

一周阅读报告

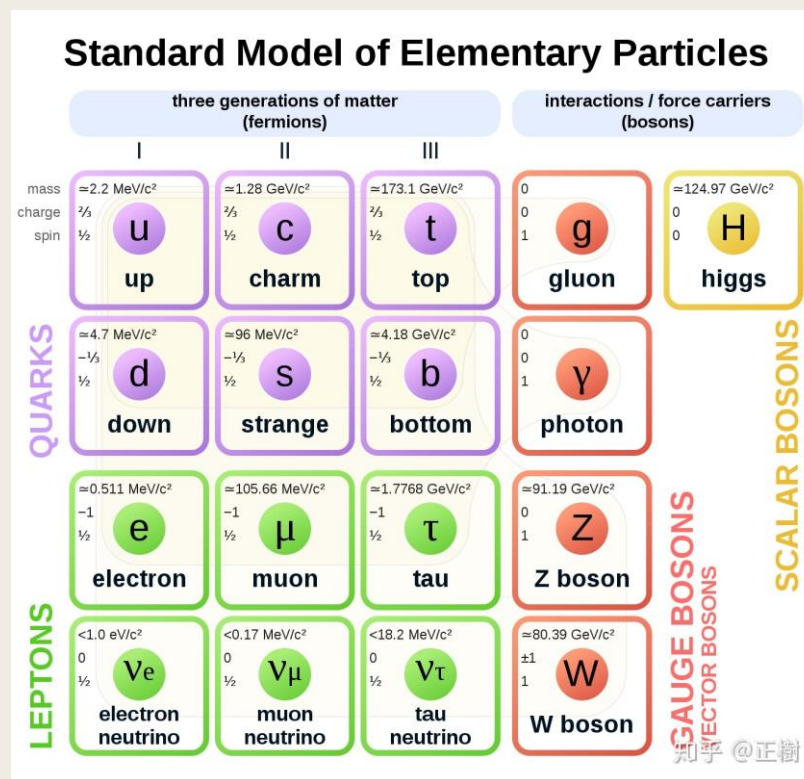
崔岩

标准模型

- 粒子物理标准模型是基于量子场论而发展起来的描述基本粒子与其之间相互作用的模型。在量子场论中，基本粒子被视为是场的激发态，而粒子之间的相互作用则是以相应的场之间的相互作用项来描述。在标准模型中，基本粒子被分为了夸克、轻子、规范玻色子以及 Higgs 玻色子。它们之间的相互作用则通过 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 的规范场来完成。标准模型已经历了大量的实验检验，是目前最受认可的理论。

- 在标准模型中，有右图几种基本粒子：

- 光子→电磁相互作用
- 胶子→强相互作用
- W玻色子→弱相互作用
- Z玻色子→弱相互作用



标准模型

Higgs机制

- Higgs 机制中认为自然界存在一种标量场 $\Phi(x)$ ，通过与费米子场与规范场进行规范相互作用，可使标量场场强为0的点不是系统的最低能量点。而在系统的真空态，此标量场的场强却不为0，这种相互作用的表现形式就是基本粒子获得质量
- 在 Higgs 机制中，引入了一个标量场 $\Phi(x)$ ，当对称性自发破缺发生后，这个标量场对应着一个自旋 为 0 的标量玻色子，称为 Higgs 玻色子。
- 2012年，Higgs玻色子在ATLAS与CMS上被发现。

标准模型

存在的问题

- 规范等级问题：若使引力与其他相互作用进行统一，需要提高物理能标到引力量子效应开始显现的普朗克能标，引入新的粒子，使得质量修正项对紫外截断能标二次方依赖，修正项必须精细调节。
- 暗物质问题：宇宙中可观测的物质仅占 4.9%，暗物质则占到了 26.6%，暗能量则占到了 68.5%
- 大统一理论：虽然标准模型成功地统一了电弱相互作用并描述了强相互作用，但它并未能将这三种相互作用统一起来，直至现在，还未有任何超出标准模型的大统一理论被实验验证正确。

超对称理论

标准模型问题的解决

超对称假设了费米子以及玻色子中间存在着一种对称性，通过这种对称性可以巧妙而优美的解决 Higgs 质量的“规范等级问题”。在 R 宇称守恒下，超对称破缺机制可以为暗物质提供候选者。基于超对称的大统一模型则可以很好的促使促使三个规范耦合常数收敛合一。因此，超对称成为了超出标准模型新物理的一个热门候选者。寻找超对称粒子也是众多物理实验的一个主要目标。

超对称理论

R宇称对称性

为了避免 Georgi–Glashow 大统一理论中预言重子数破坏而与目前实验观测不符的问题，要引入R宇称对称性：

$$P_R = (-1)^{3B+L+2s}$$

其中 B 为重子数， L 为轻子数， s 为自旋量子数。对于标准模型粒子，它们的 R 宇称为 $+1$ ，而对于超对称粒子，它们的 R 宇称为 -1 。如果 R 宇称守恒，将会带来三个推论：（1）超对称粒子只能以偶数个数产生。（2）最轻的超对称粒子（LSP）是绝对稳定的，如果它是电中性，则与通常粒子之间只能有弱相互作用以及引力相互作用，使其暗物质的绝佳候选者。（3）超对称粒子衰变最终产物必须含有奇数个 LSP。

蒙特卡罗模拟

由于高能粒子对撞是一个十分复杂的过程，其中还包含着可能存在的新物理。因此，在进行物理分析时不能直接使用粒子对撞的在探测器留下的电子学特征来判断其为何种事例。而是采用使用模拟数据的方式，对对撞可能发生的过程进行精确模拟，以此来对真实数据进行估计和研究。模拟数据一般通过蒙特卡罗（Monte Carlo, MC）产生子来完成，因此模拟得到的事例通常被成为蒙特卡罗模拟事例。

蒙特卡罗模拟

理论模拟步骤

- 硬散射过程
- 部分子簇射
- 潜在事例
- 强子化
- 衰变

$\tilde{\tau}$ 粒子直接产生过程的寻找

- 事例重建
- 信号区定义
- 本底估计
- 系统误差分析
- 结果分析

事例重建

事例在经过探测器探测以及触发器选择后，保存的是探测器的电子学信号 以及在线快重建的粒子信息。为了进行更为精确的物理分析，还需要在离线情况下对每种粒子进行精确的重建、鉴别和刻度工作。ATLAS 进行重建的粒子主要包括电子 (e)、光子 (γ)、缪子 (μ)、陶子 (τ)、喷柱 (jet) 以及所有不可被探测粒子形成的缺失横动量 ($E_{miss T}$)。

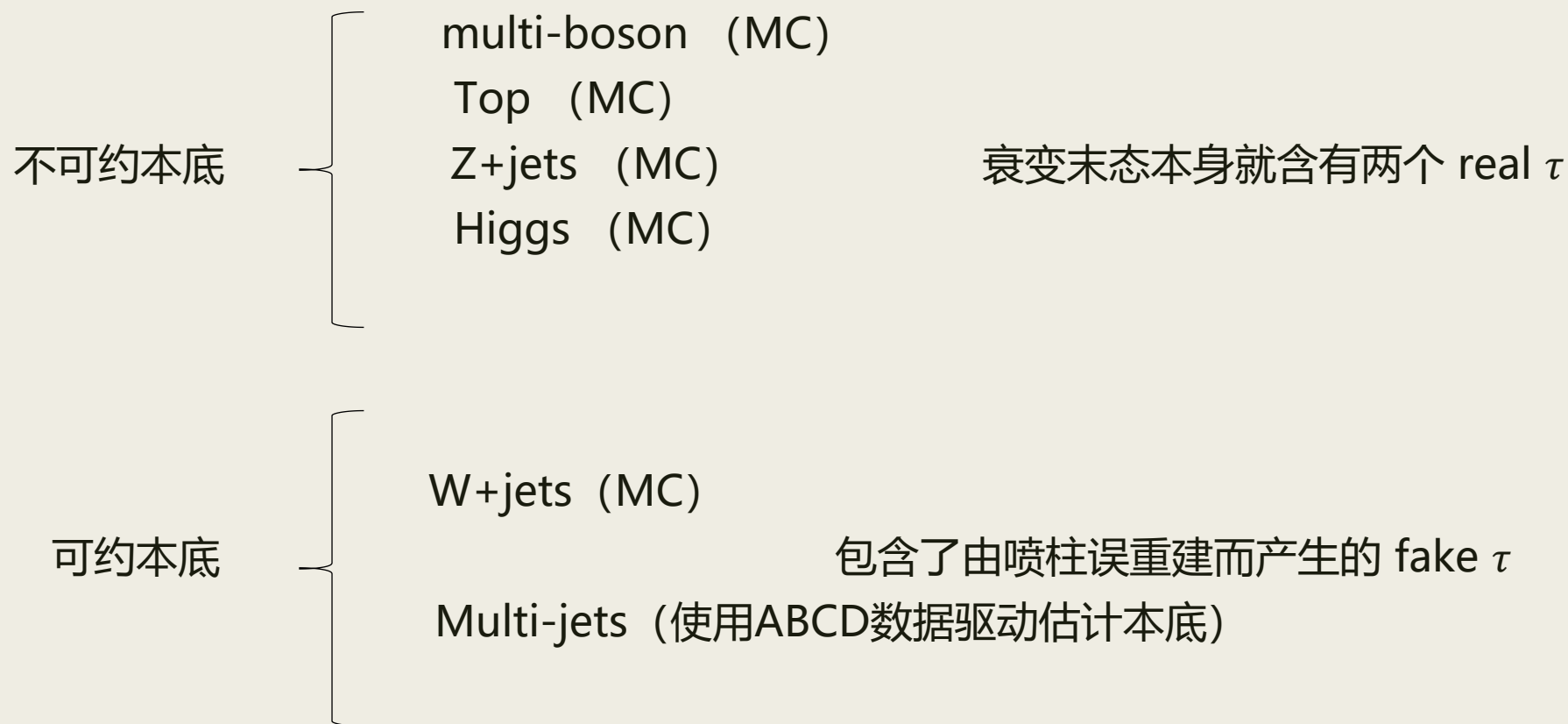
事例重建

- 粒子的选择：对于不同的粒子，各自有不同的选择标准。例如电子和光子一起重建，再通过后续特征的不同进行筛选区分。且在粒子重建后，为防止同一探测器探测到的信息被用于多个粒子的重建，会对选择的基准粒子进行进一步的去重合。
- 顶点的选择：事例需至少含有一个重建顶点。一个重建顶点必须在对撞点附近并且至少含有相关的两条横动量 $p_T > 500 \text{ MeV}$ 的带电径迹，否则将会被认为是非对撞事例而被去除。
- 触发器选择：在此例中使用的触发器均为 $di - \tau$ 触发器。对于 $\sim \tau$ 粒子质量较高而 $E_{miss T}$ 较大的信号模型，主要使用 $di - \tau + E_{miss T}$ 触发器来最大限度降低触发器对于陶子的在线离线选择条件。而作为对 $di - \tau + E_{miss T}$ 触发器补足，对于其无法关注的低 $E_{miss T}$ 事例，则使用对陶子动量选择条件较高的 $asymmetric\ di - \tau$ 触发器。

信号区定义

为了尽可能的寻找到信号粒子，需要定义出使信号样本显著性尽量大的区域并在此区域与真实的对撞数据进行假设检验。

本底估计



系统误差分析

- 实验误差：其主要贡献来自于 τ 、喷柱以及 $E_{miss} T$ 的能量刻度、校准 带来的误差， τ 的重建以及识别带来的误差，di-tau 触发器带来的误差，以及堆积效应造成的误差。
- 理论误差：其主要贡献来自与 W+jets, Z+jets 以及 multi-boson 所使用的 SHERPA 产生子的刻度参数选择以及 PDF 选择带来的误差，Top 所使用的产生子在模拟硬散射过程、部分子簇射以及强子化过程时带来的误差。
- 本底估计方法带来的误差：主要来自与 ABCD 方法所带来的误差，包含了 A、B、C 各个控制区中的统计误差、控制区A的实验误差以及其它本底的理论误差、划分 ABCD 所使用的两组变量微小相关性带来的误差。

结果分析

- 纯本底拟合：此拟合的主要目的是通过控制区来更精确的估计信号区中本底的估计值。并使用验证区来验证估计的准确性。在此拟合中仅使用控制区进行拟合，
- 模型无关拟合：此拟合的主要目的是检验在信号区中是否可能存在超出标准模型的新物理事例。在此拟合中使用了控制区以及信号区来进行拟合，
- 模型相关拟合：此拟合可以用来在发现超出标准模型的情况下测量各种信号模型的信号强度，或在未发现超出标准模型的情况下排除各种信号模型的假设。在此拟合中使用了控制区以及信号区来进行拟合，并假设所有区域中均有信号存在。

Thanks for watching !