



*Российская Академия Наук*

**Первичный генератор событий  
рождения адронов на основе  
генераторов эксклюзивных  
процессов**

Секция ядерной физики Отделения физических наук Российской академии наук  
и Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

сессия-конференция «Физика фундаментальных взаимодействий».

*Король Александр , ИЯФ СО РАН*

**11.03.2026**

# Моделирование адронных процессов

**Общее (инклюзивное) моделирование адронных процессов:**

- **Инклюзивный анализ**
- **Обнаружение и изучение фонов для эксклюзивного анализа**
- **Изучение детектора и планирование эксперимента**
- **Разработка будущих детекторов**

# Особенности аннигиляции в адроны при энергиях $< 2\text{ГэВ}$ (ц.м.)

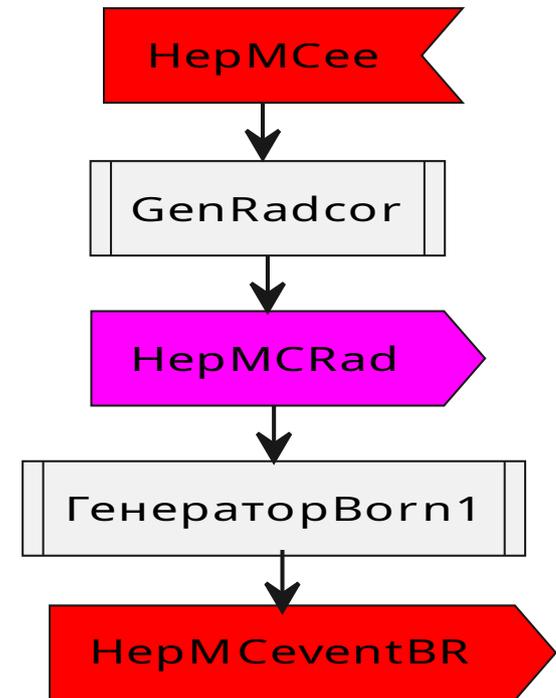
- Адронизация для низких энергий не считается из первых принципов
- Широкие (от  $4\text{ГэВ}$  до  $200\text{ГэВ}$ ) резонансные структуры
- Для всех конечных состояний составляющих до 1% полного адронного сечения есть измеренные сечения (с разной точностью, конечно)
- Необходимо учитывать радиационную поправку и разброс энергии в пучке

# Моделирование процессов для эксперимента СНД

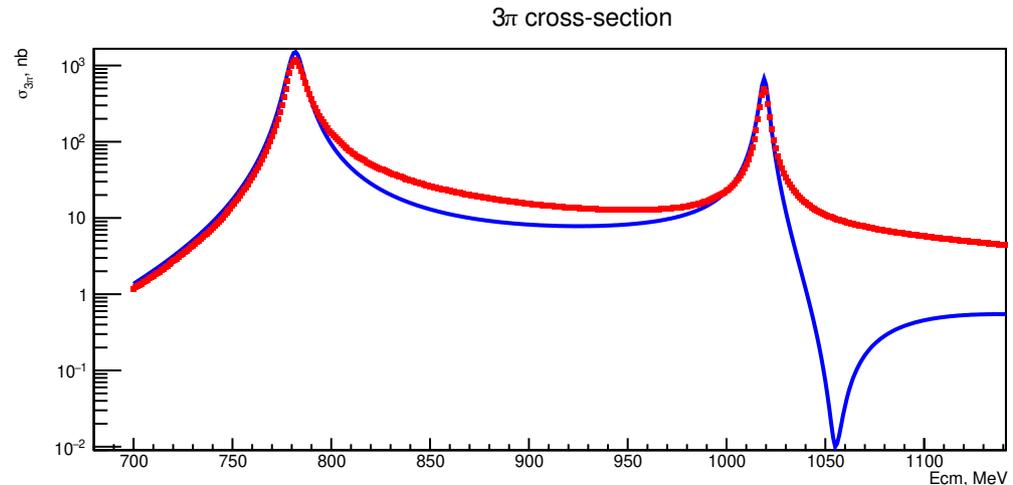
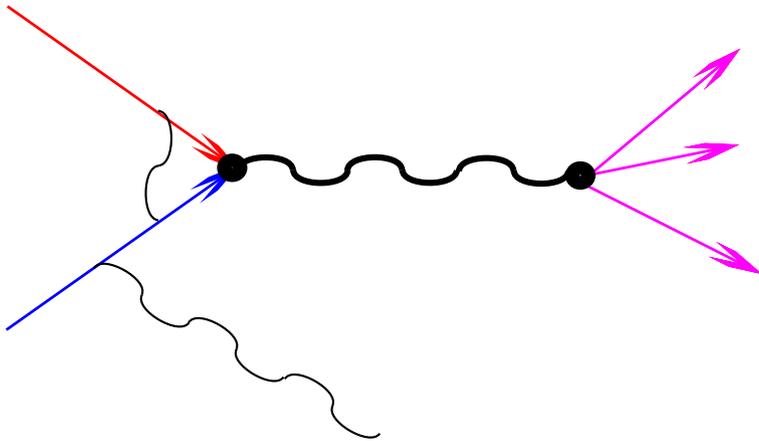
- **Моделирование основано на пакете Geant4**
- **Программа моделирования реализована как конвейер обработки события**
  - Элементы конвейера – программные модули (C++) связанные между собой зависимостями по данным
  - Модули при исполнении топологически сортируются по зависимостям
  - Есть специальный тип модулей (переключатели) которые переключают исполнение зависимых модулей наличием или отсутствием данных

# Устройство первичного моделирования эксклюзивного процесса

- Создается вершина с 4-импульсом и другими параметрами точки встречи (HepMCee)
- Генерируется радипоправка ISR (возможно, с изменением 4-импульса и добавлением фотона, вершина HepMCRad)
- Генерируется конечное состояние конкретного процесса (с точностью до стабильных и квазистабильных частиц – лептоны, нуклоны, фотоны, пи, К, эта мезоны), передается в Geant4



# О радиационной поправке в начальном состоянии (ISR)



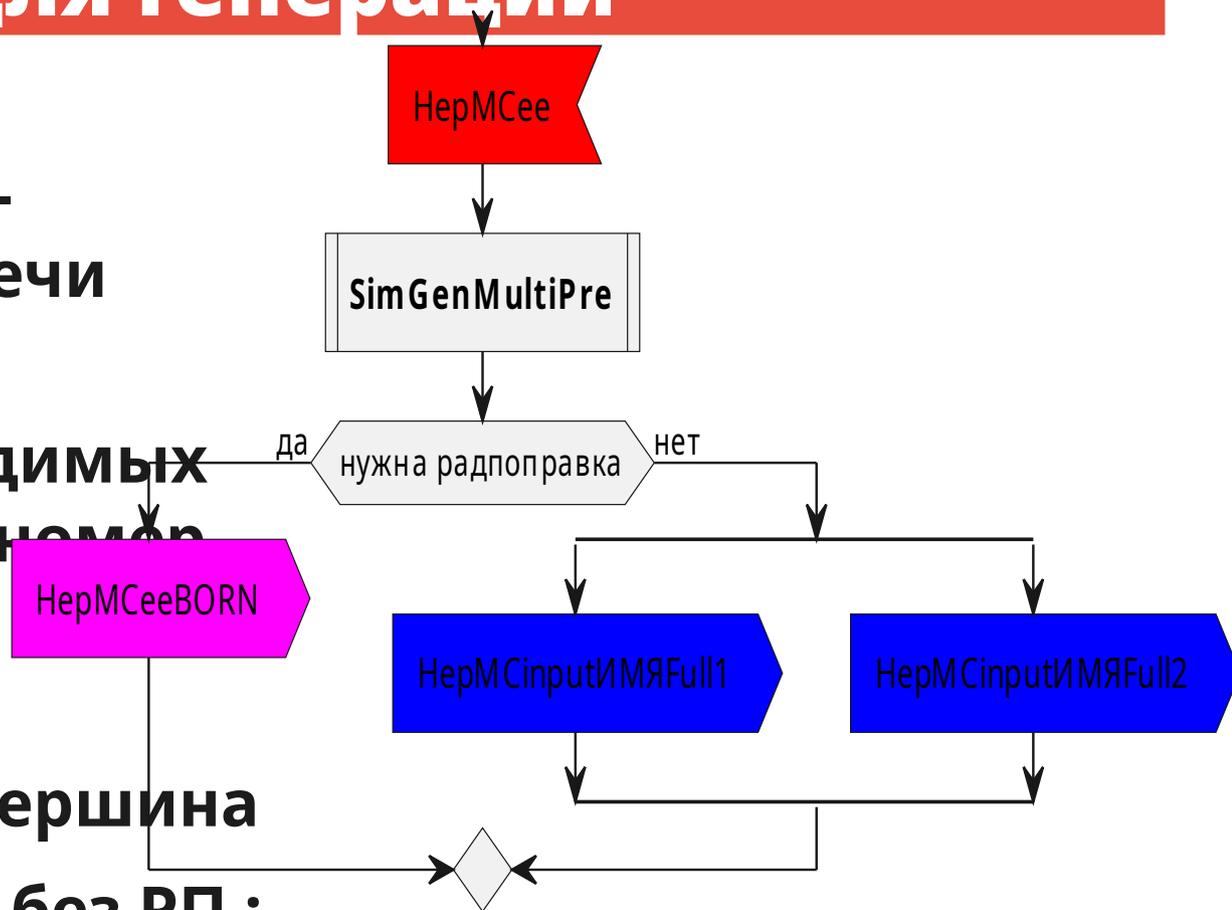
- Используется подход структурных функций Kuraev-Fadin (1985)
- Диаграммы с мягкими фотонами сокращаются с петлевыми диаграммами
- На входе генератора задается таблица “борновского” сечения (но без выделения поляризации вакуума)
- Угловое распределение жестких фотонов соответствует модели Vonneau-Martin (1971)

# Инклюзивное первичное моделирование: подготовка

- **В задании на моделирование задается список эксклюзивных процессов, включающий:**
  - Метку для обработки
  - Тип генератора: без или с с радпоправкой
  - Путь к файлу с таблицей сечений
    - Если без РП – борновского, если с РП – видимого
- **Задается эквивалентный интеграл светимости**
  - число событий = интеграл \* видимое сечение
- **При запуске задания:**
  - Рассчитывается видимое сечение для всех процессов при данной энергии
  - Генерируется файл с суммой борновских сечений для генераторов без РП

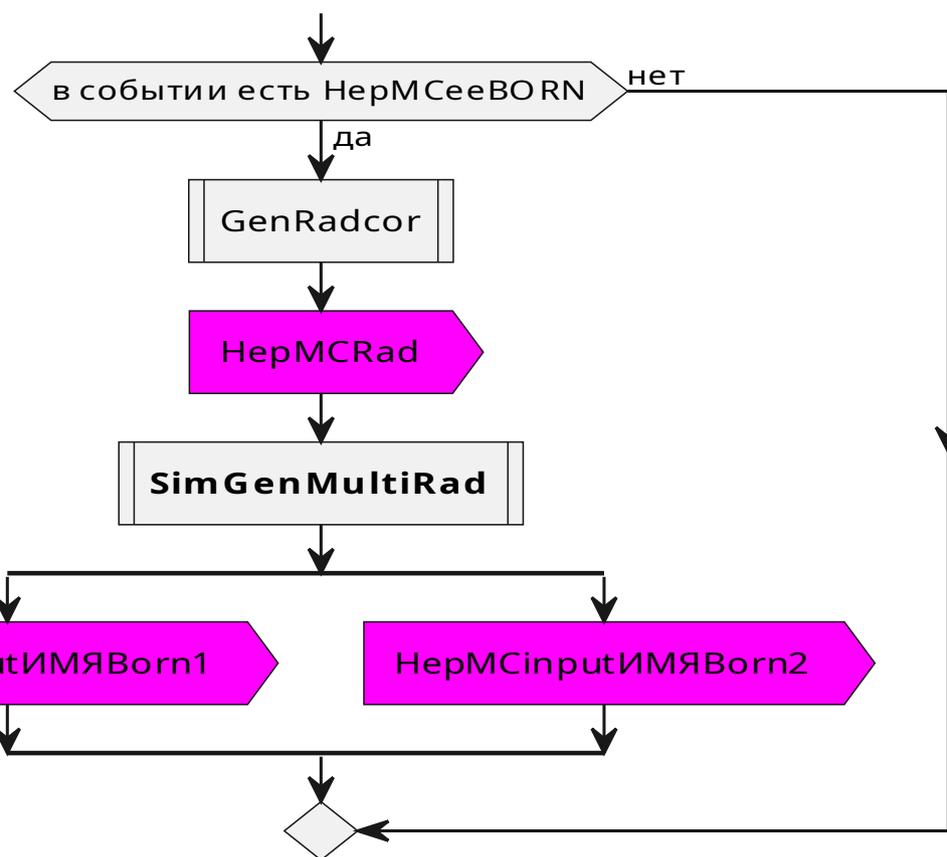
# Инклюзивное первичное моделирование: выбор процесса для генерации

- Создается вершина с 4-импульсом точки встречи (HepMCee)
- На основе таблицы видимых сечений генерируется номер генератора
- Для генератора с РП создаются отдельная вершина
- Для всех генераторов без РП : одинаковая вершина HepMCeeBORN



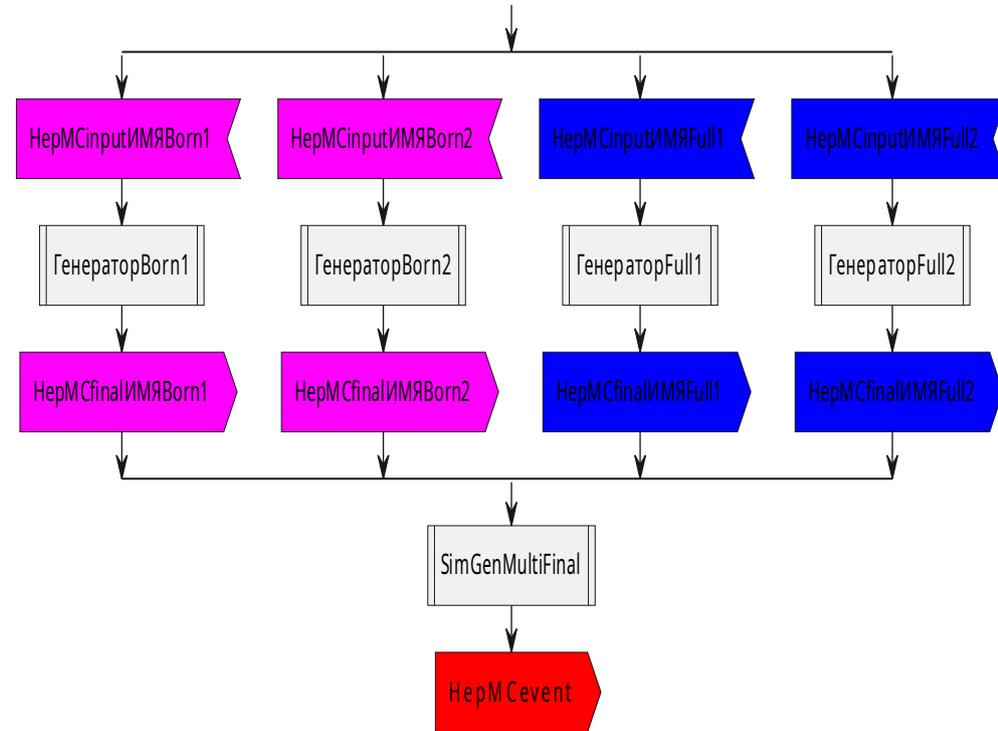
# Инклюзивное первичное моделирование: радпоправка

- Если выбран генератор без РП (в событии есть вершина HepMCRad), сгенерировать радпоправку
- Создать вершину с ISR фотоном и модифицированным импульсом и назвать по имени эксклюзивного генератора



# Инклюзивное первичное моделирование: генерация

- Если в событии присутствует вершина, подходящая для какого-то генератора (по построению одна), то он и вызывается
- В конце эта вершина передается уже для моделирования детектора в Geant4 под именем HepMCevent



# Доработка эксклюзивных генераторов

- **Некоторые генераторы с простой динамикой были реализованы достаточно давно на Fortran 77 с использованием COMMON блоков и других особенностей, не позволяющих использовать несколько копий процедуры, доработаны**
  - $e+e- \rightarrow VP, FF, \gamma P$  и т.д.
- **Пересозданы с использованием C++**

# Таблицы сечений

- Тщательная проверка и согласование с современными данными таблиц сечений!

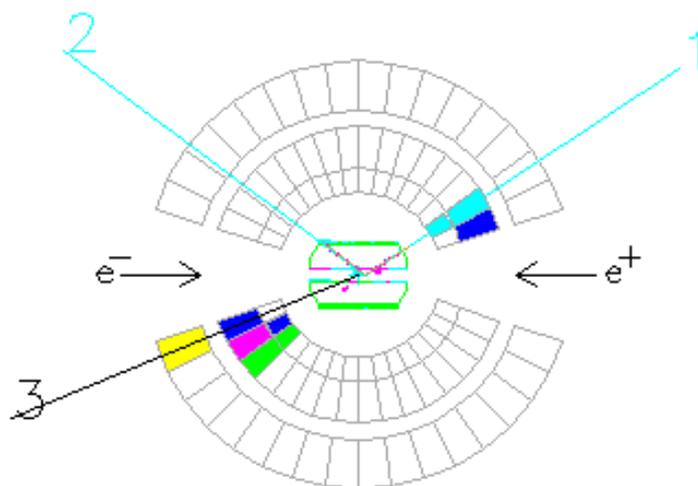
1 Pi0G	17 KsKlPi0	33 KpKsPinPi0
2 EtaG	18 KsKpPin	34 KnKsPipPi0
3 EtapG	19 KsKnPip	35 KpKlPinPi0
4 2Pic	20 KlKpPin	36 KnKlPipPi0
5 KpKn	21 KlKnPip	37 2KsPipPin
6 KsKl	22 KpKnEta	38 2KlPipPin
7 PPbar	23 KsKlEta	39 4Pi0G
8 NNbar	24 3Pi0G	40 4PicPi0
9 2Pi0G_0mPi	25 Eta2Pi0G	41 2Pic3Pi0
10 2Pi0G_non0mPi	26 4Pic	42 Eta4Pic
11 EtaPi0G_0mEta	27 4Pi	43 Eta2Pic2Pi0
12 EtaPi0G_non0mEta	28 Eta3Pi	44 2Kc2PicPi0
13 2EtaG	29 2Kc2Pic	45 2Kc3Pi0
14 3Pi	30 2Kc2Pi0	46 6Pic
15 EtaPipPin	31 KsKl2Pic	47 4Pic2Pi0
16 KpKnPi0	32 KsKl2Pi0	48 2Pic4Pi0

# Заключение

- Реализован инклюзивный генератор для процессов аннигиляции в адроны
- Разработка ПО не потребовала привлечения “физической” экспертизы, только программного комбинирования существующих модулей
- Генератор уже используется для обнаружения и расчета физических фонов в новых анализах

# Спасибо за внимание

FLT1-10/1110111011  
Calc.Trig/1110111001 Br/000000 B1/000000



5 MeV R-Theta projection  
10 MeV T 18/9/0 0/00/00  
20 MeV Run 93 Typ 5 LRec 0  
50 MeV Ev MT 5432178 Ev F 62:  
100 MeV  
E= 335.0MeV E(NaI)/2E= 0.856  
ETOT= 573.5MeV

Reconstructed particles N= 3  
NT E(MeV) X,Y,Z(cm) Phi,Theta(D)  
1 1 0354 -0.0 -0.0 2.1 177 33  
2 1 0225 0.0 -0.0 1.9 0 143  
3 0 0033 -0.0 0.0 0.0 233 157

# Дополнительные материалы

# Таблицы сечений

- **Формат как для радипоправки:**
  - Номер  $E_{cm\_MeV}$   $Crosssection\_nb$
- **Для процессов типа 0 и 2 борновское сечение**
- **Для процессов типа 1 полное (видимое) сечение**
- **Сгенерированный радипоправочный файл переразбивается чтобы в нем было не более 5000 точек**
- **Для сгенерированных событий, попавших в область  $s \leq 0$  или  $\sigma \leq 0$  событие пропускается, увеличивается счетчик**

# Использование (fwk-файл)

```
# declare functions
include("SimGenMulti/multi-lumi.fwi")

# define processes:  simgenMultiRegister(index, PrimaryModule, Name, Crossfile, ProcessType)
# simgenMultiRegister(1, GenBHWIDE,          "Bhabha", "SimGenMulti/tables/bhwide35.rad", 1)
# simgenMultiRegister(2, GenPipPimGamma,    "2Pi",   "SimGenMulti/tables/2pi.rad"      , 2)
# simgenMultiRegister(3, GenThreePi,        "3Pi",   "SimGenMulti/tables/3pi.rad"      , 0)
# simgenMultiRegister(4, GenPseudoscalarGamma, "P0G",   "SimGenMulti/tables/p0g.rad"      , 0)
# simgenMultiRegister(5, GenTwoPseudoscalars, "2Kc",   "SimGenMulti/tables/2kc.rad"      , 0)

beamEnergy = Commonprops.point[0] # MeV
lumi        = 200                  # nb^-1

# finalize generator tables, last argument - output event name
simgenMultiCommit(beamEnergy, lumi, "HepMCeventBR")
```

# Пример с данным заданием

- Лог-файл:

```
*** INFO (**) : config: 4 processes registered
total E(cm) is 1420 MeV
expected IL is 35 nb^-1
visible total cross-section is 32.6624 nb
expected N_events is 1143
```

Index	Tag	Kind	Xsect(vis,nb)	ratio	sums
2	2Pi	2	24.560	0.752	0.752
3	3Pi	0	2.987	0.091	0.843
4	P0G	0	0.247	0.008	0.851
5	2Kc	0	4.868	0.149	1.000

...

```
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiRad.cc): SimGenMultiRad: fetch event named HepMCrad
*** DEBUG: event(SimGenMultiFinal.cc): in the module SimGenMultiFinal
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: fetch events
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: got HepMCfinal2Pi
*** DEBUG: event(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: Put HepMCeventBR
*** DEBUG: event(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: Put info SimPrimaryId, phash 1703755, pnum 2, pnevents 859, pevent 37
```

```
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiRad.cc): SimGenMultiRad: fetch event named HepMCrad
*** DEBUG: physics(SimGenMultiRad.cc): SimGenMultiRad: skip event process "2Kc" sigma(780.253)=0 <= 0
*** WARNING: event(SimGenMultiRad.cc): increase total expected events counter in SimGenMultiRad
```

```
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiRad.cc): SimGenMultiRad: fetch event named HepMCrad
*** DEBUG: event(SimGenMultiFinal.cc): in the module SimGenMultiFinal
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: fetch events
*** DEBUG: fetch(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: got HepMCfinal2Pi
*** DEBUG: event(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: Put HepMCeventBR
*** DEBUG: event(SimGenMultiFinal.cc): SimGenMultiFinal: Put info SimPrimaryId, phash 1703755, pnum 2, pnevents 859, pevent 38
```

# Статистика

- Повторим шапку

```
*** INFO (**): config: 4 processes registered
total E(cm) is 1420 MeV
expected IL is 35 nb^-1
visible total cross-section is 32.6624 nb
expected N_events is 1143
```

Index	Tag	Kind	Xsect(vis,nb)	ratio	sums
2	2Pi	2	24.560	0.752	0.752
3	3Pi	0	2.987	0.091	0.843
4	P0G	0	0.247	0.008	0.851
5	2Kc	0	4.868	0.149	1.000

\* Результат (по файлу psy.gz):

- Число событий: 855, 111, 10, 167

```
74.8 +- 2.6
 9.7 +- 0.9
 0.9 +- 0.3
14.6 +- 1.1
```