

# ComrNER

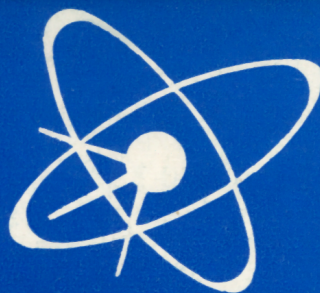
**автоматизированные расчеты от лагранжиана  
до генерации событий**

*Коллаборация ComrNER:*

Э.Боос, В.Буничев, М.Дубинин, Л.Дудко, В.Еднерал, В.Ильин,  
А.Крюков, В.Саврин, А.Семенов, А.Шерстнев

*НИИЯФ МГУ*





**НИИЯФ  
МГУ**

PREPRINT 89-63/140

CompHEP -  
COMPUTER SYSTEM FOR CALCULATIONS  
OF PARTICLE COLLISION CHARACTERISTICS  
AT HIGH ENERGIES

MOSCOW 1989

Для коллайдеров нового поколения LEP2, HERA, Tevatron, LHC, ILC уже в СМ нужны прецизионные расчеты эксклюзивных реакций с числом конечных частиц (фермионов) 4, 5, 6 и 8, а также дополнительными жесткими фотонами и/или струями.

- Рождение  $ZZ, W^+W^-, HZ$  – 4 фермиона  
 $M(e^+ e^- \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-)$  определяют 144 диаграммы
- Рождение пары  $tt$  – 8 фермионов
- Рождение одиночного  $t$ -кварка в моде  $gW$  – 5 фермионов
- Рождение бозона Хиггса в состоянии  $ttH$  – 8 фермионов
- Рождение бозона Хиггса  $pp \rightarrow q q W^+ W^-$  – 6 фермионов

**Два основных типа генераторов событий для коллайдеров:**

**(1) работают с библиотеками амплитуд для различных процессов. В основном включают в себя наборы амплитуд  $2 \rightarrow 2$  и  $1 \rightarrow 2$**

**(2) работают с правилами Фейнмана или элементарными спиральными амплитудами. Вычисляют автоматически любые требуемые амплитуды процессов. По отношению к (1) являются «генераторами генераторов» или «мета-генераторами».**

- Генераторы и интеграторы, основывающиеся на библиотеках: PYTHIA, HERWIG, ALPGEN, MC@NLO, TopREX, TAUOLA, WHIST/PHASE, SANC, HDECAY...**
- Генераторы, работающие с правилами Фейнмана: CompHEP, GRACE, MadGraph, CalcHEP, O'MEGA/WHIZARD, SHERPA, ALPHA, HELAS**

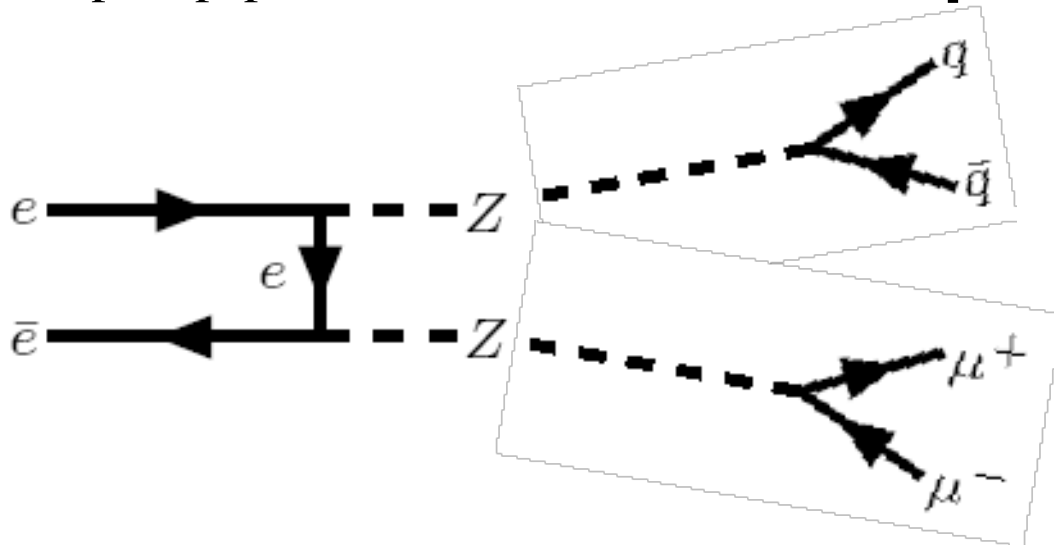
- **CompHEP является первым генератором, работающим с правилами Фейнмана для широкого спектра нестандартных моделей теории поля. Правила Фейнмана генерируются автоматически программой LanHEP исходя из лагранжевых членов в пространстве координат.**

## Содержание

- Стандартная физика на LEP2, Tevatron, HERA и LHC. Полные наборы древесных диаграмм, калибровочная инвариантность и унитарное поведение. Многоканальное Монте Карло интегрирование и регуляризация амплитуд. Примеры.
- Лагранжианы в формате CompHEP. Генерация нестандартных моделей. Программный пакет LanHEP.
- Физика вне стандартной модели. Примеры.
- Последние этапы развития CompHEP для применения в рамках проекта LHC: ядро FORM, интерфейсы к программам PYTHIA 6, HERWIG 6, базы данных событий для LHC (MCDB), пассивные режимы (batch modes) счета для многопроцессорных комплексов, универсальный формат Les Houches Accord, интерфейсы к детекторам LHC и проч.
- Промежуточные итоги

CompHEP работает с полными калибровочно-инвариантными наборами древесных диаграмм, не используя стандартные приближения типа рождение × распад (или беск.малой ширины: PYTHIA, HERWIG, ...).

Рождение четырех фермионов, LEP2:  **$e^+, e^- \rightarrow \mu^+ \mu^- q \bar{q}$** ,  **$e \nu_e u d$**



$$\frac{1}{(q^2 - m^2)^2 + m^2 \Gamma^2} \Rightarrow \frac{\pi}{m \Gamma} \delta(q^2 - m^2)$$

Удовлетворительная точность только в околорезонансной области.

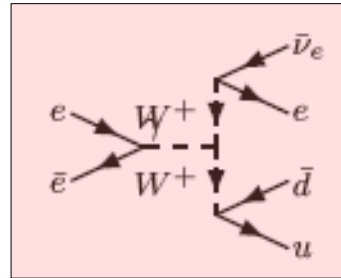
Диаграммы неприводимого фона не учитываются.

# Пример: одиночное рождение W -бозона, LEP2

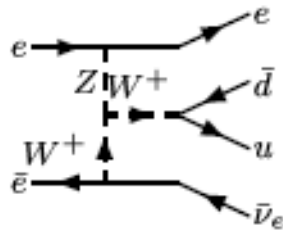
$$e^+ e^- \rightarrow e^- \nu_e u \bar{d}$$

розовым выделены диаграммы парного рождения  $W^+W^-$ , прочие диаграммы

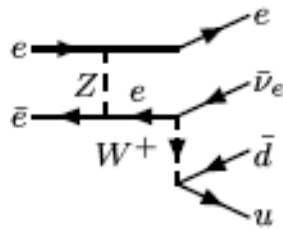
– рождение одиночного W и лестничные



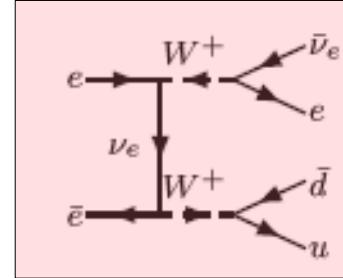
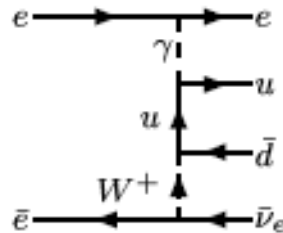
diagr.1



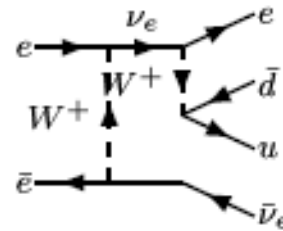
diagr.5



diagr.9



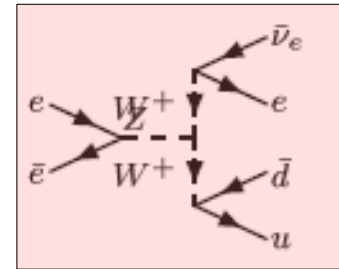
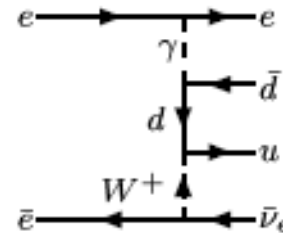
diagr.2



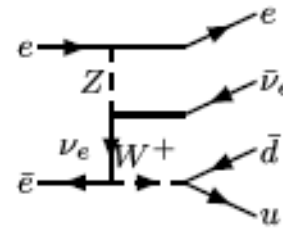
diagr.6



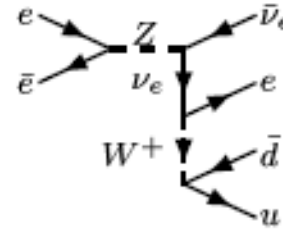
diagr.10



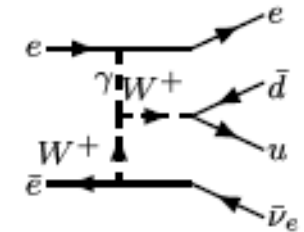
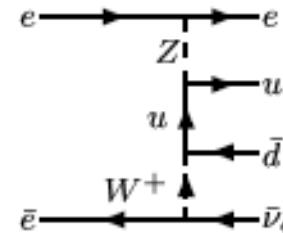
diagr.3



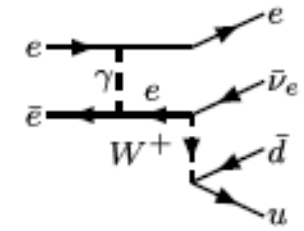
diagr.7



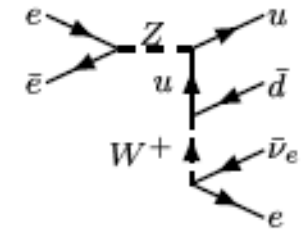
diagr.11



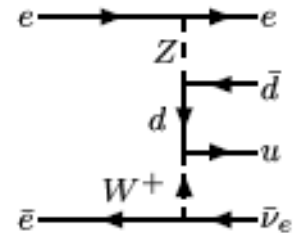
diagr.4



diagr.8



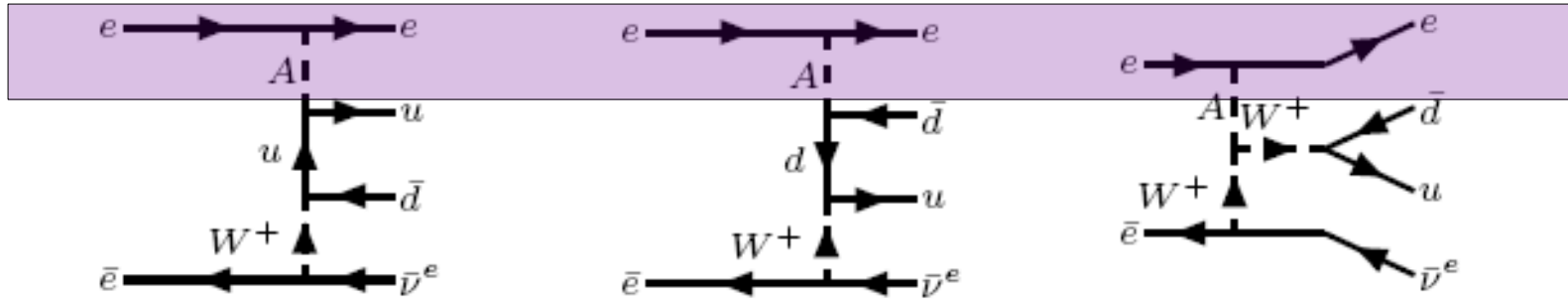
diagr.12





Точные пропагаторы могут нарушать сокращения двойных полюсных членов (калибровочные  $U(1)_{em}$  сокращения), что дает неунитарный рост  $\sigma$

Пример: диаграммы с фотонами в  $t$ -канале ( $A \equiv \gamma$ )



$$t_{\max} = -m_e^2 \left( \frac{M^2}{s} \right)^2, \quad M^2 = (p_u + p_d + p_{\nu_e})^2, \quad m_e = 0.511 \text{ MeV}, \quad \sqrt{s} = 200 \text{ GeV}$$

$$\sigma(s) = \int_{-s}^{t_{\max}} \frac{dt}{t^2} \sim s^2/M^4. \quad \text{Nonunitary}$$

$$\sigma(s) = \int_{-s}^{t_{\max}} \frac{dt}{t} \sim \log(s/M^2) \quad \text{OK}$$

Регуляризация квадрированных амплитуд CompHEP осуществляется в рамках факторизации фазового объема  $dR_n = \int dR_{n-2} dR_2 ds$  с последующей заменой переменных, в которых есть сингулярности. Это единственная операция, не проводящаяся в автоматическом режиме. Позволяет получить точность вычисления сечений порядка 0.1 % и эффективность генерации «событий без веса» для сингулярных амплитуд порядка 1 % при энергиях ЛНС  $\sqrt{s}=14$  TeV, что для других генераторов недостижимо.

$$F(x) = f(x) (g_1(x) + \dots + g_n(x)) = f(x) \sum_{i=1}^n g_i(x),$$

$$dx = \frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i(x(\tilde{y}))} d\tilde{y},$$

$$\int_a^b F(x) dx = \int_0^1 F(G^{-1}(y)) J_{\{g\}}^x(y) dy,$$

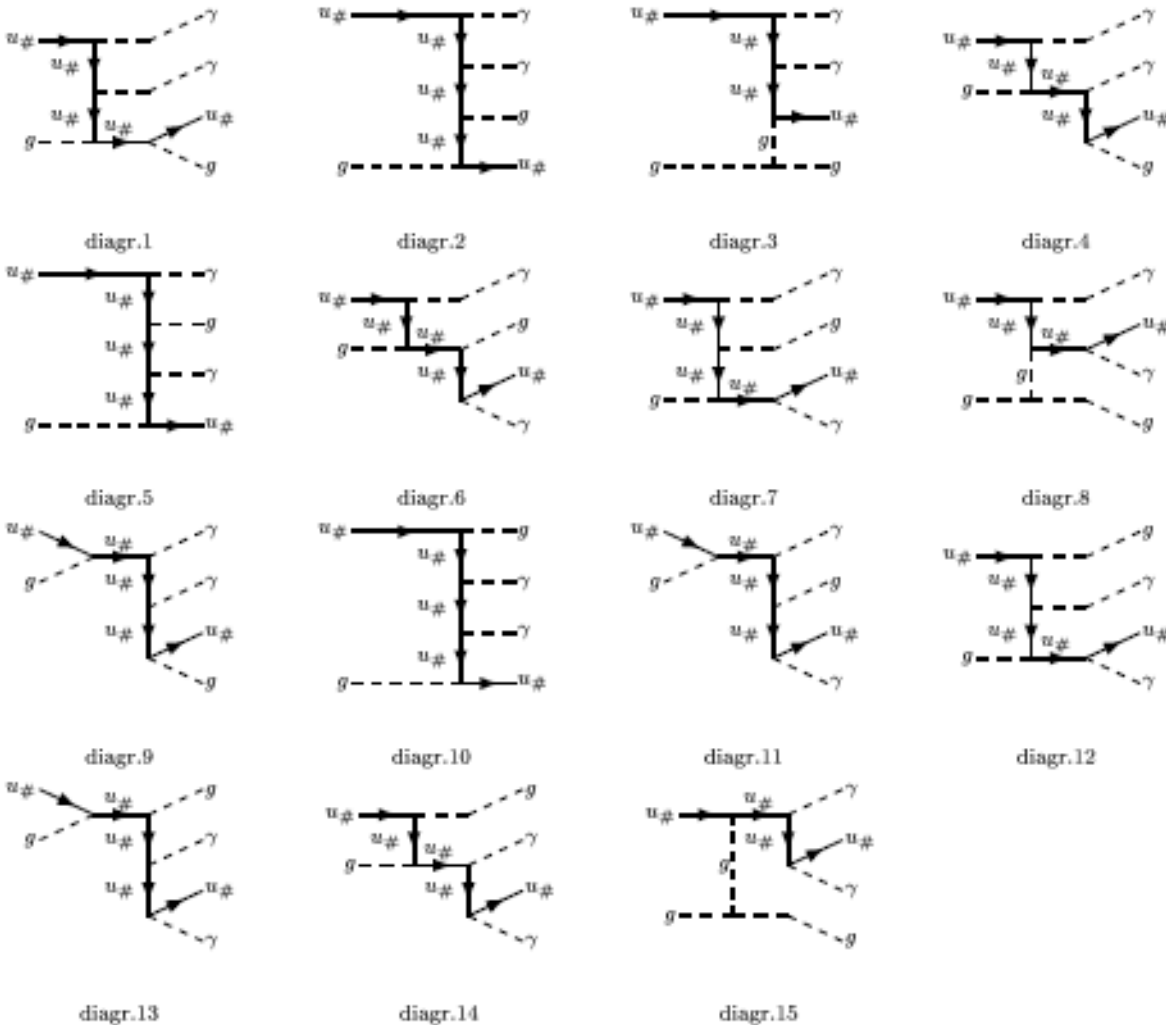
$$\tilde{y}(x) = \sum_{i=1}^n G_i(x) \equiv G(x),$$

$$J_{\{g\}}^x(y) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i(x(y))} (G(b) - G(a)).$$

$$g_i(s_k) = \frac{1}{(s_k - S_0)^2 + \epsilon^2}$$

$$G_i(s_k) = \frac{1}{\epsilon} \arctan \left( \frac{s_k - S_0}{\epsilon} \right).$$

**Пример: регуляризация амплитуды  $pp \rightarrow \gamma\gamma + 2 \text{ jet}$  ( неприводимый КХД фон к сигналу легкого бозона Хиггса на ЛНС в сигнатуре  $u\bar{u}$  +струи). 36 партонных подпроцессов в hash-model format, в каждом из них 15-20 диаграмм и 10-20 регуляризаций.**



Regularization	Momentum	> Mass	< > Width	<  Power
13	0	0	0	1
14	0	0	0	1
15	0	0	0	1
25	0	0	0	1
26	0	0	0	1
134	0	0	0	2
135	0	0	0	2
145	0	0	0	2
256	0	0	0	2
236	0	0	0	2
246	0	0	0	2
36	0	0	0	1
46	0	0	0	1
56	0	0	0	1
356	0	0	0	1
456	0	0	0	1
346	0	0	0	1
12	0	0	0	2

**Пример: регуляризация амплитуды  $pp \rightarrow \gamma + 3 \text{ jet}$  (КХД фон  
ошибочной идентификации [ $\text{jet} \rightarrow \gamma$ ] к сигналу легкого бозона Хиггса  
на ЛНС в сигнатуре  $u\bar{u}$ +струн). 50 партонных подпроцессов в hash-  
model format, в каждом из них 30-40 диаграмм и 10-20 регуляризаций.**

**Общее число диаграмм КХД около 2000**

	subprocess	$\sigma$ , [pb]	$\frac{\sigma}{\sigma_{\text{max}}}$
1	$u\#, u\# \rightarrow A, G, u\#, u\#$	514.1	0.36
2	$u\#, U\# \rightarrow A, G, u\#, U\#$	123.2	0.09
3	$u\#, U\# \rightarrow A, G, d\#, D\#$	0.3	0
4	$u\#, U\# \rightarrow A, G, G, G$	2.4	0
5	$u\#, d\# \rightarrow A, G, u\#, d\#$	208.1	0.15
6	$u\#, D\# \rightarrow A, G, u\#, D\#$	101.4	0.07
7	$u\#, G \rightarrow A, u\#, u\#, U\#$	52.5	0.04
8	$U\#, G \rightarrow A, u\#, d\#, D\#$	30.3	0.02
9	$u\#, G \rightarrow A, G, G, u\#$	1397.7	1
10	$U\#, u\# \rightarrow A, G, u\#, U\#$	125.7	0.09
11	$U\#, u\# \rightarrow A, G, d\#, D\#$	0.3	0
12	$U\#, u\# \rightarrow A, G, G, G$	2.4	0
13	$U\#, U\# \rightarrow A, G, U\#, U\#$	19.1	0.01
14	$U\#, d\# \rightarrow A, G, U\#, d\#$	41.9	0.03
15	$U\#, D\# \rightarrow A, G, U\#, D\#$	17.2	0.01
16	$U\#, G \rightarrow A, u\#, U\#, U\#$	8.5	0.01
17	$U\#, G \rightarrow A, U\#, d\#, D\#$	4.5	0
18	$U\#, G \rightarrow A, G, G, U\#$	196.5	0.14
19	$d\#, u\# \rightarrow A, G, u\#, d\#$	206.9	0.15
20	$d\#, U\# \rightarrow A, G, U\#, d\#$	41.9	0.03
21	$d\#, d\# \rightarrow A, G, d\#, d\#$	49.7	0.03
22	$d\#, D\# \rightarrow A, G, u\#, U\#$	0.1	0
23	$d\#, D\# \rightarrow A, G, d\#, D\#$	23.3	0.02
24	$d\#, D\# \rightarrow A, G, G, G$	0.4	0
25	$d\#, G \rightarrow A, u\#, U\#, d\#$	23.9	0.02

$d\#, G \rightarrow A, d\#, d\#, D\#$	8.0	0
$d\#, G \rightarrow A, G, G, d\#$	195.2	0.14
$D\#, u\# \rightarrow A, G, u\#, D\#$	98.7	0.07
$D\#, U\# \rightarrow A, G, U\#, D\#$	17.6	0.01
$D\#, d\# \rightarrow A, G, u\#, U\#$	0.1	0
$D\#, d\# \rightarrow A, G, d\#, D\#$	23.2	0.02
$D\#, d\# \rightarrow A, G, G, G$	0.4	0
$D\#, D\# \rightarrow A, G, D\#, D\#$	9.0	0
$D\#, G \rightarrow A, u\#, U\#, D\#$	9.6	0
$D\#, G \rightarrow A, d\#, D\#, D\#$	2.8	0
$D\#, G \rightarrow A, G, G, D\#$	69.1	0.05
$G, u\# \rightarrow A, u\#, u\#, U\#$	53.3	0.04
$G, u\# \rightarrow A, u\#, d\#, D\#$	29.7	0.02
$G, u\# \rightarrow A, G, G, u\#$	1400.0	1
$G, U\# \rightarrow A, u\#, U\#, U\#$	9.5	0
$G, U\# \rightarrow A, U\#, d\#, D\#$	4.5	0
$G, U\# \rightarrow A, G, G, U\#$	198.6	0.14
$G, d\# \rightarrow A, u\#, U\#, d\#$	23.8	0.02
$G, d\# \rightarrow A, d\#, d\#, D\#$	7.7	0
$G, d\# \rightarrow A, G, G, d\#$	190.9	0.13
$G, D\# \rightarrow A, u\#, U\#, D\#$	9.9	0
$G, D\# \rightarrow A, G, G, D\#$	2.9	0
$G, D\# \rightarrow A, G, G, D\#$	68.8	0.05
$G, G \rightarrow A, G, u\#, U\#$	277.9	0.20
$G, G \rightarrow A, G, d\#, D\#$	69.5	0.05
$pp \rightarrow A, j, j, j$	5970.4	

# Примеры форматов лагранжевых членов СМ в model input file пакета LanHEP генерации правил Фейнмана

```
% left fermion interaction with gauge fields
```

```
lterm anti(psi)*gamma*(1-g5)/2*(i*deriv-g*taupm*WW/2-Y*g1*B1)*psi
      where
          psi=l1, Y=-1/2;
          psi=l2, Y=-1/2;
          psi=l3, Y=-1/2;
          psi=q1a, Y= 1/6;
          psi=q2a, Y= 1/6;
          psi=q3a, Y= 1/6.
```

```
% right fermion interaction with gauge fields
```

```
lterm anti(psi)*gamma*(1+g5)/2*(i*deriv - Y*g1*B1)*psi
      where
          psi=e1,Y= -1;
          psi=e2,Y= -1;
          psi=e3,Y= -1;
          psi=u, Y= 2/3;
          psi=c, Y= 2/3;
          psi=t, Y= 2/3;
          psi=d, Y= -1/3;
          psi=s, Y= -1/3;
          psi=b, Y= -1/3.
```

```
% quark-gluon interaction
```

```
lterm GG*anti(psi)*lambda*gamma*G*psi where
      psi=q1; psi=q2; psi=q3.
```

# Пример: формат сектора вершин $W,Z$ – кварки в CompHEP model file

SM, unitary gauge  
Lagrangian

P1	P2	P3	P4	> Factor	< > dLagrangian/ dA(p1) dA(p2) dA(p3)
A	W+	W-		-EE	m3.p2*m1.m2-m1.p2*m2.m3-m2.p3*m1.m3+m1.p3*m2.m3+m2.p1*m1.m3-m3.p1*m1.m
B	b	A		EE/3	G(m3)
B	b	G		GG	G(m3)
B	b	H		-EE*Mb/(2*MW*SW)	1
B	b	Z		-EE/(12*CW*SW)	2*SW^2*G(m3)*(1+G5)-(3-2*SW^2)*G(m3)*(1-G5)
B	c	W-		-EE*Sqrt2*Vcb/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
B	t	W-		-EE*Sqrt2*Vtb/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
B	u	W-		-EE*Sqrt2*Vub/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
C	b	W+		-EE*Sqrt2*Vcb/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
C	c	A		-2*EE/3	G(m3)
C	c	G		GG	G(m3)
C	c	H		-EE*Mc/(2*MW*SW)	1
C	c	Z		-EE/(12*CW*SW)	(3-4*SW^2)*G(m3)*(1-G5)-4*SW^2*G(m3)*(1+G5)
C	d	W+		-EE*Sqrt2*Vcd/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
C	s	W+		-EE*Sqrt2*Vcs/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
D	c	W-		-EE*Sqrt2*Vcd/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
D	d	A		EE/3	G(m3)
D	d	G		GG	G(m3)
D	d	Z		-EE/(12*CW*SW)	2*SW^2*G(m3)*(1+G5)-(3-2*SW^2)*G(m3)*(1-G5)
D	t	W-		-EE*Sqrt2*Vtd/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
D	u	W-		-EE*Sqrt2*Vud/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
E	e	A		EE	G(m3)
E	e	Z		EE/(4*CW*SW)	(1-2*SW^2)*G(m3)*(1-G5)-2*SW^2*G(m3)*(1+G5)
E	ne	W-		-EE*Sqrt2/(4*SW)	G(m3)*(1-G5)
G	G	G		GG	m2.p3*m1.m3-m1.p3*m2.m3+m3.p1*m1.m2-m2.p1*m1.m3-m3.p2*m1.m2+m1.p2*m2.m
G.C	G.c	G		GG	m3.p2
H	H	H		-3*EE*MH^2/(2*MW*SW)	1
H	W+	W-		EE*MW/SW	m2.m3
H	Z	Z		EE*MW/(CW^2*SW)	m2.m3

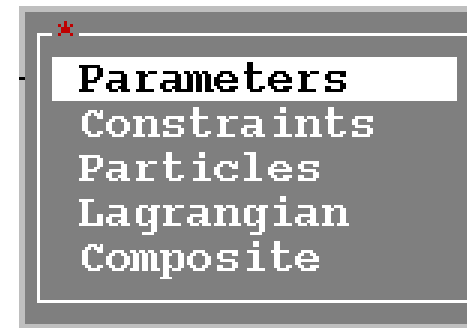
## General instruction

- Modify SM Feynman rules or write your own set. If too complicated,
- Install LanHEP

<http://theory.sinp.msu.ru/~semenov/lanhep.html>

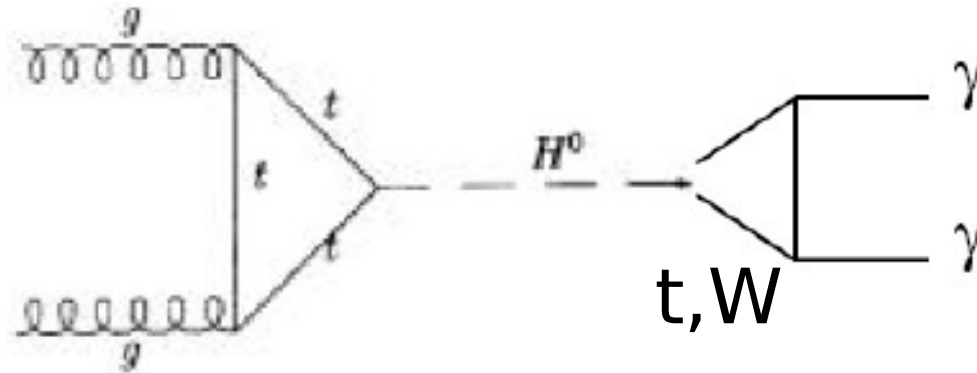
- Print Lagrangian in LanHEP file modelBSM.mdl
- Type the command `lanhep modelBSM.mdl`
- Check the output Feynman rules, constraints, etc. in

```
vars.mdl  
func.mdl.  
prtcls.mdl  
lgrng.mdl
```



- Install CompHEP. Move \*.mdl files to user/models dir  
<http://theory.sinp.msu.ru/comphep>
- Open new model. Input physical process of interest. Generate unweighted events.

Simple example: how to implement  $gg \rightarrow \gamma\gamma$  at the one-loop to CompHEP model (Higgs boson at LHC, inclusive mode)



The effective Lagrangian

$$\mathcal{L}_{\gamma\gamma H}^{\text{eff}} = -\frac{\lambda_{\gamma\gamma H}}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} H$$

The effective vertex

$$\Gamma_{\gamma\gamma H/\gamma Z H}^{\mu\nu}(k_1, k_2) = \lambda_{\gamma\gamma H/\gamma Z H} [(k_1 k_2) g^{\mu\nu} - k_1^\nu k_2^\mu]$$

where

$$\lambda_{\gamma\gamma H} = 8 \sqrt{\frac{\pi}{m_H^3} \Gamma^{\text{tot}} Br(H \rightarrow \gamma\gamma)}$$

find using HDECAY (Djouadi, Kalinowski, Spira, CPC 108(1998)56) or other loop package (e.g. FeynHiggs)



add 1 term to LanHEP model file model\_FFH.mdl

```
% effective lagrangian term FFH
```

```
parameter lambda_ggH=1e-5.
```

```
lterm - lambda_ggH/4
      *(deriv^mu*A^nu-deriv^nu*A^mu)
      *(deriv^mu*A^nu-deriv^nu*A^mu)*H.
```

and generate lgrng.mdl in CompHEP format

Stand. Model+VWH (un. gauge)

Lagrangian						< > dLagrangian/ dA(p1) dA(p2) dA(p3)		
P1	P2	P3	P4	> Factor				
A	A	H		lambda_ggH		p1.p2*m1.m2-m2.p1*m1.p2		
A	W+	W-		-EE		m3.p2*m1.m2-m1.p2*m2.m3-m2.p3*m1.m3+m1.p3*m2.m3+m2.p1*m1.m3-m3.p1		
B	b	A		EE/3		G(m3)		
B	b	G		GG		G(m3)		
B	b	H		-EE*Mb/(2*MW*SW)		1		
B	b	Z		-EE/(12*CW*SW)		2*SW**2*G(m3)*(1+G5)-(3-2*SW**2)*G(m3)*(1-G5)		
B	c	W-		-EE*Sqrt2*Vcb/(4*SW)		G(m3)*(1-G5)		
B	t	W-		-EE*Sqrt2*Vtb/(4*SW)		G(m3)*(1-G5)		
B	u	W-		-EE*Sqrt2*Vub/(4*SW)		G(m3)*(1-G5)		
C	b	W+		-EE*Sqrt2*Vcb/(4*SW)		G(m3)*(1-G5)		
C	c	A		-2*EE/3		G(m3)		
C	c	G		GG		G(m3)		
C	c	H		-EE*Mc/(2*MW*SW)		1		
C	c	Z		-EE/(12*CW*SW)		(3-4*SW**2)*G(m3)*(1-G5)-4*SW**2*G(m3)*(1+G5)		

# Beyond the SM with CompHEP: main fields of interest (theory)

Effective operators of higher dimensions ( $\text{ndim} > 4$ )

anomalous triple  $\gamma W^+ W^-$ ,  $Z W^+ W^-$  couplings

anomalous quartic  $Z, W^\pm$  couplings

anomalous t-quark ( $Wtb$ ) couplings

anomalous Higgs self-couplings  $\text{ndim} = 6$

contact 4-fermion interactions

SUSY particles

chargino, neutralino and sfermion production

MSSM without R-parity, NMSSM

SUSY Higgs bosons

$h, H, A$  and  $H^\pm$  production

intense coupling regime in the Higgs sector

explicit CP violation in the Higgs sector

## Quantum gravity and extra dimensions

universal extra dimensions;

RS1 and effective 4-particle Lagrangian for RS1

neutral gauge boson from extra dimensions

Higgs signals in large extra dimensions

graviton production in KK with large extra dimensions

relic density of KK dark matter

## Extensions of SM (other than SUSY) and exotica

Leptoquarks, scalar and vector

excited quarks and leptons

extra generations and heavy neutrino

$SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)$  model,  $W'$  and  $Z'$

$SU(3)_L \times U(1)$  model,  $W'$  and  $Z'$ , Higgs bosons

lepton flavor violation, FCNC

Muonic photon

Paraphoton

E6 isosinglet quark

Heavy Dirac and Majorana neutrinos

little Higgs models with T-parity

doubly charged Higgs bosons

.....

The list of topics is based on the analysis of more than 1000 papers quoting CompHEP.

## Published experimental analyses beyond the SM quoting CompHEP

DELPHI '98	chargino, neutralino, gravitino at LEP2	
ALEPH '98	SUSY in $\gamma$ +miss ET,	LEP2
DELPHI '99	H in events with isolated $\gamma$	LEP2
D0	'01 leptoquark pairs $\rightarrow \nu$ +jets	Tevatron
H1	'02 excited $\nu$	HERA
H1	'03 e and $\mu$ with miss PT	HERA
ZEUS	'03 single top production	HERA
D0,CDF	'03 single top production	Tevatron
OPAL	'03 single production of $H^{++}$ , $H^{--}$	LEP2
D0	'04 three and four body stop decays	Tevatron
CDF	'05 excited and exotic lepton $\rightarrow e\gamma$	Tevatron
CMS	'05 discovery of SUSY with $\mu\mu$	LHC
H1	'05 doubly charged Higgs bosons	HERA
H1	'05 search for monopole	HERA
D0	'07 single top evidence	Tevatron

List is not full. A number of CMS and Tevatron studies '08-'09 in progress or not yet appeared.

## (I) Anomalous interactions of top-quark

$$L_{eff} = L_{SM} + \frac{1}{\Lambda^2} \sum_i C_i O_i + O\left(\frac{1}{\Lambda^4}\right)$$

Seven  $SU(2) \otimes U(1)$  invariant effective operators of dimension six contributing to the  $Wtb$  vertex

$$\begin{aligned} O_{tW\Phi} &= [(\bar{q}_L \sigma^{\mu\nu} \tau^I t_R) \Phi + \Phi^\dagger (\bar{t}_R \sigma^{\mu\nu} \tau^I q_L)] W_{\mu\nu}^I \\ O_{bW\Phi} &= [(\bar{q}_L \sigma^{\mu\nu} \tau^I b_R) \Phi + \Phi^\dagger (\bar{b}_R \sigma^{\mu\nu} \tau^I q_L)] W_{\mu\nu}^I \\ O_{t3} &= i[(\Phi^\dagger D_\mu \Phi) (\bar{t}_R \gamma_\mu b_R) - (D_\mu \Phi)^\dagger \Phi (\bar{b}_R \gamma_\mu t_R)] \\ O_{Dt} &= (q_L D_\mu t_R) D^\mu \Phi + (D^\mu \Phi)^\dagger (\overline{D_\mu t_R q_L}) \\ O_{qW} &= [\bar{q}_L \gamma^\mu \tau^I D^\nu q_L + \overline{D^\nu q_L} \gamma^\mu \tau^I q_L] W_{\mu\nu}^I \\ O_{\Phi q}^3 &= i[\Phi^\dagger \tau^I D_\mu \Phi - (D_\mu \Phi)^\dagger \tau^I \Phi] \bar{q}_L \gamma_\mu \tau^I q_L \\ O_{Db} &= (q_L D_\mu b_R) D^\mu \Phi + (D_\mu \Phi)^\dagger (\overline{D_\mu b_R q_L}) \end{aligned}$$

$$q_L = \begin{pmatrix} t_L \\ b_L \end{pmatrix}, \quad W_{\mu\nu}^I = \partial_\mu W_\nu^I - \partial_\nu W_\mu^I + g \epsilon_{IJK} W_\mu^J W_\nu^K$$

$O_{tW\Phi}$  and  $O_{bW\Phi}$  give the effective Lagrangian

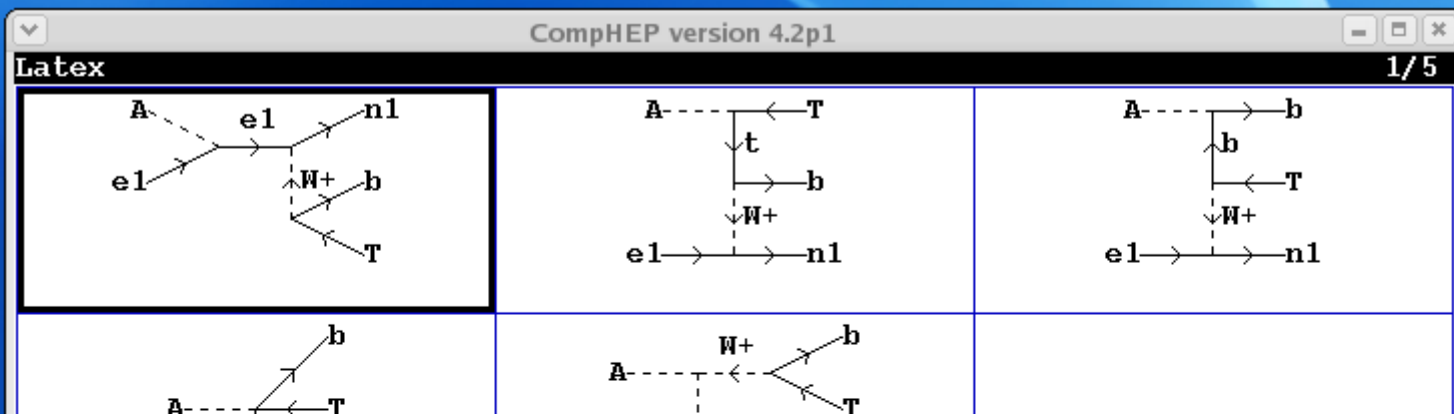
$$\mathcal{L} = \frac{g}{\sqrt{2}} \frac{1}{2m_W} W_{\mu\nu} \bar{t} \sigma^{\mu\nu} (f_{2R} P_L + f_{2L} P_R) b + \text{h.c.}$$

where  $f_{2L}$  and  $f_{2R}$  are the  $Wtb$  anomalous couplings

$$f_{2L} = \frac{C_{tW\Phi}}{\Lambda^2} \frac{v\sqrt{2}m_W}{g}, \quad f_{2R} = \frac{C_{bW\Phi}}{\Lambda^2} \frac{v\sqrt{2}m_W}{g}$$

$$W_{\mu\nu} = D_\mu W_\nu - D_\nu W_\mu, \quad D_\mu = \partial_\mu - ieA_\mu$$

$$P_{R,L} = \frac{1}{2}(1 \pm \gamma_5), \quad \sigma_{\mu\nu} = \frac{i}{2}(\gamma_\mu\gamma_\nu - \gamma_\nu\gamma_\mu)$$



CompHEP version 4.2p1

(sub)Process: A, e1 -> n1, T, b  
 Monte Carlo session: 1(continue)

#IT	Cross section [pb]	Error %	nCall	chi**2
1	4.2614E-02	1.42E+01	94080	
2	3.6341E-02	6.42E-01	94080	
3	3.6209E-02	1.78E-01	94080	
4	3.6255E-02	1.06E-01	94080	
5	3.6298E-02	8.29E-02	94080	
< >	3.6273E-02	6.10E-02	470400	0.8
1	3.6200E-02	7.69E-02	94080	
2	3.6210E-02	8.16E-02	94080	
3	3.6229E-02	8.55E-02	94080	
4	3.6220E-02	8.13E-02	94080	
5	3.6185E-02	8.20E-02	94080	
< >	3.6208E-02	3.64E-02	470400	0.3

---

Vegas

Display Distributions

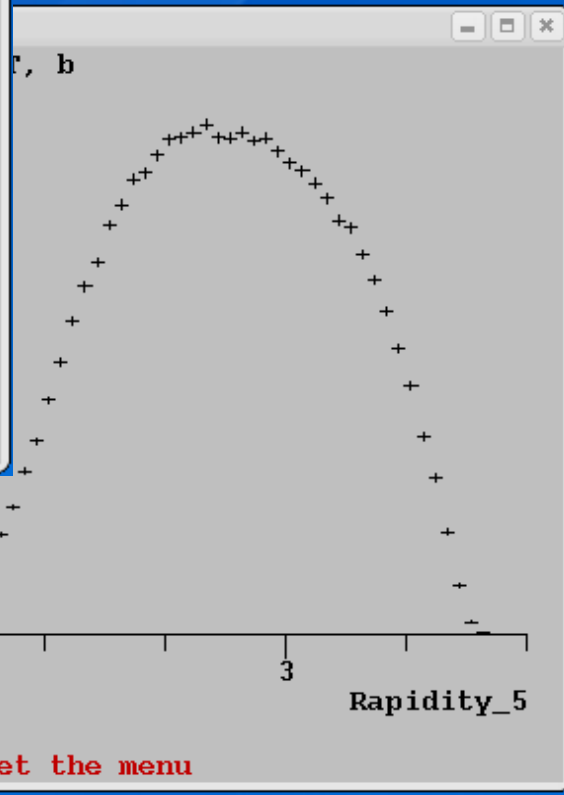
y5

number of bins

- 300
- 150
- 100
- 75
- 60
- 50
- 30
- 25

PgDn

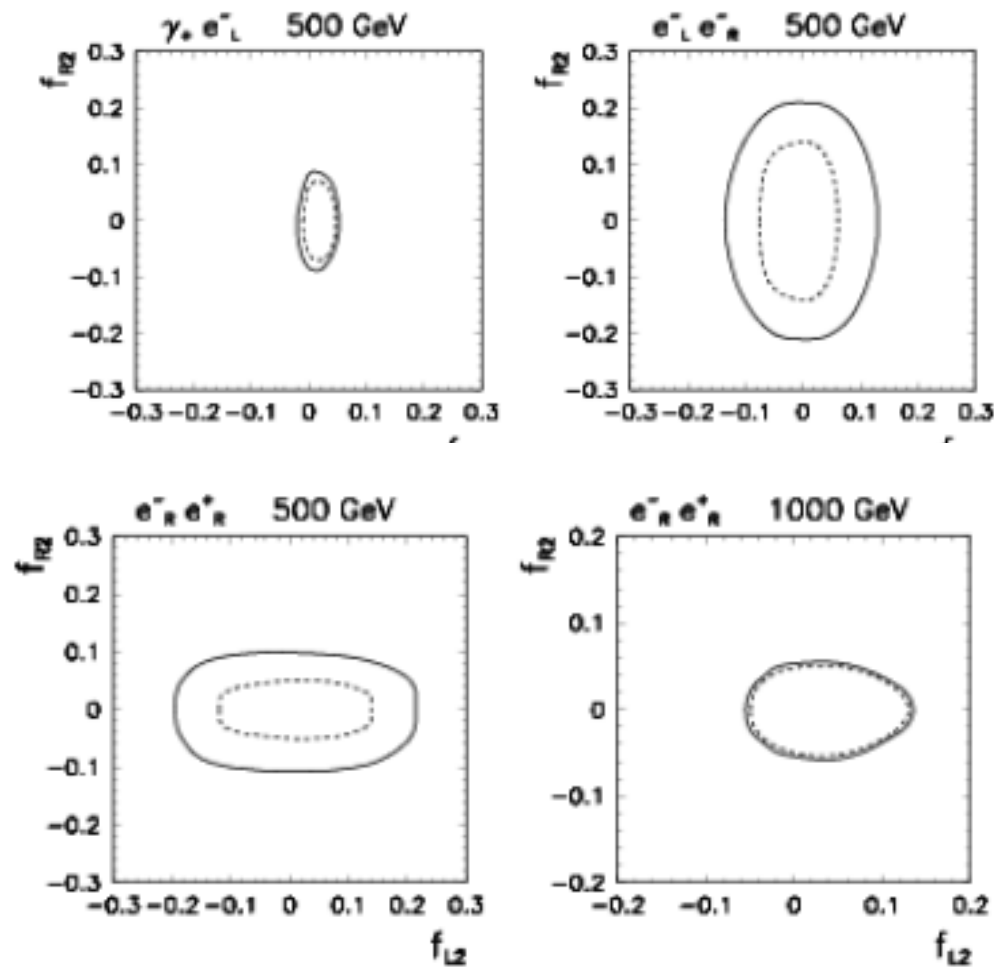
F1-Help F2-Man F6-Results F9-Quit





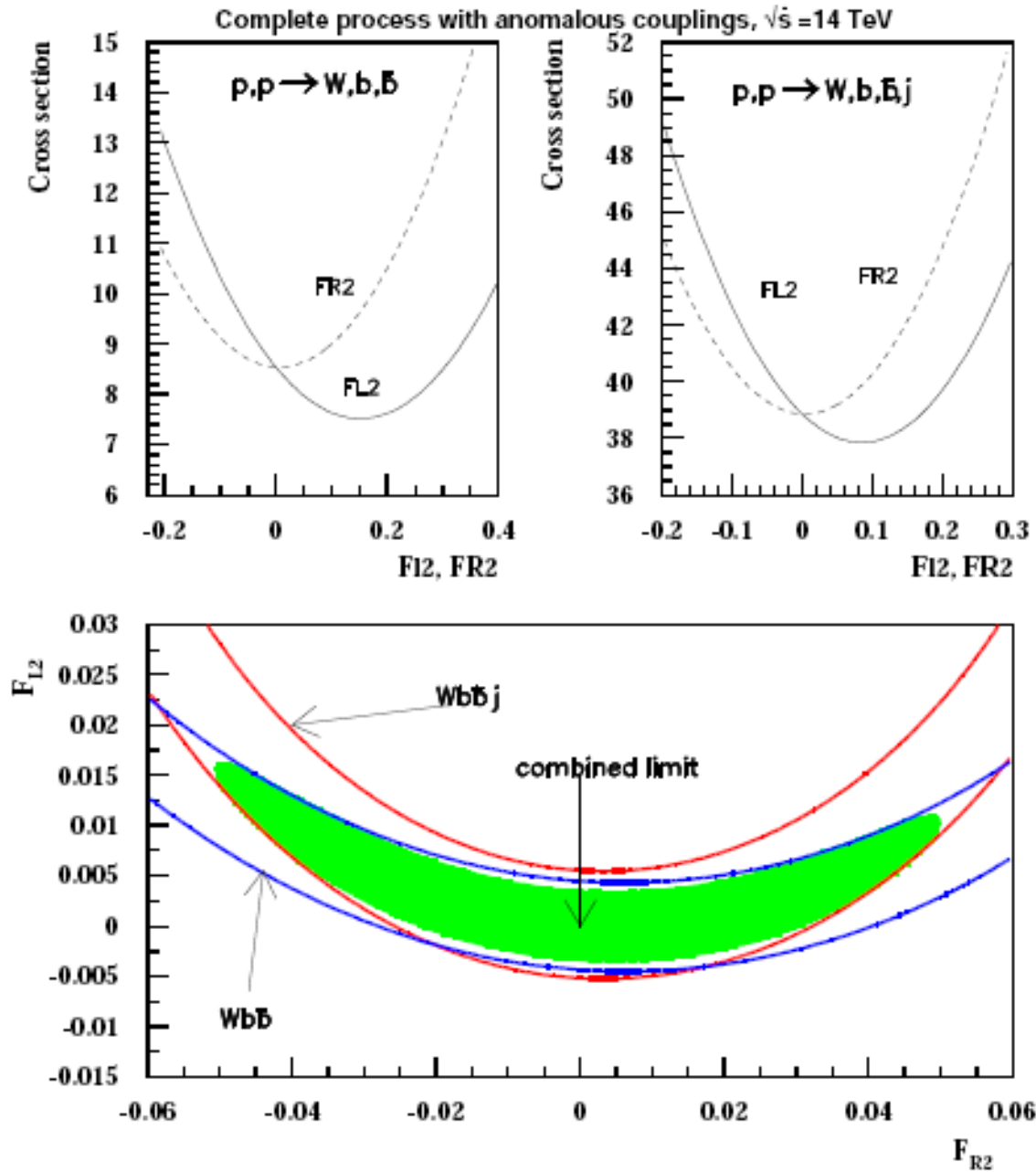


# Anomalous top couplings: $t\bar{t}$ and single $t$ production, NLC



$2\sigma$  bounds on the anomalous couplings  $f_{2L}$  and  $f_{2R}$  from the reactions  $\gamma_+ e_L^- \rightarrow \nu_e \bar{t} b$ ,  $e_L^- e_R^- \rightarrow e^- \nu_e \bar{t} b$  and  $e_R^- e_R^+ \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \bar{t} b$  at  $\sqrt{s} = 0.5$  TeV and 1.0 TeV, for integrated luminosities of 100 fb<sup>-1</sup> (solid lines) and 500 fb<sup>-1</sup> (dashed lines).

# Anomalous top couplings: single top production, LHC



## ***New Features in CompHEP 4.4 (Interfaces)***

- CompHEP->PYTHIA (CPYTH) (ready)
- CompHEP->PYTHIA-TAUOLA (ready)
- CompHEP->HERWIG (ready)
- CompHEP->HERWIG++ (in progress)
- Interfaced to Exp. Collaboration SW:  
SIMDET(ILC), CMKIN(CMS), ATHENA(ATLAS) and D0  
(Tevatron) Run II software.
- Macros of interface to ROOT graphics (in progress)
- Output Events are ready for LCG MCDB Data Base

# Batch Modes in CompHEP 4.5

**Both parts (symbolic & numerical) have batch regimes:**

Perl scripts: **symb\_batch.pl** and **num\_batch.pl**

## Why the scripts are useful?

**Computations of many subprocesses – laborious task,  
can be significantly simplified**

**Long/large-scale calculations:  
GUI is not handy**

**Support of parallel calculations:  
very helpful for N\*CPU machines/computer clusters  
(pbs/lsf is available; grid in progress)**

**“Knowledge transfer”:  
theorists/phenomenologists can prepare model/process.dat/batch.dat  
for further simulations by experimentalists**

# MCDB — Knowledge Base

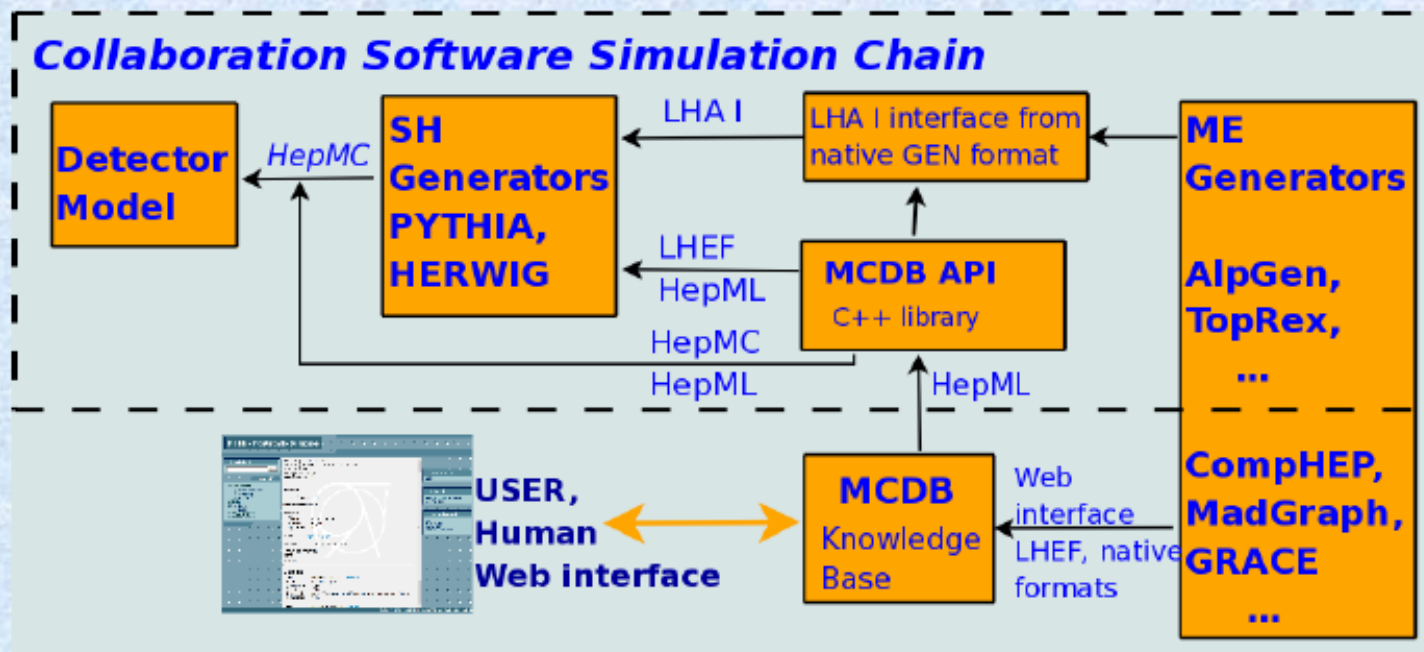
<http://mcdb.cern.ch>

Database of sophisticate MC simulated events and their description. It is Integrated with CMS software already

CompHEP group uses this project to distribute and document CompHEP events for LHC community

The screenshot shows the MCDB website interface. At the top, it says 'MCDB - MonteCarlo Database'. Below that is a search bar and a 'Main MENU' with links to 'Top physics', 'QCD', 'Software', 'Requests', 'Higgs physics', and 'Gauge bosons'. The main content area displays a search result for '1-channel single top events in HepMC format, effective NLO, generator SingleTop (CompHEP)'. The result includes metadata such as 'Author(s): Lev Dudko, Dmitri Konstantinov', 'Date of publication: 2007-05-04 10:12:54', 'Last correction: 2007-05-23 02:41:38', 'Categories: Single top', 'Article ID: 117', 'Dedicated to: experiment: CMS, group: SM HRS group', 'Abstract: Events for the 1-channel single top production are prepared by generator SingleTop (based on CompHEP) with an effective NLO fasttag, described in PhysLettB.692...', 'Author comments:', 'Process: Name: pp -> tq+top ->tt,uu,dd,b,B, PDF set: CT10M, QCD scale: 87.5 GeV', 'Model: SM, Feynman gauge (Mtop=175)', 'Generator: CompHEP, version: 4.4p3', 'Other information: Cuts: no cuts', and 'Related papers: EFFECTIVE-NLO EVENTS FOR THE 1-CHANNEL SINGLE TOP PRODUCTION'. On the right side, there are links for 'Login to MCDB', 'Help and support', 'Help!', 'HepML, Web', 'HepML, Con facts', 'MCDB software', and 'Download'. At the bottom, it says '2002-193 users visited since October 2006. Statistics of visits to MCDB' and 'MCDB © 2005-2007 Monte Carlo Generators group, LCC, CERN'.

S.Belov, L.Dudko, A.Sherstnev et. al CPC178,222(2008)



# LHEF, LHAPDF, SUSY LHA

LHEF - the format adopted by almost all developer groups

[hep-ph/060917](https://arxiv.org/abs/hep-ph/060917)

Now CompHEP supports 3 formats:

cpyth-1, cpyth-2 (for experiments, where the formats are used),

LHEF with HepML header .

There is a special option -- Generator (LHEF format) -- in the event menu in n\_comphep.

All modern PDFs are available via LHAPDF: CTEQ, MRST, Alekhin PDF, etc.

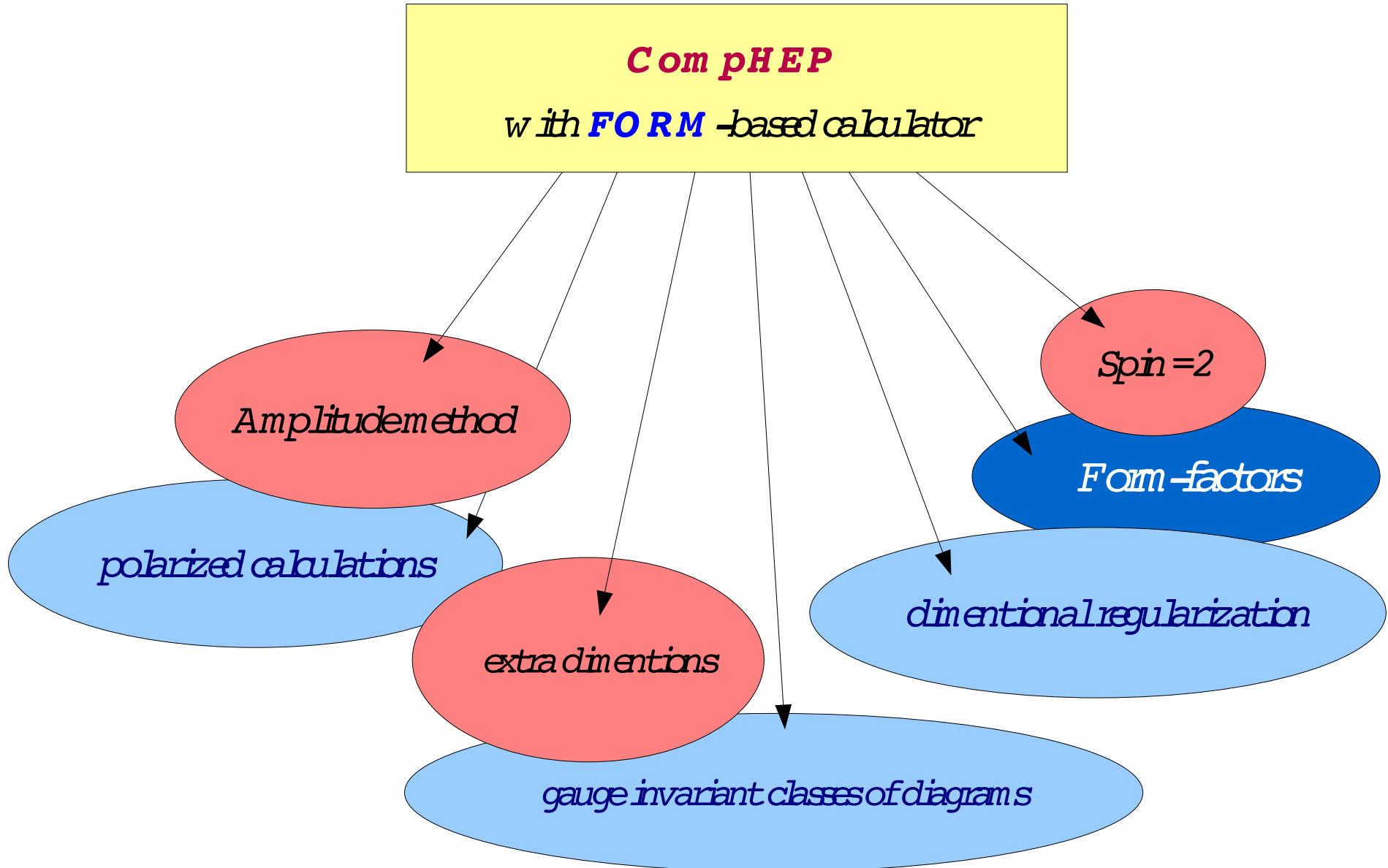
Both options, LHAPDF and internal PDF, are available in CompHEP 4.5  
with the same functionality in both regimes

## SUSY LHA

The SLHA interface is implemented in SUGRA and GMSB models of CompHEP  
(instead of ISASUSY in the previous versions)

By default the slhaScript file invokes suSpect

# New features of parallel version of CompHEP, based on FORM language





**CompHEP является наиболее удобным инструментом для проверки теоретических подходов прямым моделированием широкого спектра процессов на коллайдерах.**

**Операции автоматизированы, наглядный интерфейс**

- **LanHEP генерирует правила Фейнмана в нужном формате на основе лагранжиана нестандартной модели в пространстве координат**
- **эффективно рассчитываются любые (до 6 частиц в конечном состоянии) сечения и распределения для полных калибровочно-инвариантных наборов диаграмм. Точно учитываются неприводимые фоны и спиновые корреляции.**

## Экспериментаторы хорошо знакомы с пакетом

- **CompHEP эффективно генерирует потоки событий «без веса» («unweighted events»)**
- **Имеет интерфейсы к пакетам PYTHIA и HERWIG образования адронных струй и адронизации кварков/глюонов**
- **Имеет интерфейсы к программам реконструкции детекторов D0 и CDF (Tevatron), CMSSW (CMS, LHC) и ATHENA (ATLAS, LHC)**
- **Оптимизирован и проверен для моделирования больших массивов событий (десятки миллионов), соответствующих реальным светимостям Tevatron and LHC**

**Пакет CompHEP – удобное средство обучения**



[[news]]

COMPHEP





hide

Trace: » news



Highlight news: CompHEP is in the top rating list on [The OpenScience Project](#)

#### -Table of Contents

- [CompHEP Collaboration](#)
- [ABSTRACT](#)
- [News](#)
- [Authors of publications containing results obtained by means of CompHEP are requested to include the references](#)

**CompHEP: a package for evaluation of Feynman diagrams, integration over multi-particle phase space and event generation (supported in part by RFBR grants 96-02-19773-a, 99-02-04011-HHMO\_a, 01-02-16710-a, 04-02-17448-a).**

## CompHEP Collaboration

**E.Boos, V.Bunichev, M.Dubinin, L.Dudko, V.Edneral, V.Ilyin, A.Kryukov, V.Savrin** - SINP MSU, Moscow, Russia.

**A.Semenov** - JINR, Dubna, Russia.

**A.Sherstnev** - SINP MSU, Moscow, Russia and University of Oxford, UK.

## ABSTRACT

At present time when a new generation of TeV energy colliders is beginning to operate one needs to calculate cross sections for a great number of various reactions. The CompHEP package was created for calculation of multiparticle final states in collision and decay processes. The main idea in CompHEP was to enable one to go directly from the Lagrangian to the cross sections and distributions effectively, with the high level of automation.

While ortodox event generators are software libraries (see [Event generator](#)) of various matrix elements, CompHEP starts from the level of Feynman rules for a gauge model Lagrangian and calculates symbolically the matrix element for any process defined by a user. In this sense CompHEP is a "generator of generators" (or, following the abovementioned reference, a "meta-generator"). The Feynman rules for a gauge model Lagrangian in the format of CompHEP model files can be generated by [LanHEP](#).

## News

- 19/08/2008 [42 of the Best Free Linux Scientific Software](#). CompHEP is on the first place in Physics category.
- 13/06/2008 Users are invited to place an information about models in CompHEP format at [users model library](#).

- [News](#)
- [Overview](#)
- [Screen shots](#)
- [Downloads](#)
- [Community contributions](#)
- [Community model library](#)
- [Contact us](#)
- [CompHEP team](#)
- [License](#)
- [Restricted area](#)

### Documentation

- [Installation guide](#)
- [MAC OS installation](#)
- [CompHEP-3.3 Manual](#)
- [CompHEP-3.3 Manual \(pdf\)](#)
- [The Bibliography. History.](#)

### User support

- [FAQ](#)
- [Tutorials](#)
- [For MacOS user](#)
- [Bug report](#)
- [Mailing list](#)
- [User comments](#)

### Useful Links

- [LanHEP](#)
- [CompHEP on the Web](#)
- [Physics with CompHEP](#)
- [CompHEP at LHC](#)

**Пакет CompHEP свободно распространяется со страницы**

**<http://comphep.sinp.msu.ru>**

**после регистрации. Объем запакованных «source codes» 1.9 Мб.**

**Статистика сайта**

- **1450 зарегистрированных пользователей**
- **5–10 downloads пакета ежедневно**
- **600 новых входов «unique hosts» на сайт ежемесячно**

**Сайт содержит руководства пользователя и разнообразную справочную информацию.**

**В разделе «Tutorials» находятся лекции по использованию пакета CompHEP**

**D.Green (US CMS, LHC Physics Center), K.Matchev (Florida U), J.Richman (UC Santa Barbara)**

**и другие учебно-справочные материалы.**

**1 место в рейтинге The Open Science Project в категории «Highest rated software»**

**1 место в рейтинге «42 of the Best Free Linux Scientific Software» в категории «Физика»**