

МС генераторы событий

Заключительная часть курса

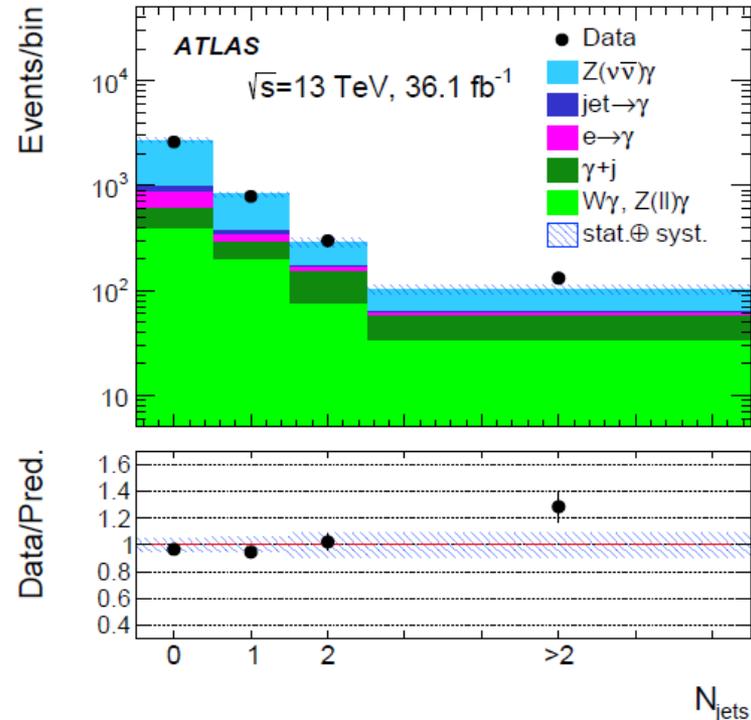
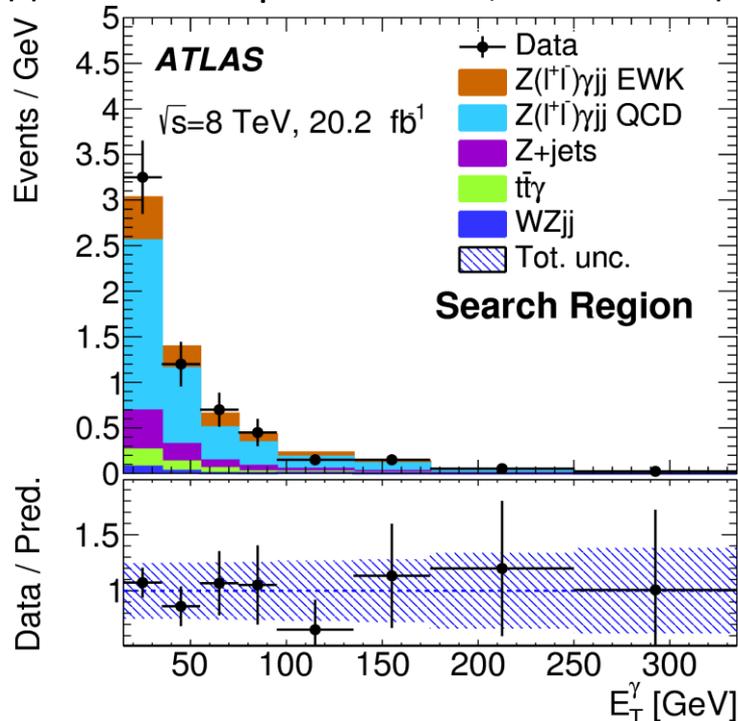
Солдатов Е.Ю.

Немного отвлечёмся... Физический эксперимент

Новые знания из эксперимента высоких энергий мы получаем **не напрямую**.

Для этого мы **сравниваем** обработанные одинаковым образом **данные** с эксперимента **и моделирование**, основанное на наших современных познаниях (на теории, которую мы имеем).

Если обработка данных – это отдельная история, то моделирование этих данных – вершина того, о чём пойдёт речь на этой лекции.



Сравнение данных и моделирования: моделируются различные процессы в разных генераторах (выбирают тот, который описывает конкретный процесс лучше/где доступна большая точность LO/NLO/NNLO...) и далее **сумму всех ожидаемых процессов сравнивают с данными**.

Структура физического эксперимента: где место МС-генераторов?

Движение данных от эксперимента и от моделирования можно представить схематично. На этой схеме можно показать использование различных программ для обработки (создания/изменения) этих двух потоков:

Моделирование

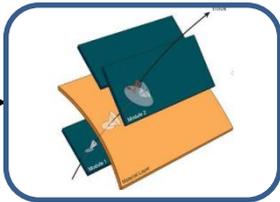
МС Генератор

$$\frac{d\sigma_{elas}}{d\Omega} =$$

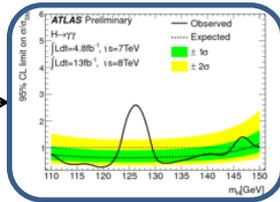
Симулятор детектора



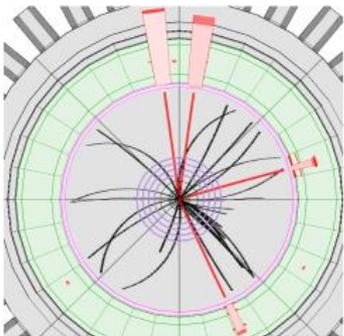
Реконструкция



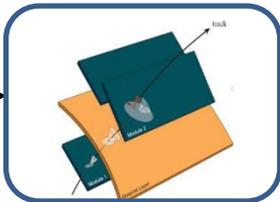
Анализ



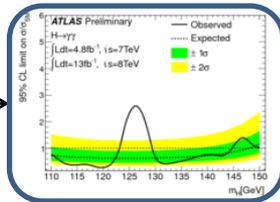
Экспериментальные данные



Реконструкция



Анализ

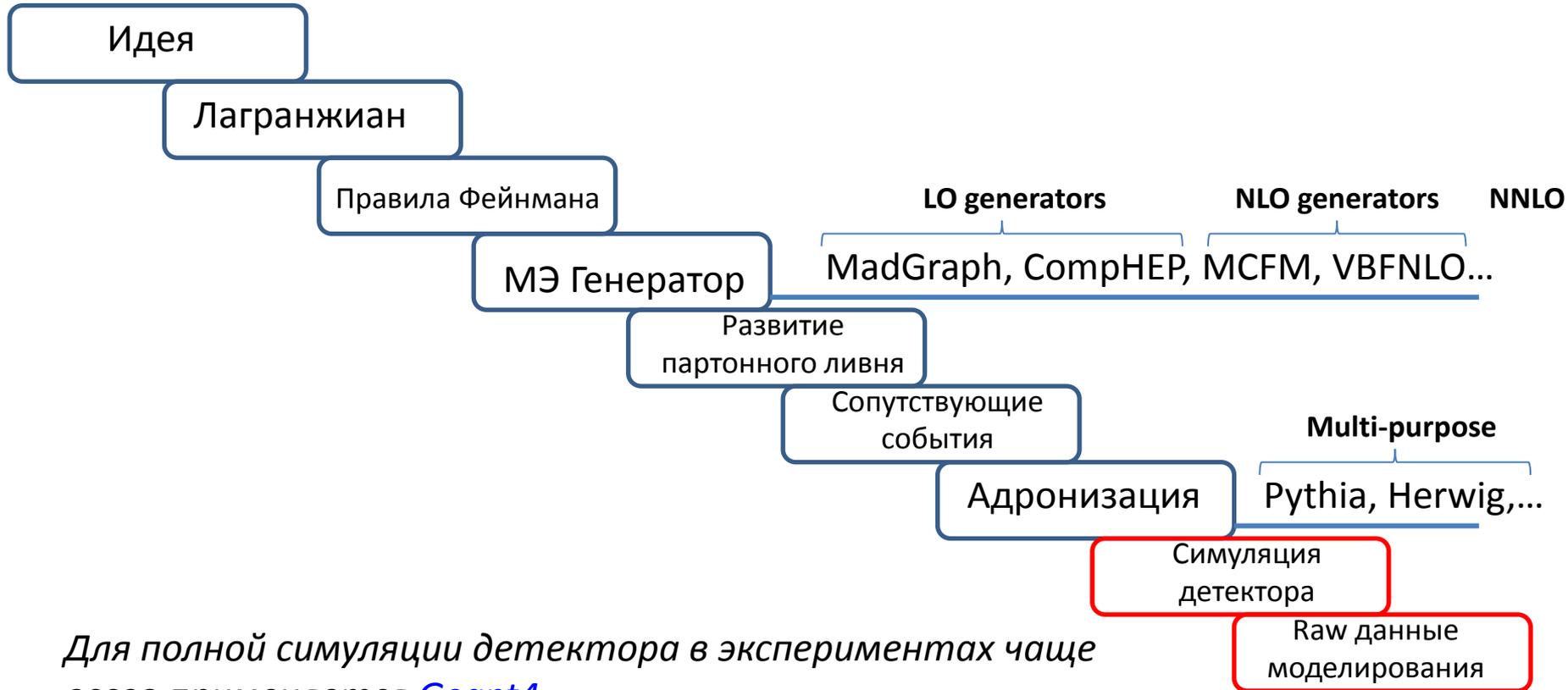


Сравнение,
получение
физического
результата

На самом деле моделирование сложнее...

В свою очередь генератор тоже состоит из нескольких частей.

Есть генераторы матричного элемента и генераторы полного цикла (многозадачные).



Для полной симуляции детектора в экспериментах чаще всего применяется *Geant4*.

В некоторых генераторах есть надстройки для простейшей симуляции детектора, например *PGS/DELPHES* (в *MadGraph*).

Что конкретно позволяет получить генератор событий?

Основная задача генератора событий смоделировать процесс, посредством проведения большого числа его розыгрышей.

Для розыгрышей используются численные методы Монте-Карло.

- При достаточной статистике возможно смоделировать МК генератором хорошее описание процесса.
- В процессе моделирования производится учёт как кинематики процесса, так и внутренних симметрий, запретов, квантовых чисел. А при условии, что генератор полного цикла – ещё и адронизации, развития ливня и распадов нестабильных частиц.
- Также генераторы позволяют ограничивать область фазового пространства для розыгрыша процесса: например, ограничить вылет фотонов определённым диапазоном углов или поставить порог на инвариантную массу лептон-антилептонной пары. **Это производится именно на генераторном уровне, события не разыгрываются, а потом удаляются из рассмотрения.**

Что конкретно позволяет получить генератор событий?

Генераторы дают на выходе 2 основных результата:

- 1) Сечение процесса с заданной точностью: зависит от сгенерированной статистики, а также точности теоретического вычисления (LO, NLO, NNLO...), доступного в генераторе.
- 2) Сами события в одном из универсальных форматов: `.lhe` или `.hepmc`
*В дальнейшем события могут быть переведены в формат `.root` для непосредственной обработки.
Либо события могут быть использованы для прохода через всю цепочку моделирования (взаимодействие с определённым детектором, реконструкция) для дальнейшего сравнения с реальными данными.*

Генератор MadGraph

MadGraph5_aMC @ NLO - это среда, которая направлена на предоставление всех элементов, необходимых для феноменологии SM и BSM, таких как вычисления поперечных сечений, генерации жёстких событий и их соответствия генераторам событий, а также использование различных инструментов, имеющих отношение к манипулированию событиями и анализу. Процессы могут быть смоделированы до точности LO для любого пользовательского Лагранжиана и точности NLO в случае поправок КХД к процессам SM. Также могут быть получены матричные элементы на древесном или однопетлевом уровне.

MadGraph5_aMC @ NLO - это новая версия MadGraph5 и aMC @ NLO, которая объединяет линии LO и NLO разработки автоматизированных инструментов семейства MadGraph. Поэтому он заменяет все версии MadGraph5 1.5.x и все бета-версии aMC @ NLO.

Текущая версия 2.8.2 (август 2020). Также идёт разработка бета-версии 3.0.1.

Установка:

```
wget https://launchpad.net/mg5amcnlo/2.0/2.8.x/+download/MG5\_aMC\_v2.8.2.tar.gz  
tar -xvf MG5_aMC_v2.8.2.tar.gz  
cd MG5_aMC_v2_8_2
```



Генератор MadGraph

Структура папок:

```
[esoldato@lxplus052]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1% ll
total 7116
drwxr-xr-x.  4 esoldato zp      2048 Dec 12 22:20 aloha
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 bin
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 doc
-rw-r--r--.  1 esoldato zp 7131844 Dec 12 22:20 doc.tgz
drwxr-xr-x.  3 esoldato zp      6144 Dec 12 22:19 HELAS
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 input
-rw-r--r--.  1 esoldato zp      1877 Dec 12 22:19 INSTALL
lrwxr-xr-x.  1 esoldato zp          16 Apr  1 21:41 LICENSE -> madgraph/LICENSE
drwxr-xr-x. 10 esoldato zp      2048 Dec 12 22:20 madgraph
drwxr-xr-x.  3 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 MadSpin
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp      2048 Dec 12 22:20 mg5decay
drwxr-xr-x.  8 esoldato zp      2048 Dec 12 22:20 models
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 PLUGIN
-rw-r--r--.  1 esoldato zp      1810 Dec 12 22:19 proc_card.dat
-rw-r--r--.  1 esoldato zp      2247 Dec 12 22:19 README
drwxr-xr-x.  8 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 Template
drwxr-xr-x.  7 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 tests
-rw-r--r--.  1 esoldato zp 114604 Dec 12 22:19 UpdateNotes.txt
drwxr-xr-x.  8 esoldato zp      2048 Dec 12 22:20 vendor
-rw-r--r--.  1 esoldato zp         41 Dec 12 22:19 VERSION
[esoldato@lxplus052]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1% █
```

Главное достоинство в том, что генератор уже скомпилирован и может работать прямо «из коробки»!

Генератор MadGraph

Запуск:

`cd bin`

`./mg5_aMC`

```
[esoldato@lxplus048]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin% ./mg5_aMC
*****
*
*           W E L C O M E to
*       M A D G R A P H 5 _ a M C @ N L O
*
*           *           *
*         *       * *       *
*       * * * * 5 * * * *
*         *       * *       *
*           *           *
*
*   VERSION 2.6.5           2018-02-03
*
*   The MadGraph5_aMC@NLO Development Team - Find us at
*   https://server06.fynu.ucl.ac.be/projects/madgraph
*   and
*   http://amcatnlo.web.cern.ch/amcatnlo/
*
*   Type 'help' for in-line help.
*   Type 'tutorial' to learn how MG5 works
*   Type 'tutorial aMCatNLO' to learn how aMC@NLO works
*   Type 'tutorial MadLoop' to learn how MadLoop works
*
*****
```

Генератор MadGraph

Чтобы подготовить $pp \rightarrow ee\gamma$ процесс:

generate pp > e+ e- a

```
MG5_aMC>generate p p > e+ e- a
INFO: Checking for minimal orders which gives processes.
INFO: Please specify coupling orders to bypass this step.
INFO: Trying process: g g > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Trying process: u u~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Process has 8 diagrams
INFO: Trying process: u c~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Trying process: c u~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Trying process: c c~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Process has 8 diagrams
INFO: Trying process: d d~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Process has 8 diagrams
INFO: Trying process: d s~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Trying process: s d~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Trying process: s s~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Process has 8 diagrams
INFO: Process u~ u > e+ e- a added to mirror process u u~ > e+ e- a
INFO: Process c~ c > e+ e- a added to mirror process c c~ > e+ e- a
INFO: Process d~ d > e+ e- a added to mirror process d d~ > e+ e- a
INFO: Process s~ s > e+ e- a added to mirror process s s~ > e+ e- a
4 processes with 32 diagrams generated in 0.122 s
Total: 4 processes with 32 diagrams
MG5_aMC>
```

Далее нужно его записать для дальнейшей генерации:

output [необязательное:название]

Генератор MadGraph

```
MG5_aMC>output
INFO: initialize a new directory: PROC_sm_0
INFO: remove old information in PROC_sm_0
INFO: Organizing processes into subprocess groups
INFO: Generating Helas calls for process: u u~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Processing color information for process: u u~ > e+ e- a @1
INFO: Combined process c c~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1 with process u u~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Generating Helas calls for process: d d~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Reusing existing color information for process: d d~ > e+ e- a @1
INFO: Combined process s s~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1 with process d d~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Creating files in directory P1_qq_ll
INFO: Generating Feynman diagrams for Process: u u~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Generating Feynman diagrams for Process: d d~ > e+ e- a WEIGHTED<=6 @1
INFO: Finding symmetric diagrams for subprocess group qq_ll
Generated helas calls for 2 subprocesses (16 diagrams) in 0.070 s
Wrote files for 42 helas calls in 0.265 s
ALOHA: aloha creates FFV2 routines
ALOHA: aloha creates FFV3 routines
ALOHA: aloha creates FFV1 routines
ALOHA: aloha creates FFV4 routines
ALOHA: aloha creates FFV5 routines
save configuration file to /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0/Cards/me5_configuration.txt
INFO: Use Fortran compiler gfortran
INFO: Use c++ compiler g++
INFO: Generate jpeg diagrams
INFO: Generate web pages
Output to directory /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0 done.
Type "launch" to generate events from this process, or see
/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0/README
Run "open index.html" to see more information about this process.
MG5_aMC>
```

Генератор MadGraph

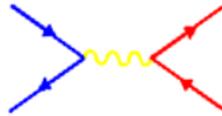
Структура папки процесса:

```
[esoldato@lxlplus052]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0% ll
total 2745
drwxr-xr-x. 3 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 bin
drwxr-xr-x. 2 esoldato zp      4096 Apr  1 23:01 Cards
drwxr-xr-x. 2 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 Events
drwxr-xr-x. 2 esoldato zp      2048 Apr  1 23:01 HTML
-rw-r--r--. 1 esoldato zp      1928 Apr  1 23:01 index.html
drwxr-xr-x. 3 esoldato zp      2048 Dec 12 22:19 lib
-rw-r--r--. 1 esoldato zp 2774508 Apr  1 23:01 madevent.tar.gz
-rw-r--r--. 1 esoldato zp         5 Apr  1 23:01 MGMEVersion.txt
-rw-r--r--. 1 esoldato zp      6747 Dec 12 22:19 README
-rw-r--r--. 1 esoldato zp     5371 Dec 12 22:19 README.systematics
drwxr-xr-x. 7 esoldato zp      4096 Apr  1 23:01 Source
drwxr-xr-x. 3 esoldato zp      2048 Apr  1 23:01 SubProcesses
-rw-r--r--. 1 esoldato zp         6 Dec 12 22:19 TemplateVersion.txt
```

Генератор MadGraph

Можно также через веб-форму:

<http://madgraph.physics.illinois.edu/>



[Generate Process](#)

[Register](#)

[The MadGraph5_aMC@NLO homepage](#)

[UCL](#) [UIUC](#) [Launchpad](#)
by the [MG/ME Development team](#)

[My Database](#)

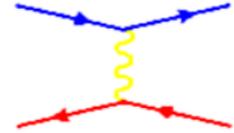
[Cluster Status](#)

[Downloads](#)
(needs [account](#))

[Wiki](#)

[Answers](#)

[Bug reports](#)



Generate processes online using MadGraph5_aMC@NLO

To improve our web services we request that you register. Registration is quick and free. You may register for a password by clicking [here](#).
Please note the correct reference for MadGraph5_aMC@NLO, [arXiv:1405.0301 \[hep-ph\]](#).

Code can be generated either by (only LO process can be generated online):

I. Fill the form:

Model:

[Model descriptions](#)

Input Process:

[Examples/format](#)

Example: p p > w+ j j QED=3, w+ > l+ vl

p and j definitions:

sum over leptons:

Генератор MadGraph

```
# Standard Cuts *
#*****
# Minimum and maximum pt's (for max, -1 means no cut) *
#*****
20.0 = ptj      ! minimum pt for the jets
0.0 = ptb      ! minimum pt for the b
10.0 = pta     ! minimum pt for the photons
10.0 = ptl     ! minimum pt for the charged leptons
0.0 = misset   ! minimum missing Et (sum of neutrino's momenta)
-1.0 = ptjmax  ! maximum pt for the jets
-1.0 = ptbmax  ! maximum pt for the b
-1.0 = ptamax  ! maximum pt for the photons
-1.0 = ptlmax  ! maximum pt for the charged leptons
-1.0 = missetMax ! maximum missing Et (sum of neutrino's momenta)
{} = pt_min_pdg ! pt cut for other particles (use pdg code). Applied on particle and anti-particle
{} = pt_max_pdg ! pt cut for other particles (syntax e.g. {6: 100, 25: 50})
#*****
# Minimum and maximum E's (in the center of mass frame) *
#*****
0.0 = ej      ! minimum E for the jets
0.0 = eb      ! minimum E for the b
0.0 = ea      ! minimum E for the photons
0.0 = el      ! minimum E for the charged leptons
-1.0 = ejmax  ! maximum E for the jets
-1.0 = ebmax  ! maximum E for the b
-1.0 = eamax  ! maximum E for the photons
-1.0 = elmax  ! maximum E for the charged leptons
{} = e_min_pdg ! E cut for other particles (use pdg code). Applied on particle and anti-particle
{} = e_max_pdg ! E cut for other particles (syntax e.g. {6: 100, 25: 50})
#*****
# Maximum and minimum absolute rapidity (for max, -1 means no cut) *
#*****
5.0 = etaj    ! max rap for the jets
-1.0 = etab   ! max rap for the b
2.5 = etaa    ! max rap for the photons
2.5 = etal    ! max rap for the charged leptons
0.0 = etajmin ! min rap for the jets
0.0 = etabmin ! min rap for the b
```

Кинематические отборы



```
cd bin
./generate_events
```

Либо в основной программе
mg5_aMC запустить так:
>launch имя_процесса

Генератор MadGraph

```
[esoldato@lxplus052]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0/bin% ./generate_events
launch in debug mode
*****
*
*           W E L C O M E to
*   M A D G R A P H 5 _ a M C @ N L O
*           M A D E V E N T
*
*           *           *
*         * * * * 5 * * * *
*       * * * * * * *
*     *
*
*   VERSION 2.6.1           20xx-xx-xx
*
*   The MadGraph5_aMC@NLO Development Team - Find us at
*   https://server06.fynu.ucl.ac.be/projects/madgraph
*
*   Type 'help' for in-line help.
*
*****
INFO: load configuration from /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0/Cards/me5_configuration.txt
INFO: load configuration from /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/input/mg5_configuration.txt
INFO: load configuration from /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MadGraph_full/MG5_aMC_v2_6_1/bin/PROC_sm_0/Cards/me5_configuration.txt
Using default eps viewer "evince". Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
Using default web browser "firefox". Set another one in ./input/mg5_configuration.txt
generate_events
The following switches determine which programs are run:
/===== Description =====|===== values =====|===== other options =====\
| 1. Choose the shower/hadronization program | shower = Not Avail. | Please install module | |
| 2. Choose the detector simulation program | detector = Not Avail. | Please install module |
| 3. Choose an analysis package (plot/convert) | analysis = Not Avail. | Please install module |
| 4. Decay onshell particles | madspin = OFF | ON|onshell |
| 5. Add weights to events for new hypp. | reweight = OFF | ON |
\=====|=====|=====
Either type the switch number (1 to 5) to change its setting,
Set any switch explicitly (e.g. type 'madspin=ON' at the prompt)
Type 'help' for the list of all valid option
Type '0', 'auto', 'done' or just press enter when you are done.[60s to answer]
v
```

> 0
> 0

Генератор MadGraph

Ещё одна важная карта (в Cards) – param_card.dat:

```
## PARAM_CARD AUTOMATICALLY GENERATED BY MG5 FOLLOWING UFO MODEL  ####
#####
##                                                                    ##
## Width set on Auto will be computed following the information      ##
## present in the decay.py files of the model.                       ##
## See arXiv:1402.1178 for more details.                             ##
##                                                                    ##
#####

#####
## INFORMATION FOR MASS
#####
Block mass
  5 4.700000e+00 # MB
  6 1.730000e+02 # MT
 15 1.777000e+00 # MTA
 23 9.118800e+01 # MZ
 25 1.250000e+02 # MH
## Dependent parameters, given by model restrictions.
## Those values should be edited following the
## analytical expression. MG5 ignores those values
## but they are important for interfacing the output of MG5
## to external program such as Pythia.
 1 0.000000 # d : 0.0
 2 0.000000 # u : 0.0
 3 0.000000 # s : 0.0
 4 0.000000 # c : 0.0
11 0.000000 # e- : 0.0
12 0.000000 # ve : 0.0
13 0.000000 # mu- : 0.0
14 0.000000 # vm : 0.0
16 0.000000 # vt : 0.0
21 0.000000 # g : 0.0
22 0.000000 # a : 0.0
24 80.419002 # w+ : cmath.sqrt(MZ__exp__2/2. + cmath.sqrt(MZ__exp__4/4. - (aEW*cmath.pi*MZ__exp__2)/(Gf*sqrt__2)))
```

Тут CM!

Тут можно менять параметры модели.

Генератор MadGraph

param_card.dat:

```
#####  
## PARAM_CARD AUTOMATICALLY GENERATED BY MG5 FOLLOWING UFO MODEL  ###  
#####  
##  
## Width set on Auto will be computed following the information  ##  
## present in the decay.py files of the model.  ##  
## See arXiv:1402.1178 for more details.  ##  
##  
#####  
  
#####  
## INFORMATION FOR ANOINPUTS  
#####  
Block anoinputs  
  1 0.000000e+00 # FS0  
  2 0.000000e+00 # FS1  
  3 0.000000e+00 # FM0  
  4 0.000000e+00 # FM1  
  5 0.000000e+00 # FM2  
  6 0.000000e+00 # FM3  
  7 0.000000e+00 # FM4  
  8 0.000000e+00 # FM5  
  9 0.000000e+00 # FM6  
 10 0.000000e+00 # FM7  
 11 2.900000e-12 # FT0  
 12 0.000000e+00 # FT1  
 13 0.000000e+00 # FT2  
 14 0.000000e+00 # FT3  
 15 0.000000e+00 # FT4  
 16 0.000000e+00 # FT5  
 17 0.000000e+00 # FT6  
 18 0.000000e+00 # FT7  
 19 0.000000e+00 # FT8  
 20 0.000000e+00 # FT9  
  
#####  
## INFORMATION FOR CKMBLOCK
```

Тут не CM, а какая-то UFO (*Universal Feynrules Output*) модель со своими параметрами.

Тут можно менять параметры модели.

Генератор MadGraph

```
INFO: finish refine
refine 10000
Creating Jobs
INFO: Refine results to 10000
INFO: Generating 10000.0 unweighed events.
INFO: Effective Luminosity 1318.52048816 pb^-1
INFO: need to improve 0 channels
Current estimate of cross-section: 9.10111 +- 0.0215787166002
      P1_qq_ll
INFO: Idle: 0, Running: 0, Completed: 0 [ current time: 23h17 ]
INFO: Combining runs
INFO: finish refine
INFO: Combining Events
=== Results Summary for run: run_01 tag: tag_1 ===

Cross-section : 9.101 +- 0.02158 pb
Nb of events : 10000
```

Results in the sm for $p p > e^+ e^- a$

Available Results

Run	Collider	Banner	Cross section (pb)	Events	Data	Output	Action
run_01	$p p$ 6500.0 x 6500.0 GeV	tag_1	9.101 ± 0.022	10000	parton madevent	LHE	<input type="button" value="remove run"/> <input type="button" value="launch detector simulation"/>

Генератор MadGraph: что ещё можно?

- При выходе новой версии программа предлагает вам её установить и вполне успешно устанавливает.
- Мэдграф может устанавливать сторонние компоненты-программы сам! Например, он может поставить генератор Pythia8 или библиотеку структурных функций LHAPDF. Для этого лишь нужно:

```
MG5 aMC>install lhpdf6
```

- При установленных сторонних компонентах данная программа может реализовывать целую цепь моделирования: после начальной генерации в Madgraph подавать события в Pythia или Herwig для адронизации и сопутствующей генерации, а дальше в симулятор детектора типа PGS или DELPHES. Это настраивается в начале генерации:

```
The following switches determine which programs are run:
/===== Description ===== values ===== other options =====\
| 1. Choose the shower/hadronization program      shower = Pythia8      OFF|Pythia6
| 2. Choose the detector simulation program        detector = Delphes    OFF|PGS
| 3. Choose an analysis package (plot/convert)    analysis = ExRoot     OFF
| 4. Decay onshell particles                      madspin = OFF         ON|onshell
| 5. Add weights to events for new hypp.          reweight = OFF        ON
\===== Description ===== values ===== other options =====/
Either type the switch number (1 to 5) to change its setting,
```

- Поддерживает так называемые «гридпаки», которые содержат готовый к генерации событий процесс (все интегрирования уже были проведены заранее и матричные элементы собраны).
- [и многое другое...](#)

Форум поддержки:

<https://answers.launchpad.net/mg5amcnlo/>

Пакет LHAPDF

Пакет предоставляет возможность простого подключения дополнительных (современных) PDF сетов (наборов структурных функций партонов) к генераторам.

Сайт: <https://lhapdf.hepforge.org/>

Требует компилятор с поддержкой C++ 11.

Инсталляция происходит обычным образом:

```
tar -xvzf lhpdf-v.r.p.tar.gz (рекомендуется: 6.1.6)
```

```
cd lhpdf-v.r.p
```

```
./configure --prefix=/path/to/directory
```

```
make
```

```
make install
```

Однако, директория в префиксе не должна совпадать с директорией **lhpdf-v.r.p**

PDF наборы больше не поставляются в архиве, а скачиваются и инсталлируются по запросу, например:

```
./lhpdf install MMHT2014nlo68cl
```

Список всех доступных PDF можно посмотреть:

```
./lhpdf ls
```

Или тут: <https://lhapdf.hepforge.org/pdfsets>

Генератор MadGraph: задание

Процесс:

$pp \rightarrow Z\gamma \rightarrow ee\gamma$

Получить:

σ (LO с точностью сечения 0.5%)

σ (PDF = CT14nlo, MMHT2014nlo68cl, NNPDF30_nlo_as_0118) с помощью [lhapdf](#)

σ (photonptmin=20GeV,30GeV,40GeV,50GeV,60GeV; $70 < m_Z < 110$ GeV)

Нарисовать график сечений в зависимости от порога.

* σ (NLO с точностью сечения 1%)

Генератор Madgraph: задание 2

Процесс ваш:

$pp \rightarrow ??$

Получить:

$\sigma(\text{LO})(\text{PDF} = \text{NNPDF30_lo_as_0118})$

Отборы получить у преподавателя.

Варианты:

1) $pp \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l a$

2) $pp \rightarrow e^+ \nu_e a$

3) $pp \rightarrow t \bar{t}$

4) $pp \rightarrow \nu_l \bar{\nu}_l a j$

5) $pp \rightarrow a j$

6) $pp \rightarrow e^+ e^-$

7) $pp \rightarrow t a^- \bar{\nu}_t a$

8) $pp \rightarrow \mu^+ \bar{\nu}_\mu$

9) $pp \rightarrow a a j$

10) $pp \rightarrow \mu^+ \mu^-$

11) $pp \rightarrow t \bar{t} a$

Генератор MadGraph: “приквел”

Что до генератора?

Feynrules – пакет основанный на программе Mathematica, который позволяет вычислять правила Фейнмана в импульсном пространстве для любой физической модели КТП

<http://feynrules.irmp.ucl.ac.be/>

Кроме описания, на сайте можно найти много популярных моделей.

Например, СМ:

<http://feynrules.irmp.ucl.ac.be/attachment/wiki/StandardModel/SM.fr>

Там прописаны группы симметрий, частицы переносчики взаимодействий, а также фермионы, параметры модели (которые потом можно будет менять во время генерации) и, наконец, сам Лагранжиан.

Используя эти файлы с пакетом Feynrules, можно получить модель, которая затем импортируется в генератор (например, MadGraph) и уже на основе этой модели разыгрывать тот или иной процесс.

Что это даёт?

А это даёт огромные возможности для теоретиков и феноменологов:

возможно построить свою модель задав вид Лагранжиана, группы симметрий, взаимодействия, частицы и т.д. А после этого **разыгрывать любые процессы в этой новой модели: получать сечения, события**, которые можно использовать для будущего сравнения с данными.

Генератор MadGraph: “приквел”

- Описание взаимодействий, симметрий и параметров модели:

```
M$GaugeGroups = {
  U1Y == {
    Abelian          -> True,
    CouplingConstant -> g1,
    GaugeBoson       -> B,
    Charge            -> Y
  },
  (* External parameters *)
  aEWM1 == {
    ParameterType    -> External,
    BlockName        -> SMINPUTS,
    OrderBlock       -> 1,
    Value            -> 127.9,
    InteractionOrder -> {QED,-2},
    Description      -> "Inverse of the EW coupling constant at the Z pole"
  },
}
```

- Описание частиц: бозонов взаимодействий и фермионов:

```
(* Gauge bosons: physical vector fields *)
V[1] == {
  ClassName      -> A,
  SelfConjugate  -> True,
  Mass           -> 0,
  Width         -> 0,
  ParticleName   -> "a",
  PDG           -> 22,
  PropagatorLabel -> "a",
  PropagatorType -> W,
  PropagatorArrow -> None,
  FullName       -> "Photon"
},
F[2] == {
  ClassName      -> l,
  ClassMembers   -> {e, mu, ta},
  Indices        -> {Index[Generation]},
  FlavorIndex    -> Generation,
  SelfConjugate  -> False,
  Mass           -> {Ml, {Me,5.11*^-4}, {MMU,0.10566}, {MTA,1.777}},
  Width         -> 0,
  QuantumNumbers -> {Q -> -1, LeptonNumber -> 1},
  PropagatorLabel -> {"l", "e", "mu", "ta"},
  PropagatorType -> Straight,
  PropagatorArrow -> Forward,
  PDG           -> {11, 13, 15},
  ParticleName   -> {"e-", "mu-", "ta-"},
  AntiParticleName -> {"e+", "mu+", "ta+"},
  FullName       -> {"Electron", "Muon", "Tau"}
},
}
```

- Лагранжиан модели:

```
LGauge := Block[{mu,nu,ii,aa},
  ExpandIndices[-1/4 FS[B,mu,nu] FS[B,mu,nu] - 1/4 FS[Wi,mu,nu,ii] FS[Wi,mu,nu,ii] - 1/4 FS[G,mu,nu,aa] FS[G,mu,nu,aa], FlavorExpand->SU2W]];
LSM:= LGauge + LFermions + LHiggs + LYukawa + LGhost;
```

Генератор MadGraph: “приквел”

Когда уже есть своя UFO модель?

Подгрузить другую модель очень просто:

```
MG5_aMC>import model SM_LT012_UFO
INFO: Change particles name to pass to MG5 convention
Kept definitions of multiparticles l- / j / vl / l+ / p / vl~ unchanged
Defined multiparticle all = g u c d s u~ c~ d~ s~ a ve vm vt e- mu- ve~ vm~ vt~ e+ mu+ t b t~ b~ z w+ h w- ta- ta+
MG5_aMC>
```

Можно определить свои собственные «мультичастицы»:

```
MG5_aMC>define eall = e+ e-
Defined multiparticle eall = e- e+
MG5_aMC>
```

Ну а дальше всё так же:

>generate...

>add process ...

Генератор MadGraph: “сиквел”

Что после генератора?

Во-первых это другой генератор для разыгрывания партонного ливня, подложки и адронизации.

Это может быть [Pythia](#), [Herwig](#) (реализована поддержка в [Madgraph](#))

Во-вторых это симуляция событий в детекторе и откликов на них (то есть срабатывания отдельных частей детектора и т.п.

Это может быть [Geant4](#), [PGS](#), [DELPHES](#) (реализована поддержка в [MadGraph](#), однако первый очень громоздок для простых феноменологических задач).

Также стоит поставить какой-нибудь пакет для первичной обработки.

Например, *ExRootAnalysis* или *MadAnalysis4*. Тогда в конце у вас будет root файл, с которым уже очень просто работать.

Примеры в помощь:

<https://cp3.irmp.ucl.ac.be/projects/delphes/browser/examples>

* * *

Генератор MCFM

Генератор (или калькулятор) **MCFM** (*Monte Carlo for FeMtobarn processes*) – программа, генерирующая события на уровне партонов (parton level), т.е. это так называемый МЭ генератор.

Разработан в первую очередь для расчета сечений для различных процессов уровня фемтобарн на адрон-адронных коллайдерах.

Для большинства процессов матричные элементы включают в себя более уточнённый расчет сечений – *следующий порядок теории возмущений* (NLO) и учитывают спиновые корреляции. Некоторые процессы также включают NNLO расчёт КХД поправок и также электрослабые поправки (*в версиях 8.1 и позднее*).

Хотя генератор написан на языке Фортран – до сих пор не только поддерживается, но и широко используется для теоретических предсказаний сечений процессов фемтобарной области.

В частности, использовался для экспериментов **Тэватрона** и сейчас используется в экспериментах на **LHC**. Даёт наиболее точные предсказания для сечений, упоминается во многих статьях ATLAS и CMS.

Последняя версия **MCFM-9.1** (апрель 2020)

<http://mcfm.fnal.gov/>

Генератор MCFM: установка

Скачиваем tar архив, распаковываем.

Можно устанавливать с дополнительными пакетами ([LHAPDF](#), [CERNLIB](#)) или без.

(для доп. структурных функций, доп. возможностей гистограммирования)

(Нужен компилятор Fortran90 и gcc с поддержкой C++11)

```
source /cvmfs/sft.cern.ch/lcg/contrib/gcc/6.4.0/x86_64-slc6/setup.sh
```

```
wget https://mcfm.fnal.gov/MCFM-8.1.tar.gz
```

```
tar -xvf MCFM-8.1.tar.gz
```

```
cd MCFM-8.1
```

```
./Install
```

```
make
```

MCFM поддерживает мульти-процессинг и использует все доступные ядра.

Можно скомпилировать с поддержкой MPI для этого в мэйкфайле: **USEMPI = YES**

Если нужно установить **LHAPDF** – нужно прописать путь к нему в makefile, там же установить флаг на: PDFROUTINES = LHAPDF и сделать 'make'

```
[esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato% wget https://mcfm.fnal.gov/MCFM-8.1.tar.gz
--2018-03-31 22:35:19-- https://mcfm.fnal.gov/MCFM-8.1.tar.gz
Resolving mcfm.fnal.gov... 131.225.105.45, 2620:6a:0:105::105:45
Connecting to mcfm.fnal.gov[131.225.105.45]:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 11303950 (11M) [application/x-gzip]
Saving to: "MCFM-8.1.tar.gz"

100%[=====>] 11,303,950 3.97M/s in 2.7s

2018-03-31 22:35:22 (3.97 MB/s) - "MCFM-8.1.tar.gz" saved [11303950/11303950]
```

```
[esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato% tar -xvf MCFM-8.1.tar.gz
MCFM-8.1/
MCFM-8.1/depends.mk
MCFM-8.1/TensorReduction/
MCFM-8.1/Doc/
MCFM-8.1/makefile
MCFM-8.1/Bin/
MCFM-8.1/Install
MCFM-8.1/qcdloop-2.0.2/
MCFM-8.1/src/
MCFM-8.1/CHANGELOG.md
MCFM-8.1/README
MCFM-8.1/src/ZH1jet/
MCFM-8.1/src/Integrate/
MCFM-8.1/src/ZHZZ/
MCFM-8.1/src/Zgamjet/
MCFM-8.1/src/Zb/
MCFM-8.1/src/W1jet/
MCFM-8.1/src/qcHWW/
MCFM-8.1/src/SingletopZ/
```

```
----> MCFM compiled with LHAPDF routines <----
----> MCFM compiled with histogram output only <----
----> Executable is mcfm_omp <----
[esoldato@lxplus084]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MCFM/MCFM-8.1%
```

Генератор MCFM: структура

После установки у нас есть папки:

Bin – директория, содержащая исполняемый файл `mcfm_omp` и конфигурационный файл `input.DAT` (его можно и нужно править!)

Bin/Pdfdata – директория, содержащая файлы встроенных структурных функций

Doc – документация

obj/obj_omp – объектные файлы, произведённые компилятором

QCDLoop – файлы кода-источника фортрановской библиотеки QCDLoop версии 2.0.2 (служебная подпрограмма)

src – файлы фортрановского кода-источника

TensorReduction – основной код для сокращения тензоров (служебная подпрограмма)

```
drwxr-xr-x. 20 esoldato zp 16384 Mar 24 16:35 Bin
-rw-r--r--. 1 esoldato zp 2324 Nov 9 20:10 CHANGELOG.md
-rw-r--r--. 1 esoldato zp 351651 Dec 11 17:10 depends.mk
drwxr-xr-x. 2 esoldato zp 2048 Jan 15 22:50 Doc
-rwxr-xr-x. 1 esoldato zp 2076 Dec 18 18:51 Install
-rw-r--r--. 1 esoldato zp 59650 Feb 22 21:20 makefile
-rw-r--r--. 1 esoldato zp 59650 Feb 1 16:13 makefile~
drwxr-xr-x. 2 esoldato zp 102400 Feb 22 22:07 obj
drwxr-xr-x. 11 esoldato zp 2048 Jan 15 22:53 qcdloop-2.0.2
-rw-r--r--. 1 esoldato zp 3900 Dec 11 18:23 README
drwxr-xr-x. 116 esoldato zp 6144 Jan 15 22:49 src
drwxr-xr-x. 7 esoldato zp 2048 Jan 15 22:50 TensorReduction
[esoldato@lxplus084]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MCFM/MCFM-8.1% ./Install
```

Все файлы кода, которые возможно понадобится исправлять лежат в `src/User`

Исправлять проще так: переписать файл в папку установки **MCFM**. Оттуда компилятор возьмёт изменённый файл предпочтительнее всем другим расположениям.

Генератор MCFM: Запуск

Для запуска нужно быть в папке Bin и исполнить:

```
./mcfm_omp [mydir] [myfile.DAT]
```

По умолчанию подгружается файл **input.DAT** в той же директории

Мануал: <https://mcfm.fnal.gov/mcfm.pdf>

input.DAT – файл, где находятся параметры настройки.

Каждый параметр входного файла введён в отдельной строке так:

```
value [parameter]
```

Наиболее важные параметры:

writeroot – флаг, включающий построение root скрипта для рисования гистограмм (запускаем его как неименованный и получаем root файл)

nproc – задание номера процесса (см. следующие слайды)

part – способ вычисления сечения. Несколько возможных значений

lord(lo) – вычисляется сечение на LO уровне.

virt – вычисляются виртуальные (петлевые) вклады к NLO результату

real – в добавление к петлевым диаграммам, полные NLO результаты включают в себя вклады от диаграмм с реальной глюонной эмиссией

Генератор MCFM: процессы

nproc	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \dots$	Order
1	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4))$	NNLO
6	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4))$	NNLO
11	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{f}(p_5)$	NLO
12	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5)$	NLO
13	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{c}(p_5)$	NLO
14	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{c}(p_5)[\text{massless}]$	LO
16	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{f}(p_5)$	NLO
17	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{b}(p_5)$	NLO
18	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{c}(p_5)$	NLO
19	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{c}(p_5)[\text{massless}]$	LO
20	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{b}(p_6)[\text{massive}]$	NLO
21	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6)$	NLO
22	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6)$	NLO
23	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
24	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
25	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6)[\text{massive}]$	NLO
26	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6)$	NLO
27	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6)$	NLO
28	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
29	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
31	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4))$	NNLO
310	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) [\text{photon induced}]$	LO
32	$Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4)))$	NNLO
33	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4))$	NLO
34	$Z(\rightarrow 3 \times (d(p_5) + \bar{d}(p_6)))$	NLO
35	$Z(\rightarrow 2 \times (u(p_5) + \bar{u}(p_6)))$	NLO
36	$Z \rightarrow t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{b}(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$	LO
41	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{f}(p_5)$	NLO
42	$Z_0(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \underline{f}(p_5)$	NLO
43	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + \underline{f}(p_5)$	NLO
44	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6)$	NLO
45	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
46	$Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6)$	NLO
47	$Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \underline{f}(p_5) + \underline{f}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
50	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{b}(p_6)[\text{massive}]$	LO
51	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6)$	NLO
52	$Z_0(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6)$	NLO
53	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6)$	NLO
54	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{b}(p_5) + \underline{\bar{b}}(p_6) + \underline{f}(p_7)$	LO
56	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \underline{c}(p_5) + \underline{\bar{c}}(p_6)$	NLO
61	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(\rightarrow e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6))$	NLO
62	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(\rightarrow q(p_5) + \bar{q}(p_6))$	NLO
63	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(\rightarrow q(p_5) + \bar{q}(p_6))[\text{rad.in.dk}]$	NLO
64	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4))W^+(\rightarrow q(p_5) + \bar{q}(p_6))$	NLO
65	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4))W^+(\rightarrow q(p_5) + \bar{q}(p_6))[\text{rad.in.dk}]$	NLO
66	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(\rightarrow e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6)) + \underline{f}(p_7)$	LO
69	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(\rightarrow e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6))[\text{no pol}]$	LO
71	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6))$	NLO
72	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu_e(p_5) + \bar{\nu}_e(p_6)))$	NLO
73	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NLO
74	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (d(p_5) + \bar{d}(p_6)))$	NLO
75	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow 2 \times (u(p_5) + \bar{u}(p_6)))$	NLO
76	$W^-(\rightarrow \mu^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6))$	NLO
77	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu_e(p_5) + \bar{\nu}_e(p_6)))$	NLO
78	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NLO
79	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (d(p_5) + \bar{d}(p_6)))$	NLO
80	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow 2 \times (u(p_5) + \bar{u}(p_6)))$	NLO
81	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6))$	NLO
82	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))$	NLO
83	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NLO
84	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))$	NLO
85	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6))) + \underline{f}(p_7)$	LO
86	$Z(\rightarrow \mu^-(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6))[\text{no gamma}^*]$	NLO
87	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))[\text{no gamma}^*]$	NLO
88	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))[\text{no gamma}^*]$	NLO
89	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))[\text{no gamma}^*]$	NLO
90	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6))$	NLO
91	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NNLO
92	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow W^+(\nu(p_5), e^+(p_6))W^-(e^-(p_7), \bar{\nu}(p_8)))$	NNLO
93	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow Z(e^-(p_5), e^+(p_6)) + Z(\mu^-(p_7), \mu(p_8)))$	NNLO
94	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow \gamma(p_5) + \gamma(p_6))$	NNLO
96	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + H(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NNLO
97	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + H(\rightarrow W^+(\nu(p_5), e^+(p_6))W^-(e^-(p_7), \bar{\nu}(p_8)))$	NNLO
98	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + H(\rightarrow Z(e^-(p_5), e^+(p_6)) + Z(\mu^-(p_7), \mu^+(p_8)))$	NNLO
99	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + H(\rightarrow \gamma(p_5) + \gamma(p_6))$	NNLO

Генератор MCFM: процессы II

101	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NNLO	136	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + b(p_5)(+g(p_6))$	NLO
102	$Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + H(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NLO	137	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + \bar{b}(p_5)(+b(p_6))$	(REAL)
103	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + H(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6))$	NLO	138	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + b(p_5) + \bar{b}(p_6)$ [both observed]	(REAL)
104	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow \gamma(p_5) + \gamma(p_6))$	NNLO	141	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$	NLO
105	$Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + H(\rightarrow \gamma(p_5) + \gamma(p_6))$	NLO	142	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$ [rad.in.dk]	NLO
106	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow W^+(\nu(p_5), e^+(p_6))W^-(e^-(p_7), \bar{\nu}(p_8)))$	NNLO	143	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8)) + f(p_9)$	LO
107	$Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + H(\rightarrow W^+(\nu(p_5), e^+(p_6))W^-(e^-(p_7), \bar{\nu}(p_8)))$	NLO	144	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$ (uncorr)	NLO
108	$Z(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + H(\rightarrow W^+(\nu(p_5), e^+(p_6))W^-(e^-(p_7), \bar{\nu}(p_8)))$	NLO	145	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$ [rad.in.dk],uncorr	NLO
109	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow Z(e^-(p_5), e^+(p_6)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_7), \mu^+(p_8)))$	NLO	146	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + q(p_7) + \bar{q}(p_8))$	NLO
110	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + H(\rightarrow \tau^-(p_5)\tau^+(p_6))$	NNLO	147	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + q(p_7) + \bar{q}(p_8))$ [rad.in.top.dk]	NLO
111	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4))$	NNLO	148	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + q(p_7) + \bar{q}(p_8))$ [rad.in.W.dk]	NLO
112	$H(\rightarrow \tau^-(p_3) + \tau^+(p_4))$	NNLO	149	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$	NLO
113	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))$	NLO	150	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$ [rad.in.top.dk]	NLO
114	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(q(p_5) + \bar{q}(p_6)))$	NLO	151	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8))$ [rad.in.W.dk]	NLO
115	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(q(p_5) + \bar{q}(p_6)))$ [rad.in.dk]	NLO	157	$t\bar{t}$ [for total Xsect]	NLO
116	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6)))$	NLO	158	$b\bar{b}$ [for total Xsect]	NLO
117	$H(\rightarrow Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6)))$	NLO	159	$c\bar{c}$ [for total Xsect]	NLO
118	$H(\rightarrow Z(\rightarrow \mu^-(p_3) + \mu^+(p_4)) + Z(\rightarrow b(p_5) + \bar{b}(p_6)))$	NLO	160	$t\bar{t} + g$ [for total Xsect]	LO
119	$H(\rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4))$	NNLO	161	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + q(p_6)$ [t-channel]	NLO
120	$H(\rightarrow Z(\rightarrow \mu^-(p_3) + \mu^+(p_4)) + \gamma(p_5))$	NLO	162	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + q(p_6)$ [decay]	NLO
121	$H(\rightarrow Z(\rightarrow 3 \times (\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \gamma(p_5))$	NLO	163	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + q(p_6)$ [t-channel] $mb > 0$	NLO
123	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))$ [t, b loops, exact]	LO	166	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + q(p_6)$ [t-channel]	NLO
124	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))$ [only H, gg→WW int]	LO	167	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + q(p_6)$ [rad.in.dk]	NLO
125	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6)))$ [$ H ^2$ and H,gg→WW int]	LO	168	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + q(p_6)$ [t-channel] $mb > 0$	NLO
126	$W^+(\nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^-(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6))$ [gg only, (H + gg→WW) squared]	LO	171	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{b}(p_6)$ [s-channel]	NLO
128	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6)))$ [t, b loops, exact]	LO	172	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{b}(p_6)$ [decay]	NLO
129	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6)))$ [only H, gg→ZZ int]	LO	176	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + b(p_6)$ [s-channel]	NLO
130	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6)))$ [$ H ^2$ and H,gg→ZZ int]	LO	177	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + b(p_6)$ [rad.in.dk]	NLO
131	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6))$ [gg only, $ H + gg \rightarrow ZZ ^2$]	LO	180	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + t(p_5)$	NLO
132	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6))$ [(gg→ZZ) squared]	LO	181	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + t(\nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7))$	NLO
1281	$H(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4))\nu_e(p_5) + \bar{\nu}_e(p_6)$ [top, bottom loops, exact]	LO	182	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + t(\nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7))$ [rad.in.dk]	NLO
1311	$e^-(p_3) + e^+(p_4) + \nu_e(p_5) + \bar{\nu}_e(p_6)$ [gg only, (H + gg→ZZ) squared]	LO	183	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + t(\nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7)) + b(p_8)$	LO
1321	$e^-(p_3) + e^+(p_4) + \nu_e(p_5) + \bar{\nu}_e(p_6)$ [(gg→ZZ) squared]	LO	184	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + t(p_5) + b(p_6)$ [massive b]	LO
1282	$H(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4) + \nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6))$ [top, bottom loops, exact]	LO	185	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(p_5)$	NLO
1312	$e^-(p_3) + e^+(p_4) + \nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6)$ [gg only, (H + gg→ZZ) squared]	LO	186	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6) + \bar{b}(p_7))$	NLO
1322	$e^-(p_3) + e^+(p_4) + \nu(p_5) + \bar{\nu}(p_6)$ [(gg→ZZ) squared]	LO	187	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6) + \bar{b}(p_7))$ [rad.in.dk]	NLO
133	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5) + \mu^+(p_6) + f(p_7))$ [intf,no p_7 cut]	LO			

Генератор MCFM: процессы III

190	$f(p_3) + f(p_4)$	LO	231	$t(p_3) + \bar{b}(p_4) + q(p_5)$ [t-channel]	NLO
191	$f(p_3) + f(p_4)$ [mixed QCD/EW]	NLO	232	$t(p_3) + \bar{b}(p_4) + q(p_5) + q(p_6)$ [t-channel]	LO
200	$H + f(p_5)$, see section 10.38	NLO	233	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{b}(p_6) + q(p_7)$ [t-channel]	NLO
201	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5)$ [full mt dep.]	LO	234	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{b}(p_6) + q(p_7)$ [t-channel, rad.in.dk]	NLO
202	$H(\rightarrow \tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5)$ [full mt dep.]	LO	235	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{b}(p_6) + q(p_7) + f(p_8)$ [t-channel]	LO
203	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5)$	NNLO	236	$\bar{t}(p_3) + b(p_4) + q(p_5)$ [t-channel]	NLO
204	$H(\rightarrow \tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5)$	NNLO	237	$\bar{t}(p_3) + b(p_4) + q(p_5) + q(p_6)$ [t-channel]	LO
205	$H(\rightarrow Z(\mu^-(p_3) + \mu^+(p_4)) + \gamma(p_5)) + f(p_5)$	NLO	238	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + b(p_6) + q(p_7)$ [t-channel]	NLO
206	$A(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5)$ [full mt dep.]	LO	239	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + b(p_6) + q(p_7)$ [t-channel, rad.in.dk]	NLO
207	$A(\rightarrow \tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5)$ [full mt dep.]	LO	240	$\bar{t}(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4) + \bar{b}(p_5)) + b(p_6) + q(p_7) + f(p_8)$ [t-channel]	LO
208	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3), e^+(p_4))W^-(e^-(p_5), \bar{\nu}(p_6))) + f(p_7)$	NLO	251	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^+(\rightarrow \nu(p_5) + e^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$	LO
209	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6))) + f(p_7)$	NLO	252	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + W^+(\rightarrow \nu(p_5) + e^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8) + f(p_9)$	LO
210	$H(\rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + f(p_5)$	NNLO	253	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$	LO
211	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [WBF]	NLO	254	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$	LO
212	$H(\rightarrow \tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [WBF]	NLO	255	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6)) + b(p_7) + f(p_8)$	LO
213	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3), e^+(p_4))W^-(e^-(p_5), \bar{\nu}(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$ [WBF]	NLO	256	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6)) + b(p_7) + f(p_8)$	LO
214	$H(\rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3), e^+(p_4)) + Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$ [WBF]	NLO	259	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6)) + b(p_7) + b(p_8)$	LO
215	$H(\rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [WBF]	NLO	260	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + Z(\rightarrow e^-(p_5) + e^+(p_6)) + b(p_7) + b(p_8)$	LO
216	$H(\rightarrow b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$ [WBF+jet]	LO	261	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5)$	NLO
217	$H(\rightarrow \tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$ [WBF+jet]	LO	262	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5)$	NLO
221	$\tau^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}_e(p_4) + \nu_\tau(p_5)) + \tau^+(\rightarrow \bar{\nu}_\tau(p_6) + \nu_e(p_7) + e^+(p_8))$	LO	263	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{b}(p_5) + b(p_6)$ [1 b-tag]	LO
220	$Z(\rightarrow e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO	264	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{c}(p_5) + c(p_6)$ [1 c-tag]	LO
2201	$Z(\rightarrow e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO	266	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + \bar{b}(p_6)$	NLO
222	$Z(\rightarrow e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \nu_\mu(p_5), \bar{\nu}_\mu(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO	267	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5) + \bar{c}(p_6)$	NLO
2221	$Z(\rightarrow e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \nu_\mu(p_5), \bar{\nu}_\mu(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO			
224	$W^-(e^-(p_3), \bar{\nu}_e(p_4))W^+(\nu_\mu(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO			
2241	$W^-(e^-(p_3), \bar{\nu}_e(p_4))W^+(\nu_\mu(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO			
226	$e^-(p_3) + e^+(p_4) + \nu_e(p_5) + \bar{\nu}_e(p_6) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO			
228	$W^+(\nu_e(p_3), e^+(p_4))W^+(\nu_\mu(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO			
2281	$W^+(\nu_e(p_3), e^+(p_4))W^+(\nu_\mu(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO			
229	$W^-(e^-(p_3), \bar{\nu}_e(p_4))W^-(\mu^-(p_5), \bar{\nu}_\mu(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO			
2291	$W^-(e^-(p_3), \bar{\nu}_e(p_4))W^-(\mu^-(p_5), \bar{\nu}_\mu(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO			
223	$W^+(\nu_e(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO			
2231	$W^+(\nu_e(p_3), e^+(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO			
225	$W^-(e^-(p_3), \bar{\nu}_e(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [weak]'	LO			
2251	$W^-(e^-(p_3), \bar{\nu}_e(p_4))Z(\rightarrow \mu^-(p_5), \mu^+(p_6)) + f(p_7) + f(p_8)$ [strong]'	LO			

Генератор MCFM: процессы IV

270	$H(\gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [in heavy top limit]	NLO			
271	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [in heavy top limit]	NLO			
272	$H(\tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [in heavy top limit]	NLO			
273	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3), e^+(p_4))W^-(e^-(p_5), \bar{\nu}(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$	NLO			
274	$H(\rightarrow Z(e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\mu^-(p_5), \mu^+(p_6))) + f(p_7) + f(p_8)$	NLO			
275	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$ [in heavy top limit]	LO			
276	$H(\tau^-(p_3) + \tau^+(p_4)) + f(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$ [in heavy top limit]	LO			
278	$H(\rightarrow W^+(\nu(p_3), e^+(p_4))W^-(e^-(p_5), \bar{\nu}(p_6))) + f(p_7) + f(p_8) + f(p_9)$	LO			
279	$H(\rightarrow Z(e^-(p_3), e^+(p_4))Z(\mu^-(p_5), \mu^+(p_6))) + f(p_7) + f(p_8) + f(p_9)$	LO			
280	$\gamma(p_3) + f(p_4)$	NLO+F			
282	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + f(p_4) + f(p_5)$	LO			
283	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + b(p_4)$	LO			
284	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + c(p_4)$	LO			
285	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4)$	NLO+F, NNLO			
286	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4) + f(p_5)$	LO			
287	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4) + \gamma(p_5)$	NLO+F			
289	$f(p_1) + f(p_2) \rightarrow \gamma(p_3) + \gamma(p_4) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6)$	NLO+F			
290	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5)$	NLO+F			
292	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$	LO			
295	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \gamma(p_5)$	NLO+F			
297	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$	LO			
300	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5)$	NNLO			
301	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6)$	NLO +F			
302	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$	NLO			
303	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6) + f(p_7)$	LO			
304	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$	LO			
305	$Z(\rightarrow 3(\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \gamma(p_5)$	NNLO			
306	$Z(\rightarrow 3(\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6)$	NLO + F			
307	$Z(\rightarrow 3(\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \gamma(p_5) + f(p_6)$	NLO			
308	$Z(\rightarrow 3(\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6) + f(p_7)$	LO			
309	$Z(\rightarrow 3(\nu(p_3) + \bar{\nu}(p_4))) + \gamma(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$	LO			
311	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + f(p_6)$	LO			
316	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + b(p_5) + f(p_6)$	LO			
321	$f(p_1) + c(p_2) \rightarrow W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5) + f(p_6)$	LO			
326	$f(p_1) + c(p_2) \rightarrow W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + c(p_5) + f(p_6)$	LO			
331	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5) + f(p_6)$ [c-s interaction]	LO			
336	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + c(p_5) + f(p_6)$ [c-s interaction]	LO			
341	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + f(p_6)$ [+f(p_7)]	NLO			
342	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + f(p_6)$ [+b(p_7)]	(REAL)			
346	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$	LO			
347	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + f(p_6) + \bar{b}(p_7)$	LO			
351	$f(p_1) + c(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5) + f(p_6)$ [+f(p_7)]				NLO
352	$f(p_1) + c(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5) + f(p_6)$ [+c(p_7)]				(REAL)
356	$f(p_1) + c(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + c(p_5) + f(p_6) + f(p_7)$				LO
357	$f(p_1) + c(p_2) \rightarrow Z(\rightarrow c^-(p_3) + c^+(p_4)) + c(p_5) + f(p_6) + \bar{c}(p_7)$				LO
361	$c(p_1) + \bar{s}(p_2) \rightarrow W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4))$ [mc=0 in NLO]				NLO
362	$c(p_1) + \bar{s}(p_2) \rightarrow W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4))$ [massless corrections only]				NLO
363	$c(p_1) + \bar{s}(p_2) \rightarrow W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4))$ [massive charm in real]				NLO
370	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6)$				LO
371	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + \gamma(p_5) + \gamma(p_6)$				LO
401	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5)$ [1,2 or 3 jets, 4FNS]				NLO
402	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + (b + \bar{b})(p_5)$ [1 or 2 jets, 4FNS]				NLO
403	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + \bar{b}(p_6)$ [2 or 3 jets, 4FNS]				NLO
406	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + b(p_5)$ [1,2 or 3 jets, 4FNS]				NLO
407	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + (b + \bar{b})(p_5)$ [1 or 2 jets, 4FNS]				NLO
408	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + b(p_5) + \bar{b}(p_6)$ [2 or 3 jets, 4FNS]				NLO
411	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + f(p_6)$ [5FNS]				NLO
416	$f(p_1) + b(p_2) \rightarrow W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + b(p_5) + f(p_6)$ [5FNS]				NLO
421	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5)$ [1,2 or 3 jets, 4FNS+5FNS]				NLO
426	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + b(p_5)$ [1,2 or 3 jets, 4FNS+5FNS]				NLO
431	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + b(p_5) + \bar{b}(p_6) + f(p_7)$ [massive]				LO
436	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + b(p_5) + \bar{b}(p_6) + f(p_7)$ [massive]				LO
500	$W^+(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4)) + t(p_5) + \bar{t}(p_6)$ [massive]				NLO
501	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8)) + W^+(\nu(p_9), \mu^+(p_{10}))$				NLO
502	(same as process 501 but with radiation in decay)				NLO
503	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + q(p_7) + q(p_8)) + W^+(\nu(p_9), \mu^+(p_{10}))$				NLO
506	$t(\rightarrow q(p_3) + q(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8)) + W^+(\nu(p_9), \mu^+(p_{10}))$				NLO
510	$W^-(\rightarrow e^-(p_3) + \bar{\nu}(p_4)) + t(p_5) + \bar{t}(p_6)$ [massive]				NLO
511	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8)) + W^-(\mu^-(p_9), \bar{\nu}(p_{10}))$				NLO
512	(same as process 511 but with radiation in decay)				NLO
513	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + q(p_7) + q(p_8)) + W^-(\mu^-(p_9), \bar{\nu}(p_{10}))$				NLO
516	$t(\rightarrow q(p_3) + q(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow b(p_6) + e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8)) + W^-(\mu^-(p_9), \bar{\nu}(p_{10}))$				NLO
529	$Z(\rightarrow e^-(p_3) + e^+(p_4)) + t(p_5) + \bar{t}(p_6)$				LO
530	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8) + b(p_6)) + Z(e^-(p_9), e^+(p_{10}))$				LO
531	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8) + b(p_6)) + Z(b(p_9), b(p_{10}))$				LO
532	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow q(p_7) + \bar{q}(p_8) + b(p_6)) + Z(e^-(p_9), e^+(p_{10}))$				LO
533	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow e^-(p_7) + \bar{\nu}(p_8) + b(p_6)) + Z(e^-(p_9), e^+(p_{10}))$				LO

Генератор MCFM: процессы V

540	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + t(p_5) + q(p_6)$	NLO	800	$V \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5)$ [Vector Mediator]	NLO
541	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + \bar{t}(p_5) + q(p_6)$	NLO	801	$A \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5)$ [Axial Vector Mediator]	NLO
544	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + t(\nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7)) + q(p_9)$	NLO	802	$S \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5)$ [Scalar Mediator]	NLO
547	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + \bar{t}(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6) + b(p_7)) + q(p_9)$	NLO	803	$PS \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5)$ [Pseudo Scalar Mediator]	NLO
550	$H(\gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + t(p_5) + q(p_6)$	NLO	804	$GG \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5)$ [Gluonic DM operator]	NLO
551	$H(\gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + \bar{t}(p_5) + q(p_6)$	NLO	805	$S - -(\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5)$ [Scalar Mediator, mt loops]	NLO
554	$H(\gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + t(\nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7)) + q(p_9)$	NLO	820	$V \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5)$ [Vector Mediator]	NLO + F
557	$H(\gamma(p_3) + \gamma(p_4)) + \bar{t}(e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6) + b(p_7)) + q(p_9)$	NLO	821	$A \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5)$ [Axial Vector Mediator]	NLO + F
560	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + t(p_5) + q(p_6)$	NLO	822	$S \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5)$ [Scalar Mediator]	NLO + F
561	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(p_5) + q(p_6)$	NLO	823	$PS \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5)$ [Pseudo Scalar Mediator]	NLO + F
562	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + t(p_5) + q(p_6) + f(p_7)$	LO	840	$V \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [Vector Mediator]	LO
563	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(p_5) + q(p_6) + f(p_7)$	LO	841	$A \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [Axial Vector Mediator]	LO
564	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + t(\rightarrow \nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7)) + q(p_8)$	NLO	842	$S \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [Scalar Mediator]	LO
566	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + t(\rightarrow \nu(p_5) + e^+(p_6) + b(p_7)) + q(p_8) + f(p_9)$	LO	843	$PS \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [Pseudo Scalar Mediator]	LO
567	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(\rightarrow e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6) + \bar{b}(p_7)) + q(p_8)$	NLO	844	$GG \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + f(p_5) + f(p_6)$ [Gluonic DM operator]	LO
569	$Z(e^-(p_3) + e^+(p_4)) + \bar{t}(\rightarrow e^-(p_5) + \bar{\nu}(p_6) + \bar{b}(p_7)) + q(p_8) + f(p_9)$	LO	845	$V \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$ [Vector Mediator]	LO
601	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + H(\tau^-(p_5) + \tau^+(p_6))$	LO	846	$A \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$ [Axial Vector Mediator]	LO
602	$H(b(p_3) + \bar{b}(p_4)) + H(\gamma(p_5) + \gamma(p_6))$	LO	847	$S \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$ [Scalar Mediator]	LO
640	$t(p_3) + \bar{t}(p_4) + H(p_5)$	LO	848	$PS \rightarrow (\chi(p_3) + \bar{\chi}(p_4)) + \gamma(p_5) + f(p_6)$ [Pseudo Scalar Mediator]	LO
641	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{\nu}(p_7) + e^-(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(b(p_9) + \bar{b}(p_{10}))$	LO	902	Check of Volume of 2 particle phase space	
644	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{q}(p_7) + q(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(b(p_9) + \bar{b}(p_{10}))$	LO	903	Check of Volume of 3 particle phase space	
647	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{\nu}(p_7) + e^-(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(b(p_9) + \bar{b}(p_{10}))$	LO	904	Check of Volume of 4 particle phase space	
651	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{\nu}(p_7) + e^-(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(\gamma(p_9) + \gamma(p_{10}))$	LO	905	Check of Volume of 5 particle phase space	
654	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{q}(p_7) + q(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(\gamma(p_9) + \gamma(p_{10}))$	LO	906	Check of Volume of 6 particle phase space	
657	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{\nu}(p_7) + e^-(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(\gamma(p_9) + \gamma(p_{10}))$	LO	908	Check of Volume of 8 particle phase space	
661	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{\nu}(p_7) + e^-(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(W^+(p_9, p_{10})W^-(p_{11}, p_{12}))$	LO	909	Check of Volume of 4 particle massive phase space	
664	$t(\rightarrow \nu(p_3) + e^+(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{q}(p_7) + q(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(W^+(p_9, p_{10})W^-(p_{11}, p_{12}))$	LO	910	Check of Volume of 3 particle (2 massive) phase space	
667	$t(\rightarrow q(p_3) + \bar{q}(p_4) + b(p_5)) + \bar{t}(\rightarrow \bar{\nu}(p_7) + e^-(p_8) + \bar{b}(p_6)) + H(W^+(p_9, p_{10})W^-(p_{11}, p_{12}))$	LO	911	Check of Volume of 5 particle W+t (with decay) massive phase space	
			912	Check of Volume of 5 particle W+t (no decay) massive phase space	
			913	Check of Volume of 5 particle W+t+g (in decay) massive phase space	
			914	Check of Volume of 5 particle W+t+g (in production) massive phase space	

Генератор MCFM: параметры

tota(nlo) – для упрощения, чтобы получить полный NLO результат, в этом случае программа вычисляет сумму рядов для virt и real и суммирует по частям.

nlocoeff – вычисляется предсказание с точностью NLO без LO части.

nnlo – вычисляется предсказание с точностью NNLO

nnlocoeff - вычисляется предсказание с точностью NNLO без NLO части

nproc – задание номера процесса (см. следующие слайды)

ewcorr - флаг задаёт нужно считать или нет электрослабые поправки к процессу. Пока доступен лишь для нескольких процессов.

seed – место в последовательности генератора случайных чисел

Генератор MCFM: настройки

sqrts – энергия столкновения в центре масс (для LHC 8000/13000)

ih1, ih2 – знак заряда сталкивающейся частицы (можно задать антипротон, как на Тэватроне)

hmass – масса бозона Хиггса

itmx1, itmx2 – задают точность вычисления сечения – количество итераций подпрограммы VEGAS – для пре-рана и финального результата

ncall1, ncall2 – количество событий, с которым происходит каждая итерация VEGAS для пре-рана и получения финального результата

Pdlabel – задание структурной функции партона

LHAPDF SET – номер вариации из LHAPDF сета

LHAPDF group – название файла структурной функции из пакета LHAPDF (если он подключён)

inclusive – логический параметр, который включает должно ли быть посчитанное сечение быть инклюзивным по количеству струй (найденных на уровне NLO) или нет. Exclusive сечение содержит то же самое количество струй на уровне NLO, что и на уровне LO. Инклюзивное сечение же напротив может содержать дополнительные струи в событиях на уровне NLO.

algorithm – алгоритм реконструкции адронных струй, обычно ankt (для широкоиспользуемого в экспериментах ФВЭ «anti-k_T» алгоритма).

Генератор MCFM: настройки II

ptjet_min, |etajet|_min, |etajet|_max – задают кинематические каты для адронных струй

Rcut_jet – изоляция струй в пространстве η , ϕ между собой (то есть в какой максимальный конус может попасть одна струя)

makecuts – флаг, позволяющий отключить все отборы, заданные после него

ptlepton_min, |etalepton|_max – кинематические каты на лептон (лидирующий лептон)

ptmin_missing – кат на потерянную энергию (обычно, от нейтрино)

ptlepton2_min, |etalepton2|_max – кинематические каты на лептоны (остальные кроме лидирующего)

R(jet,lept)_min – задаёт минимальное разделение струй и лептонов в пространстве η , ϕ

R(lept,lept)_min – задаёт минимальное разделение лептонов с лептонами в пространстве η , ϕ

frag – включает или выключает рождение фотонов процессах фрагментации

ptminphoton, etamaxphoton - задают кинематические каты для фотонов

R(photon,lept)_min – задаёт минимальное разделение всех фотонов и лептонов в пространстве η , ϕ

writeout – включает вывод в файл outgridfile.grid всей сетки VEGAS для процесса в конце рана

И другие настройки.

Пакет LHAPDF

Пакет предоставляет возможность простого подключения дополнительных (современных) PDF сетов (наборов структурных функций партонов) к генераторам.

Сайт: <https://lhapdf.hepforge.org/>

Требует компилятор с поддержкой C++ 11.

Инсталляция происходит обычным образом:

```
tar -xvzf lhpdf-v.r.p.tar.gz (рекомендуется: 6.1.6)
```

```
cd lhpdf-v.r.p
```

```
./configure --prefix=/path/to/directory
```

```
make
```

```
make install
```

Однако, директория в префиксе не должна совпадать с директорией **lhpdf-v.r.p**

PDF наборы больше не поставляются в архиве, а скачиваются и инсталлируются по запросу, например:

```
./lhpdf install MMHT2014nlo68cl
```

Список всех доступных PDF можно посмотреть:

```
./lhpdf ls
```

Или тут: <https://lhapdf.hepforge.org/pdfsets>

МCFM с пакетом LHAPDF

После исполнения скрипта Install, необходимо внести правки в makefile.

1) Добавить путь к библиотеками LHAPDF:

```
LHAPDFLIB= /where/lhapdf/was/installed/lib
```

2) Установить флаг PDFROUTINES на использование LHAPDF:

```
# Set this to NATIVE/PDFLIB/LHAPDF
```

```
# NATIVE -- internal routines
```

```
# LHAPDF -- Les Houches library
```

```
PDFROUTINES = LHAPDF
```

```
ggampl.o obj/consts_dp.o obj/spinfns.o obj/recurrenceA.o obj/recurrenceB.o obj/recurrenceC.o obj/recurrence.o obj/
-lsmallyY -lsmallP -lsmallF -lLHAPDF
mv mcfm Bin/
----> MCFM compiled with LHAPDF routines <----
----> MCFM compiled with histogram output only <----
----> Executable is mcfm <----
[esoldato@lxplus056]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MCFM/MCFM-8.0%
```

Далее можно скачивать и использовать нужный pdf в LHAPDF.

Генератор MCFM: задание

Процесс 300:

$pp \rightarrow Z\gamma \rightarrow ee\gamma$

Получить:

σ (LO & NLO с точностью сечения 1%)

σ (PDF = CT14nlo, MMHT2014nlo68cl, NNPDF30_nlo_as_0118)

σ (photonptmin=20GeV,30GeV,40GeV,50GeV,60GeV; $70 < m_Z < 110$ GeV)

Доказать иллюстрацией из рута наличие порога.

Используя гистограмму (порог на поперечный импульс фотона 20 ГэВ),
получить остальные 4 сечения.

Записать .lhe файл.

*Изобразить угол между фотоном и диэлектронной системой.

**Дома посчитать NNLO сечение

Генератор MCFM: вывод гистограмм

Например, *nplotter_Vgamma.f*

writeroot=true !!!

Определение переменных:

```
c--- Variable passed in to this routine:
c
c---      p:  4-momenta of particles in the format p(i,4)
c---      with the particles numbered according to the input file
c---      and components labelled by (px,py,pz,E)
c
c---      wt:  weight of this event
c
c---      wt2: weight^2 of this event
```

Вычисление разных параметров:

```
m345=(p(3,4)+p(4,4)+p(5,4))**2
do j=1,3
  m345=m345-(p(3,j)+p(4,j)+p(5,j))**2
enddo
m345=sqrt(max(m345,zip))
```

```
y5=etarp(5,p)
```

```
re5=R(p,3,5)
```

```
rea5=R(p,4,5)
```

Создание гистограммы:

```
call bookplot(n,tag,'p_{T}^{\{miss\}}',pt34,wt,wt2,zip,800._dp,50._dp,'log')
n=n+1
call bookplot(n,tag,'y5',y5,wt,wt2,-5._dp,5._dp,0.2_dp,'lin')
n=n+1
call bookplot(n,tag,'p_{T}^{\#\gamma}',pt5,wt,wt2,zip,800._dp,50._dp,'log')
n=n+1
```

Генератор MCFM: задание 2

Процесс ваш (который давался для mg5):

$pp \rightarrow ??$

Получить:

σ (LO/NLO) сравнить с другим генератором

σ (PDF= тот же, что использовали в mg5)

Остальные параметры отборов одинаковые или очень близкие к тому генератору.

Показать иллюстрации из рута (переменные согласовать с преподавателем).

Многозадачный генератор Herwig

Hadron Emission Reactions With Interfering Gluons

История этого генератора как большинства других начинается с полнофункциональной версии на Фортране.

Программа на Фортране поддерживается (последняя версия на данный момент *6.521 от марта 2013*), однако не развивается – по словам разработчиков 6.5 – финальная версия на Фортране (начало 2000 годов), а новые подверсии лишь исправляют недоработки и ошибки.

<http://www.hep.phy.cam.ac.uk/theory/webber/Herwig/>

В настоящий момент основные силы направлены на **Herwig++** - генератор вобравший в себя особенности и достоинства фортрановского Herwig, но написанный на си++. Он призван заменить фортрановскую программу. На данный момент доступна полнофункциональная версия 7.1.5 (от 4 апреля 2019).

<https://herwig.hepforge.org/downloads.html>

Мы не будем останавливаться на фортрановской версии, а сразу перейдём к новой, написанной на си++.

Генератор Herwig

Предоставляет полное генераторное моделирование процессов столкновения высоких энергий с нижеперечисленными специальными возможностями:

- *Учёт мягкой глюонной интерференции через угловое упорядочивание для эволюции КХД струй начального и конечного состояния*
- *Детальный подход к подавлению КХД излучения массивных частиц*
- *Моделирование физики за рамками Стандартной Модели (BSM), включающее корреляции между рождением и распадом BSM частиц вместе с возможностью добавить новые модели просто лишь программируя правила Фейнмана*
- *Эйконоальная модель для множественных партонных рассеяний для описания underlying event*
- *Кластерная модель адронизации струй, базирующаяся на непертурбативных глюонных расщеплениях*
- *Усложнённая модель для адронных и τ распадов, использующая матричные элементы, чтобы дать импульсы продуктов распада для многих мод и включающая детальный учёт off-shell эффектов и спиновых корреляций.*

Генератор Herwig: установка

Установка **Herwig++** включает установку собственно генератора и программы-инструментария **ThePEG (Toolkit for High Energy Physics Event Generation)**, на которой основан **Herwig++**.

Все дополнительные пакеты могут быть установлены до конфигурации **ThePEG** и **Herwig**. Также их можно доустановить уже потом (переконфигурировав пакеты).

Итак, обычная установка:

```
config.status: creating Makefile
config.status: creating Doc/fixinterfaces.pl
config.status: creating Config/config.h
config.status: executing depfiles commands
config.status: executing libtool commands
config.status: executing summary commands
*****
*** ThePEG 2.1.2 configuration summary
*** Please include this information in bug reports!
***-----
*** Prefix:                /tmp/esoldato/ThePEG-2.1.2/thepeg
***
*** Dimension checks:     yes
***
*** GSL:                   system
***
*** LHAPDF:                no (0)  *** Herwig++ will require ThePEG to be configured with LHAPDF. ***
*** HepMC:                 no
*** Rivet:                 no
*** FastJet:               no  *** Herwig++ will require ThePEG to be configured with fastjet. ***
***
*** Boost Unit Tests:     Boost unit test libs not found.
***
*** Host:                  x86_64-unknown-linux-gnu
*** CXX:                   g++ (GCC) 6.3.0
***
*** CXXFLAGS:              -g -O2
*****
[esoldato@lxplus081 /tmp/esoldato/ThePEG-2.1.2% ]
```

Требует компилятор с поддержкой C++ 11.

ThePEG

wget <http://www.hepforge.org/archive/thepeg/ThePEG-2.1.2.tar.bz2>

tar xjf ThePEG-2.1.2.tar.bz2

cd ThePEG*

./configure --prefix=/path/where/ThePEG/should/be/installed

make -j\$(nproc)

make check

make install

Генератор Herwig: установка II

Кроме ThePeg также необходимы пакеты GSL, FastJets и LHAPDF (и pdf наборы MMHT2014nlo68cl, MMHT2014lo68cl), процедуры установки описаны тут: <https://herwig.hepforge.org/tutorials/installation/prerequisite.html>

Herwig++

wget <http://www.hepforge.org/archive/herwig/Herwig-7.1.2.tar.bz2>

tar xjf Herwig-7.1.2.tar.bz2

*cd Herwig**

./configure --prefix=/where/to/install/herwig --with-

thepeg=/where/thepeg/was/installed --with-fastjet=/where/fastjet/was/installed --

with-gsl=/where/gsl/was/installed

make -j\$(nproc)

make check

make install

(~1 час 20 минут)

```
config.status: executing libtool commands
config.status: executing summary commands
*****
*** Herwig 7.0.4 configuration summary
*** Please include this information in bug reports!
***-----
*** Prefix:                /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/Herwig-7.0.4/herwig
***
*** BSM models:            yes
*** UFO converter:         yes, using Python 2.7
***
*** Herwig debug mode:    no
***
*** ThePEG:                /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/ThePEG-2.0.4/thepeg
*** ThePEG headers:        /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/ThePEG-2.0.4/thepeg/include
***
*** GoSam:                 no
*** GoSam-Contrib:        no
*** MadGraph:              no
*** njet:                  no
*** OpenLoops:             no
*** VBFNLO:                no
***
*** GSL:                   /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/gsl-1.16/gsl-inst
*** boost:                 system
*** Fastjet:               /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/fastjet-3.2.1/fastjet/bin/fastjet-config
***
*** Host:                  x86_64-unknown-linux-gnu
*** CC:                    gcc (GCC) 4.7.2
*** CXX:                   g++ (GCC) 4.7.2
*** FC:                    GNU Fortran (GCC) 4.7.2
***
*** CXXFLAGS:              -O3
*****
[esoldato@lxplus056] /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/Herwig-7.0.4 %
```

Генератор Herwig: установка

Сайт Herwig++: <https://herwig.hepforge.org>

Поскольку для работы Herwig нужно установить заранее несколько программ, то разработчики для упрощения жизни конечного пользователя написали скрипт, который все эти программы скачивает и устанавливает.

Итак для установки Herwig необходимо сделать:

```
wget https://herwig.hepforge.org/herwig-bootstrap
```

```
chmod +x herwig-bootstrap
```

```
./herwig-bootstrap /where/to/install/herwig
```

И всё!

Для быстрой инсталляции последнюю команду можно поменять на:

```
./herwig-bootstrap -j 4 /where/to/install/herwig
```

рекомендуется!

После установки чтобы настроить переменные окружения надо сделать:
`source herwig/bin/activate`

Все опции установки можно посмотреть так:

```
./herwig-bootstrap --help
```

```
-----
Making install in src
/bin/mkdir -p '/tmp/esoldato/herwig/share/HJets'
/usr/bin/install -c -m 644 HJetsProcesses.in '/tmp/esoldato/herwig/share/HJets'

##### / / ^/ #####
##### /--/ / #####
##### / / / #####

Herwig 7 bootstrap was successful.

$ source herwig/bin/activate
    activates all required environment variables.

$ deactivate
    returns to the original environment variables.
```

Генератор Herwig: первый запуск

Внутренняя структура такова 

Создайте временную папку, чтобы попробовать генератор **Herwig** в работе, скопируйте туда все файлы с расширением “in” из папки, где был проинсталлирован генератор:

```
mkdir herwigtest
```

```
cd herwigtest
```

```
cp ../share/Herwig/*.in ./
```

```
(herwig) [esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato/herwig% ll
total 40
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp  4096 Apr  1 02:18 bin
-rw-r--r--.  1 esoldato zp   565 Apr  1 01:20 config.mk
drwxr-xr-x. 22 esoldato zp  4096 Apr  1 02:18 include
drwxr-xr-x.  9 esoldato zp 12288 Apr  1 02:18 lib
drwxr-xr-x.  4 esoldato zp  4096 Apr  1 00:38 opt
drwxr-xr-x. 17 esoldato zp  4096 Apr  1 02:18 share
drwxr-xr-x. 20 esoldato zp  4096 Apr  1 02:18 src
drwxr-xr-x.  2 esoldato zp  4096 Apr  1 01:25 xml doc
(herwig) [esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato/herwig% █
```

Будучи в этой папке, исполните следующую команду для конфигурирования генератора с помощью настроек для симуляции условий конкретного эксперимента:

```
Herwig read LHC-Matchbox.in
```

Исполнение этой команды произведёт файл LHC-Matchbox.run. Он содержит всю настройку для примера генерации событий с условиями ускорителя LEP. Чтобы попробовать сгенерировать события, исполните:

```
Herwig run LHC-Matchbox.run -N 100 -d1
```

Флаг -N позволяет Вам задать число событий, которое должно быть сгенерировано. Флаг -d1 включает более детальный вывод выходной информации в файл LHC-Matchbox.log.

Генератор Herwig: первый запуск II

```
(herwig)[esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato/herwig/herwigtest% Herwig read LHC-Matchbox.in
determining subprocesses for p p e+ e-
building matrix elements.
0% 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
*****
created 10 subprocesses.
-----
determining subprocesses for p p e+ e- j
building matrix elements.
0% 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
*****
created 30 subprocesses.
-----
preparing Born and virtual matrix elements.
0% 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
*****
-----
preparing subtracted matrix elements.
0% 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
*****
-----
Process setup finished.
integrating subprocesses
0% 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
*****
(herwig)[esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato/herwig/herwigtest% Herwig run LHC-Matchbox.run -N 100 -d1
event> 100 100
```

BasicConsistency: maximum 4-momentum violation: 0.259 MeV

```
(herwig)[esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato/herwig/herwigtest% ll LHC-Matchbox*
```

```
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 49106 Apr 1 18:08 LHC-Matchbox-EvtGen.log
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 4856 Apr 1 14:59 LHC-Matchbox.in
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 1112842 Apr 1 18:08 LHC-Matchbox.log
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 6725 Apr 1 18:08 LHC-Matchbox.out
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 6212336 Apr 1 18:06 LHC-Matchbox.run
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 6212347 Apr 1 16:35 LHC-Matchbox.run~
-rw-r--r-- 1 esoldato zp 7797 Apr 1 18:08 LHC-Matchbox.tex
```

```
(herwig)[esoldato@lxplus084]/tmp/esoldato/herwig/herwigtest% █
```

Генератор Herwig: первый запуск III

После генерации (или рана), в папке появятся два новых файла: LHC-Matchbox.out, который содержит в себе информацию по общему посчитанному сечению процесса (с делением лишь по матричным элементам генерации), и LHC-Matchbox.log, содержащий детальные записи о запрошенных 100 событиях. Формат лога таков:

```
16      g      21 [13] (42,43) 14>>20 {+6,-5}
                                -1.040   -2.805   177.756   177.783   0.750
```

Первая строка:

Номер частицы: 16; PDG название частицы: g; PDG код частицы: 21;

Номер частицы-родителя: [13]; номера дочерних частиц: (42,43)

Информация о цветовой связи: цвет связан с частицей >20 (+6), антицвет с частицей 14> (-5)

Вторая строка (кинематическая информация):

p_x , p_y , p_z , E и $\sqrt{E^2 - p^2}$

Возможно также вывести события в общепринятых форматах, которые можно использовать и далее: форматы .lhe, .root и т.д.

Если исполнить команду ещё раз – генератор произведёт в точности те же 100 событий заново, если seed для генератора случайных чисел изменён не будет (флаг: -seed (-s) NNNNN).

Если Вам нужно поменять параметры генератора, то нужно редактировать файл LHC-Matchbox.in и сделать новый LHC-Matchbox.run.

Генератор Herwig: первый запуск: файл log

Event number 1 (id: LHC-Matchbox) performed by EventHandler

--- Colliding particles:

1	p+	2212	(8,10)						
				0.000	0.000	6500.000	6500.000	0.938	
2	p+	2212	(9,17)						
				0.000	0.000	-6500.000	6500.000	0.938	

Primary sub-process performed by MEAmplitudellbarqqbar[sbar,s->e+,e-].BornVirtual

--- incoming:

3	sbar	-3	[15] (5)	{-1}					
				-0.000	0.000	166.886	166.886	0.000	
4	s	3	[26] (5)	{+1}					
				0.000	0.000	-12.644	12.644	0.000	

--- intermediates:

5	Z0	23	[3,4] (6,7)						
				0.000	0.000	154.243	179.530	91.871	

--- outgoing:

6	e+	-11	[5] (29)						
				24.150	-28.637	129.073	134.399	0.000	
7	e-	11	[5] (28)						
				-24.150	28.637	25.170	45.131	0.000	

Step 1

--- intermediates:

3	sbar	-3	[15] (5)	{-1}					
				-0.000	0.000	166.886	166.886	0.000	
4	s	3	[26] (5)	{+1}					
				0.000	0.000	-12.644	12.644	0.000	
5	Z0	23	[3,4] (6,7)						
				0.000	0.000	154.243	179.530	91.871	

--- final:

6	e+	-11	[5] (29)						
				24.150	-28.637	129.073	134.399	0.000	
7	e-	11	[5] (28)						
				-24.150	28.637	25.170	45.131	0.000	
8	Rem: p+	82	[1] (30)	>9 {+1}					
				0.000	0.000	6333.114	6333.114	0.926	
9	Rem: p+	82	[2] (31)	8> {-1}					
				-0.000	0.000	-6487.356	6487.356	0.937	

Sum of momenta: 0 0 0 1.3e+04 1.3e+04

Генератор Herwig: первый запуск: файл log II

Step 2 performed by ShowerHandler

--- intermediates:

10	sbar	-3 [1] (11,12)	{-2}	0.488	1.596	270.689	270.694	0.000
11	sbar	-3 [10] (13,14)	{-3}	2.677	0.898	223.558	223.498	-5.914
13	sbar	-3 [11] (15,16)	{-4}	4.749	-0.494	182.047	181.901	-8.718
15	sbar	-3 [13] (3)	{-1}	1.229	3.913	167.502	166.271	-20.676
17	g	21 [2] (18,19)	{+5,-6}	0.004	1.322	-210.029	210.033	-0.000
18	g	21 [17] (20,21)	{+5,-7}	0.587	-0.529	-160.802	160.759	-3.810
20	g	21 [18] (22,23)	{+8,-7}	1.587	-1.521	-133.938	133.841	-5.548
22	g	21 [20] (24,25)	{+8,-9}	6.619	-8.964	-23.985	23.517	-12.098
24	s	3 [22] (26,27)	{+8}	9.788	-7.234	-16.482	15.175	-13.766
26	s	3 [24] (4)	{+1}	5.653	-4.023	-17.509	9.756	-16.110
30	Rem: p+	82 [8] (32,33,35)		-0.488	-1.596	6229.294	6229.318	17.006
31	Rem: p+	82 [9] (34,36)		-0.004	-1.322	-6289.954	6289.956	4.845
35	ud_0	2101 [30] (38,39)	{-10}	-0.641	-1.457	63.325	63.348	0.650
36	ud_0	2101 [31] (37,40)	{-5}	1.853	-1.560	-1983.605	1983.606	0.650

--- final:

12	g	21 [10] (45,46)	33>>14 {+3,-2}	-2.189	0.699	47.130	47.196	0.950
14	g	21 [11] (43,44)	12>>16 {+4,-3}	-2.071	1.392	41.511	41.597	0.950
16	g	21 [13] (41,42)	14>>27 {+1,-4}	3.520	-4.407	14.546	15.630	0.950
19	g	21 [17] (53,54)	34>>23 {+7,-6}	-0.583	1.850	-49.227	49.274	0.950
21	g	21 [18] (51,52)	27>>40 {+5,-8}	-1.001	0.992	-26.864	26.918	0.950
23	g	21 [20] (49,50)	19>>25 {+9,-7}	-5.032	7.443	-109.954	110.324	0.950
25	sbar	-3 [22] (70)	23> {-9}	-3.170	-1.730	-7.503	8.342	0.500
27	g	21 [24] (47,48)	16>>21 {+8,-1}	4.135	-3.211	1.027	5.420	0.950
28	e-	11 [7]		-22.426	28.610	24.098	43.613	0.001
29	e+	-11 [6]		29.308	-28.719	125.895	132.414	0.001

Генератор Herwig: матричные элементы

Библиотека матричных элементов для КХД и электрослабых процессов в [Herwig++](#) достаточно мала, особенно, если сравнивать с огромным количеством процессов, которые были доступны в фортрановской версии. Действительно, библиотека процессов СМ в значительной степени призвана лишь дать возможность генерировать самые важные процессы, которыми можно протестировать программу.

Для e^+e^- коллайдеров лишь 4 жёстких процесса включено:

- Quark-antiquark production, via interfering photon and Z^0 bosons, is implemented in the **MEee2gZ2qq** class. No approximation is made regarding the masses of the particles. This process is essential for us to validate the program using QCD analyses of LEP data.
- Dilepton pair production, via interfering photon and Z^0 bosons, is implemented in the **MEee2gZ2ll** class. No approximation is made regarding the masses of the particles⁴. This process is used to check the implementation of spin correlations in τ decays.
- The Bjorken process, Z^0h^0 production, which is implemented in the **MEee2ZH** class. This process is included as it is very similar to the production of Z^0h^0 and $W^\pm h^0$ in hadronhadron collisions and uses the same base class for most of the calculation.
- The vector-boson fusion (VBF) processes, $e^+e^- \rightarrow e^+e^-h^0$ and $e^+e^- \rightarrow \nu e^- \nu h^0$, are implemented in the **MEee2HiggsVBF** class.

Генератор Herwig: матричные элементы II

Намного больший диапазон матричных элементов включён в отдельностоящий код для моделирования событий в адронных коллайдерах:

- Difermion production via s-channel electroweak gauge bosons. The matrix elements for the production of fermion-antifermion pairs through W^\pm bosons, or interfering photons and Z^0 bosons, are implemented in the **MEqq2W2ff** and **MEqq2gZ2ff** classes respectively. Only s-channel electroweak gauge boson diagrams are included for the hadronic modes.
- The production of a Z^0 or W^\pm boson in association with a hard jet is simulated using the **MEPP2ZJet** or **MEPP2WJet** class respectively. The decay products of the bosons are included in the $2 \rightarrow 3$ matrix element and the option of including the photon for Z^0 production is supported.
- The $2 \rightarrow 2$ QCD scattering processes are implemented in the **MEQCD2to2** class. Currently all the particles are treated as massless in these processes.
- The matrix element for the production of a heavy quark-antiquark pair (top or bottom quark pairs), is coded in the **MEPP2QQ** class. No approximations are made regarding the masses of the outgoing $q\bar{q}$ pair.
- The **MEPP2GammaGamma** class implements the matrix element for the production of prompt photon pairs. In addition to the tree-level $q\bar{q} \rightarrow \gamma\gamma$ process the loop-mediated $gg \rightarrow \gamma\gamma$ process is included.
- Direct photon production in association with a jet is simulated using the **MEPP2GammaJet** class. As with the QCD $2 \rightarrow 2$ process all of the particles are treated as massless in these processes.
- The production of an s-channel Higgs boson via both $gg \rightarrow h^0$ and $q\bar{q} \rightarrow h^0$ is simulated using the **MEPP2Higgs** class.

И т.д...

Также доступны некоторые NLO матричные элементы.

Генератор Herwig: LHC.in

```
# -*- ThePEG-repository -*-
#####
# Example generator based on LHC parameters
# usage: Herwig read LHC.in
#####

#####
# Technical parameters for this run
#####
cd /Herwig/Generators
set LHCGenerator:NumberOfEvents 10000000
set LHCGenerator:RandomNumberGenerator:Seed 31122001
set LHCGenerator:PrintEvent 10
set LHCGenerator:MaxErrors 10000

#####
# LHC physics parameters (override defaults here)
#####

# Intrinsic pT tune extrapolated to LHC energy
set /Herwig/Shower/Evolver:IntrinsicPtGaussian 2.2*GeV

#####
## sqrt(s) = 13000 GeV ##
#####
set LHCGenerator:EventHandler:LuminosityFunction:Energy 13000.0

#####
# Matrix Elements for hadron-hadron collisions
# (by default only gamma/Z switched on)
#####
cd /Herwig/MatrixElements/

#
# Electroweak boson W/Z processes
#
# Drell-Yan Z/gamma
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEq2gZ2ff
#
# Drell-Yan W
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEq2W2ff
#
# W+jet
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEWJet
#
# Z+jet
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEZJet
#
# WW/WZ/ZZ
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2VW

# Wgamma/Zgamma
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2VGamma
#
# add QED radiation off W/Z decay products using YFS formalism
# cd /Herwig/EventHandlers
insert LHCHandler:PostSubProcessHandlers[0] /Herwig/QEDRadiation/QEDRadiationHandler

#
# QCD and gamma processes
#
# QCD 2-2 scattering
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEQCD2to2
#
# gamma+jet
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEGammaJet
#
# gamma-gamma
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEGammaGamma

#
# Heavy quark processes
#
# top-antitop production
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEHeavyQuark
#
# single-top
# t-channel
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MESingleTopTChannel
# s-channel
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MESingleTopSChannel
# tW
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MESingleTopTW

#
# Higgs Processes
#
# gg/qqbar -> Higgs (recommend including q qqbar->Hg as not in ME correction)
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEHiggs
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEHiggsJet
set MEHiggsJet:Process qqbar
set /Herwig/Cuts/JetKtCut:MinKT 0.0*GeV
#
# higgs+jet
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEHiggsJet
#
# higgs + W (N.B. if considering all W decay modes useful to set )
# (jet pT cut to zero so no cut on W decay products )
insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2WH
set /Herwig/Cuts/JetKtCut:MinKT 0.0*GeV
#
```

Генератор Herwig: LHC.in II

```
# higgs+jet
# insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEHiggsJet
#
# higgs + W (N.B. if considering all W decay modes useful to set )
# (jet pT cut to zero so no cut on W decay products )
# insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2WH
# set /Herwig/Cuts/JetKtCut:MinKT 0.0*GeV
#
# higgs + Z (N.B. if considering all Z decay modes useful to set )
# (jet pT cut to zero so no cut on Z decay products )
# insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2ZH
# set /Herwig/Cuts/JetKtCut:MinKT 0.0*GeV
#
# VBF Higgs
# insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2HiggsVBF
#
# t tbar Higgs
# insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2ttbarH
#
# b bbar Higgs
# insert SimpleQCD:MatrixElements[0] MEPP2bbbarH

cd /Herwig/Generators

#####
# Useful analysis handlers for hadron-hadron physics
#####
# analysis of W/Z events
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/DrellYan
# analysis of top-antitop events
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/TTbar
# analysis of gamma+jet events
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/GammaJet
# analysis of gamma-gamma events
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/GammaGamma
# analysis of higgs-jet events
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/HiggsJet

#####
# Useful analysis handlers for HepMC related output
#####
# Schematic overview of an event (requires --with-hepmc to be set at configure time
# and the graphviz program 'dot' to produce a plot)
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/Plot
# A HepMC dump file (requires --with-hepmc to be set at configure time)
# insert LHCGenerator:AnalysisHandlers 0 /Herwig/Analysis/HepMCFile
# set /Herwig/Analysis/HepMCFile:PrintEvent 100
# set /Herwig/Analysis/HepMCFile:Format GenEvent
# set /Herwig/Analysis/HepMCFile:Units GeV_mm

#####
```

```
#####
# Save run for later usage with 'Herwig run'
#####
saverun LHC LHCGenerator

#####
# uncomment this section for an example batch run
# of two repeats with different parameters
#
# Note that a separate call of 'Herwig run'
# is not required in this case
#####
# set LHCGenerator:NumberOfEvents 10
# run LHC-full LHCGenerator
#
# set LHCGenerator:EventHandler:LuminosityFunction:Energy 900.0
# run LHC-initial LHCGenerator
```

Генератор Herwig: другие конфигурационные файлы

Частицы

```
# -*- ThePEG-repository -*-  
#  
# file containing the particle data for the baryons  
#  
# the (70,1^-_1) 10bar multiplet  
#  
create ThePEG::ParticleData Lambda(1405)0  
setup Lambda(1405)0 13122 Lambda(1405)0 1.406 0.05 0.155 0 0 0 2 0  
newdef Lambda(1405)0:WidthLoCut 0.06  
newdef Lambda(1405)0:WidthUpCut 0.25  
create ThePEG::ParticleData Lambdabar(1405)0  
setup Lambdabar(1405)0 -13122 Lambdabar(1405)0 1.406 0.05 0.155 0 0 0 2 0  
makeanti Lambdabar(1405)0 Lambda(1405)0  
newdef Lambdabar(1405)0:WidthLoCut 0.06  
newdef Lambdabar(1405)0:WidthUpCut 0.25  
create ThePEG::ParticleData Lambda_c(2593)+  
setup Lambda_c(2593)+ 14122 Lambda_c(2593)+ 2.5954 0.0036 0.018 0 3 0 2 0  
create ThePEG::ParticleData Lambda_c(2593)bar-  
setup Lambda_c(2593)bar- -14122 Lambda_c(2593)bar- 2.5954 0.0036 0.018 0 -3 0 2 0  
makeanti Lambda_c(2593)bar- Lambda_c(2593)+  
create ThePEG::ParticleData Lambda_b10  
setup Lambda_b10 15122 Lambda_b10 5.957 0.004 0.03 0 0 0 2 0  
newdef Lambda_b10:WidthLoCut 0.02  
newdef Lambda_b10:WidthUpCut 0.04  
create ThePEG::ParticleData Lambda_b1bar0  
setup Lambda_b1bar0 -15122 Lambda_b1bar0 5.957 0.004 0.03 0 0 0 2 0  
makeanti Lambda_b1bar0 Lambda_b10  
newdef Lambda_b1bar0:WidthLoCut 0.02  
newdef Lambda_b1bar0:WidthUpCut 0.04  
create ThePEG::ParticleData Xi_c(2790)0  
setup Xi_c(2790)0 14312 Xi_c(2790)0 2.7919 0.00113 0.0113 0 0 0 2 0  
create ThePEG::ParticleData Xi_c(2790)bar0  
setup Xi_c(2790)bar0 -14312 Xi_c(2790)bar0 2.7919 0.00113 0.0113 0 0 0 2 0  
makeanti Xi_c(2790)bar0 Xi_c(2790)0
```

Распады

```
# -*- ThePEG-repository -*-  
#  
# file containing the decays for the baryons  
#  
# the (70,1^-_1) 10bar multiplet  
#  
decaymode Lambda(1405)0->Sigma0,pi0; 0.333334 1 /Herwig/Decays/SUBSinglet0ctet1  
decaymode Lambda(1405)0->Sigma-,pi+; 0.333333 1 /Herwig/Decays/SUBSinglet0ctet1  
decaymode Lambda(1405)0->Sigma+,pi-; 0.333333 1 /Herwig/Decays/SUBSinglet0ctet1  
#  
decaymode Lambdabar(1405)0->Sigambar0,pi0; 0.333334 1 /Herwig/Decays/SUBSinglet0ctet1  
decaymode Lambdabar(1405)0->Sigambar-,pi+; 0.333333 1 /Herwig/Decays/SUBSinglet0ctet1  
decaymode Lambdabar(1405)0->Sigambar+,pi-; 0.333333 1 /Herwig/Decays/SUBSinglet0ctet1  
#  
decaymode Lambda_c(2593)+->Sigma_c0,pi+; 0.24 1 /Herwig/Decays/HeavyStrong  
decaymode Lambda_c(2593)+->Sigma_c+,pi0; 0.24 1 /Herwig/Decays/HeavyStrong  
decaymode Lambda_c(2593)+->Sigma_c++,pi-; 0.24 1 /Herwig/Decays/HeavyStrong  
decaymode Lambda_c(2593)+->Lambda_c+,pi+,pi-; 0.186667 1 /Herwig/Decays/DecayME0  
decaymode Lambda_c(2593)+->Lambda_c+,pi0,pi0; 0.093333 1 /Herwig/Decays/DecayME0  
#  
decaymode Lambda_c(2593)bar-->Sigambar_c-,pi+; 0.24 1 /Herwig/Decays/HeavyStrong  
decaymode Lambda_c(2593)bar-->Sigambar_c-,pi0; 0.24 1 /Herwig/Decays/HeavyStrong  
decaymode Lambda_c(2593)bar-->Sigambar_c0,pi-; 0.24 1 /Herwig/Decays/HeavyStrong  
decaymode Lambda_c(2593)bar-->Lambdabar_c-,pi+,pi-; 0.186667 1 /Herwig/Decays/DecayME0  
decaymode Lambda_c(2593)bar-->Lambdabar_c-,pi0,pi0; 0.093333 1 /Herwig/Decays/DecayME0
```

Генератор Herwig: другие конфигурационные файлы II

```
#####
# q qbar -> gamma/Z -> l+l-
create Herwig::MEqq2gZ2ff MEqq2gZ2ff
newdef MEqq2gZ2ff:Process 3
newdef MEqq2gZ2ff:Coupling /Herwig/Shower/AlphaQCD

# q qbar to W -> l nu
create Herwig::MEqq2W2ff MEqq2W2ff
newdef MEqq2W2ff:Process 2
newdef MEqq2W2ff:Coupling /Herwig/Shower/AlphaQCD

# W+jet
create Herwig::MEPP2WJet MEWJet
newdef MEWJet:WDecay Leptons

# Z+jet
create Herwig::MEPP2ZJet MEZJet
newdef MEZJet:ZDecay ChargedLeptons

# PP->WW/WZ/ZZ
create Herwig::MEPP2VW MEPP2VW

# PP->WZ gamma
create Herwig::MEPP2VGamma MEPP2VGamma

#####
# Photon and jet processes
#####

# qqbar/gg -> gamma gamma
create Herwig::MEPP2GammaGamma MEGammaGamma

# hadron-hadron to gamma+jet
create Herwig::MEPP2GammaJet MEGammaJet

# QCD 2-to-2
create Herwig::MEQCD2to2 MEQCD2to2

# MinBias
create Herwig::MEMinBias MEMinBias

#####
# Heavy Quark
#####

# qqbar/gg -> t tbar
create Herwig::MEPP2QQ MEHeavyQuark

create Herwig::MEPP2SingleTop MESingleTopTChannel
set MESingleTopTChannel:Process tChannel
```

Генератор Herwig: отборы

```
# -*- ThePEG-repository -*-  
  
#####  
# Default cuts (applied to the hard subprocess)  
#  
# Don't change values here, re-set them in your own input  
# files using these as examples.  
#####  
  
mkdir /Herwig/Matchers  
cd /Herwig/Matchers  
  
create ThePEG::Matcher<Lepton> Lepton  
create ThePEG::Matcher<Neutrino> Neutrino  
create ThePEG::Matcher<ChargedLepton> ChargedLepton  
create ThePEG::Matcher<LightQuark> LightQuark  
create ThePEG::Matcher<LightAntiQuark> LightAntiQuark  
create ThePEG::Matcher<StandardQCDParton> StandardQCDParton  
create ThePEG::Matcher<Photon> Photon  
create ThePEG::Matcher<Top> Top  
create ThePEG::Matcher<Bottom> Bottom  
create ThePEG::Matcher<WBoson> WBoson  
create ThePEG::Matcher<ZBoson> ZBoson  
create ThePEG::Matcher<HiggsBoson> HiggsBoson  
  
mkdir /Herwig/Cuts  
cd /Herwig/Cuts  
  
# create the cuts object for e+e-  
create ThePEG::Cuts EECuts  
newdef EECuts:MHatMin 22.36*GeV  
  
# create the cuts object for hadron collisions  
create ThePEG::Cuts QCDcuts  
newdef QCDcuts:ScaleMin 2.0*GeV  
newdef QCDcuts:X1Min 1.0e-5  
newdef QCDcuts:X2Min 1.0e-5  
newdef QCDcuts:MHatMin 20.*GeV  
  
# cut on jet pt  
create ThePEG::SimpleKTCut JetKtCut SimpleKTCut.so  
newdef JetKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/StandardQCDParton  
newdef JetKtCut:MinKT 20.0*GeV  
  
# cut on photon  
create ThePEG::SimpleKTCut PhotonKtCut SimpleKTCut.so  
newdef PhotonKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/Photon  
newdef PhotonKtCut:MinKT 20.0*GeV  
newdef PhotonKtCut:MinEta -3.  
newdef PhotonKtCut:MaxEta 3.
```

```
# cut on leptons  
create ThePEG::SimpleKTCut LeptonKtCut SimpleKTCut.so  
newdef LeptonKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/Lepton  
newdef LeptonKtCut:MinKT 0.0*GeV  
  
# cut on charged leptons  
create ThePEG::SimpleKTCut ChargedLeptonKtCut SimpleKTCut.so  
newdef ChargedLeptonKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/ChargedLepton  
newdef ChargedLeptonKtCut:MinKT 0.0*GeV  
  
# cut on top quarks  
create ThePEG::KTRapidityCut TopKtCut KTRapidityCut.so  
newdef TopKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/Top  
newdef TopKtCut:MinKT 0.0*GeV  
  
# cut on W bosons  
create ThePEG::KTRapidityCut WBosonKtCut KTRapidityCut.so  
newdef WBosonKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/WBoson  
newdef WBosonKtCut:MinKT 0.0*GeV  
  
# cut on Z bosons  
create ThePEG::KTRapidityCut ZBosonKtCut KTRapidityCut.so  
newdef ZBosonKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/ZBoson  
newdef ZBosonKtCut:MinKT 0.0*GeV  
  
# cut on Higgs bosons  
create ThePEG::KTRapidityCut HiggsBosonKtCut KTRapidityCut.so  
newdef HiggsBosonKtCut:Matcher /Herwig/Matchers/HiggsBoson  
newdef HiggsBosonKtCut:MinKT 0.0*GeV  
  
# create a cut on the invariant mass of lepton pairs  
create ThePEG::V2LeptonsCut MassCut V2LeptonsCut.so  
newdef MassCut:Families All  
newdef MassCut:CComb All  
newdef MassCut:MinM 20.*GeV  
newdef MassCut:MaxM 14000.*GeV  
  
# create a cut on Q^2 for neutral current DIS  
create ThePEG::SimpleDISCut NeutralCurrentCut SimpleDISCut.so  
newdef NeutralCurrentCut:MinQ2 20.  
newdef NeutralCurrentCut:Current Neutral  
  
# create a cut on Q^2 for charged current DIS  
create ThePEG::SimpleDISCut ChargedCurrentCut SimpleDISCut.so  
newdef ChargedCurrentCut:MinQ2 20.  
newdef ChargedCurrentCut:Current Charged  
  
# create a cut of Q^2 for charged current DIS
```

Генератор Herwig: отборы II

```
# insert into hadron cuts
insert QCDCuts:OneCuts[0] JetKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[1] PhotonKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[2] LeptonKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[3] TopKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[4] WBosonKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[5] ZBosonKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[6] HiggsBosonKtCut
insert QCDCuts:OneCuts[7] ChargedLeptonKtCut
insert QCDCuts:MultiCuts[0] MassCut

# cuts for DIS
create ThePEG::Cuts DISCuts
newdef DISCuts:ScaleMin 1.0*GeV
newdef DISCuts:X1Min 1.0e-5
newdef DISCuts:X2Min 1.0e-5
insert DISCuts:TwoCuts[0] NeutralCurrentCut
insert DISCuts:TwoCuts[1] ChargedCurrentCut

# create different cuts object for MinBias to avoid numerical problems
create ThePEG::Cuts MinBiasCuts
newdef MinBiasCuts:ScaleMin 2.0*GeV
newdef MinBiasCuts:X1Min 0.055
newdef MinBiasCuts:X2Min 0.055
newdef MinBiasCuts:MHatMin 0.0*GeV
```

Генератор Herwig: Интерфейс

Herwig можно использовать с другим генератором матричного элемента через LesHouchesEventHandler.

Например, у нас есть .lhe файл генератора MCFM.

Пишем собственный *.in файл:

```
library LesHouches.so
library MadGraphReader.so

cd /Herwig/EventHandlers
create ThePEG::MadGraphReader myReader
set myReader:FileName /afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/MCFM/MCFM-8.1/Bin/Zgamma_lo_NNPDF30_1.00_1.00_13TeV.lhe
set myReader:CacheFileName cacheevents.tmp
set myReader:Cuts /Herwig/Cuts/QCDCuts

#set myReader:InitPDFs 0
#set myReader:PDFA firstBeamPDF
#set myReader:PDFB secondBeamPDF

create ThePEG::LesHouchesEventHandler myLesHouchesHandler
set myLesHouchesHandler:CascadeHandler /Herwig/Shower/ShowerHandler
set myLesHouchesHandler:HadronizationHandler /Herwig/Hadronization/ClusterHadHandler
set myLesHouchesHandler:DecayHandler /Herwig/Decays/DecayHandler
set myLesHouchesHandler:PartonExtractor /Herwig/Partons/QCDExtractor

insert myLesHouchesHandler:LesHouchesReaders 0 myReader
#insert myLesHouchesHandler:LesHouchesReaders 1 myOtherReader

cd /Herwig/Generators
cp LHCGenerator myLesHouchesGenerator
set myLesHouchesGenerator:EventHandler /Herwig/EventHandlers/myLesHouchesHandler
saverun myLesHouches myLesHouchesGenerator
```

Получаем:

```
[esoldato@lxplus047]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/Herwig-7.0.4/herwig/testarea% ./bin/Herwig read LHC.in
set myReader:CacheFileName cacheevents.tmpn.ch/work/e/esoldato/workarea/MCFM/MCFM-8.1/Bin/Zgamma_lo_NNPDF30_1.00_1.00_13TeV.lhe
[esoldato@lxplus047]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/herwig/Herwig-7.0.4/herwig/testarea% ./bin/Herwig run LHC.run -N 100 -d1
event> 200
```

Генератор Herwig: задание

Используйте конфигурационный файл LHC.in, матричный элемент образования тяжёлых кварков MEPP2QQ (MEHeavyQuark) и сгенерируйте top-antitop пары (не менее 1000 штук).

σ -?

$\sigma(\text{PDF} = \text{CT14nlo}, \text{MMHT2014nlo68cl}, \text{NNPDF30_nlo_as_0118})$ -?

$\sigma(\text{jetptmin}=30\text{GeV}, 50\text{GeV})$

*Включите вывод результатов в формате .root и изобразите гистограмму $\theta(\text{top}, \text{antitop})$

Генератор Herwig: задание

Используйте конфигурационный файл LHC.in для:

$pp \rightarrow Z\gamma \rightarrow ee\gamma$

Получить:

σ -?

$\sigma(\text{PDF} = \text{CT14nlo}, \text{MMHT2014nlo68cl}, \text{NNPDF30_nlo_as_0118})$

$\sigma(\text{photonptmin}=20\text{GeV}, 30\text{GeV}, 40\text{GeV}, 50\text{GeV}, 60\text{GeV}; 70 < m_Z < 110 \text{ GeV})$

Выведите в виде гистограммы по photon pT.

Генератор Sherpa

Sherpa – популярный в ФВЭ МК генератор полного цикла, созданный для генерации высокоэнергетических реакций частиц в лептон-лептонных, лептон-фотонных, фотон-фотонных, лептон-фотонных и адрон-адронных столкновениях. (Simulation of High-Energy Reactions of PArticles).

На данный момент (весна 2019), доступна версия **2.2.6**.
Версия Sherpa **3.0** находится в процессе валидации.

Сайт: <https://sherpa.hepforge.org>

Авторы Sherpa входят в различные экспериментальные коллаборации, например ATLAS, и находятся в курсе того, что нужно эксперименту (работают с экспериментами по доработке генератора).

Особенностью генератора является тот факт, что он не использует сторонние матричные элементы и, также, не экспортирует свои матричные элементы для других генераторов.

Генератор Sherpa: установка

Скачиваем с сайта новейшую версию Sherpa 2.

Разархивируем:

```
tar -xvf SHERPA-MC-2.X.Y.tar.gz
```

Установка:

```
./configure --prefix=/path/where/to/install
```

```
[esoldato@lxplus067]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/Sherpa/SHERPA-MC-2.1.1% ./configure --prefix=
```

```
make install
```

```
[esoldato@lxplus067]/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/Sherpa/SHERPA-MC-2.1.1% make install
```

```
Making install in AT00LS
```

```
make[1]: Entering directory `/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/Sherpa/SHERPA-MC-2.1.1/AT00LS
```

```
Making install in Org
```

```
make[2]: Entering directory `/afs/cern.ch/work/e/esoldato/workarea/Sherpa/SHERPA-MC-2.1.1/AT00LS
```

```
CXX      libToolsOrg_la-SVN_Info.lo
```

```
CXX      libToolsOrg_la-MyStrStream.lo
```

```
CXX      libToolsOrg_la-Return_Value.lo
```

```
CXX      libToolsOrg_la-Shell_Tools.lo
```

```
CXX      libToolsOrg_la-STL_Tools.lo
```

```
CXX      libToolsOrg_la-RUsage.lo
```

```
CXX      libToolsOrg_la-Getter_Function.lo
```

Генератор Sherpa

```
(run){
  % scales, tags for scale variations
  FSF:=1.; RSF:=1.; QSF:=1.;
  SCALES METS{FSF*MU_F2}{RSF*MU_R2}{QSF*MU_Q2}; //Настройка шкал
  CORE_SCALE VAR{PPerp2(p[2])};

  % tags for process setup
  NJET:=3; QCUT:=20; //Тут задана верхняя граница на число струй в событии
}(run)

(processes){
  Process 93 93 -> 22 93 93{NJET}; //Тут задаётся процесс
  Order (*,1); //И точность генерации
  CKKW sqr(QCUT/E_CMS)/(1.0+sqr(QCUT/0.6)/PPerp2(p[2]));
  Scales LOOSE_METS{FSF*MU_F2}{RSF*MU_R2}{QSF*MU_Q2} {7,8};
  End process;
}(processes)

(selector){ //Другие отборы, ограничивающие фазовое пространство
  PT 22 140 E_CMS //PT фотонов
  IsolationCut 22 0.3 2 0.025; //Изоляция фотонов
}(selector)
```

Генератор Sherpa

Генератор Sherpa

Словарь терминов

Underlying event – розыгрыш сопутствующих главному событиям (взаимодействия осколков протонов, например). Данная часть генератора обычно также разыгрывает и пайл-ап.

Pile-up – процессы от соседних взаимодействующих частиц, сопутствующих главному первичному взаимодействию (в пучке сталкивается не два протона, а много).

Minimum bias – взаимодействия, характеризующиеся небольшими переданными импульсами. В физике высоких энергий основное количество процессов – именно minimum bias. (Зачастую используется для моделирования pile-up)

Matrix Element – матричный элемент матрицы рассеяния (квантовая механика), который характеризует конкретный процесс взаимодействия частиц. Вычисляется с использованием лагранжиана взаимодействия и фейнмановских правил.

Партонный ливень – череда превращений, через которые проходят партоны в генераторе от их начального получения из с использованием матричного элемента до адронизации

Raw данные – приведённые в цифровой вид данные от реального/смоделированного детектора, готовые к реконструкции.