

高能对撞机上TeV物理研究

USTC Group

高能对撞机的物理目标

■ 标准模型的检验

W, Z, top等粒子的物理特性的精确测量。。。

■ Higgs粒子的寻找与测量

Higgs粒子是否存在

Higgs粒子的物理特性

是否是标准模型的Higgs粒子

■ 新物理的发现与精确测量

超对称, 额外维, 小Higgs模型。。。等新模型的发现; 模型参数测量

高能对撞机

Tevatron (running)

- com: 1.96 TeV PPbar
- lumi: $2E32 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- CDF, D0

LHC (2007)

- com: 14 TeV PP
- lumi: $2E33 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ @low luminisity, then $2E34 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- ATLAS, CMS, LHCb, Alice

ILC (in the future)

- e+e- collision and gamma-gamma collision, or e-gamma collision
- NLC, JLC, TESLA, CLIC

LHC and ILC

LHC

14 TeV对撞能量，新粒子发现的能量范围较大

并非全部的能量有效（PDF）， $\sqrt{s_{eff}} \approx 3TeV$

不确定的初态

质子残余在束流管中湮灭，增加了事例重建时能动量守恒运用的困难

非常大的QCD本底，增加了对信号事例判选的困难

ILC

对撞能量 $\leq 1TeV$ ，新粒子发现的能量范围较小

全部的对撞能量都有效

明确的初态（包括极化）

本底小，事例易判选

LHC与ILC互补，发现与精确测量

USTC Group TeV物理研究方向

在Tevatron, LHC 以及ILC上:

- 新物理模型中相关物理过程，模型参数确定方案的高精度计算
- 结合对撞机以及探测器特点，研究信号事例的判选条件，相应本底的排除方案
- 与top, Higgs粒子相关物理多体末态过程的高精度计算

高精度计算的必要性

- 随着对撞机能量的提高，许多包含重粒子产生的新超高能过程将可能出现。一般这样的重粒子并不稳定，因而它们的产物构成**多体末态**，这些过程的理论预言**必须计算完整的跃迁矩阵元和辐射修正**，并最终形成事例产生程序。
- 新模型往往包含不少额外的参数，因而对撞机上的实验测量必然与对应新模型里大量参数的确定相关联的。在实验中可能有些模型参数还不能像测量产生粒子质量那样可以精确确定。

如果我们在实验中的确看到新物理效应，由于测量或理论预言精度的限制，一些有竞争力的模型也许都能解释观测到的效应，但是我们无法分辨各个模型表现出的更细节的差别。在这样的情况下，就很有必要提高实验测量精度，或进一步给出候选模型所预言的更高阶的结果，以便进行更精确的理论预言与实验结果的对照。计算和分析这些特征信号，比较这些模型下现象学预言的差异，可以帮助我们确定新物理的产生机制。这些问题的解决，包括**理论的重建、理论参数的精确确定**，都依赖于高精度的数值计算。

信号及相关本底的分析

- 对撞模式、探测器特点不同，探测信号及相应本底不同
- 研究信号分布的特点，如产生截面、末态粒子的动量分布、角分布等
- 大量的本底过程的末态粒子运动学分布的研究
- 优化信号事例的判选条件以及本底排除的方案，以判断该信号被探测的可能性，并给实验物理学家提供具体的事例重建和判选方案

需要理论计算与Monte Carlo 模拟紧密结合

工作基础

- USTC组目前有四位教员，十多位研究生。
- 我们组有十余年高能物理唯象理论研究的坚实基础，并一直致力于高能物理现象学和计算高能物理相结合的研究。在粒子物理过程的高精度数值计算方面，做了大量的工作。发表了七十余篇有关的论文。
- 积累了针对SM, THDM和R宇称守恒和破坏下的MSSM模型的单圈阶电弱、QCD量子场论计算的一些程序，具有了快速、准确的理论计算的软件基础。
- 在过去的研究过程中我们掌握了如何计算强子对撞、正负电子对撞和光子-光子对撞物理过程的QCD和电弱辐射修正，以及在這些模型下正确使用重整化方法。
- 有从事高能物理实验数据分析的工作经历，对开展着眼于新物理信号本底模拟的对撞物理现象学研究有一定基础。

已有的进展

- 三体和三体以上多体末态过程的单圈阶高精度计算，不但计算量大的困难，还有多点积分函数($n \geq 5$)计算中复杂数学问题。近年来，在五点和六点标量、张量积分函数的计算上有了进展。已经发表了六篇末态三体的Higgs粒子伴随产生单圈高精度计算工作。
- R宇称破坏的实验寻找： $p\bar{p} \rightarrow e\mu + X$

仔细分析了信号及其本底的特点，给出了优化的判选方案，该方案已经被Fermilab D0组作为寻找新物理的一个分析道，而且科大组负责具体的数据分析工作。
- 我们正在计算该过程的单圈阶辐射修正，然后做LHC上信号与本底的模拟分析，分析在LHC上将此道作为R宇称破坏下SUSY寻找的可能性。

将来的物理工作内容

- 考虑到未来对撞机上超高的对撞能量，以及对Higgs自作用顶点、规范粒子-Higgs粒子、规范粒子间相互作用和不稳定重粒子产生的精确检验需求，将更多的考虑三体和三体以上末态过程。我们将对与电弱破缺机制检验有关的三体和三体以上末态过程做QCD修正及完整的电弱量子修正开展研究。
- 研究在如下的MSSM模型框架下：
 - (1)参数受限制的MSSM，如最小超引力模型(mSUGRA)、规范传递超对称破缺(GMSB)、反常传递破缺机制等；
 - (2)参数不受限制的MSSM；
 - (3)R宇称守恒（或破坏）的MSSM；
 - (4)引进复参数从而可能引起的CP破坏的MSSM；

不稳定的超对称粒子和Higgs粒子在LHC和LC上的产生和衰变信号，对其进行单圈阶以上的QCD和EW辐射修正计算，并对可能的本底过程做出模拟。（由于超对称Higgs粒子在LHC和ILC上的产生过程的理论研究中部份计算有密切关联，因此我们考虑同时对LHC和ILC上的产生过程进行研究。）

将来的物理工作内容（续）

- 选择实验上有价值的超对称粒子和Higgs粒子产生过程进行研究，如Higgs粒子的伴随产生优选出最佳的物理观测量，研究怎样通过这些信号和观测量来抽取模型参数，为模型参数的精确确定作理论准备。
- 研究相应超对称粒子和Higgs粒子产生信号和SM本底，选择适当的分析手段，来获得最佳的信号本底比率。研究各种MSSM模型模型参数条件下的超对称粒子和Higgs粒子的耦合特性和产生过程，给出单圈阶效应的理论预言，提出确定或限制模型参数的实验分析建议。
- 其他可能的新物理模型中特征物理信号及其间接效应的研究。
- 针对轻子容易被精确测量的特点，对新物理中多轻子末态的物理过程进行高精度的理论计算，并分析相应的本底，提出可行的寻找新物理的实验方案。
- 一些标准过程的高精度计算，为新物理的间接效应研究、探测器刻度、束流亮度监测，等方面提供理论依据

将来的物理工作内容（续）

在高精度量子修正的计算方面拟解决：

- 多体蒙特卡罗相空间积分中不稳定粒子的处理问题，特别是在相空间边界上多点积分函数的计算方法的研究；
- 提高多体相空间的积分效率及多点圈图的计算效率；
- 两圈图的计算方法研究；
- 红外发散的解析处理；
- 超对称场论计算中的重整化；

将来的物理工作内容（续）

■ 计算机硬件能力的提高(Grid).

Grid为高能实验数据以及Monte Carlo数据的共享提供了保证
避免了大量的重复计算，可以在其他空闲节点上提交作业

USTC将成为中国ATLAS组GRID上 一个Tier 3节点

ILC将来的数据分析也将采用Grid技术或者改进版，USTC希望成为该网络上的一个节点

Thank You