

IMC – Iași-UAIC

30-03-2023

Standard Model of Elementary Particles

	three generations of matter (elementary fermions)			three generations of antimatter (elementary antifermions)			interactions / force carriers (elementary bosons)	
	I	II	III	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u up	c charm	t top	\bar{u} antiup	\bar{c} anticharm	\bar{t} antitop	g gluon	H higgs
	d down	s strange	b bottom	\bar{d} antidown	\bar{s} antistrange	\bar{b} antibottom	γ photon	
	e electron	μ muon	τ tau	e^+ positron	$\bar{\mu}$ antimuon	$\bar{\tau}$ antitau	Z Z ⁰ boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	$\bar{\nu}_e$ electron antineutrino	$\bar{\nu}_\mu$ muon antineutrino	$\bar{\nu}_\tau$ tau antineutrino	W^+ W ⁺ boson	W^- W ⁻ boson

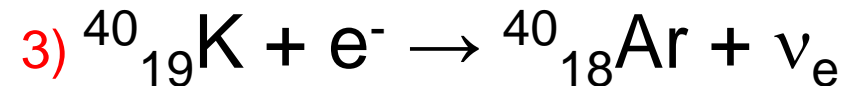
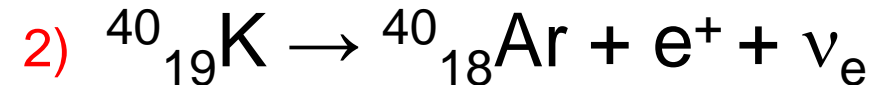
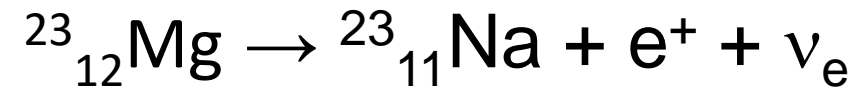
QUARKS

LEPTONS

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

SCALAR BOSONS

Dezintegrările β^- și β^+ și captura de electroni



- Izotopii K-ului: ${}^{39}\text{K}$ (stabil) – 93,2583% , ${}^{40}\text{K}$ (**radioactiv**) – 0,0117%, ${}^{41}\text{K}$ (stabil) – 6,730%
- Aprox. fiecare al 9000-lea atom de K din corp este ${}^{40}\text{K}$
- Aprox. 4400 nuclee de ${}^{40}\text{K}$ se dezintegrează în fiecare secundă în corpul unui om cu masa de aprox. 70 kg;
1) \rightarrow 88,8%; 2) + 3) \rightarrow 11,2 %
- În corpul nostru avem aprox. 100 g potasiu; în apa mării există aprox. 0,39 g/l

Dezintegrările β^- și β^+ explicate cu ajutorul forței nucleare slabe

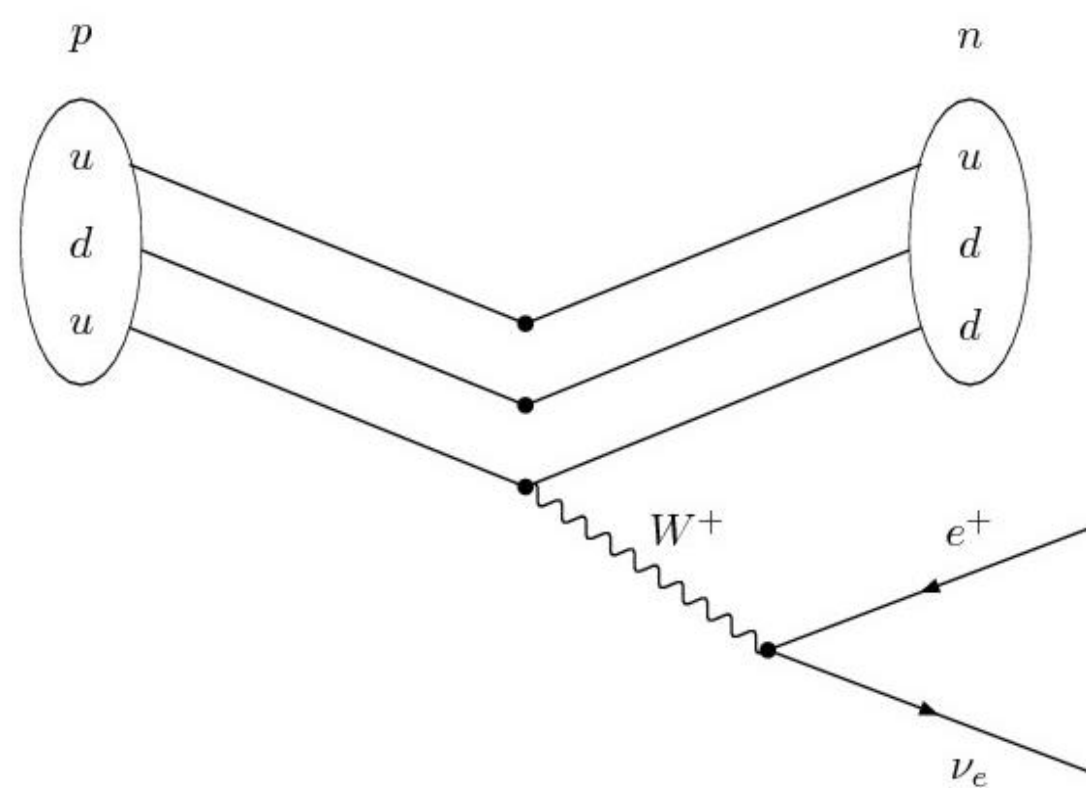
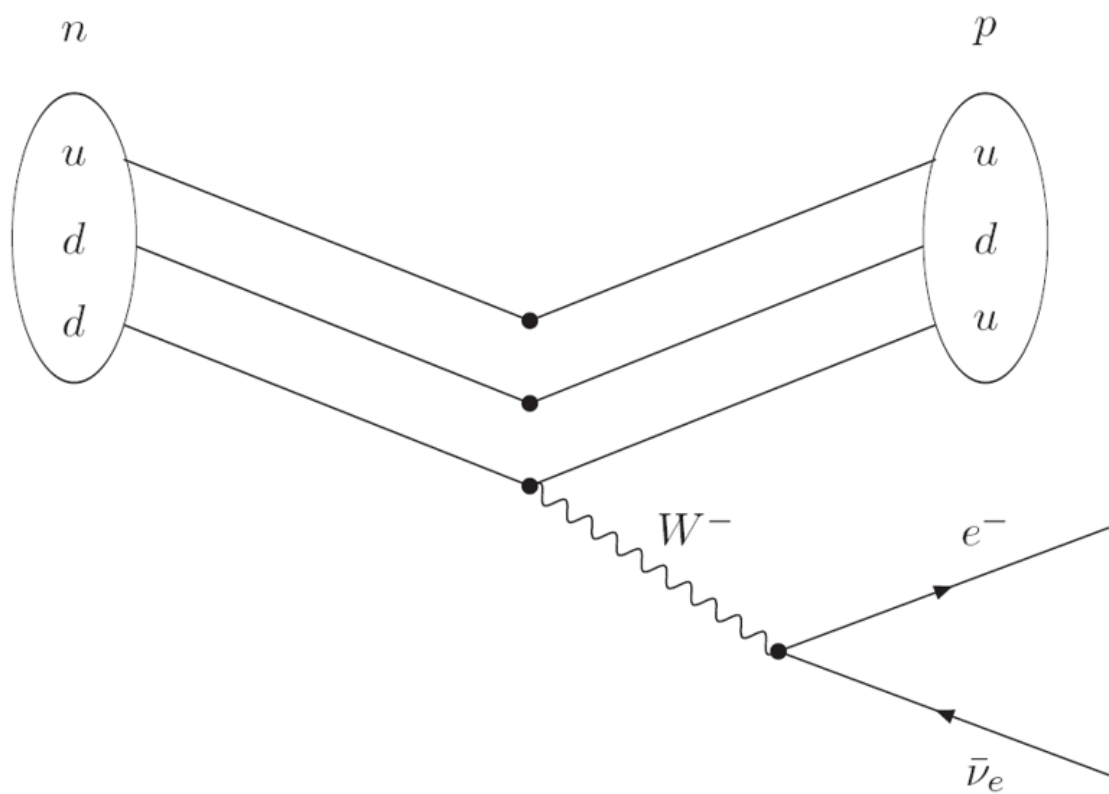
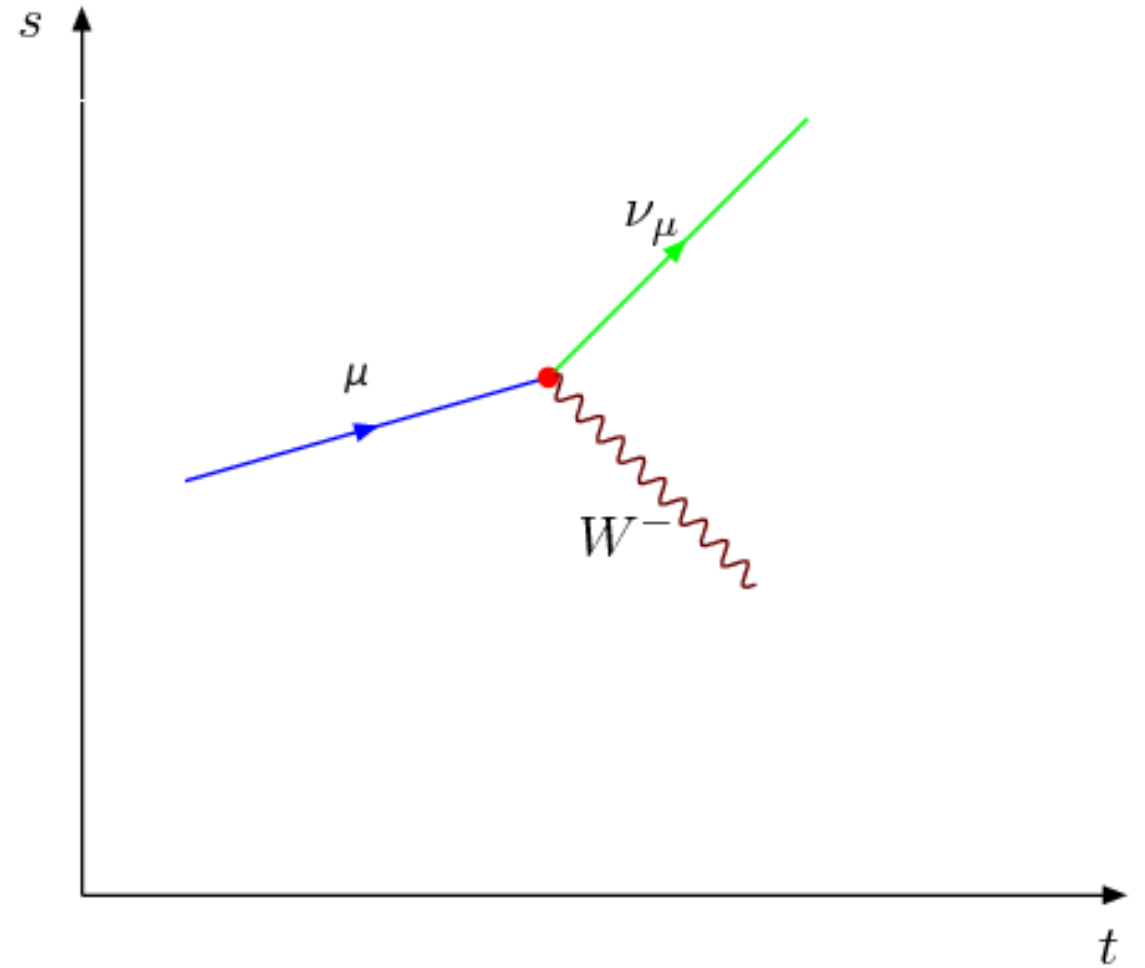
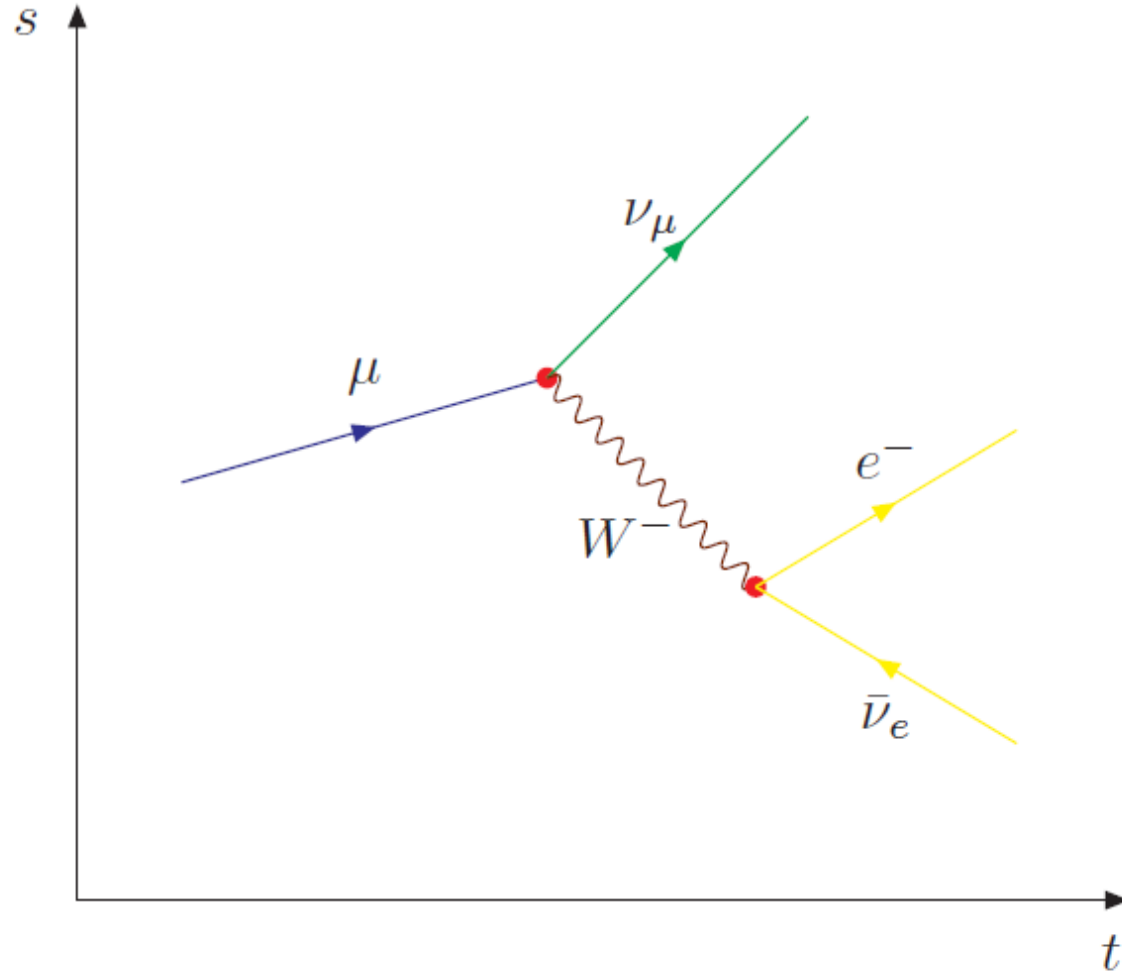
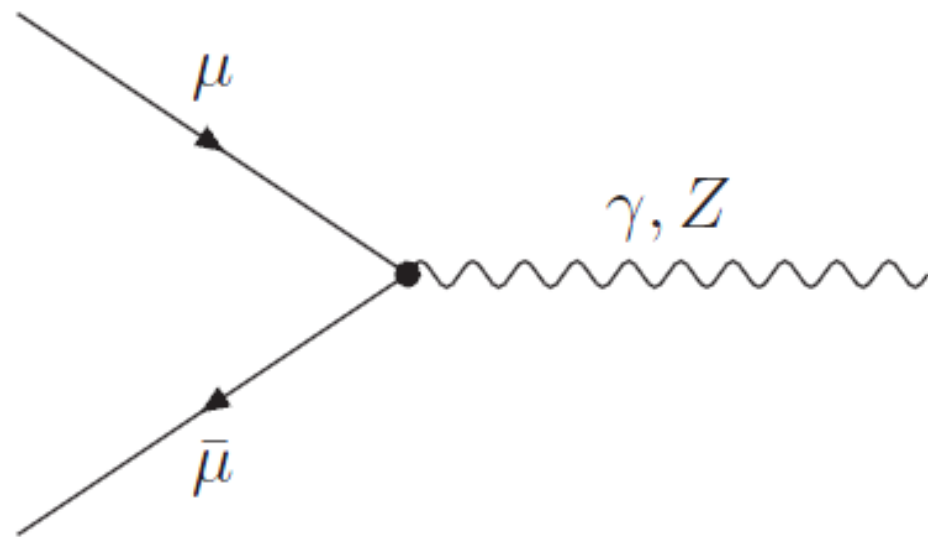
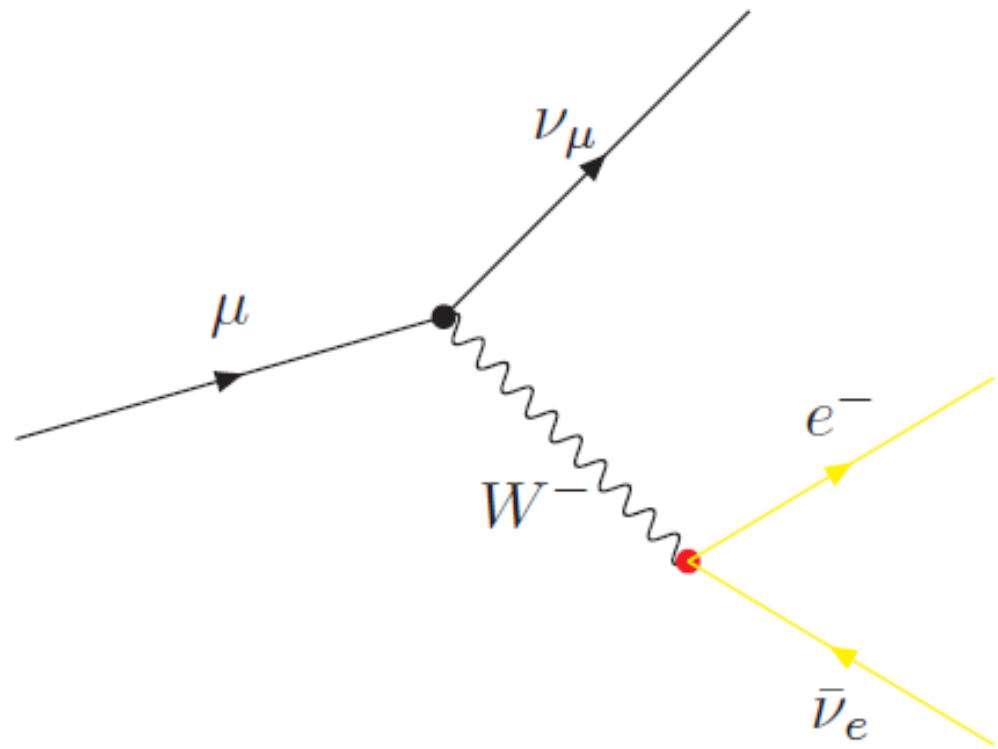
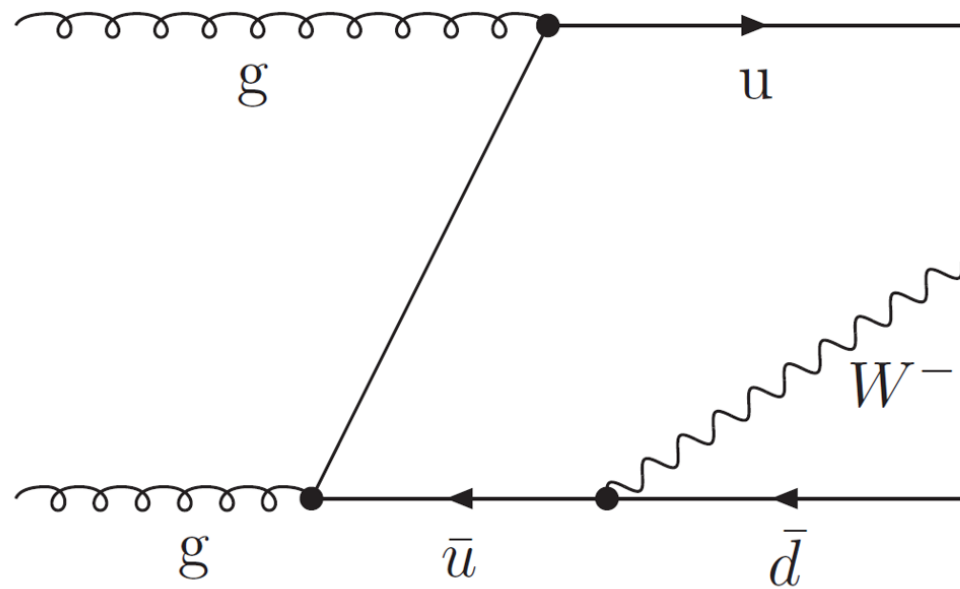
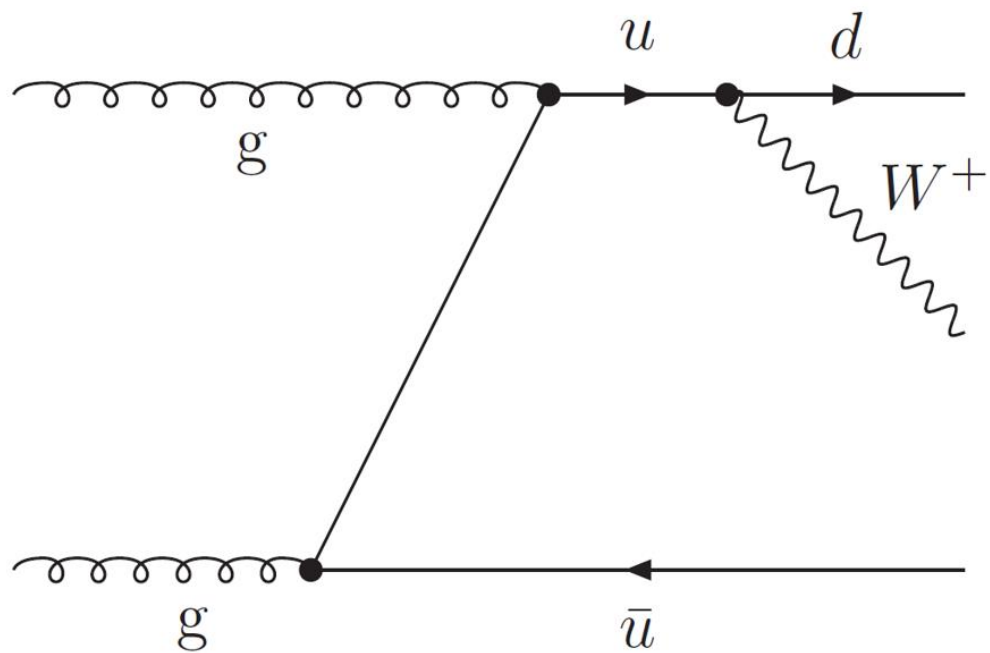
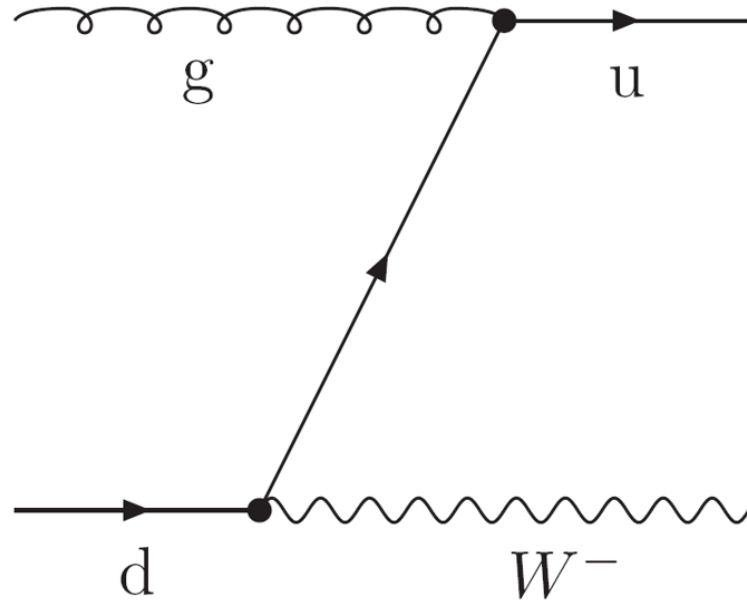
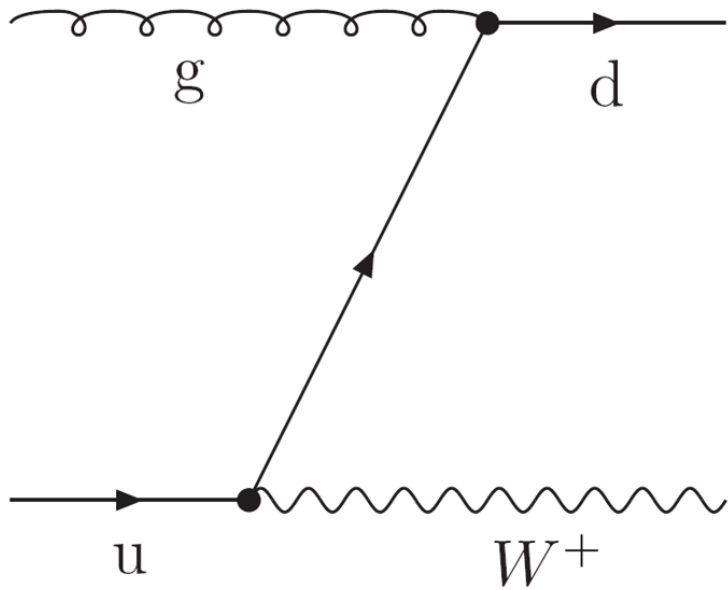
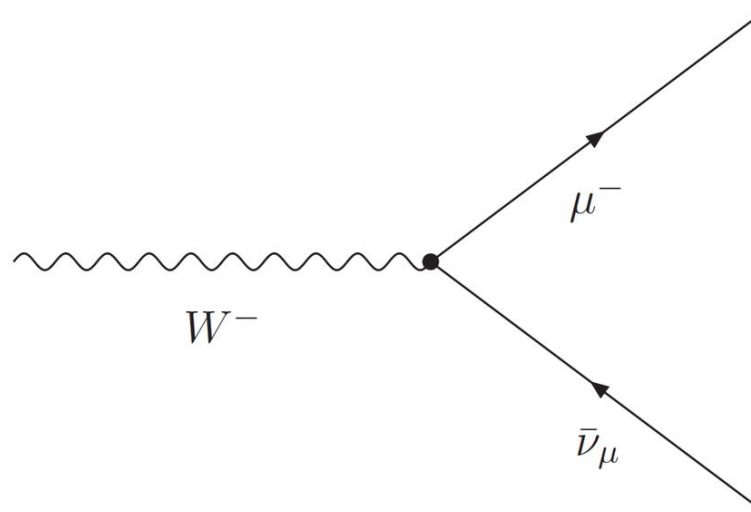
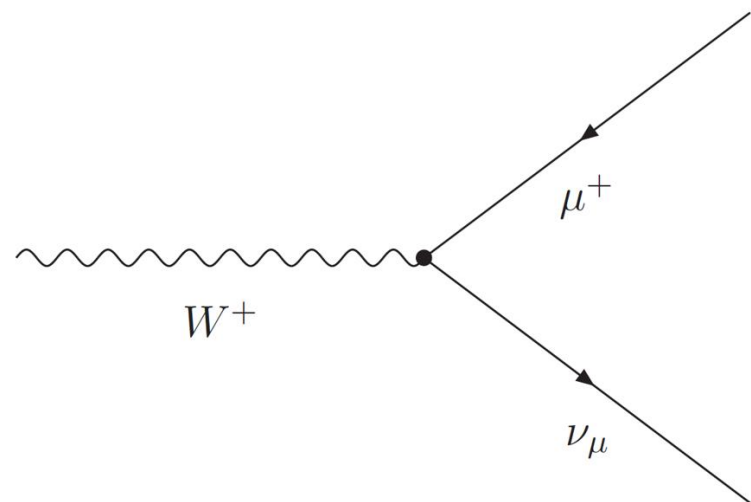
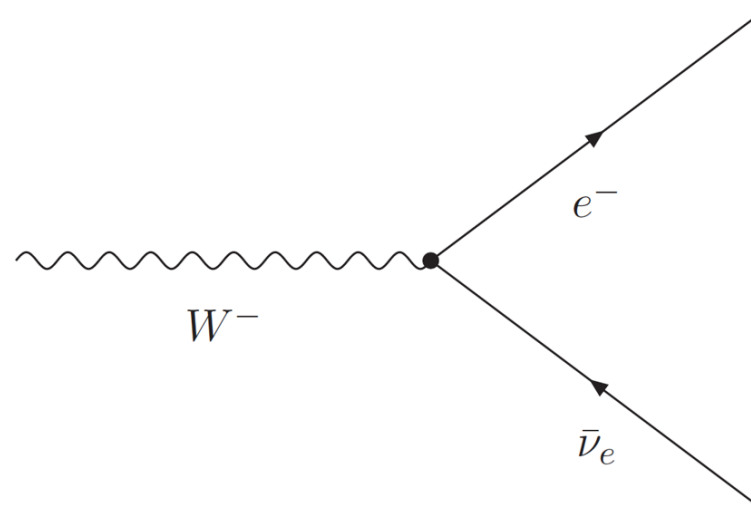
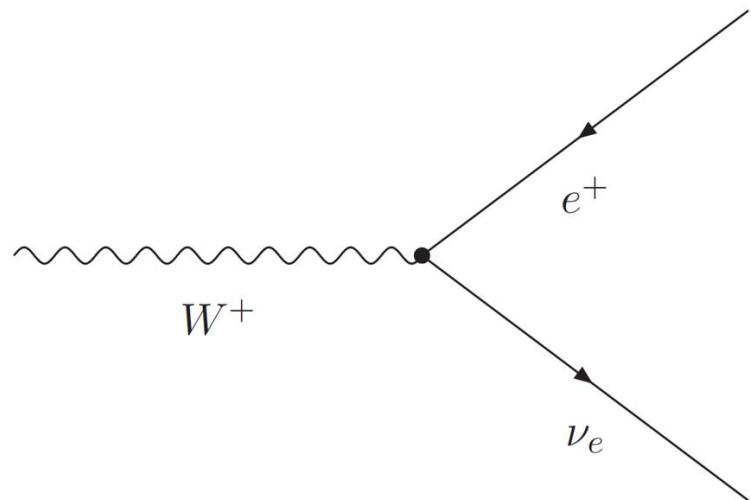


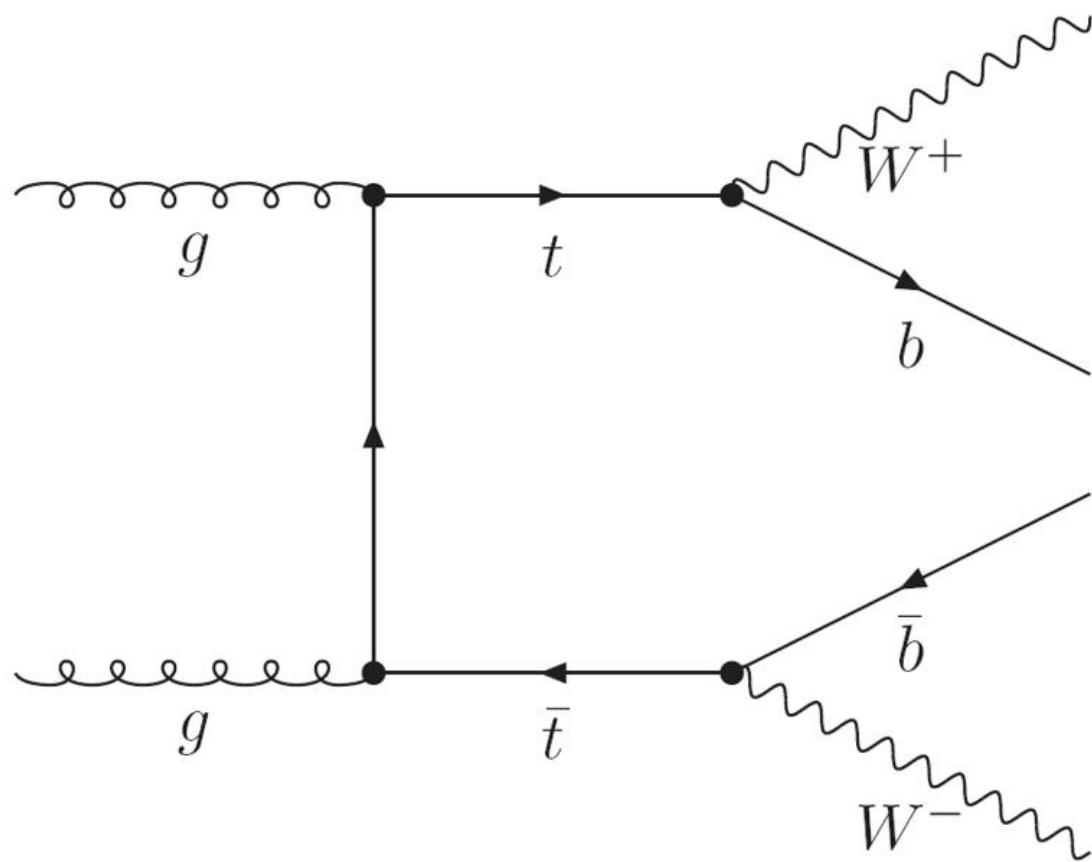
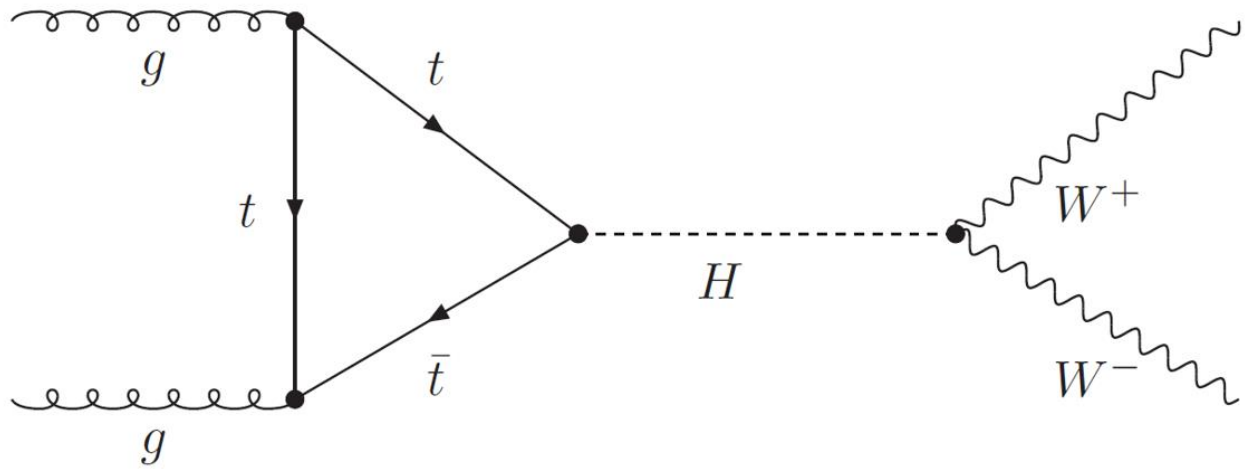
Diagramme Feynman

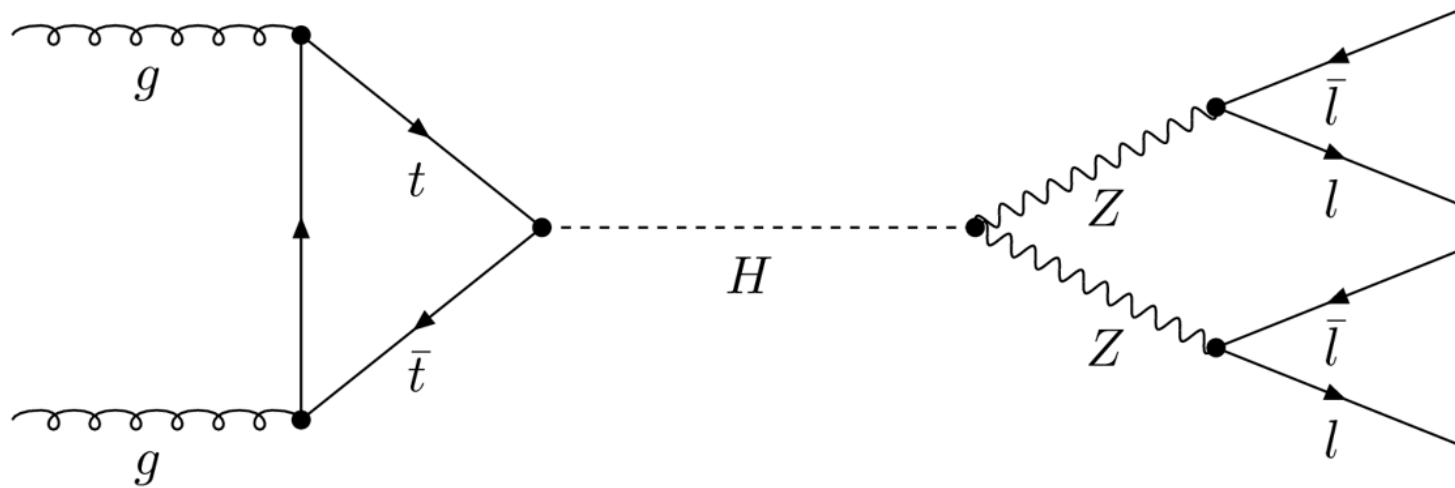
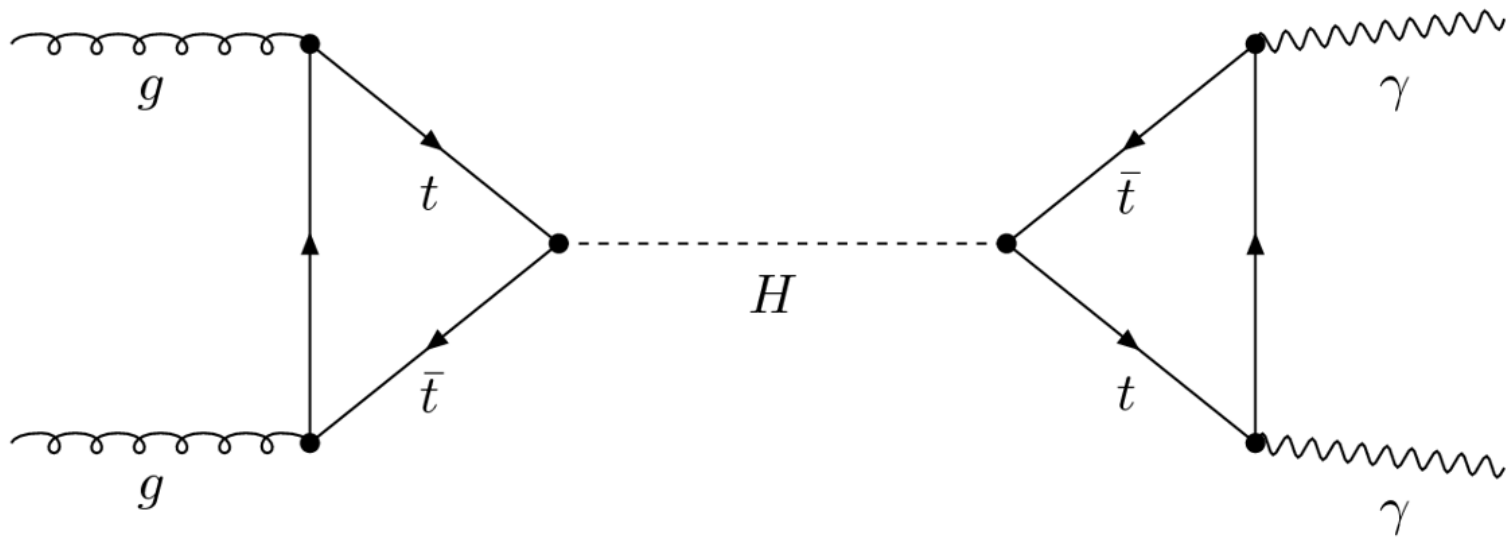


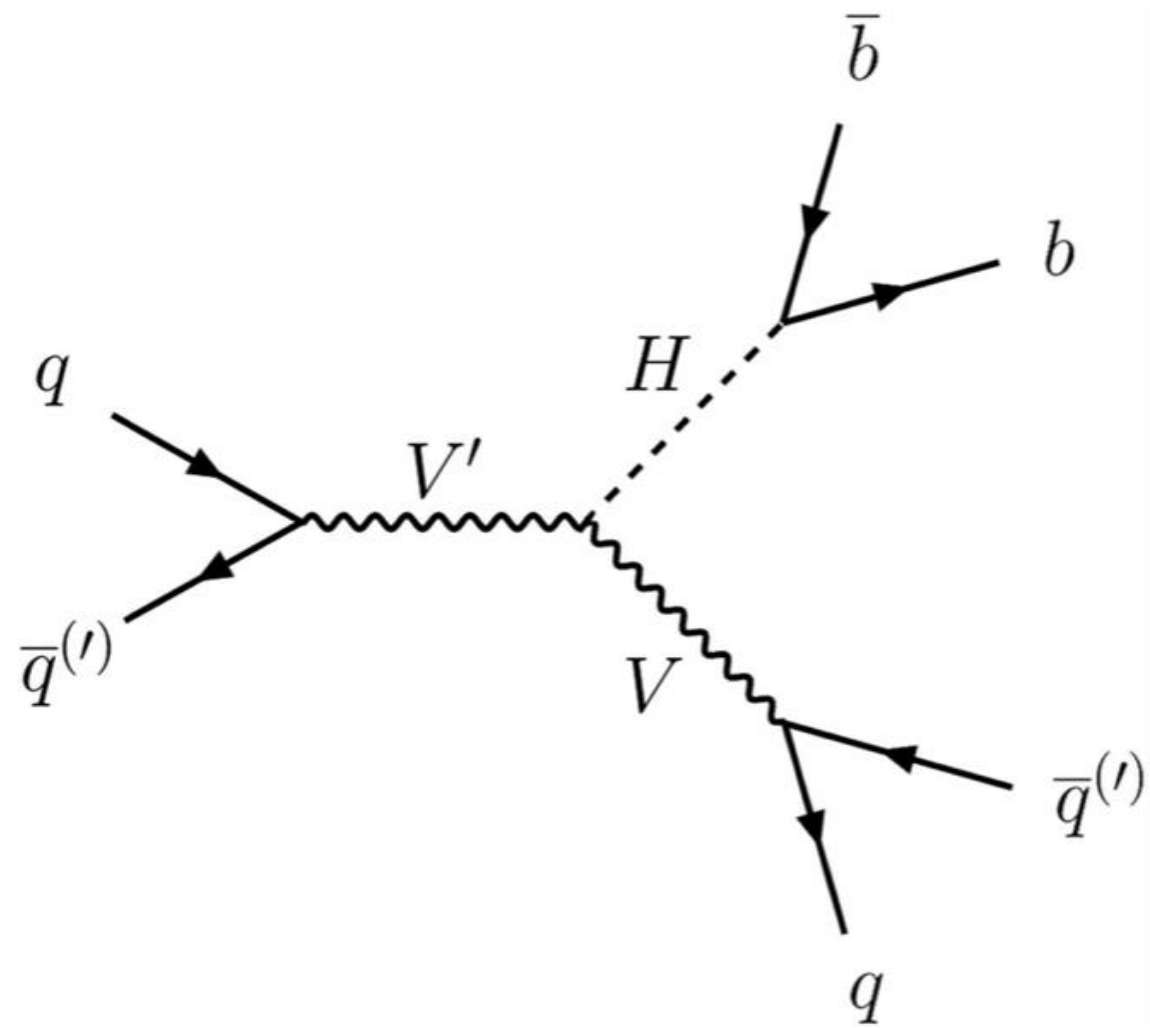


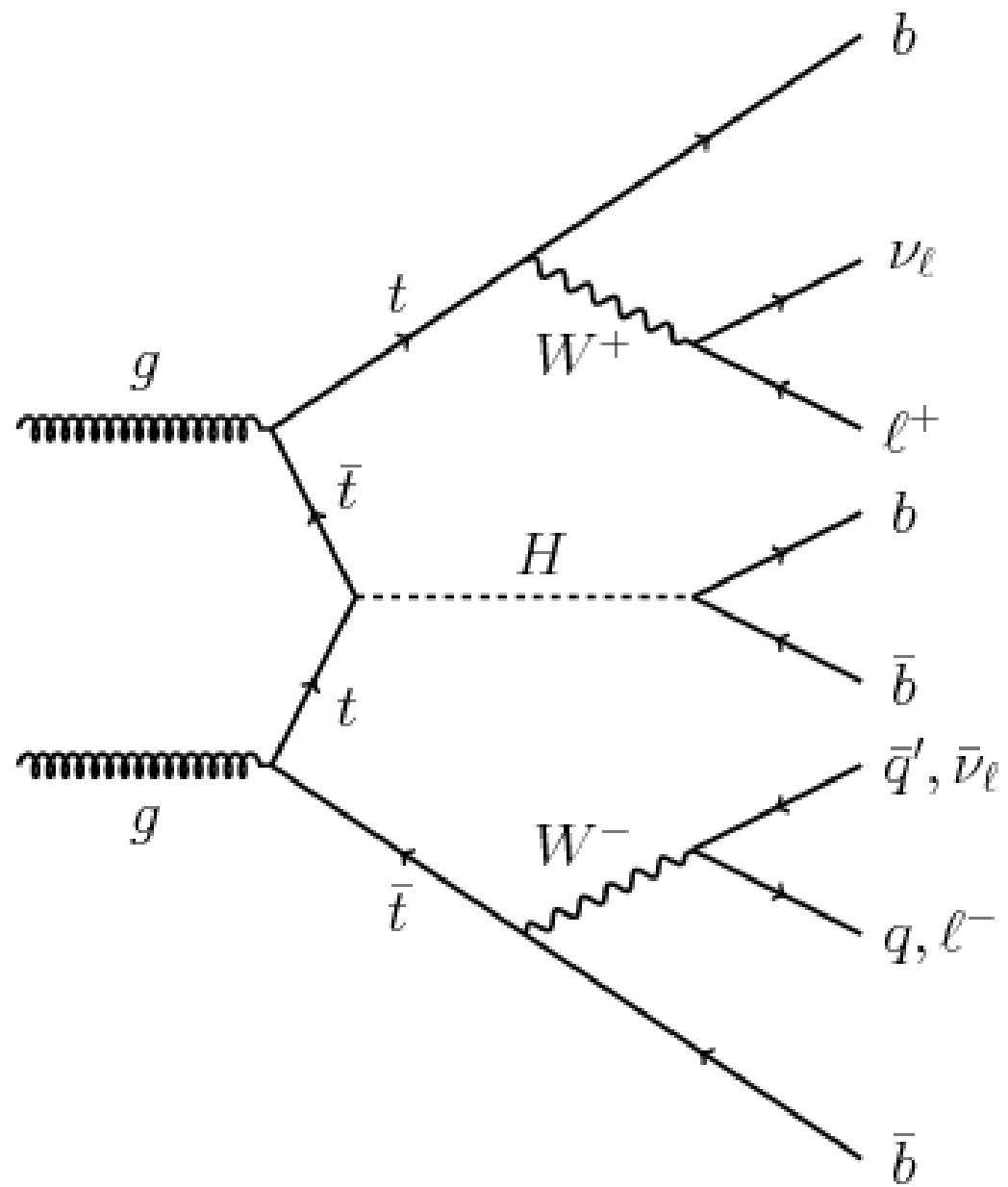




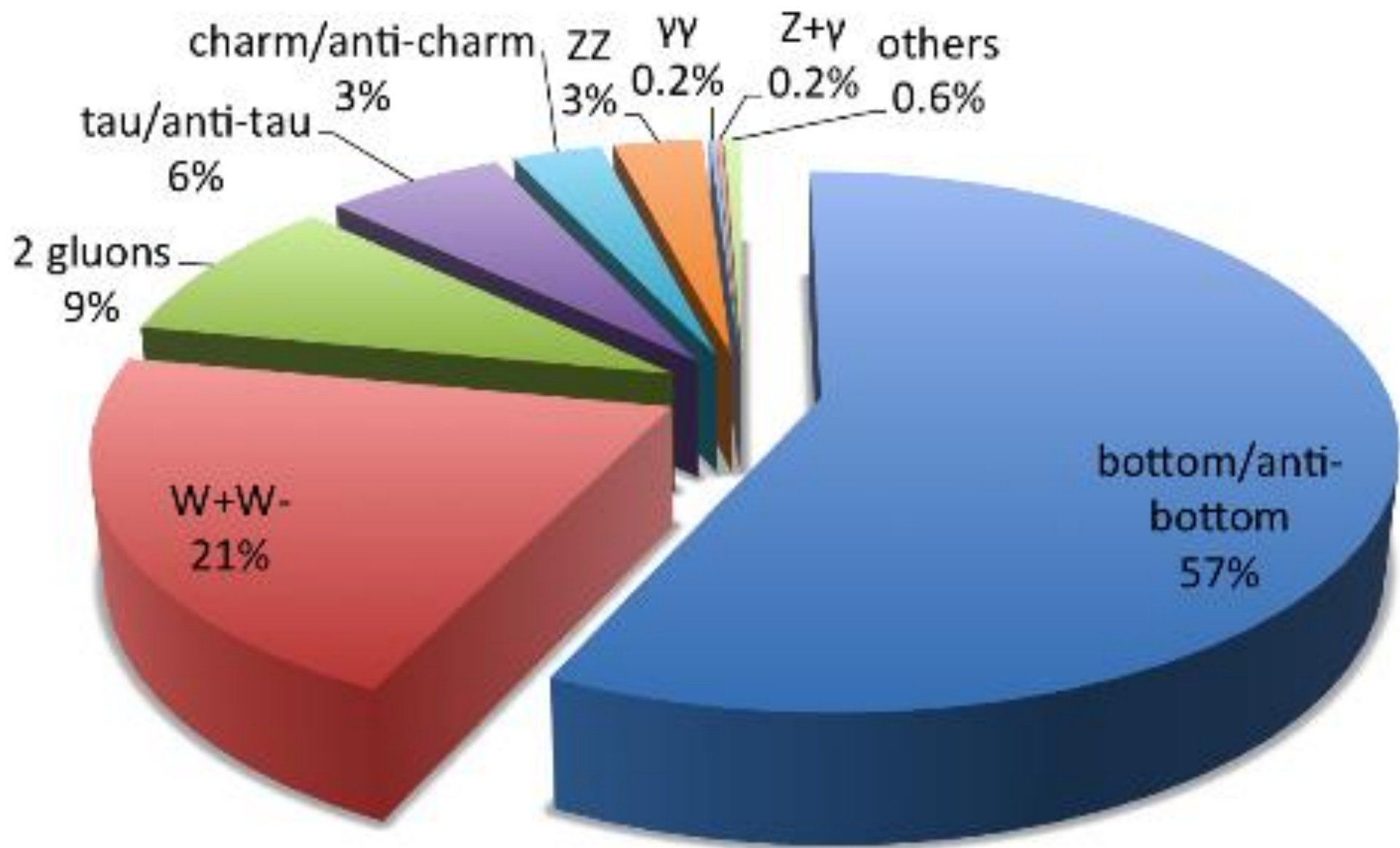






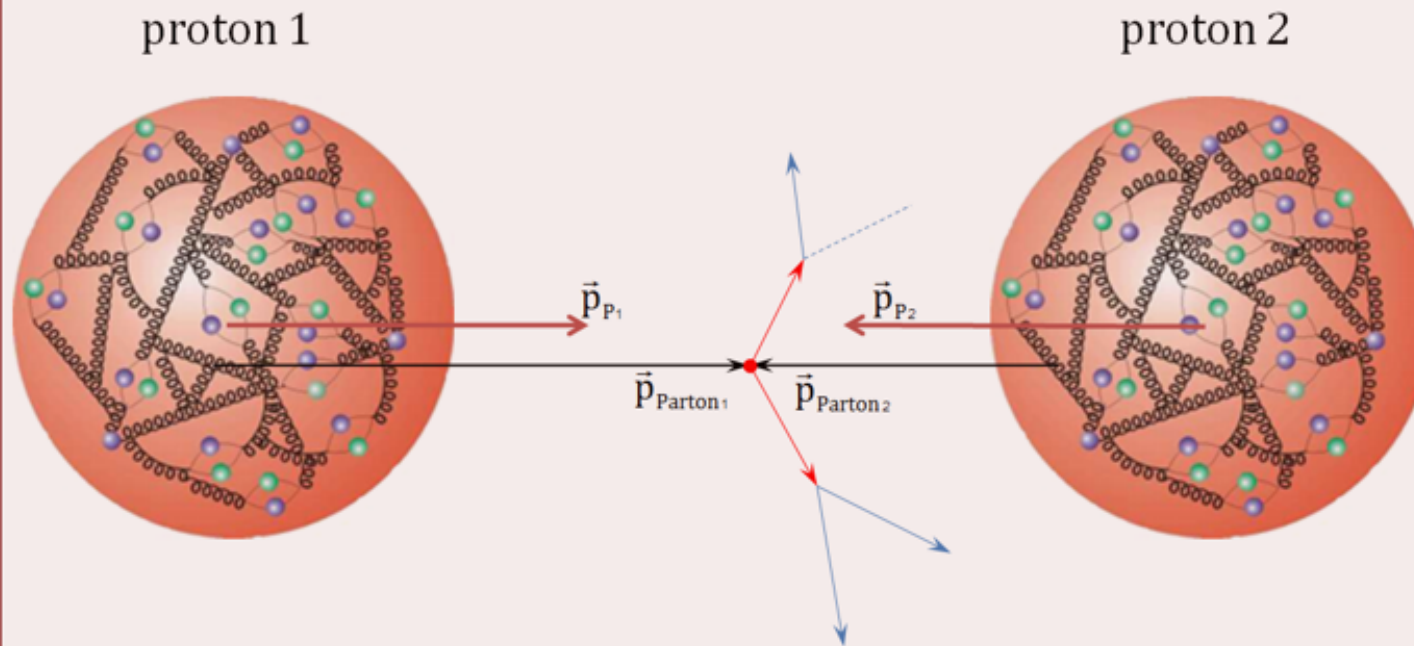


Decays of a 125 GeV Standard-Model Higgs boson



Ciocnirea dintre doi protoni

Interactions of constituents of the colliding protons, the so called partons (quarks, gluons)



\vec{p}_{P_1} ... momentum proton 1

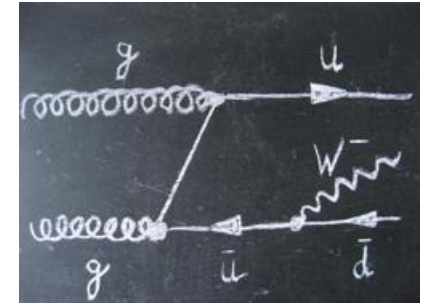
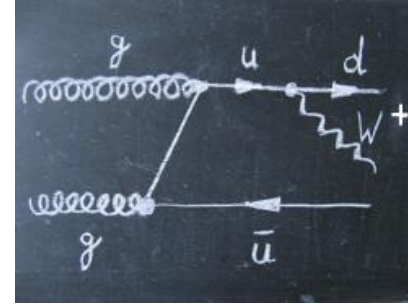
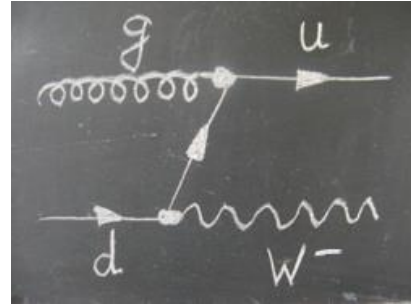
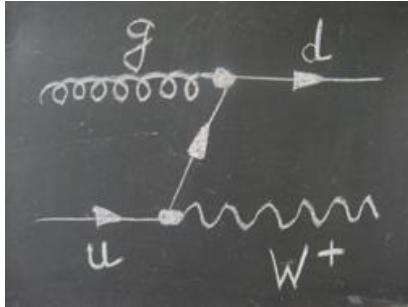
\vec{p}_{P_2} ... momentum proton 2

• interaction vertex

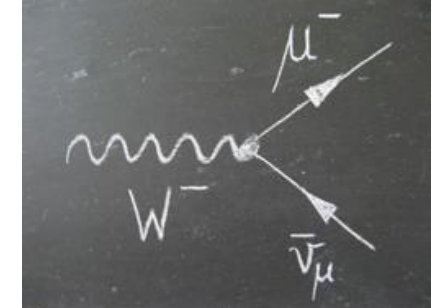
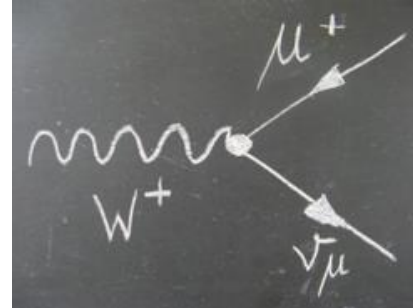
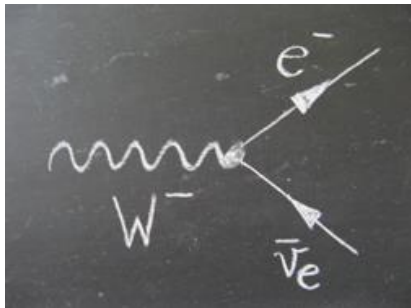
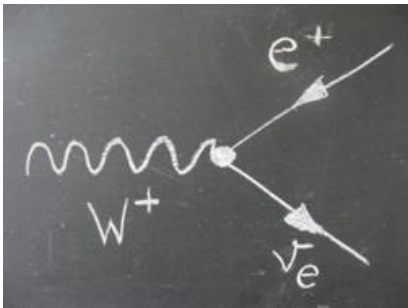
$\vec{p}_{Parton1}$... momentum parton 1

$\vec{p}_{Parton2}$... momentum parton 2

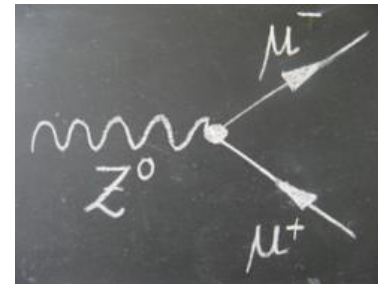
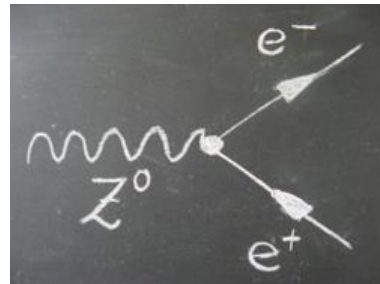
Tipuri de evenimente în care se produc bosonii vectoriali W



Moduri de dezintegrare a bosonilor W



Tipuri de evenimente de tip "background"



events

signal

background

W production
electron
channel

W production
muon channel

W
production
tau channel

Z
Production

Jets

$t\bar{t}$ -
Production

$W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$

$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$

$Z \rightarrow e^+ + e^-$

$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$

$W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

$Z \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

$Z \rightarrow \tau^+ + \tau^-$

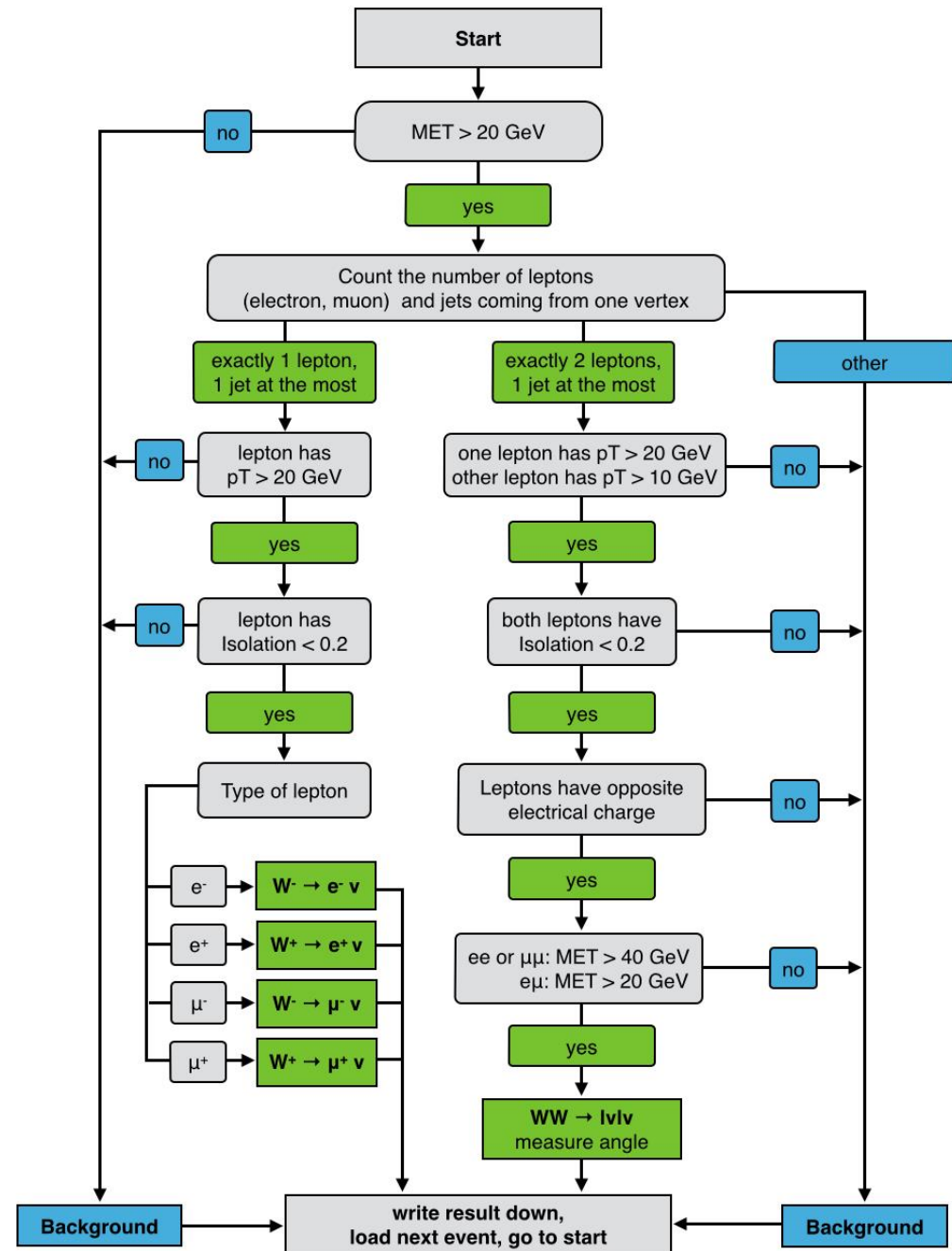
Scopul analizei seturilor de date asignate este unul dublu:

- I. Să extragem anumite concluzii privitoare la **structura internă a protonului**
- II. Să **"re-descoperim" bosonul scalar Higgs** în evenimentele de tipul $H \rightarrow WW^* \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu}$

Ce aveți de făcut?

1. Să vă familiarizați cu lucrul în MINERVA, un program de vizualizare a evenimentelor.
2. Să studiați și apoi să împărțiți/categorisiți evenimentele ce vă sunt alocate în:
 - (i) evenimente în care este implicat un singur boson vectorial W ; $W \rightarrow l\nu$
 - (ii) evenimente în care sunt implicați doi bosoni vectoriali W (evenimente de tip WW : $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$);
 - (iii) evenimente de tip "background".
3. Să identificați sarcina electrică (pozitivă sau negativă) a bosonului vectorial W care apare în fiecare dintre evenimentele de tip "un singur W " și apoi să calculați raportul $|W^+|/|W^-|$ pentru cazul în care ambii bosoni W (atât cel încărcat electric pozitiv, cât și cel încărcat negativ) sunt produși în **proces de tip quark-gluon**.
4. Pentru evenimentele candidate de tip $H \rightarrow WW$, să determinați unghiul $\Delta\Phi_{ll}$ (numit "unghiul de deschidere" - "opening angle") dintre cei doi leptoni, în plan transversal față de direcția inițială a celor două fascicule de protoni care se ciocnesc.

Schema logică ce
 sintetizează criteriile
 de selecție pentru
 identificarea
 evenimentelor



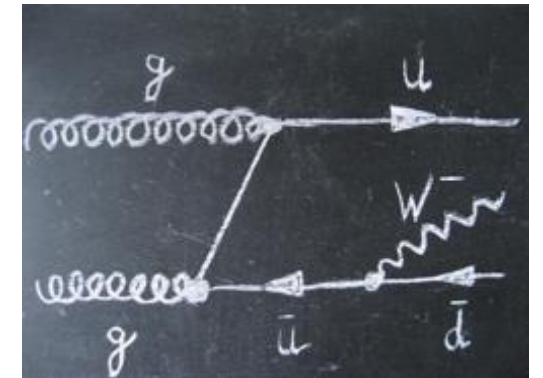
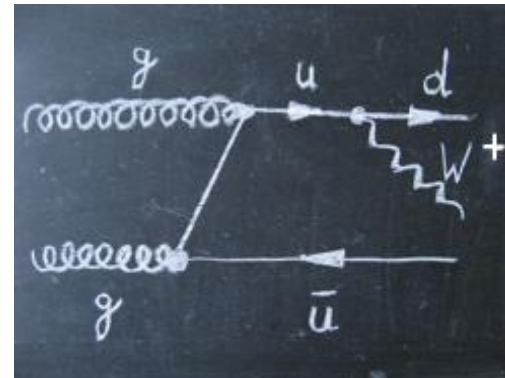
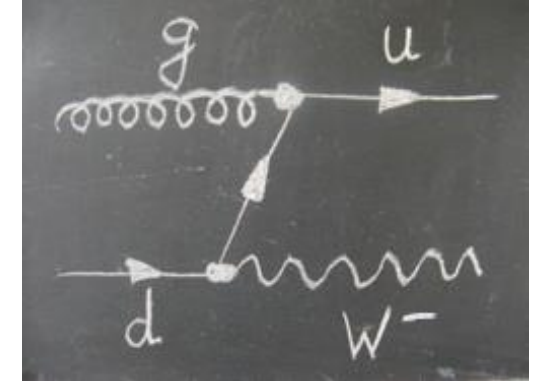
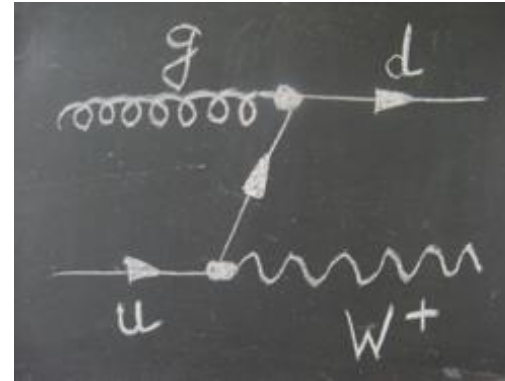
Tabelul centralizator

Event	$W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$	$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$	$W^+W^- \rightarrow l^- + \bar{\nu}_l + l^+ + \nu_l$	Background	$\Delta\Phi_{ll}$
01							
02							
03							
04							
05							
06							
07							
08							

Task-ul I: structura internă a protonului

Teoria arată că în procesele de tip **gluon-gluon**, ratele de producere a celor doi bosoni vectoriali, W^+ și W^- sunt aproximativ egale.

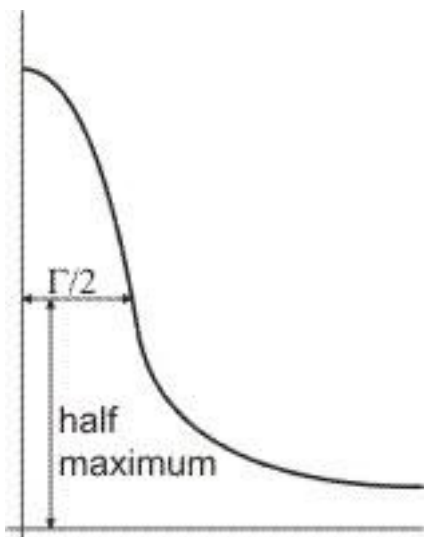
Interaction process	W^+	W^-	theory
Quark gluon interaction	: 38%	: 28%	66%
Gluon gluon interaction	: 17%	: 17%	34%
measurement	55%	45%	100%



În cazul acestui exemplu, raportul $|W^+|/|W^-|$ (ambii bosoni vectoriali fiind produși în interacțiuni **quark-gluon**) este 38:28, adică **1,4**. Atenție că 55:45=**1,22**!

“Lățimea”/”lărgimea” unei particule

În acord cu **principiul de incertitudine** (al lui Heisenberg), cu cât o particulă are un timp de viață mai scurt, cu atât măsurătorile asupra energiei (și implicit asupra masei invariante) vor fi afectate de incertitudini/nedeterminări mai mari. Acest lucru înseamnă că nu vom obține de fiecare dată aceeași valoare pentru energia (masa invariantă) “măsurată”, însă histograma asociată (care dă distribuția valorilor determinate) va avea întotdeauna un maxim centrat pe valoarea “nominală” a masei invariante (vezi figura alăturată).



Lățimea acestei curbe (care este relativ simetrică față de axa verticală ce trece prin punctul de maxim), ce corespunde jumătății valorii maxime se notează de obicei cu Γ și este strâns legată de timpul de viață a particulei. Ea este numită **„lățimea”/”lărgimea” particulei**, este o caracteristică foarte importantă a particulelor și de aceea trebuie determinată/măsurată cu precizie cât mai mare. De exemplu, lățimea bosonului Z, măsurată din datele obținute cu LEP (**L**arge **E**lectron-**P**ositron collider – cel mai mare accelerator de particule de la CERN, din perioada anterioară punerii în funcțiune a LHC), a furnizat date foarte exacte asupra numărului de tipuri de neutrini ce există (și care sunt cunoscuți în prezent).

Pierderea de impuls/energie transversală (p_T / E_T miss)

Aceasta este energia care nu poate fi detectată/măsurată cu ajutorul detectorului, dar care trebuie să existe pentru ca legea de conservare a energiei să fie respectată. Exact aceeași este situația și cu pierderea de impuls (de altfel, în cadrul TRR cele două mărimi – energia și impulsul – sunt componente ale uneia și aceleiași mărimi, numită **cuadrivectorul energie-impuls**, deci cele două mărimi se conservă “simultan”).

E_T miss este în general atribuită particulelor care scapă nedetectate din detector (cum ar fi, de exemplu, neutrinii, însă, în principiu ar putea fi atribuită și altor particule necunoscute încă, cum ar fi particulele de “dark matter”).

În LHC, impulsul inițial al particulelor care se ciocnesc este orientat de-a lungul axei fasciculelor de particule (deci pe direcție axială) și are o valoare necunoscută, deoarece energia fiecărui hadron (în speță, proton) care colizionează este distribuită și permanent schimbată între constituenții acestuia (quark-uri și gluoni, numiți generic **partoni**). Ca urmare, cantitatea de energie “care lipsește” (“**missing energy**”) nu poate fi determinată.

Totuși, energia inițială și impulsul inițial pe direcția transversală la axa fasciculului sunt **zero**, astfel că orice pierdere/lipsă de impuls și energie indică de fapt pierderea/lipsa de impuls și energie pe direcția transversală, **p_T / E_T miss**. Acestea sunt prezentate în “event display” cu o linie punctată care, pe lângă valoarea numerică ce indică mărimea (modulul) lui **p_T miss**, arată și direcția pierderii/lipsei de impuls transversal.