

# 文献汇报

汇报人/潘超钰



# 目录

1. 标准模型

2. 超对称理论

3. LHC

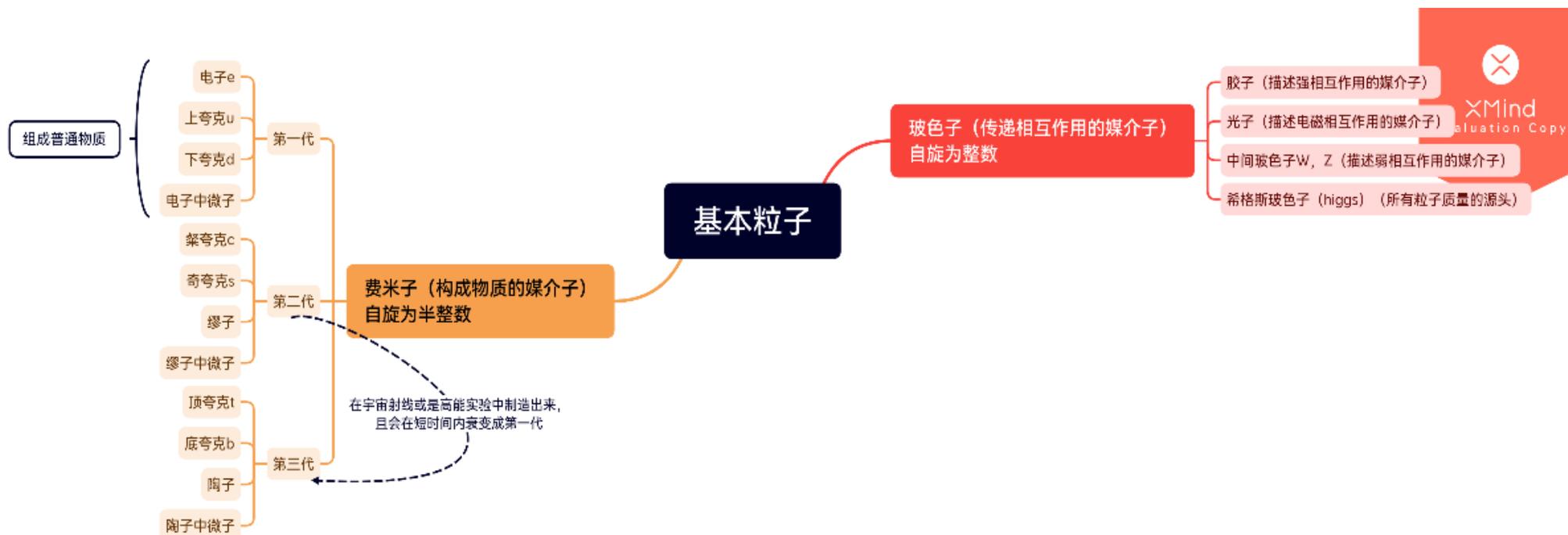
4. ATLAS

5. 蒙特卡洛模拟

6. 陶子超对称粒子过程的寻找

# 1. 标准模型

- 一套描述强力、弱力以及电磁力这三种基本力及组成所有物质的基本粒子的理论。自然界是由费米子和玻色子组成，基本粒子本来没有质量，由于引入希格斯机制使规范玻色子W和Z获得了质量，通过希格斯和轻子及夸克间的相互作用也使轻子和夸克获得了质量。



- 模型自洽之处：
  - 1. 描述电磁和弱相互作用的电弱统一理论与描述强相互作用的量子色动力学在标准模型中合并为规范场论，到目前为止几乎所有对以上三种力的实验结果都与标准模型的预测一致；
  - 2. 在电弱能区取得了空前的成功
- 存在的问题：高能区存在很多问题。
  - 1. 不能将强弱和电磁相互作用统一为一个宏大的统一场理论。
  - 2. 不能解释占宇宙23%的暗物质。
  - 3. 不能解释等级问题。
  - 4. 不能对希格斯玻色子质量增加的循环过程做比较自然的修正。

## 2. 超对称理论

---

- 1. 在电弱能区与标准模型兼容，在普朗克能区解决上述标准模型中存在的问题。因而超对称理论是标准模型最好的扩充。
- 2. 超对称理论中玻色子与费米子在物理性质上是互补的，这种互补性可以被巧妙地用来解决标准模型中著名的等级问题。超对称是费米子和玻色子之间的一种对称性，每做一次超对称变换，粒子自旋改变 $1/2$ ，通过两次超对称变化，自然界中四种相互作用力也联系在一起。对标准模型进行超对称化后所有相互作用的耦合常数在高能下汇聚到了一起。是大统一理论和超弦理论的基础和核心。
- 3. 另一个美妙的性质是普通量子场论中大量的发散结果在超对称理论中可以被超对称伙伴的贡献所消去（可以解决希格斯质量的二次发散问题），因此具有优越的重整化性质。

## 3. L H C

---

- 当今世界上能量最高的对撞机，它的两个大型通用粒子探测器CMS和ALATAS是迄今最重和最大的高能物理实验探测器。
- 它的首要任务是捕捉希格斯粒子，也包括寻找超出标准模型的新粒子和新物理，探索更完善的粒子物理理论。通过对超对称粒子的找寻还可以探寻暗物质。

## 4. A T L A S

---

- 质子质子碰撞实际上是部分子之间的碰撞，末态可能产生长寿命的强子或短寿命的轻子，轻子在未到达探测器就已经衰变成强子，因此不能被直接探测，那么对于探测器的要求首先是可以区分这些长寿命粒子（电子、光子、缪子、带电强子和中性强子）。

# ATLAS主要分为四部分：

- 1. 内部径迹探测器，三个主要探测器为硅像素探测器，硅微条探测器，穿越辐射探测器，保证了内径迹室在模式识别、动量和顶点测量以及提高电子识别能力方面的高水平。
- 2. 量能器，主要分为电磁量能器以及强子量能器，电磁量能器相对在内，主要负责电子和光子的精确测量。而强子量能器在外，主要负责喷柱重建以及缺失横动量的精确测量。
- 3. 缪子探测器：缪子谱仪在ATLAS最外层，旨在获得立体角  $|\eta| < 2.7$  缪子的径迹以及动量信息，并为立体角  $|\eta| < 2.4$  的缪子提供触发信息。
- 4. 磁铁系统：中央螺线管磁铁：位于内部径迹探测器与电磁量能器之间，为内部径迹探测器提供磁场来使粒子径迹偏转； 环形磁铁：由三部分构成，位于缪子探测器的桶柱部分和两个端盖部分，分别为缪子探测器提供磁场来使缪子径迹偏转。

## 5. 蒙特卡洛模拟

- 理论模拟部分主要有：硬散射过程、部分子簇射、潜在事例、强子化和衰变过程，并考虑额外堆积效应的影响来调整模拟事例的权重。模拟产生的真实样本需要经过探测器模拟，探测器模拟通过软件包进行，并使用构建出的模拟探测器对真实样本进行模拟探测，最终得到模拟所得信号样本。

# 6. 陶子超对称粒子过程的寻找

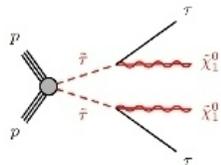


图 5.1 τ 分析所使用的 τ 粒子直接产生和衰变的简化模型

	taus
Baseline	$p_T > 20 \text{ GeV}$
	$ \eta  \in [0., 1.37] \text{ or } [1.52, 2.5]$
	Tracks == 1 or 3
	$BDT_{E_{\text{TOT}}} = \text{medium}$ $BDT_{D_{\text{conv}}} > 0.01$
Signal	$BDT_{\tau_D} = \text{medium}$

表 5.4 τ 分析的事例初选条件

Preselection of low $E_T^{\text{miss}}$ SR	Preselection of high $E_T^{\text{miss}}$ SR
== 2 medium taus (OS)	
light lepton veto and 3rd baseline tau veto	
b-jet veto	
ZH-veto ( $m(\tau_1, \tau_2) > 120 \text{ GeV}$ )	
asymmetric di-tau trigger	di-tau + $E_T^{\text{miss}}$ trigger
$E_T^{\text{miss}} < 150 \text{ GeV}$	$E_T^{\text{miss}} > 150 \text{ GeV}$
$\tau p_T$ cut described in Table 5.3	

确定分析所使用的陶子超对称粒子直接产生和衰变的简化模型（如左图所示）

事例重建：目前 ATLAS 仅由喷柱来重建强衰变的陶子had，所有的候选喷柱首先要通过算法进行顶点选择，之后，主要通过使用机器学习算法梯度提升决策树（GBDT）进行径迹选择，并对不同径迹分别要求不同的选择条件，只有通过了选择条件的喷柱才会被称为陶子候选者。

1.重建陶子的选择：（最大限度地保证分析所使用的粒子基本都是真实对撞产生的粒子和事例）（其选择条件如左图）

2.对选择的基准粒子进行进一步的去重合：（为了防止同一探测器探测到的信息被用于多个粒子的重建）在“陶子-喷柱去重合”流程中，仅动量最高的两个陶子被用来去除喷柱，之后研究也仅用这两个陶子。

3.触发器选择：对于陶子超对称粒子质量较高而缺失恒动量较大的信号模型，主要使用 di-tau +  $E_T^{\text{miss}}$  触发器。作为前一触发器无法关注的缺失恒动量较小的事例，则使用对陶子动量选择条件较高的 asymmetric di-tau 触发器进行补足。

1.使用一般会根据信号本底特征首先使用一些可以压制本底过程而对信号影响不大的筛选条件进行事例初选。陶子分析事例约束条件（如左图）

2.利用进一步约束信号和本底不同动力学变量的选择条件，通过网格搜索方法，最终选取使参考点显著性较高而且主要本底过程统计量合理的选择条件组合来作为信号区。

定义信号区（样本信号显著性尽量大，并在此区域与真实的对撞数据假设检验）

陶子超对称粒子直

事例选择

# 信号产生过程的寻找

## 本底估计

不可约本底：一般使用MC直接进行估计，并建立相应的验证区来验证MC估计的准确性。

可约本底：使用数据驱动的方式，更为精细的估计喷柱误差重建的影响，以此来实现对这些本底的精确估计。

## 系统误差分析

实验误差

理论误差

本底估计误差

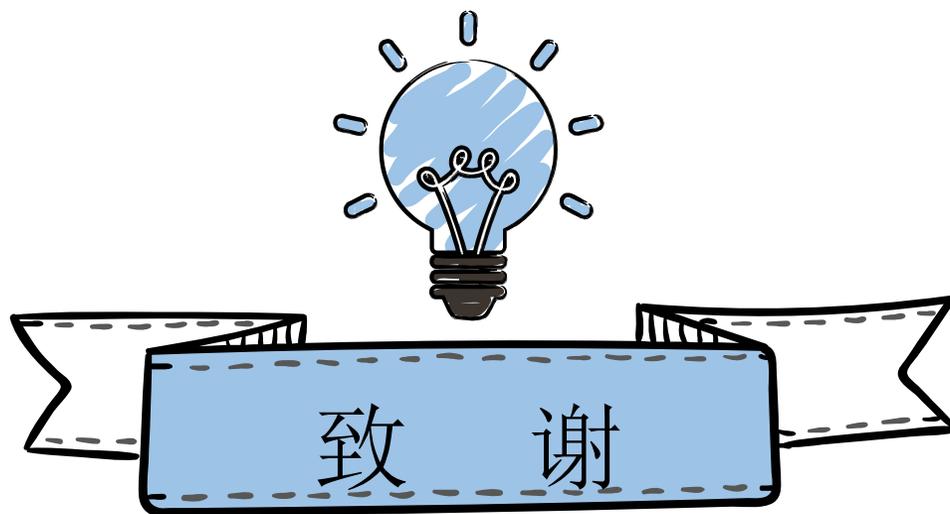
## 结果分析：新物理模型的寻找和排除分析

纯本底拟合：通过控制区来更精确的估计信号区中本底的估计值

模型无关拟合：检验信号区是否可能存在超出标准模型的新物理事例。在一次拟合中只含有一个信号区，人为设定一个“假信号”作为自由参数参与拟合，拟合得到的信号强度最终可以被解释为在信号区中新物理的产生截面上限。

模型相关拟合：用来发现超出标准模型的情况下测量各种信号模型的强度，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。可设立多个统计无关的不相交信号区来进行同步拟合，通过将似然函数结合起来获得相比单个信号区更好的发现或排除能力。

预期研究：使用蒙特卡洛产生的truth样本，根据预期的探测器重建识别性能，对 truth 样本进行模拟重建，然后使用这些模拟重建厚的样本进行进一步分析。



- [1]庄胥爱. LHC实验中超对称粒子及暗物质的寻找[J]. 现代物理知识,2013(1):47-54.
- [2]朱宸正. 博士学位论文—ATLAS 实验单轻子和双陶子末态超对称粒子寻找[D]. 北京. 中国科学院大学,2021.