

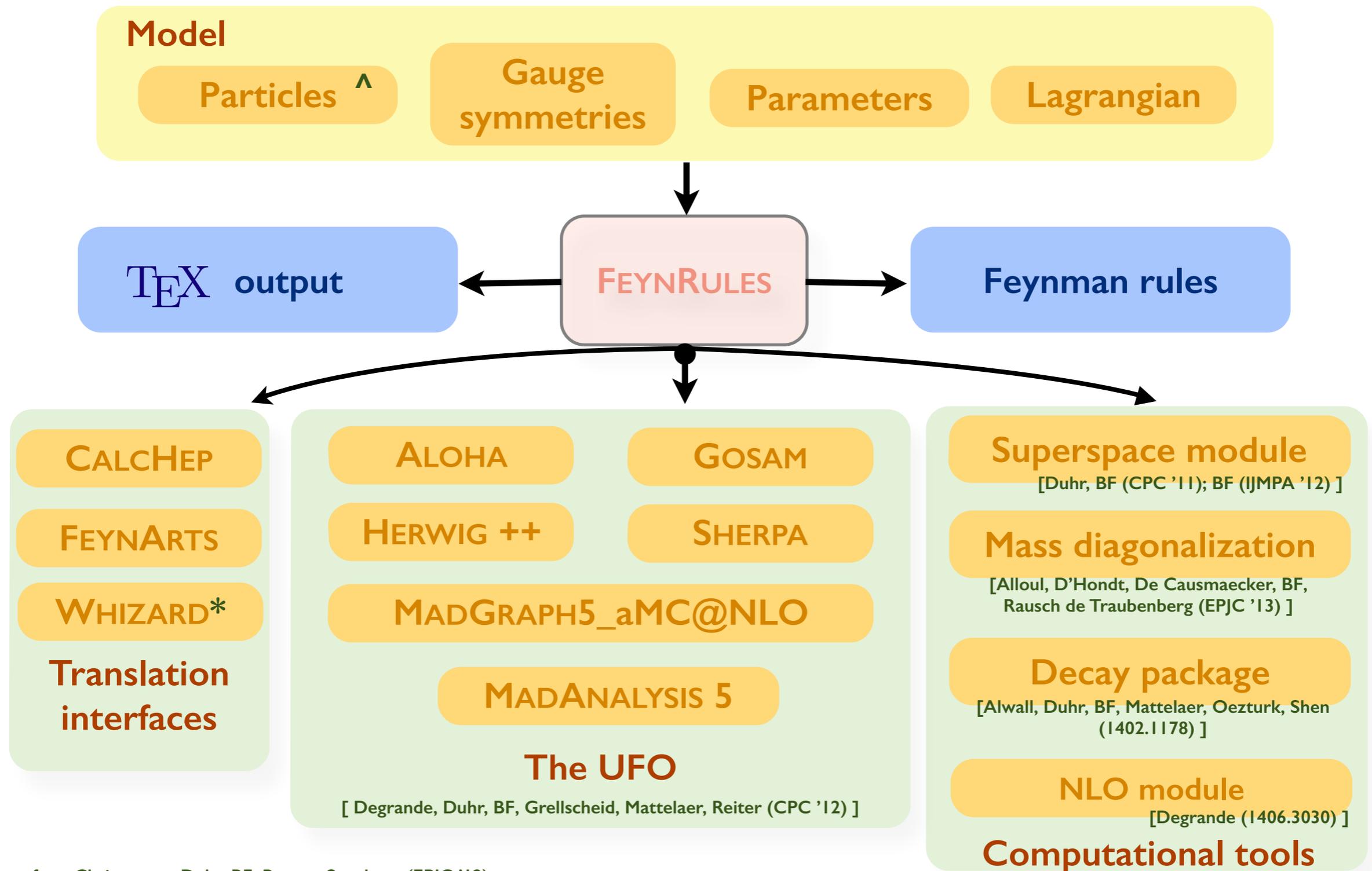
# Tutorials of Feynrules

～とりあえず使ってみよう～

遠藤 基 (東大)

コライダースクール, 2015.12.9

# Feynrules?



\* Whizard interface: Christensen, Duhr, BF, Reuter, Speckner (EPJC '12)

<sup>^</sup> Support for spin 3/2: Christensen, de Aquino, Deutschmann, Duhr, BF, Garcia-Cely, Mattelaer, Mawatari, Oexl, Takaesu (EPJC '13)

# What's today?

1. モデルファイルを作る（詳細は午後に阿部君）
2. Mathematicaで処理する
3. 各ツール (MadGraph, micrOMEGAs, ...) にコピーする
4. 現象論をやる

ここでの目的はFRを使ってみること（習うより慣れる）

モデルファイルは既存の物を使う

# Install Feynrules

- Googleで“feynrules”を検索  
[<https://feynrules.irmp.ucl.ac.be/>]
- Download FeynRules \*\*\*からダウンロード
- Mathematicaの\$Pathの通った場所に解凍  
e.g. Macの場合：~/Library/Mathematica/Applications
- ついでにfeynrules-currentをfeynrulesに改名  
(シンボリックリンクを作っても良い)

# Sample models

欲しいモデル（に似たモデル）をデータベースから探す

- Model Databaseの下の“Go to model database”
- 今回はW' modelを使ってみる
  - “Simple extensions of the SM” — “W' Effective model”
- Model filesから [weff.fr](http://weff.fr) と WEff.nb をダウンロード

# Mathematica

モデルファイルをMathematicaで処理する

- weff.frとWEff.nbを同じフォルダに置く
- WEff.nbの一行目の\$FeynRulesPathを設定  
→ feynrules(-current) フォルダの場所を指定する
- 細かいことは置いておいて全部実行する
- WEff.nbと同じフォルダに以下が生成される
  1. WEff\_FA: FeynArts model file
  2. WEff\_UFO: [MadGraph](#), Herwig++ model file
  3. WEff-CH: CalcHEP, [micrOEMGAs](#) model file

# MadGraph [aMC@NLO]

scattering, decayなどのMonte Carlo simulator

<https://launchpad.net/mg5amcnlo>

- DownloadsからMG5\_aMC\_v\*\*\*.tar.gzを手に入れる
- WEff\_UFOフォルダを丸ごとmodelsの中にコピー
- (MG)/bin/mg5\_aMC を実行

```
> import WEff_UFO
> generate p p > wp+ > u d~
> output wprime
> launch wprime
> done
> done
```



processを指定

← 必要ならDelphesとかonにする

← 実行

# Tips: MadGraph “batch mode”

mg5\_aMCで入力するコマンドをテキストファイルに書いておく

- terminalで (MG)/bin/mg5\_aMC step1.mg5 と入力

step1.mg5

```
import WEff_UFO
generate p p > wp+ > u d~
output wprime
```

wprimeフォルダ  
が生成される

- param\_card.dat や run\_card.dat を編集 (wprime/Cardsの中)
- terminalで (MG)/bin/mg5\_aMC step2.mg5 と入力

step2.mg5

```
launch wprime
done
done
```

(一つ目のdoneの後)  
setコマンドで  
card編集も可能



# Tips: install packages

- detector simulationをやるためにはpythia-pgsとか必要
- (MG)/bin/mg5\_aMCを実行してinstallと打つとインストール可能なリストが出てくる
  - > install pythia-pgs
  - > install Delphes
- step2を以下のように変更（例：Delphesを使用する）

step2.mg5

```
launch wprime
3
done
done
```

← Delphes (+pythia)

← setコマンド可

# CalcHEP

MadGraphと同じことができる

<http://theory.sinp.msu.ru/~pukhov/calchep.html>

- Code downloadからcalchep\_\*\*\*.tgzを手に入れる
  - > make
  - > ./mkWORKdir wprime
- wprime/modelsの中にWEff-CHの中身をコピー  
extlib1.mdl, func1.mdl, lgrng1.mdl, prtcls1.mdl, vars1.mdl
- wprimeフォルダにあるcalchepを実行
- けれども、CalcHEPの使い方の説明はしません

# Sample models

次はmicrOMEGAsのためにdark matterモデルを選択

- 配布した中にあるHiggsPortalフォルダ
- DM.frがモデルファイル（詳細略）

注意：DMの名前は“~”から始めなければいけない

- MathematicaでDM.nbを実行すると以下が生成される
  1. Higgs-portal\_FA: [FeynArts](#)
  2. Higgs-portal\_UFO: MadGraph, Herwig++
  3. Higgs-portal-CH: CalcHEP, [micrOMEGAs](#)

# micrOMEGAs

dark matterの各種計算ツール

<https://lapth.cnrs.fr/micromegas/>

- 左のDownload and Installに行ってDOWNLOAD
  - > make
  - > ./newProject HiggsPortal
- HiggsPortal/work/modelsにHiggs-portal-CHの中をコピー  
extlib1.mdl, func1.mdl, lgrng1.mdl, prtcls1.mdl, vars1.mdl
- HiggsPortalフォルダの中でmake (main.cがコンパイル)

# micrOMEGAs

- パラメータファイルを指定して計算を実行

> ./main input.par

|           |     |     |   |                   |
|-----------|-----|-----|---|-------------------|
| input.par | Mdm | 10  | ← | DM mass           |
|           | cDM | 0.1 | ← | DM-Higgs coupling |

どのようなパラメータがあるかはvars1.mdlを参照

- relic abundanceとかdirect/indirect detectionとかを計算  
→ 詳細はマニュアル

# main.c

```
/*===== Modules =====
  Keys to switch on
  various modules of micrOMEGAs
=====*/

#define MASSES_INFO
  /* Display information about mass spectrum */
#define OMEGA
  /* Calculate relic density and display contribution of individual channels */
#define INDIRECT_DETECTION
  /* Compute spectra of gamma/positron/antiprotons/neutrinos for DM annihilation;
  Calculate <sigma*v>;
  Integrate gamma signal over DM galactic squared density for given line
  of sight;
  Calculate galactic propagation of positrons and antiprotons.
  */

//#define RESET_FORMFACTORS
  /* Modify default nucleus form factors,
  DM velocity distribution,
  A-dependence of Fermi-density
  */
#define CDM_NUCLEON
  /* Calculate amplitudes and cross-sections for CDM-nucleon collisions */

//#define CDM_NUCLEUS
  /* Calculate number of events for 1kg*day and recoil energy distribution
  for various nuclei
  */
#define NEUTRINO
  /* Neutrino signal of DM annihilation in Sun and Earth */

#define DECAYS

//#define CROSS_SECTIONS

/*===== end of Modules =====*/

/*===== Options =====*/
/*#define SHOWPLOTS*/
  /* Display graphical plots on the screen */

/*===== End of DEFINE settings ===== */
```

計算の必要のない内容は  
#defineをコメントアウト

# main.c

```
int main(int argc, char** argv)
{  int err;
   char cdmName[10];
   int spin2, charge3, cdim;

   ForceUG=0; /* to Force Unitary Gauge assign 1 */

   VZdecay=1; VWdecay=1;

   if(argc==1)
   {
       printf(" Correct usage: ./main <file with parameters> \n");
       printf("Example: ./main data1.par\n");
       exit(1);
   }

   err=readVar(argv[1]);

   if(err==-1) {printf("Can not open the file\n"); exit(1);}
   else if(err>0) { printf("Wrong file contents at line %d\n",err);exit(1);}

   err=sortOddParticles(cdmName);
   if(err) { printf("Can't calculate %s\n",cdmName); return 1;}

   if(CDM1)
   {
       qNumbers(CDM1, &spin2, &charge3, &cdim);
       printf("\nDark matter candidate is '%s' with spin=%d/2 mass=%.2E\n",CDM1, spin2,Mcdm1);
       if(charge3) printf("Dark Matter has electric charge %d/3\n",charge3);
       if(cdim!=1) printf("Dark Matter is a color particle\n");
   }
   if(CDM2)
   {
       qNumbers(CDM2, &spin2, &charge3, &cdim);
       printf("\nDark matter candidate is '%s' with spin=%d/2 mass=%.2E\n",CDM2, spin2,Mcdm2);
       if(charge3) printf("Dark Matter has electric charge %d/3\n",charge3);
       if(cdim!=1) printf("Dark Matter is a color particle\n");
   }
}
```



unitary gaugeの場合 = 1

# main.c

```
#ifdef OMEGA
{ int fast=1;
  double Beps=1.E-4, cut=0.01;
  double Omega;
  int i,err;
  printf("\n==== Calculation of relic density ==== \n");

  if(CDM1 && CDM2)
  {
    Omega= darkOmega2(fast,Beps);
    /*
    displayFunc(vs1120F, Tend, Tstart,"vs1120F");
    displayFunc(vs2200F, Tend, Tstart,"vs2200F");
    displayFunc(vs1100F, Tend, Tstart,"vs1100F");
    displayFunc(vs1210F, Tend, Tstart,"vs1210F");
    displayFunc(vs1122F, Tend, Tstart,"vs1122F");
    displayFunc(vs2211F, Tend, Tstart,"vs2211F");

    displayFunc(vs1110F, Tend, Tstart,"vs1110F");
    displayFunc(vs2220F, Tend, Tstart,"vs2220F");
    displayFunc(vs1112F, Tend, Tstart,"vs1110F");
    displayFunc(vs1222F, Tend, Tstart,"vs1222F");
    displayFunc(vs1220F, Tend, Tstart,"vs1220F");
    displayFunc(vs2210F, Tend, Tstart,"vs2210F");
    displayFunc(vs2221F, Tend, Tstart,"vs2221F");
    displayFunc(vs1211F, Tend, Tstart,"vs1211F");
    */

    printf("Omega_1h^2=%.2E\n", Omega*(1-fracCDM2));
    printf("Omega_2h^2=%.2E\n", Omega*fracCDM2);
  } else
  { double Xf;
    Omega=darkOmega(&Xf,fast,Beps);
    printf("Xf=%.2e Omega=%.2e\n",Xf,Omega);
    printChannels(Xf,cut,Beps,1,stdout);
    printf("omega_h^2 = %.2E\n", Omega);
  }
}
#endif
```

relic abundanceの計算

結果： $\Omega h^2$

後半はdirect detectionや  
indirect detection

# FeynArts

diagramを生成してamplitudeを解析的に計算する

<http://www.feynarts.de/>

<http://www.feynarts.de/formcalc/>

- それぞれ“You can download the following files”の下から FeynArts-\*\*\*.tar.gzとFormCalc-\*\*\*.tar.gzを手に入れる
- feynrulesと同じように\$Pathの通った場所に解凍する  
ここでは ~/Library/Mathematica/Applications
- FeynArts-\*\*\*やFormCalc-\*\*\*フォルダのリンクを張る  
> ln -s FeynArts-\*\*\* FeynArts  
> ln -s FormCalc-\*\*\* FormCalc
- FormCalc-\*\*\*の中で ./compile を実行する

# Feynrules → FeynArts

- FeynArts-\*/Modelsの中にHiggs-portal\_FAにある  
Higgs-portal\_FA.gen, Higgs-portal\_FA.modをコピー
- FA-sample.nbの中でInsertFieldsの所にHiggs-portal\_FAを指定

```
ins = InsertFields [  
  CreateTopologies [0, 1 → 2, ExcludeTopologies → {}], {S[1]} → {S[99], S[99]},  
  GenericModel → "Higgs-portal_FA", Model → "Higgs-portal_FA",  
  InsertionLevel → {Classes},  
  ExcludeParticles → {V[1], V[2], V[3], U}];
```

- FA-sample.nbを実行するとHiggs invisible widthを計算！  
(FeynArtsとかFormCalcの詳細はマニュアル)

# Exercises

- W' modelで2 jetのinvariant mass分布を描いてみる
  - 入力したパラメータと比較してどうなっているか？
- Higgs-portal DM modelでrelic abundanceを計算してみる

