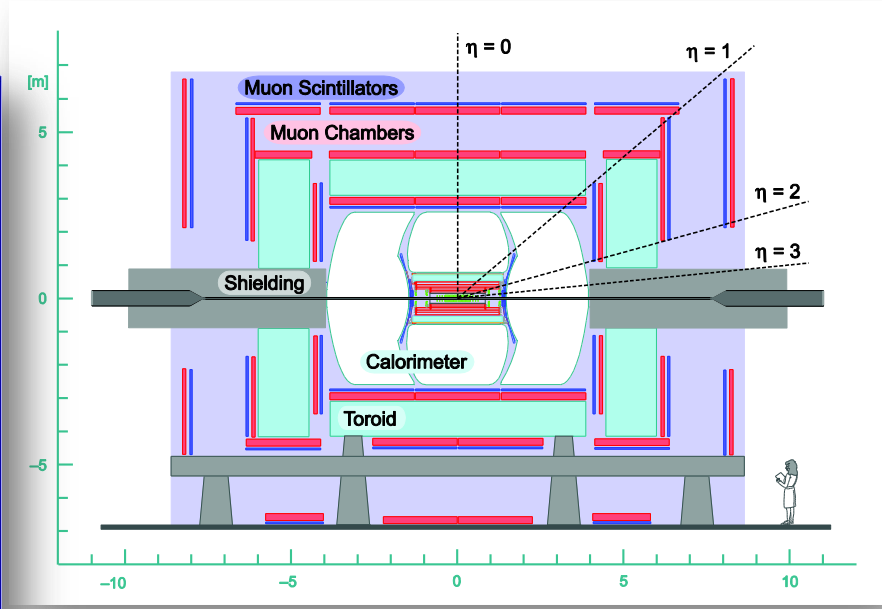
电弱物理的重要研究对象：
W玻色子与Z玻色子

Tevatron加速器

正反物质对撞最高能量

- Tevatron对撞机（1983-2011）：
  - 高能量质子反质子对撞：质心能量1.96万亿电子伏特（TeV）
  - 高强度：碰撞间隔 396ns
  - 高亮度：$4X10^{32}$ $cm^{-2}s^{-1}$
- Tevatron在28年的运行中产生了大量先进的科学成果（>1000篇文章）
  - 确保了美国在粒子物理研究中的世界领先位置

D0合作组以及探测器



D0实验国际合作组：

- 19个国家，86个成员单位
- 600+物理学家

径迹探测器：

- 带点粒子的动量与运动轨迹
- 碰撞顶点，粒子类型的确定

粒子量能器：

- 粒子流，电子，光子，以及中微子能量测量

缪子探测器：

- 缪子的动量及运动轨迹测定

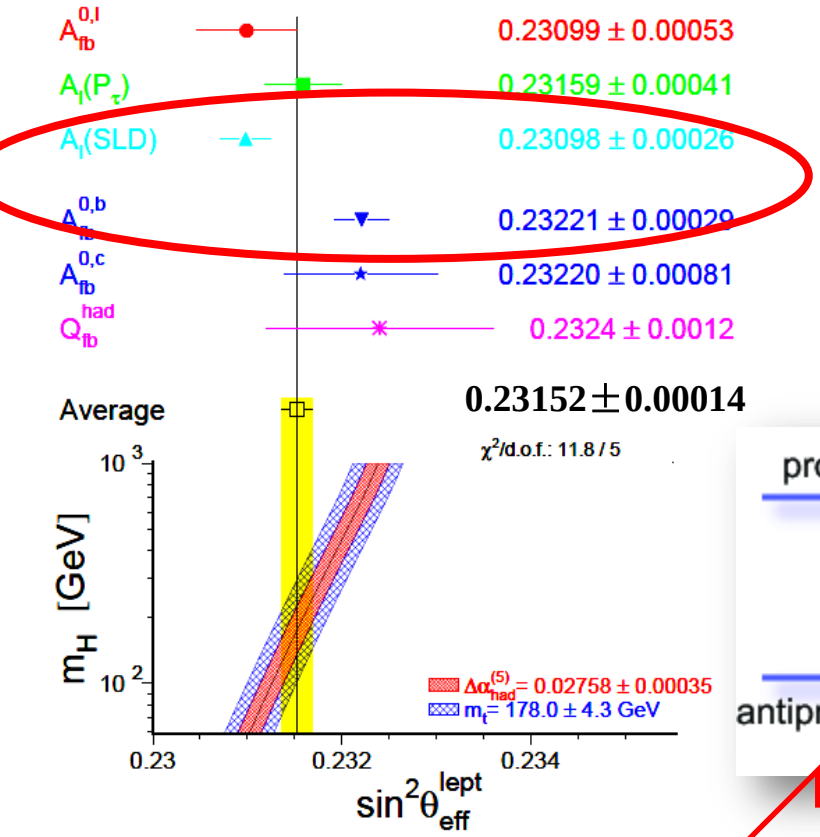
主要学术贡献

- Z玻色子的前后不对称性研究：
  - 精确测量标准模型的基本参量
- W玻色子的前后不对称性研究
  - 精确限制质子的部分子分布函数
- 与精确测量相关的探测器研究
  - D0量能器的精确刻度
  - LHC高亮度下硅探测器触发系统研发

学术贡献一：Z玻色子的前后不对称性

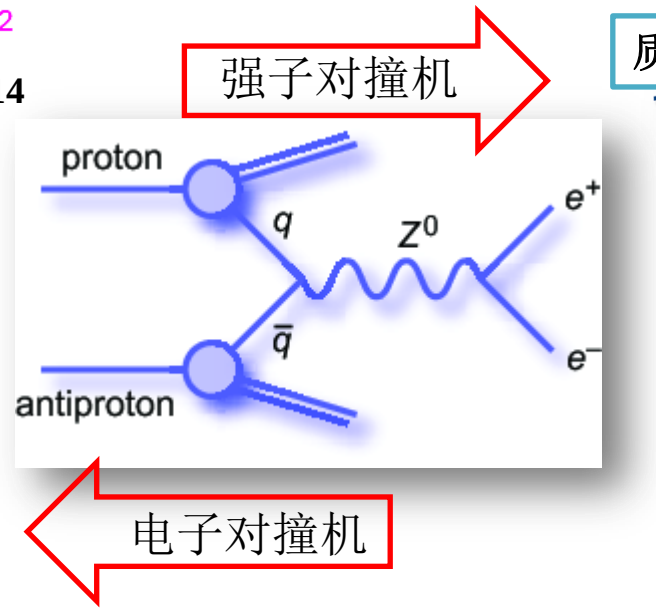
基本物理参数与标准模型电弱机制自洽性检验：

精细结构常数	W/Z玻色子质量	弱混合角		Higgs质量
$\alpha = e^2/4\pi$	M_W, M_Z	$\sin\theta^2_W$	⟺	M_H

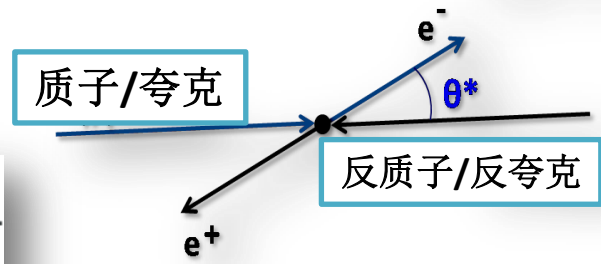


最精确的两个测量：

- 来自正负电子对撞机：LEP, SLD
- >2倍标准偏差



前冲事例（F） $\cos\theta^* > 0$



前后不对称性：

$$A = \frac{F - B}{F + B}$$

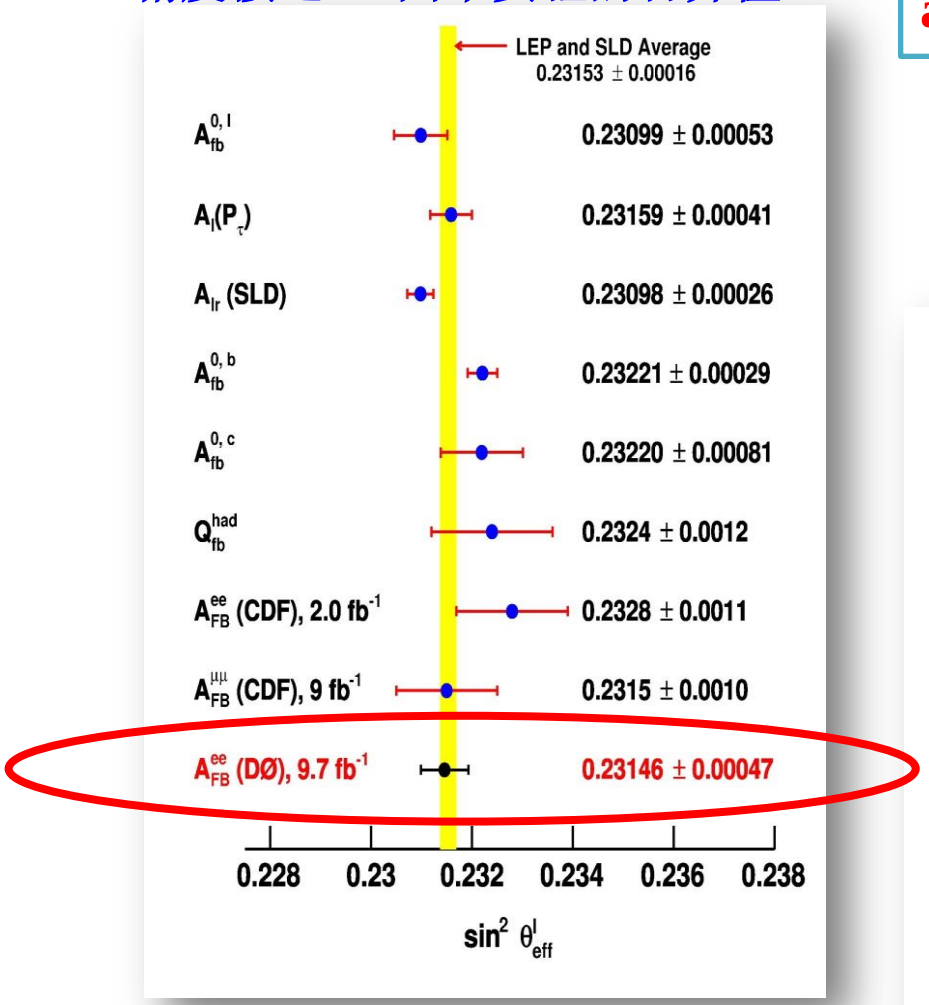
学术贡献一：Z玻色子的前后不对称性

在D0上测量了前后不对称性，并精确测量了弱混合角、Z玻色子与轻夸克的耦合：

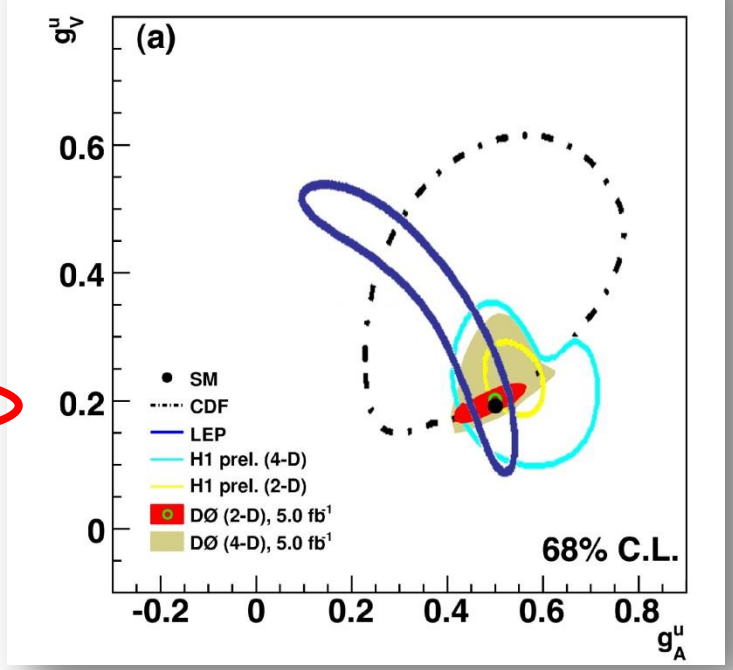
Phys. Rev. Lett. 101, 191801
Phys. Rev. D 84, 012007
arXiv:1408.5016，提交到Phys. Rev. Lett.

参与主导了前2篇文章的发表
指导学生完成最新一篇文章

至今强子对撞机上最精确的测量
精度接近LEP四个实验的合并值

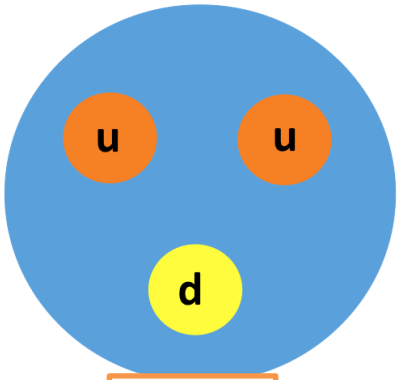


至今世界最精确的测量
精度超过LEP四个实验的合并值

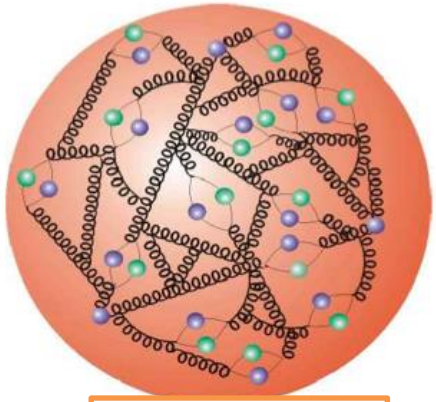


学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

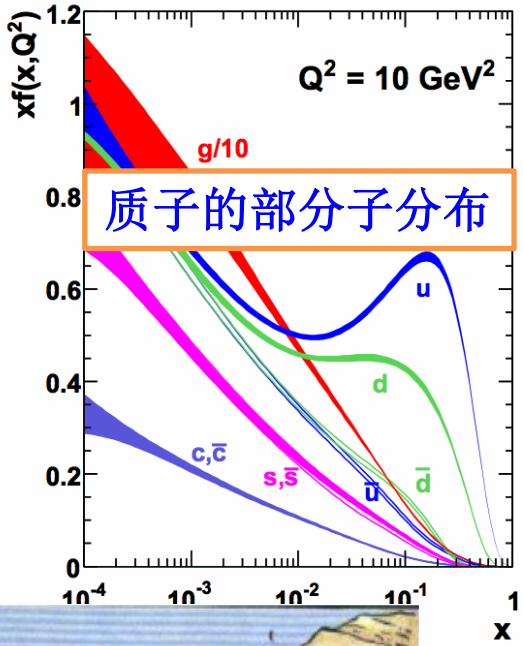
- 质子的部分子分布函数（PDFs）



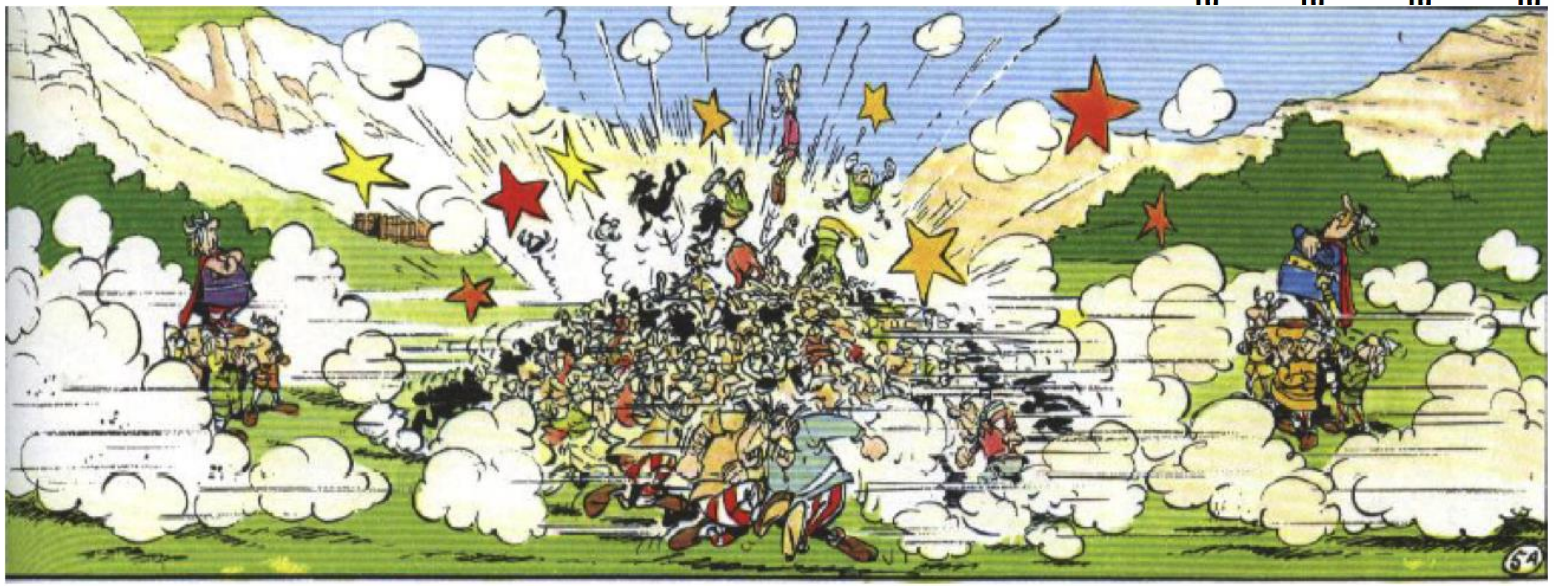
质子



质子:加速后



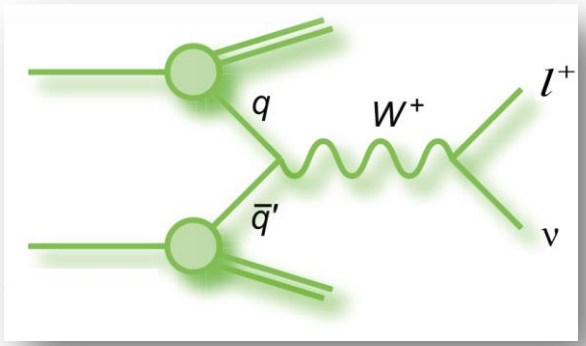
强子对撞机：Tevatron/LHC



学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

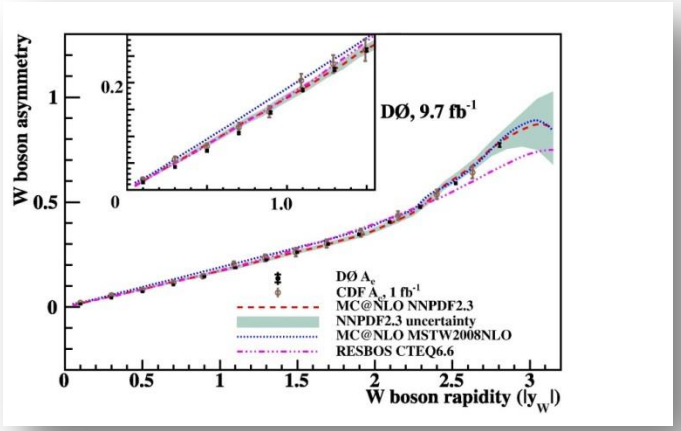
- 强子对撞机上

质子



反质子

由于u夸克所携带的动量大于d夸克动量



PDFs是强子对撞机上及其关键的输入：
- 几乎所有理论计算的输入值
- 实验上反应截面的计算
- 精确测量的重要误差来源
- 不能直接计算，只能用实验输入

电荷前后不对称性：

$$A = \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-}$$

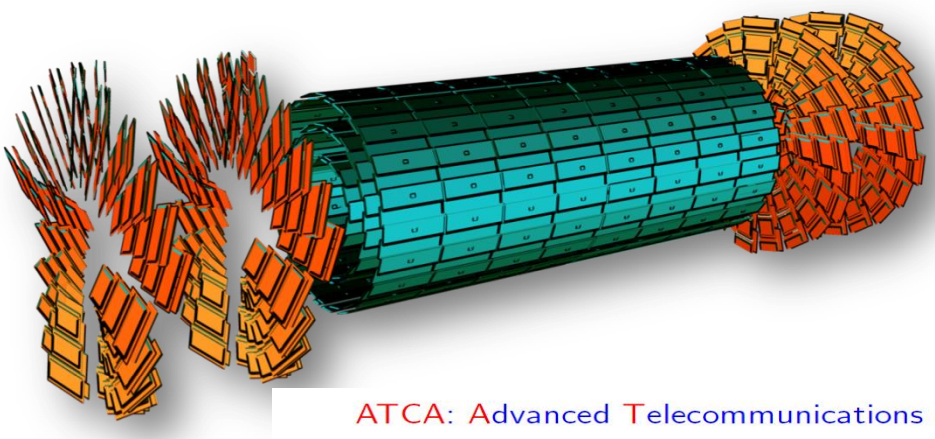
N^+：带正电荷的电子/W玻色子

- 独立完成了整个物理分析
- 至今为止，在强子对撞机上最为精确的测量
- 将会对PDFs的拟合产生重大影响

Phys. Rev. Lett. 112, 151803 (2014)
arXiv:1412.2863，提交到Phys. Rev. D

学术贡献三：硅探测器触发系统研究

- 在现有与未来的高能对撞机上，良好的径迹分辨率是精确测量的必要条件之一
- 为了获得更好的径迹分辨率，硅探测器得到广泛的应用，并将用在未来的对撞机上
- 然而，如何处理大量的电子学信号成为了高能物理发展的瓶颈
- 为了解决这个问题，加入CMS国际合作组，参与了LHC高亮度升级工作



在高亮度LHC升级后，CMS的硅径迹探测器有大约**7500万**电子学读数通道

预计的数据峰值有50T每秒

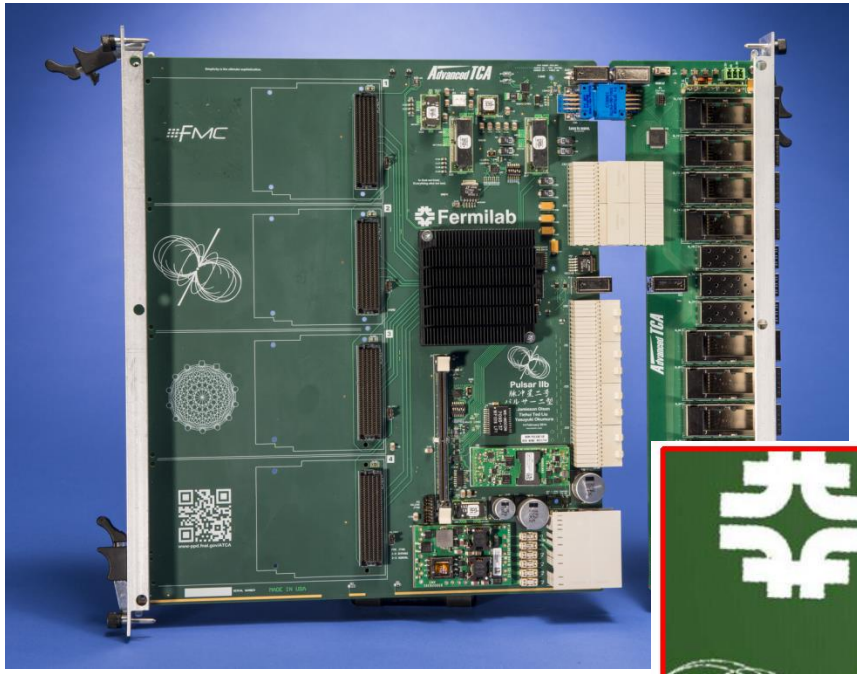
- 大约等于2,3年前世界上因特网海底光缆的总带宽！！

ATCA: Advanced Telecommunications Computing Architecture

传统的数据分享

使用ATCA的数据分享

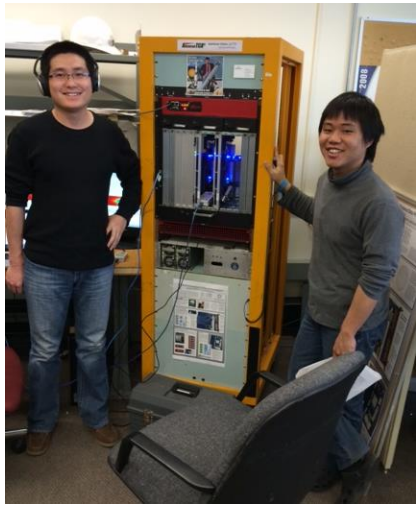
学术贡献三：硅探测器触发系统研究

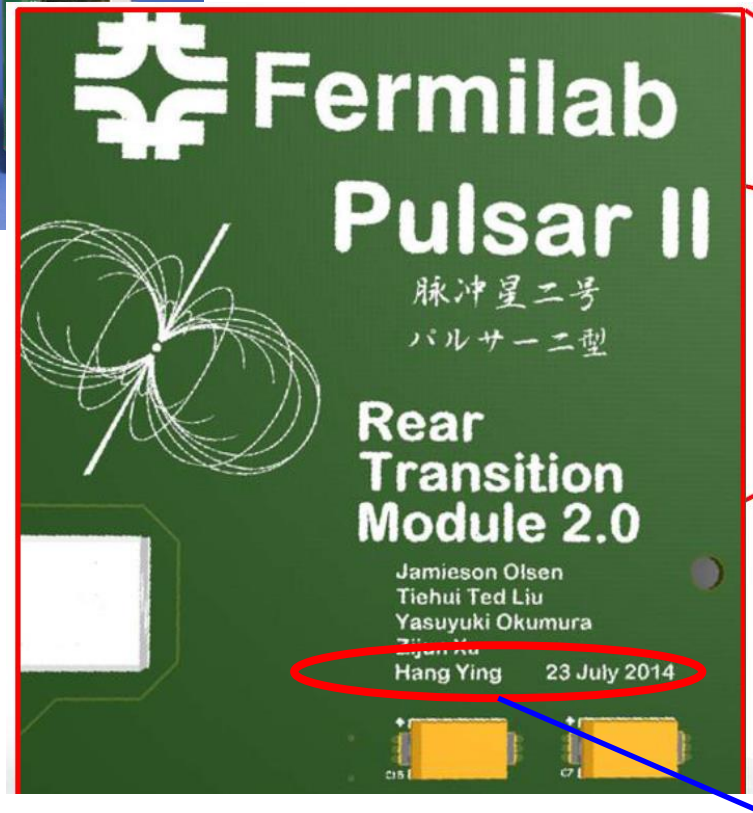


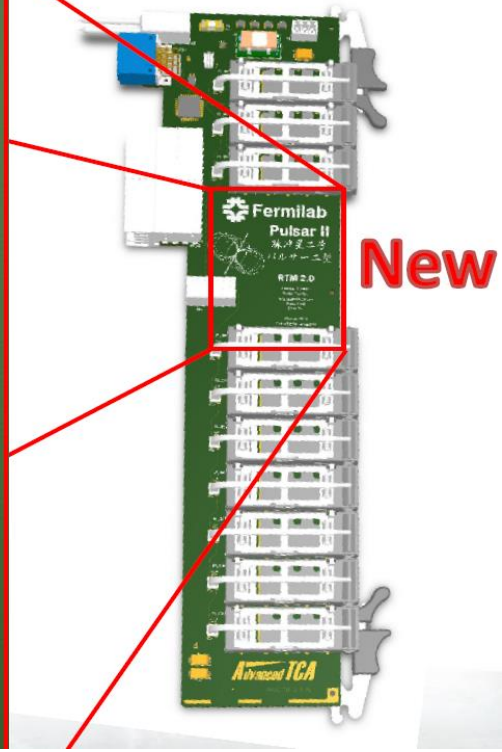
负责针对ATCA的硬件板的测试，以及模拟工作

- 是世界上针对ATCA背板要求最高的设计：多家业内顶尖公司把最新产品送与我们测试

- 多次在CMS内作报告
- 在ieee会议作有关CMS径迹触发的报告
- 在ieee等国际会议上的会议文章







尹航

科研成果及重要影响（1）

- 在国际主流学术期刊上发表（即将）学术论文7篇（包括近期提交的2篇），主要包括
  - Physical Review Letters 物理评论快报5篇（包括近期提交的1篇）
  - Physical Review D 物理评论D 2篇（包括近期提交的1篇）
  - 总引用次数过百

- D0国际实验的电弱物理研究组**召集人（Convener）**
  - D0国际合作组的6个一级物理组之一，~50人左右，下设3个分组。
  - 期间(2012-2014年) 共推动>10篇论文的发表

Physics Coordinators: Bob Hirosky and Rick Van Kooten

Physics conveners mailing list and archive; algorithm and physics conveners mailing list and archive

Physics Groups (Meeting time)	Conveners
Electroweak (9:30-11:00, Mon)	Breese Quinn, Hang Yin
B Physics (11:00-13:00, Fri)	Marjorie Corcoran, Mark Williams
Higgs (9:00-11:00, Thurs)	Ken Herner, Boris Tuchming
New Phenomena (Shared meeting with Higgs)	Mike Eads
QCD (10:00-12:00, Wed)	Dmitri Bandurin, Ashish Kumar
Top Quark (9:00-11:00, Thu)	Slava Sharry, Andreas Jung

本页有关引用的数据均来自高能物理信息系统（inSPIRE:http://inspirehep.net）

科研成果及重要影响（2）

- D0量能器刻度组召集人（ **Convener** ）：
  - 领导10人小组，进行了取数最后一年的量能器刻度工作，确保了能量流（Jet）、电子、光子能量精确测量
- 在国际大型物理会议及研讨会作物理报告11次
- 在硬件的国际会议上做报告1次
  - ieee：国际电气与电子师协会会议
- 获奖情况：
  - 2009年，求是研究生奖学金
  - 2010年，中国物理学会高能物理分会第六届“晨光杯”青年优秀论文二等奖
  - 2012年，安徽省科学技术奖二等奖
- 获费米实验室每周物理评论报道近10次

全职回国设想和研究计划

- 华中师范大学：
  - “理论物理”国家重点学科
  - “夸克与轻子”物理教育部重点实验室
  - 国家基金委“高能核物理创新研究群体”
  - 高能核物理的两大国际合作组：
    - 美国RHIC-STAR实验组
    - 欧洲LHC-Alice实验组国内牵头单位
  - 高能对撞物理的国际合作组：
    - 欧洲LHC-LHCb实验组，在谢跃红教授领导下，于2013年12月加入
    - 谢跃红担任LHCb物理规划成员，“B介子到粲偶素衰变”物理组召集人
  - “111”引智基地
  - 粒子物理研究所引进许怒和王新年两位千人计划专家

- 华中师范大学提供了十分理想的工作平台和发展空间

全职回国设想和研究计划

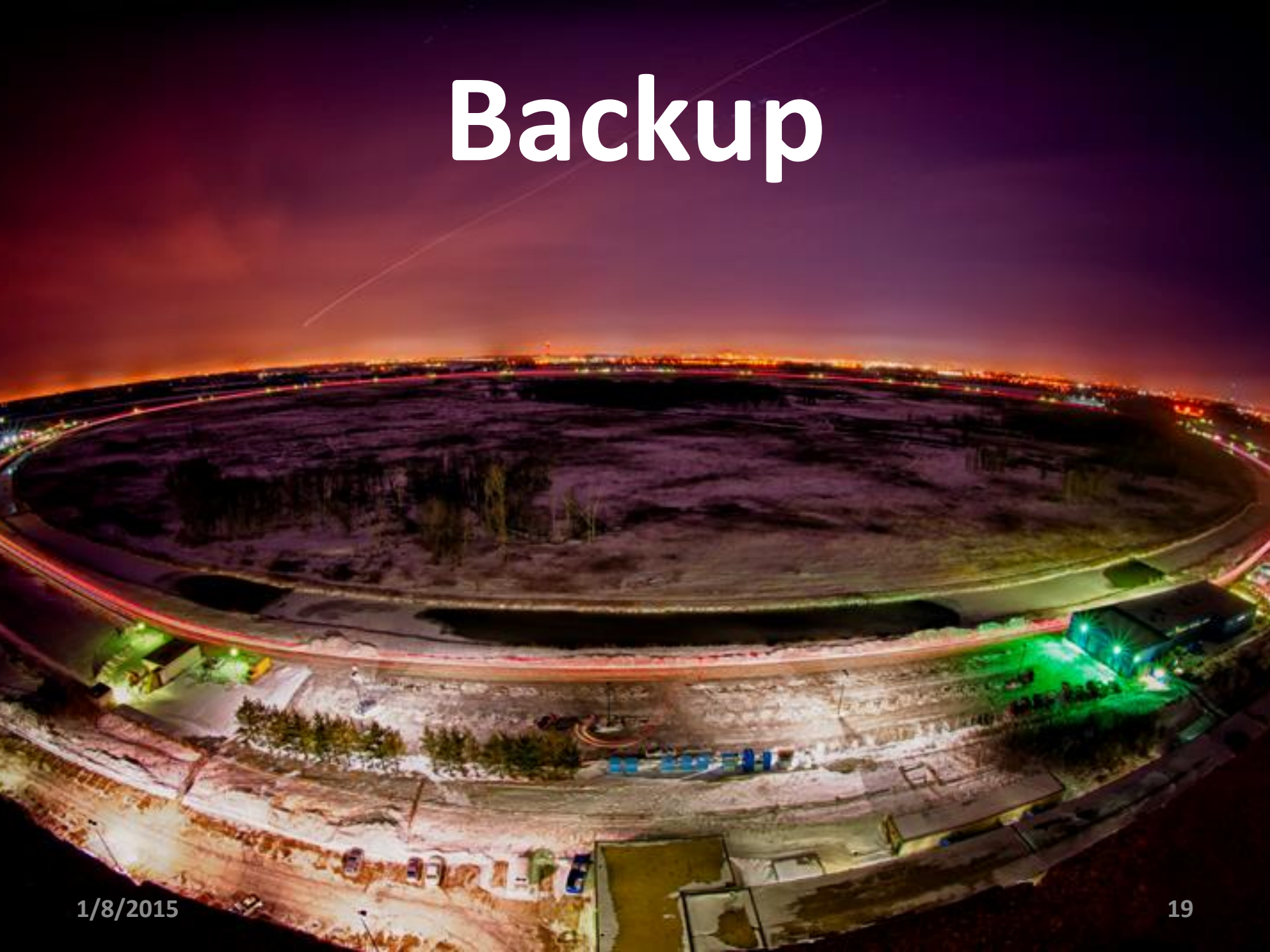
- 主要研究方向
  - LHCb实验上的B介子研究，LHCb探测器升级的研发工作
  - 与费米实验室紧密合作，参与硅探测器触发系统的研发工作、或者其他前沿硬件的研发
  - 积极参与中国未来的环形正负电子对撞机（CEPC）与超级质子对撞机（SPPC）

- 研究和教学相结合，指导学生从事前沿科学研究

- 和现有的团队成员密切合作，与华中师范大学粒子所的理论组优势互补，提高团队的整体创新能力

谢谢各位老师！

Backup



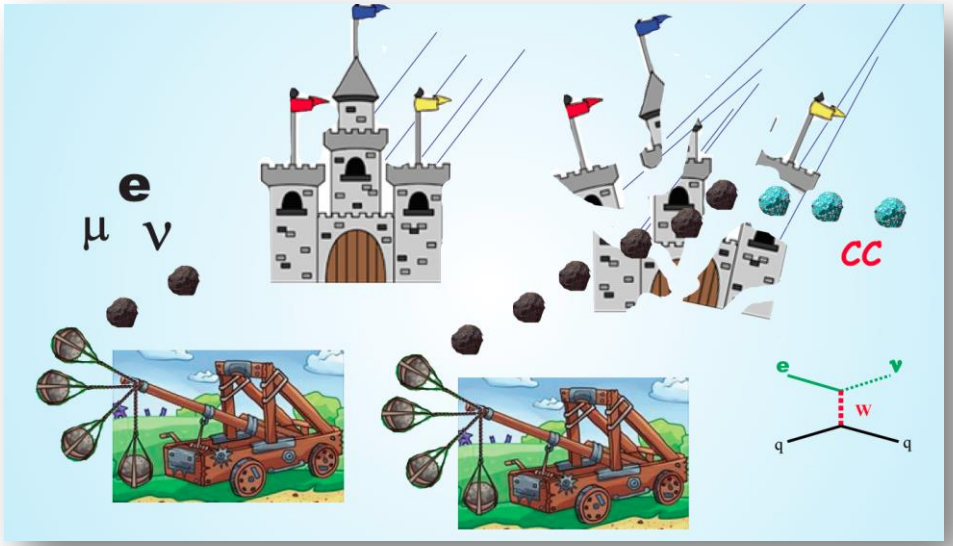
科研经历

- 博士（2005-2010，中国科学技术大学）
  - 指导老师：韩良教授
  - 研究课题：Z玻色子前后不对称性的研究及弱混合角（$\sin\theta^2_W$）精确测量

- 博士后（2010-至今，费米国家实验室）
  - 物理课题：Tevatron上W玻色子的电荷不对称性
  - 算法课题：量能器的精确刻度及能量测量
  - 硬件课题：CMS探测器升级中，硅径迹探测器的一级触发的研发

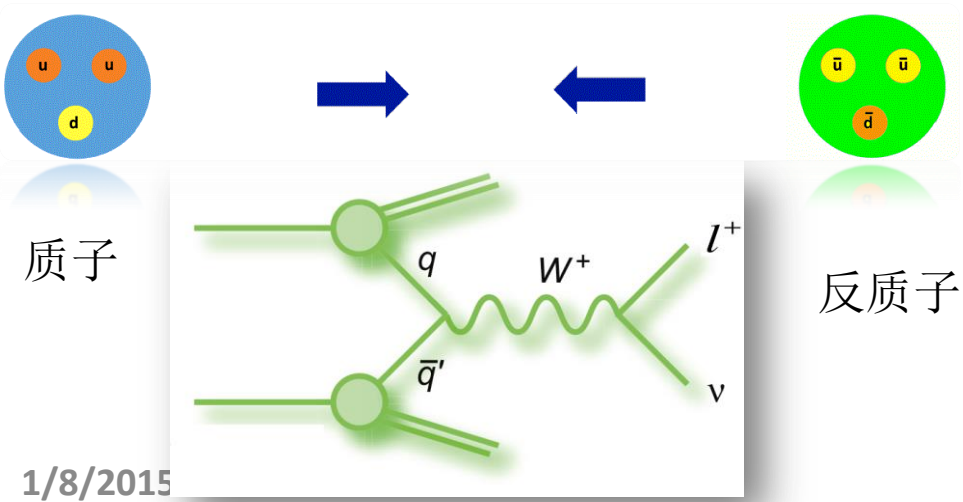
学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

- 低能散射实验（DIS）



PDFs是强子对撞机上及其关键的输入：
- 几乎所有理论计算的输入值
- 实验上反应截面的计算
- 精确测量的重要误差来源
- 不能直接计算，只能用实验输入

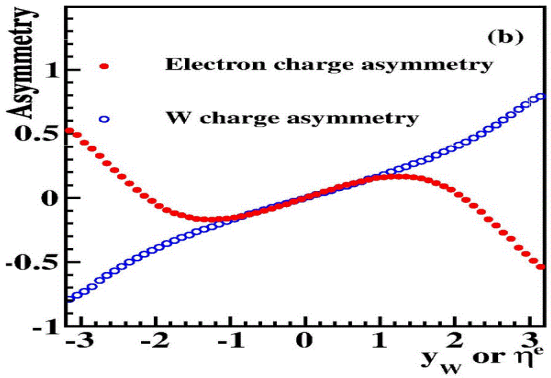
- 强子对撞机上的测量



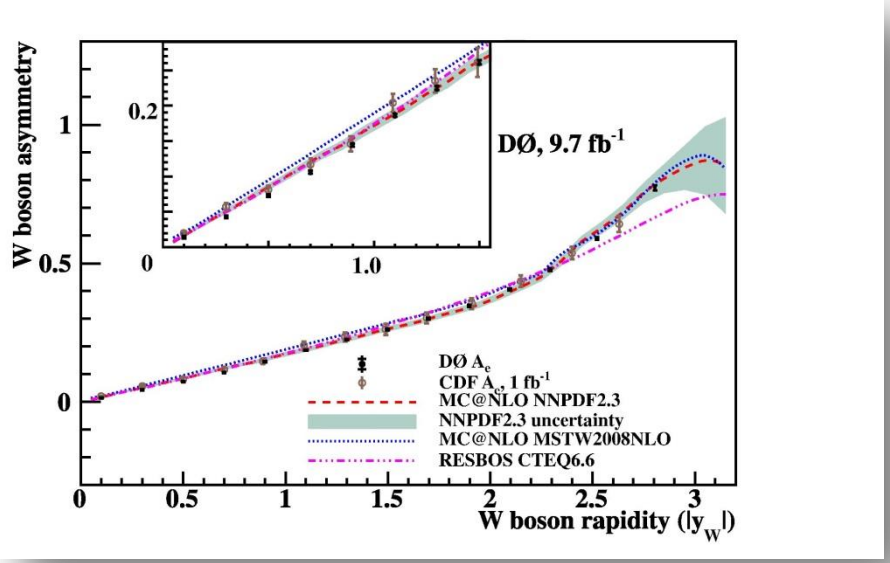
质子

反质子

由于u夸克所携带的动量大于d夸克动量



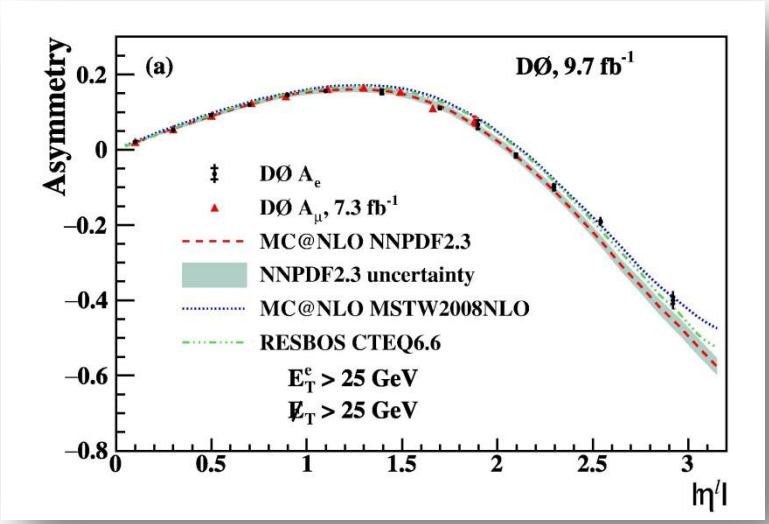
学术贡献二：W玻色子的电荷不对称性

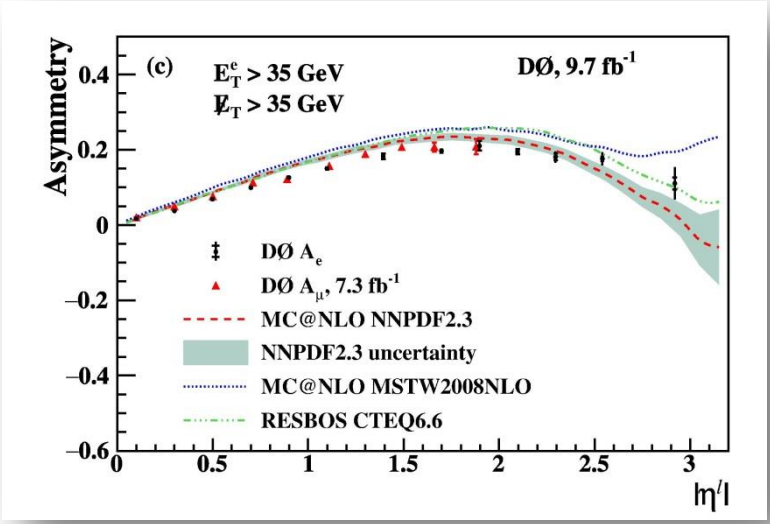


Phys. Rev. Lett. 112, 151803 (2014)
arXiv:1412.2863，提交到Phys. Rev. D

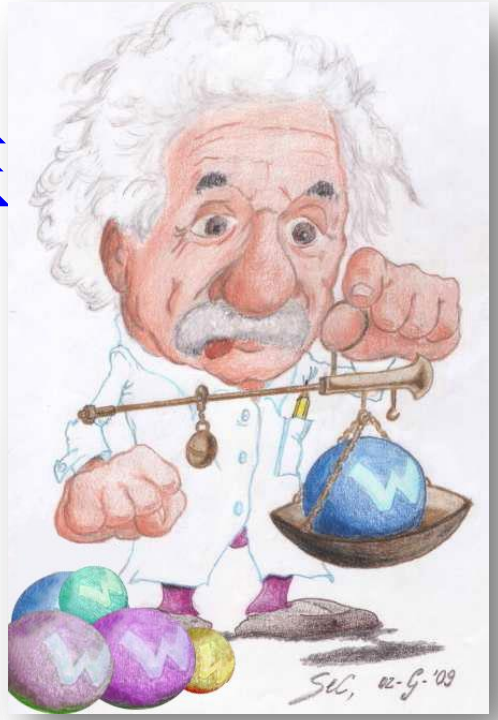
至今为止，在强子对撞机上最为精确的测量

将会对PDFs的拟合产生重大影响

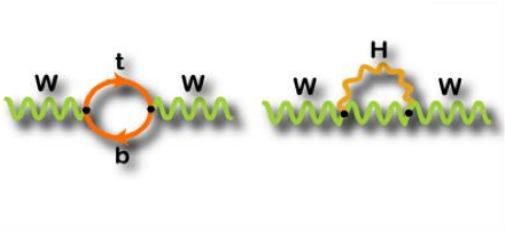


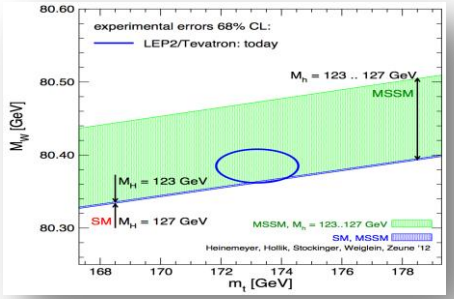


电弱物理的重要性



- 精确检验标准模型，确定参数值：
  - 精确测量W玻色子质量：

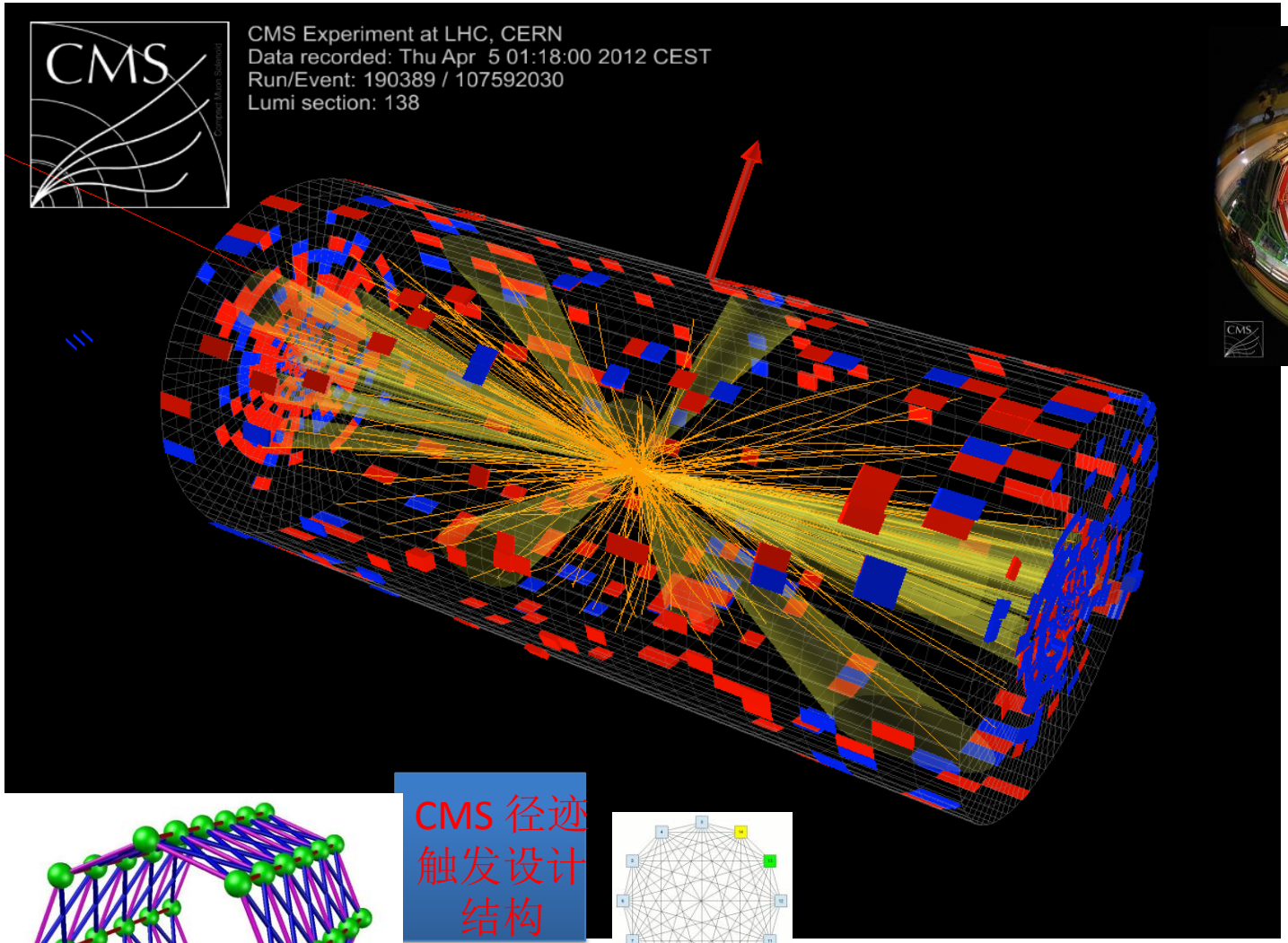


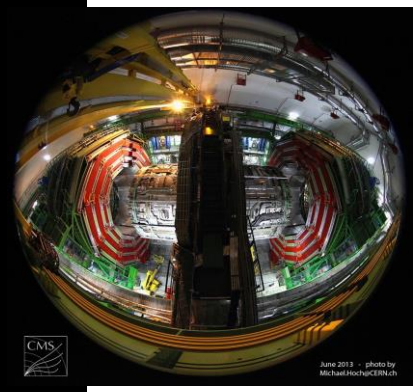


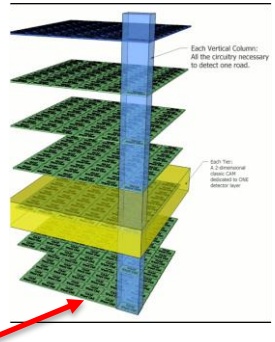
  - 弱混合角的测量：
    - 标准模型中少有的>2倍误差：最精确两个测量相互偏离2.3标准误差

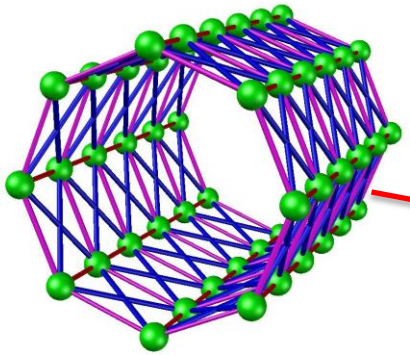
- 质子的部分子分布函数（PDFs）：
  - 在强子对撞机上的重要误差来源
  - 可以用玻色子的性质来限制

学术贡献三：硅探测器的触发研究

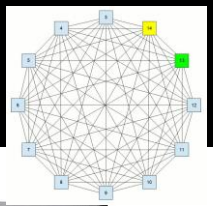




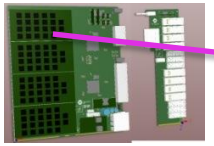


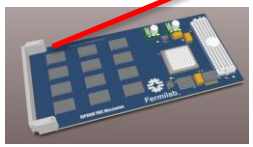


CMS 径迹触发设计结构



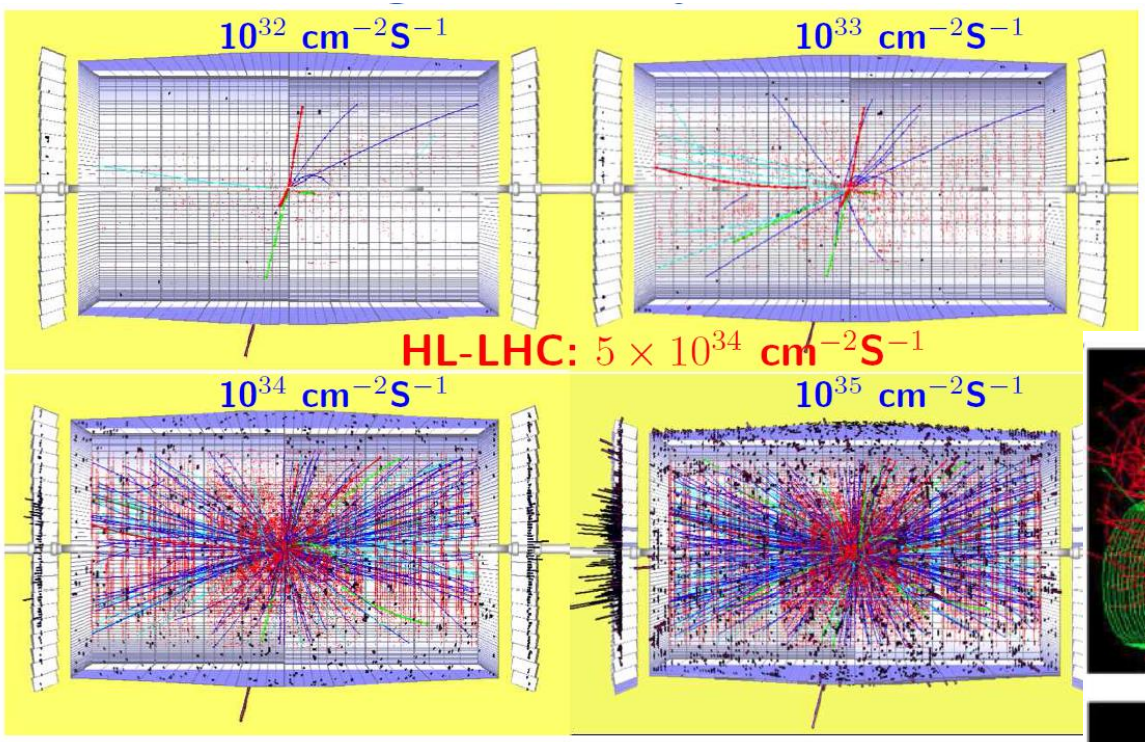
ATCA

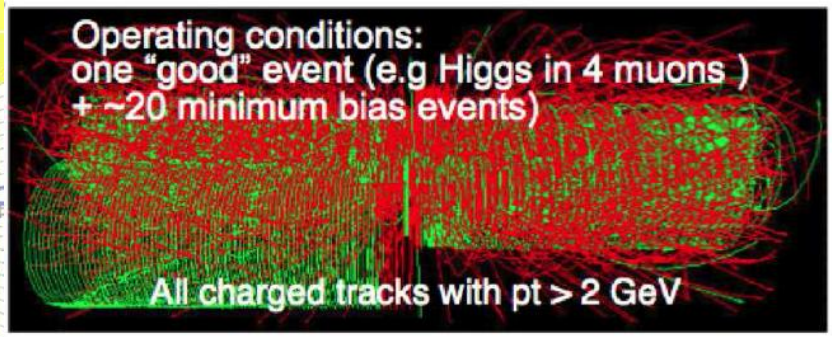


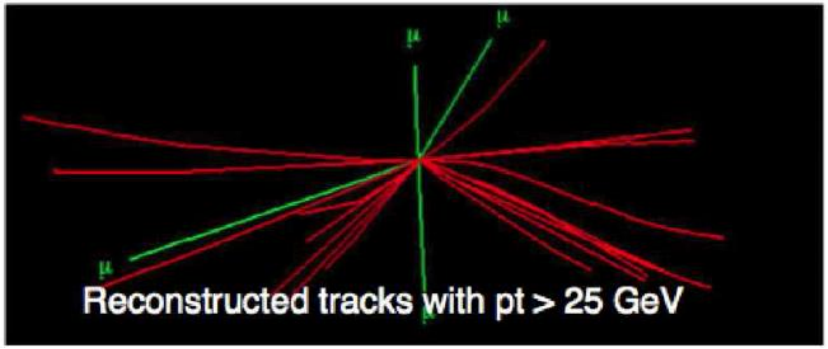
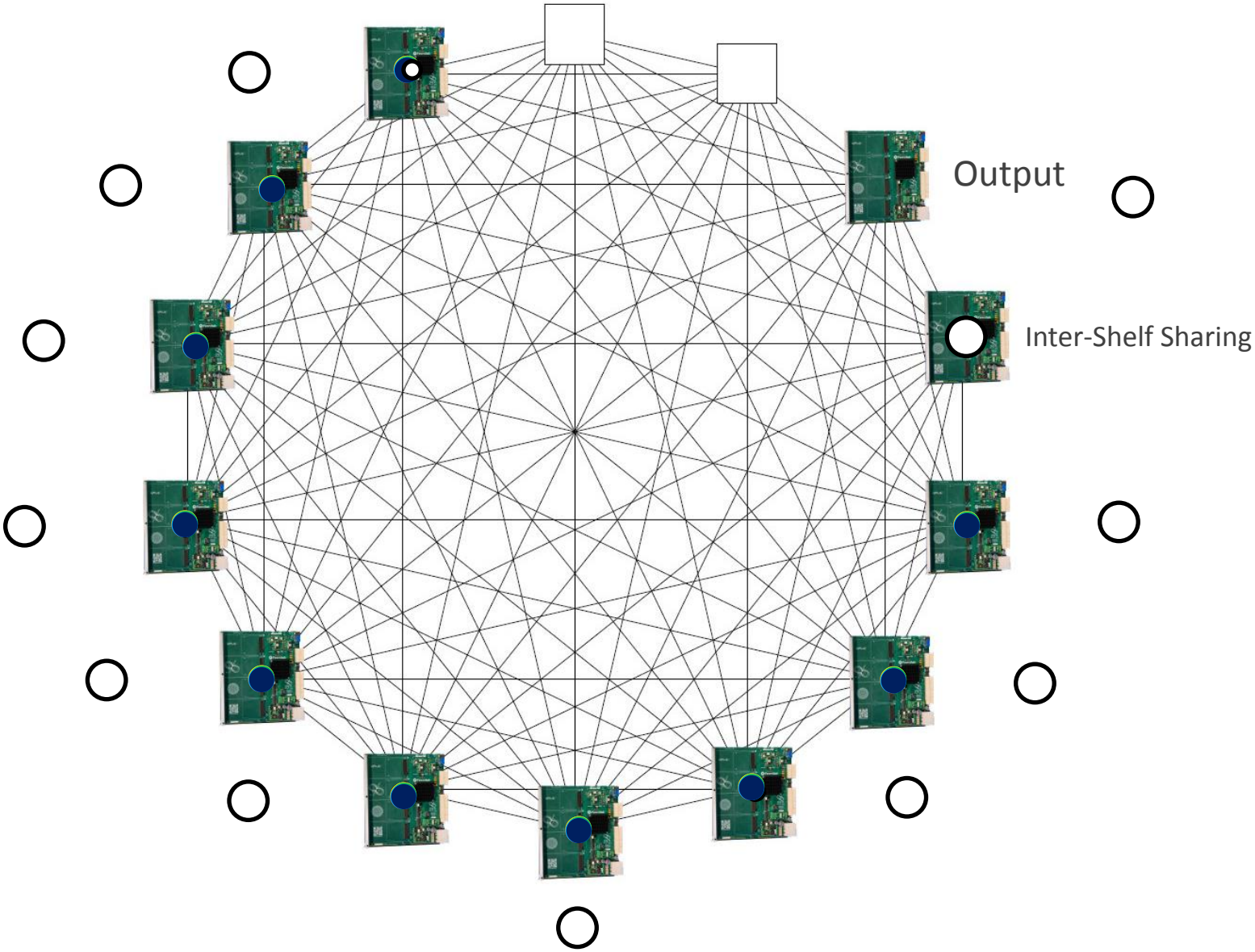


AM 或者其他算法的径迹快速寻找与拟合

学术贡献三：硅探测器的触发研究







数据传输