

Reunión anual de la división de partículas y campos de la SMF

Violación de CP en el decaimiento del bosón de Higgs a dos bosones Z's

A. Moyotl^{1,2} y G. Tavares-Velasco¹

¹Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, BUAP

²Departamento de Física, CINVESTAV

Presenta:

Dr. Agustín Moyotl Acuahuatl



20 de mayo de 2015



INDICE DE CONTENIDO

- 1.- *Introducción.*
- 2.- *Producción y decaimiento del bosón de Higgs.*
- 3.- *Acoplamientos anómalos del bosón de Higgs.*
- 4.- *Búsqueda experimental en el LHC.*
- 5.- *Cuarta familia fermiónica.*
- 6.- *Violación de CP en el vértice ZZH.*
- 7.- *Conclusiones*

INTRODUCCIÓN

EL PAÍS

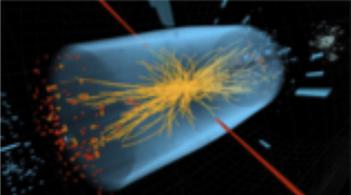
INTERNACIONAL POLÍTICA ECONOMÍA CULTURA SOCIEDAD DEPORTES

ESTÁ PASANDO [Bosón Higgs](#) [Arrestado fiscal](#) [Ciclón Catbino](#) [Incendios Valencia](#) [Caso Berlusconi](#) [Caso Berlusconi](#) [Vikán-Hö](#) [MÁS TEMAS](#)

DERECTO Los científicos del CERN anuncian el descubrimiento de una partícula que podría ser Higgs. Sigue la reconferencia en la que están explicando un avance que, de confirmarse, supondría un paso esencial de la física para explicar el origen de la materia.

Hallada “la más sólida evidencia” de la existencia del bosón de Higgs

El posible descubrimiento de la partícula es un paso esencial hacia la explicación del origen de la materia



Puedo confirmar que se ha descubierto una partícula que es consistente con la teoría del bosón de Higgs”, dicen los científicos. El descubrimiento de la partícula ayudaría a explicar el origen de la masa. Los físicos del CERN explican en estos momentos sus hallazgos

- Diccionario para entender en qué consiste el hallazgo
- La “caza” del bosón de Higgs, por A. RUIZ ZIMENO
- VIDEO Una explicación del bosón de Higgs
- Sigue en directo la conferencia del CERN
- FOTOGALERÍA Imágenes hechas de la “partícula de Dios”
- ¿Hacia la partícula de Dios?, por JAVIER SAMPEDRO

OPINIÓN + Espejismo laboral

EDICIÓN: La caída del paro registrado en junio no cambia la tendencia de destrucción de empleo

SEGUIMOS EN: EL PAÍS

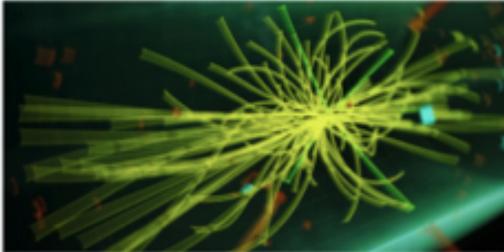
Logro del CMS que pudiera ser la firma de la partícula de Higgs. / CERN

INTERNATIONAL POLITIQUE SOCIÉTÉ ÉCONOMIE CULTURE DÉSES SPORT SCIENCES TECHNO STYLE VOUS ÉDITION ABONNÉS

EN CIUDADES EUROPEAS desde 15€
EN CIUDADES ESPAÑOLAS desde 17€ (por noche por persona)

EN CE MOMENT [Nicolas Sarkozy](#) [Mal](#) [Boson de Higgs](#) [1962](#) [l'Indépendance algérienne](#) [Winnipeg](#) [Tour de France](#) [Syrie](#) [Pakistan](#)

Le boson de Higgs découvert avec 99,9999 % de certitude



Voici la confirmation tant attendue : une nouvelle particule a été découverte au Centre européen de recherche nucléaire (CERN), près de Genève.

- Boson de Higgs : la fin de la traque
- Le boson de Higgs : les raisons d'une quête

Les plus partagés

- 1 Perquisitions au domicile et dans les bureaux de Nicolas Sarkozy 2020
- 2 "Strip-tease" : Comment l'amour (et) vient (pas) aux campagnes 363
- 3 Jean-Léon : "Strip-tease" sera une robe formidable pour un athlétique de l'an 2020? 340
- 4 Le Syria ou "l'Archipel de la torture", selon HDS 315
- 5 Le dealer de voitures de Jean-Luc Dehaene décrit les exigences de son client vedette 288
- 6 Vous avez trop bu, ces derniers vous parlez? 274
- 7 Le célèbre designer automobile Sergio Pininfarina est mort 186
- 8 Selon Al-Jazeera, Arabat aurait été empoisonné au polonium 128

HOME PAGE TODAY'S PAPER VIDEO MOST POPULAR U.S. Edition

MARC JACOBS.COM **The New York Times** Log In Register Now

Wednesday, July 4, 2012 Last Update: 4:00 AM ET

TRY A TIMES DIGITAL SUBSCRIPTION: 4 WEEKS FOR 99¢. [CLICK HERE](#)

World U.S. POLITICAL NEW YORK BUSINESS TECHNOLOGY SPORTS SCIENCE HEALTH ARTS STYLE OPINION

Rapid H.I.V. Home Test Wins Federal Approval

By DONALD G. MARSH, JR. The OraQuick test, which uses a cheek swab and gives results in 20 to 40 minutes, is the first choice for Americans in the process of their own homes whether they are infected.

As Bank Frames a Defense, Barclays C.E.O. Resigns

By BEN FRISCH and SHARON SCOTT Ahead of a British parliamentary hearing, senior Barclays executives said they thought they had implicit approval from regulators to manipulate interest rates.

Top Judge Helped

By BEN FRISCH

New Particle Could Be Physicists' Holy Grail

By DENNIS CHANGING 4 months ago If confirmed to be the elusive Higgs boson, a newly discovered particle named for the physicist Peter Higgs, shown in Geneva, could explain the universe's origin.

Fears of Flies Take Fireworks Out of July 4th Celebrations

By DAN FROST Many U.S. cities and towns across the country have decided to scrap their fireworks, always for safety.

As Symbolic Check, Fireworks Loan Out to a Handful's Bold Eagles

By ANTON SCHWARZ The Fire Department in Savannah, S.C., unveiled its annual display after several fireworks were said to

OPINION + EDITORIAL: Two Quiet, Agony, on Health Care

The Obama campaign has not carefully considered Republican misinformation on the reform law.

David: Guide Guardia
Friedman: Norm, Israel
Doubtful: Books for Obama
Flem: Sweden's Miracle
East: Anderson: The Desecration of Liberty
Op-Ed: Anderson Cooper

MARKETS + Britain Germany France FTSE 100 DAX CAC 40 6,675.24 6,853.19 3,246.83 +0.16% +0.32% +0.22%

SET QUOTES My Portfolio + Stock, ETFs, Funds

INTRODUCING NEW YORK TIMES CORPORATE DIGITAL SUBSCRIPTIONS. From insight comes inspiration.

Website of the year | 4 July 2012 | Last updated less than one minute ago

Your search terms: The Guardian

Weather London 15°C

theguardian

News Sport Comment Culture Business Money London post Life & style Travel Environment Video Apps Offices Jobs

News UK World Development US Politics Media Education Society Science Tech Law Data TV Football Observer

Breaking news: Weather not imitations end Moxie McKinlay clash - AP

Diamond set to come out fighting as he faces MPs

Chief executive to reveal role of City watchdogs and Whitehall in Libor rate-fixing scandal

- The key questions for MPs to ponder
- The late exchanges that led to Diamond's demise
- Carmon and Miliband clash over inquiry
- Barclays: Ready to talk at next sentencing deal?
- Should you interpret this as guidance to lower rate?
- Dealing: Bank Libor rate submissions 2005-08
- Daughter leads her support "Deluxe @MPC"
- Full coverage of the Libor rate-fixing scandal

The definite particle? Higgs boson discovered? Live coverage



Pakistan ends supply route dispute

Ending of seven-month blockade follows apology from US secretary of state for deaths of Pakistan troops

Eurozone crisis: Troika talks begin

Last updated: 10 minutes ago

Hadley Freeman I'm stamped by cricket and other baffling British

Sport Man Utd to float in New York

Subscribe

INTRODUCCIÓN

Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC ☆

CMS Collaboration ☆

CERN, Switzerland
This paper is a contribution to the CMS Collaboration

Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC ☆

ATLAS Collaboration ☆

This paper is dedicated to the ATLAS Collaboration contributions to the LHC

$\sqrt{s} = 7$ TeV in 2011 and 5.8 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 8$ TeV in 2012

ARTICLE

Article history:
Received 31 July 2012
Received in revised form 8 August 2012
Accepted 11 August 2012
Available online 14 August 2012
Editor: W.-D. Schlatter

Keywords:
CMS
Physics
Higgs

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 July 2012
Received in revised form 8 August 2012
Accepted 11 August 2012
Available online 14 August 2012
Editor: W.-D. Schlatter

ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton–proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The datasets used correspond to integrated luminosities of approximately 4.8 fb^{-1} collected at $\sqrt{s} = 7$ TeV in 2011 and 5.8 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 8$ TeV in 2012. Individual searches in the channels $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ in the 8 TeV data are combined with previously published results of searches for $H \rightarrow ZZ^{(*)}$, $WW^{(*)}$, $b\bar{b}$ and $\tau^+\tau^-$ in the 7 TeV data and results from improved analyses of the $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ and $H \rightarrow \gamma\gamma$ channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of 126.0 ± 0.4 (stat) ± 0.4 (sys) GeV is presented. This observation, which has a significance of 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of 1.7×10^{-9} , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

mass of 126.0 ± 0.4 (stat) ± 0.4 (sys) GeV

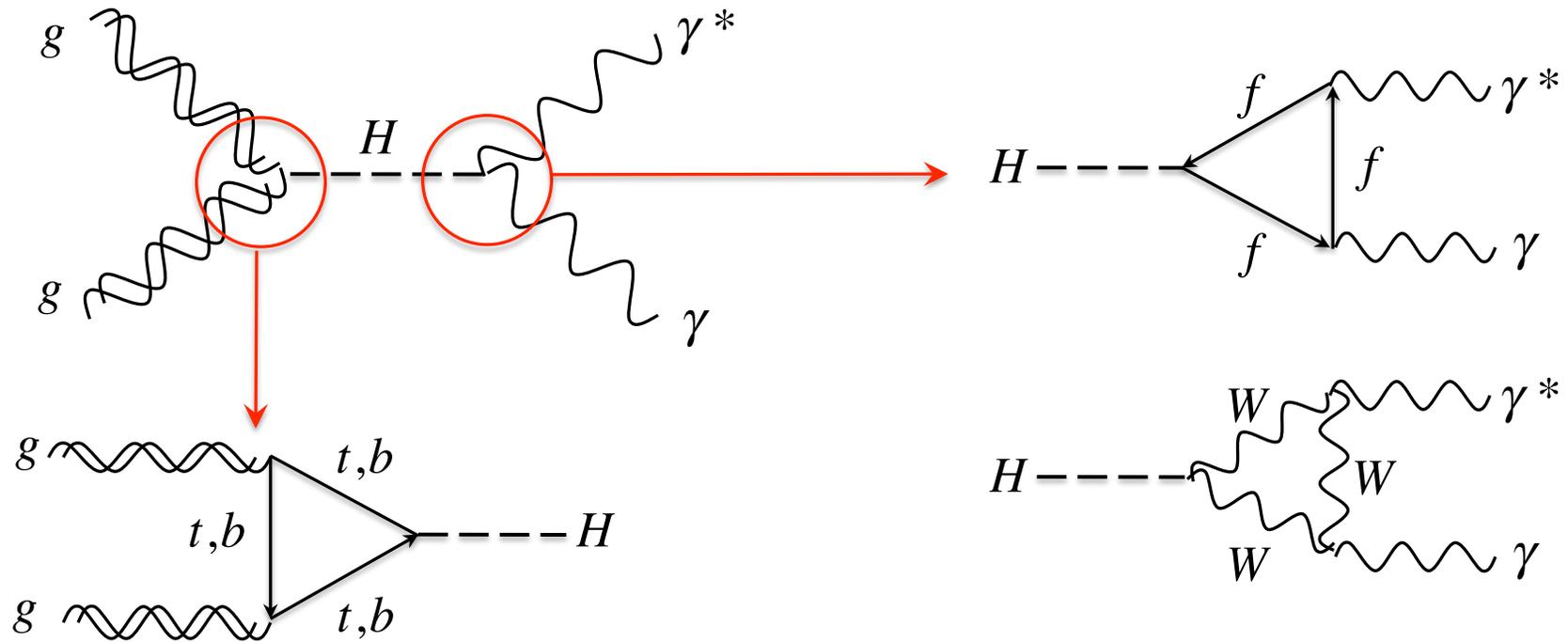
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$

PRODUCCIÓN Y DECAIMIENTO DEL HIGGS

Via fusión de gluones y decaimiento a dos fotones

$$gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma^*$$

La fusión de gluones o fotones, solo se da a nivel de un lazo.



En colisiones protón-protón, la fusión de gluones es el mecanismo dominante en la producción de Higgs del Modelo Estándar.

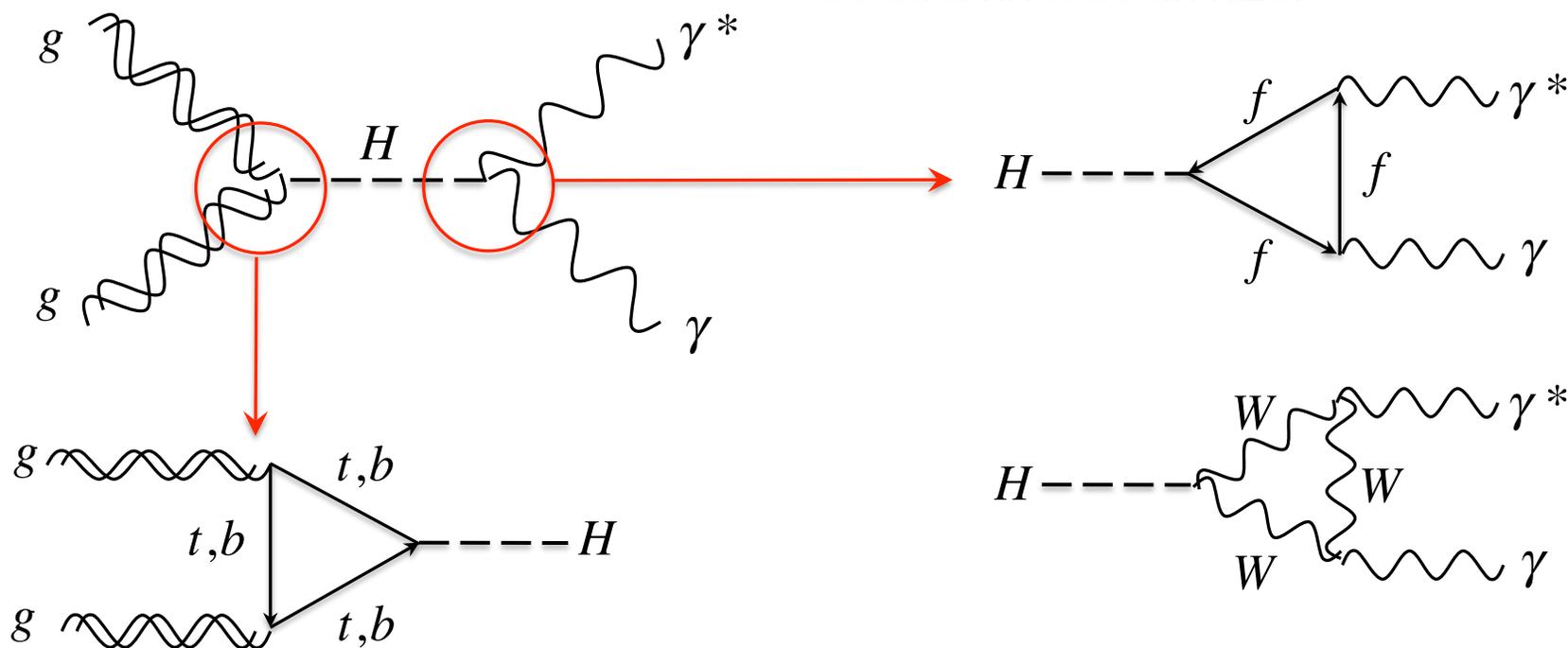
Phys. Rev. Lett. 40 (1978) 692

PRODUCCIÓN Y DECAIMIENTO DEL HIGGS

Via fusión de gluones y decaimiento a dos fotones

$$gg \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma^*$$

La fusión de gluones o fotones, solo se da a nivel de un lazo.



All measurements are consistent with expectations for the Standard Model Higgs boson.

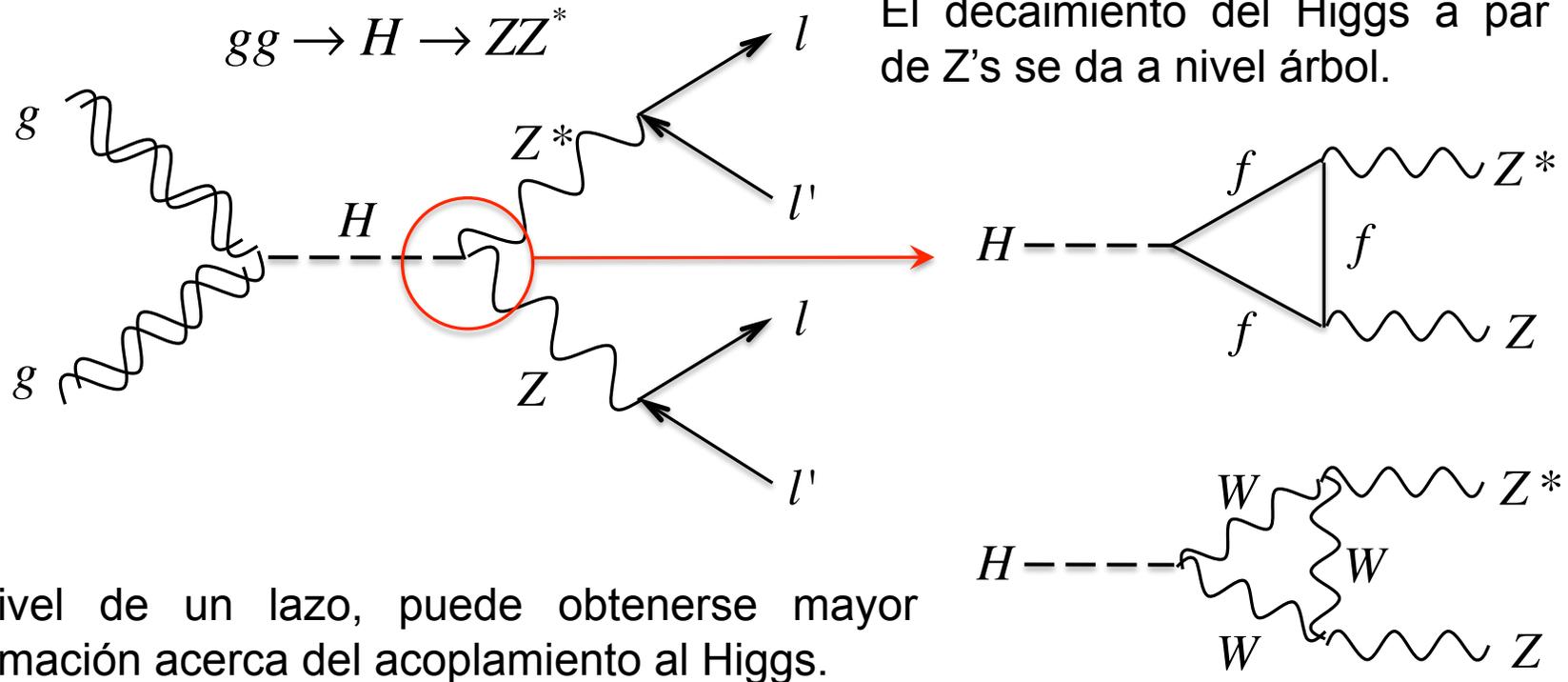
ATLAS, Phys.Lett.B 726 (2013) 88

All the results are consistent, within their uncertainties, with expectations for a SM Higgs boson.

CMS, JHEP06 (2013) 081

PRODUCCIÓN Y DECAIMIENTO DEL HIGGS

Via fusión de gluones y decaimiento a dos Z's



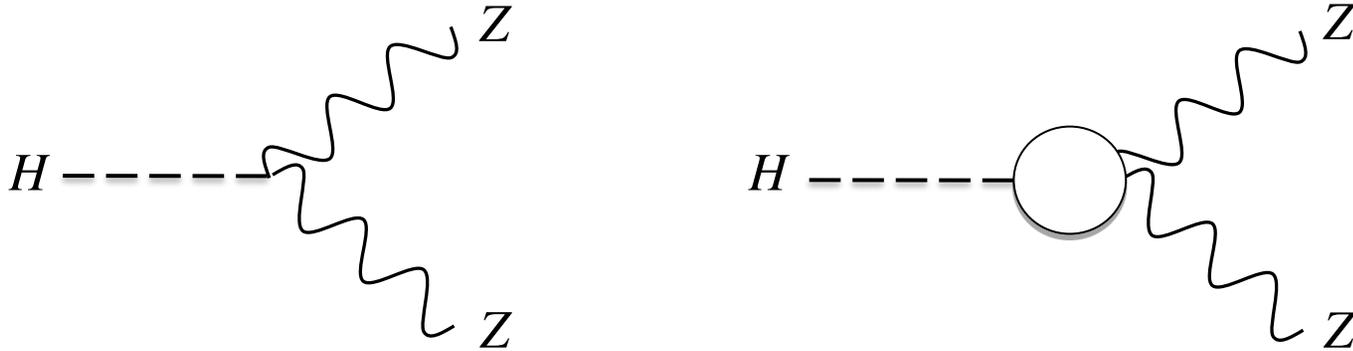
All measurements are consistent with expectations for the Standard Model Higgs boson.

ATLAS, Phys.Lett.B 726 (2013) 88

All the results are consistent, within their uncertainties, with expectations for a SM Higgs boson.

CMS, JHEP06 (2013) 081

ACOPLAMIENTOS ANÓMALOS DEL HIGGS



En el Modelo Estándar el acoplamiento HZZ a nivel árbol tiene la siguiente forma

$$\mathcal{L}_{HZZ} = \frac{gm_Z}{2 \cos^2 \theta_W} H Z_\mu Z^\mu$$

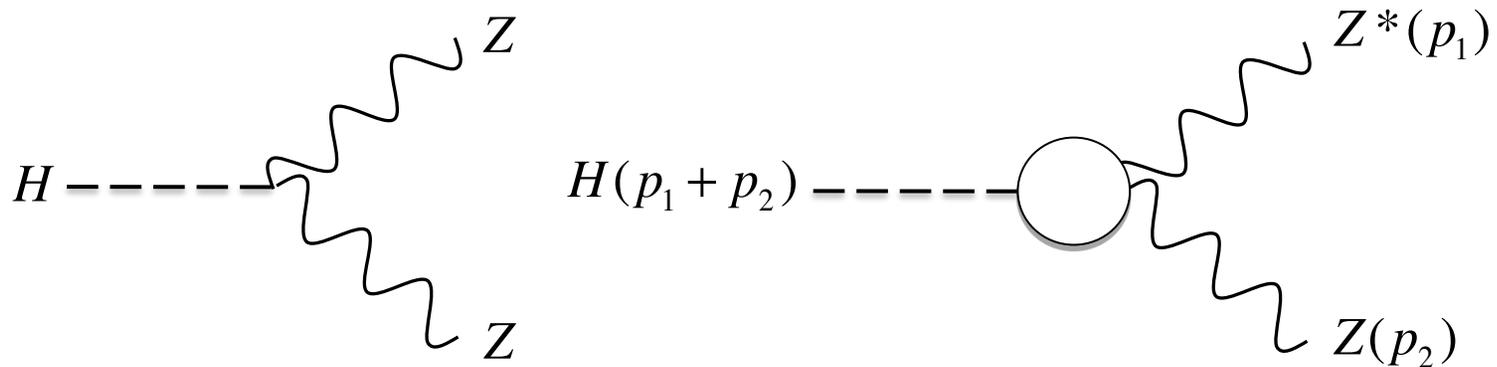
Acoplamientos anómalos impares ante CP, no se inducen en el ME

A nivel de un lazo existen nuevas contribuciones

$$\mathcal{L}_{HZZ} = \frac{gm_Z}{2 \cos^2 \theta_W} H Z_\mu Z^\mu + a_1 H Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} + \boxed{a_2 Z_{\mu\nu} Z^\nu \partial^\mu H} + \boxed{a_3 H \tilde{Z}_{\mu\nu} Z^{\mu\nu}}$$

Acoplamientos anómalos pares ante CP, en el ME estos son los que contribuyen en la fusión de gluones y fotones.

ACOPLAMIENTOS ANÓMALOS DEL HIGGS



En el Modelo Estándar el acoplamiento HZZ a nivel árbol tiene la siguiente forma

$$\mathcal{L}_{HZZ} = \frac{gm_Z}{2 \cos^2 \theta_W} H Z_\mu Z^\mu$$

A nivel de un lazo existen nuevas contribuciones

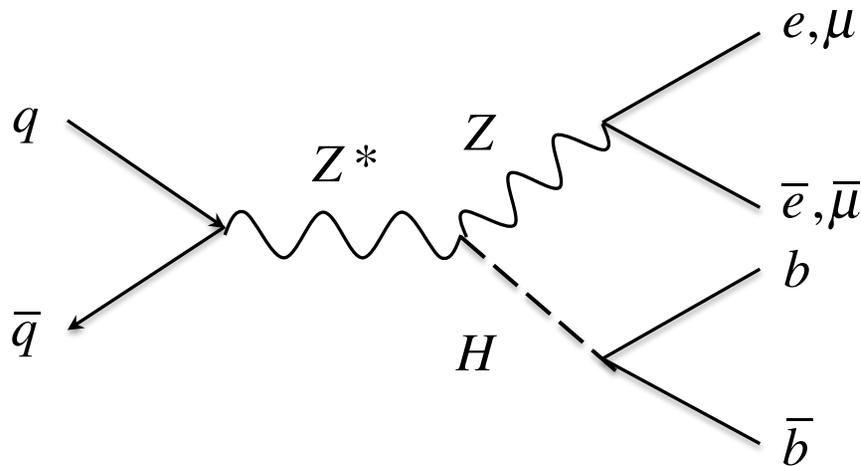
$$\mathcal{L}_{HZZ} = \frac{gm_Z}{2 \cos^2 \theta_W} H Z_\mu Z^\mu + a_1 H Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} + a_2 Z_{\mu\nu} Z^\nu \partial^\mu H + a_3 H \tilde{Z}_{\mu\nu} Z^{\mu\nu}$$

Cuya correspondiente función vértice es:

$$\Gamma^{\alpha\beta}(p_1, p_2) = a_1 g^{\alpha\beta} + a_2 [(p_1 \cdot p_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha p_2^\beta] + a_3 \epsilon^{\alpha\beta\mu\nu} p_{1\mu} p_{2\nu}$$

BÚSQUEDA EXPERIMENTAL EN EL LHC

$$pp \rightarrow Z^* H \rightarrow \ell^+ \ell^- b \bar{b}$$



...We showed that including a CP-odd ZZH coupling and after selective kinematical cuts to suppress the SM backgrounds, we are able to extract the CP asymmetries in the signal events of the LHC.

Physics Letters B 693 (2010) 28-35

$$\sqrt{s} = 14 \text{TeV}, \quad m_H = 120 \text{GeV}, \quad p_{T_{j_l}} = 20 \text{GeV}, \quad |\eta_{j_l}| < 2.5, \quad \Delta R_{j_l, j_l} > 0.4$$

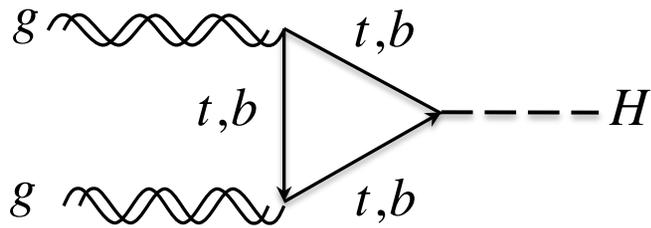
A nivel de un lazo existen nuevas contribuciones

$$\mathcal{L}_{HZZ} = \frac{gm_Z}{2 \cos^2 \theta_W} H Z_\mu Z^\mu + a_1 H Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} + \boxed{a_2 Z_{\mu\nu} Z^\nu \partial^\mu H} + \boxed{a_3 H \tilde{Z}_{\mu\nu} Z^{\mu\nu}}$$

Cuya correspondiente función vértice es:

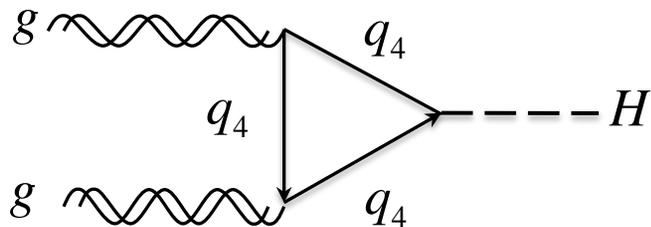
$$\Gamma^{\alpha\beta}(p_1, p_2) = a_1 g^{\alpha\beta} + \boxed{a_2 [(p_1 \cdot p_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha p_2^\beta]} + \boxed{a_3 \epsilon^{\alpha\beta\mu\nu} p_{1\mu} p_{2\nu}}$$

CUARTA FAMILIA FERMIÓNICA



La cuarta familia fermiónica discrepa con observables de precisión electrodébiles, pero una pequeña mezcla de la cuarta familia esta favorecida por algunas observables de sabor.

Phys. Rev. D82, 095006 (2010)



Quark pesados alargarían significativamente la fusión de gluones, consecuentemente la razón de producción de Higgs aumentaría con respecto si solo existieran únicamente tres familias de quarks.

Phys. Rev. D83, 094018 (2011)

Una cuarta familia fermiónica aun es viable con los datos del reciente descubrimiento del bosón de Higgs, si el sector escalar se extiende a dos dobletes o a un triplete de Higgs

Phys. Rev. D84, 053009 (2011)

Phys. Rev. D89, 075005 (2014)

CUARTA FAMILIA FERMIÓNICA

Cotas experimentales mas recientes con 95% C.L

La estrategia experimental usada en la búsqueda de fermiones de la cuarta familia, consiste en considerar que existe mezcla con la cuarta familia, y que además su magnitud sea considerable, particularmente con los sabores mas pesados de la tercera familia.

$$\mathcal{L}_{FC} = i \sum_k g_{4k} Z^\mu \bar{f}_4 \gamma_\mu P_L f_k + h.c.$$

Leptones

$$m_{l_4} > 110.8 GeV \begin{cases} l_4 \rightarrow \nu_3 W \\ l_4 \rightarrow l_3 Z \end{cases}$$

$$m_{\nu_4} > 90.3 GeV \begin{cases} \nu_4 \rightarrow l_3^\pm W^\mp \end{cases}$$

$$m_{\nu_4} > 80.5 GeV \begin{cases} \nu_4 \rightarrow \nu_3 Z \end{cases}$$

L3 Collaboration, Phys.Lett. B517, 75 (2001)

Quarks

CMS

$$m_{b_4} > 675 GeV \quad b_4 \rightarrow tW$$

$$m_{t_4} > 625 GeV \quad t_4 \rightarrow tZ$$

JHEP 1301, 154 (2013)

$$m_{t_4} > 350 GeV \quad t_4 \rightarrow Ht$$

Phys. Lett. B715, 121 (2012),

ATLAS

$$m_{t_4} > 656 GeV \quad t_4 \rightarrow Wb$$

Phys. Lett. B718, 1284 (2013)

VIOLACIÓN DE CP EN EL VÉRTICE ZZH

Acoplamiento impar ante CP de $Z_\alpha(p_1)Z_\beta^*(p_2)H(p_1+p_2)$

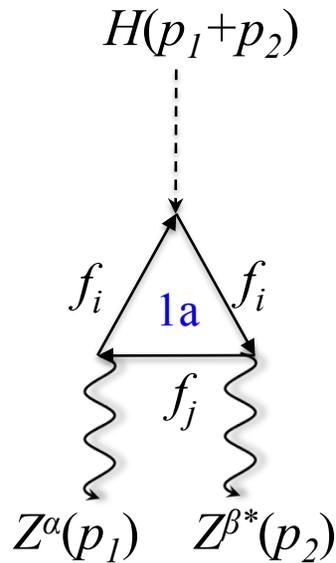
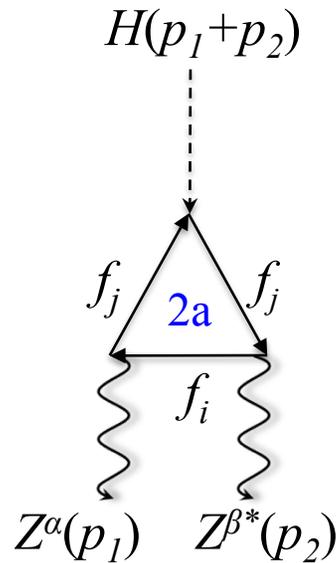
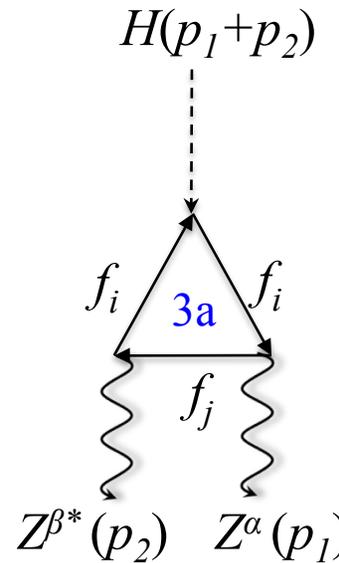


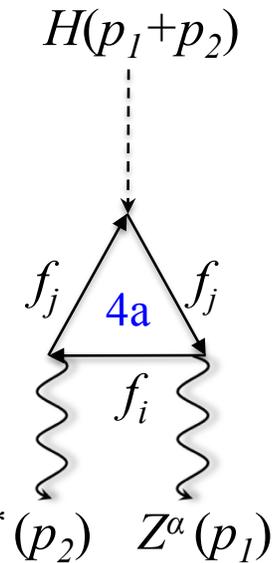
Diagrama A



más $i \leftrightarrow j$



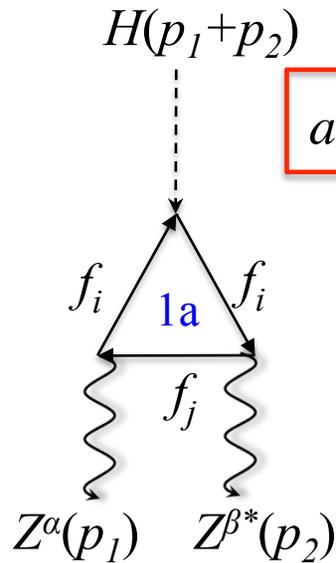
más $p_1^\alpha \leftrightarrow p_2^\beta$ por la simetría de Bose



$$\Gamma^{\alpha\beta}(p_1, p_2) = \boxed{a_1} g^{\alpha\beta} + \boxed{a_2} [(p_1 \cdot p_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha p_2^\beta] + \boxed{a_3} \epsilon^{\alpha\beta\mu\nu} p_{1\mu} p_{2\nu}$$

VIOLACIÓN DE CP EN EL VÉRTICE ZZH

Acoplamiento impar ante CP de $Z_\alpha(p_1)Z_\beta^*(p_2)H(p_1+p_2)$



$$a_3(m_Z) = \frac{gm_W}{16\pi^2 c_W m_Z} \text{Im}(g_{ij}g_{ji}^*) 2 \left[m_i \int_{x=0}^1 \int_{y=0}^{1-x} \frac{(x+y-1)}{f(x,y,m_i,m_j)} dx - (i \leftrightarrow j) \right]$$

Donde

$$f(x,y,m_i,m_j) = (x+y)(m_j^2 + m_Z^2) - m_Z^2 x^2 + (m_H^2 - 2m_Z^2)xy + m_Z^2 y^2 + m_i^2(x+y-1)$$

Observaciones:

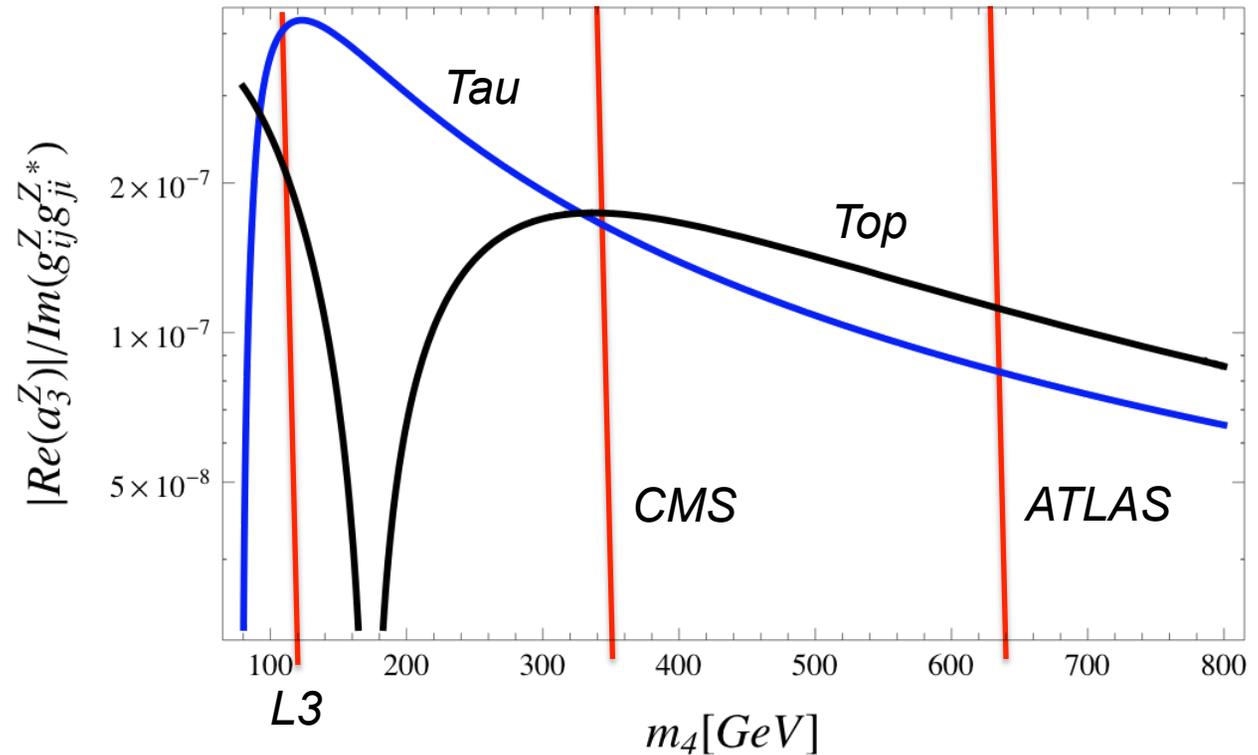
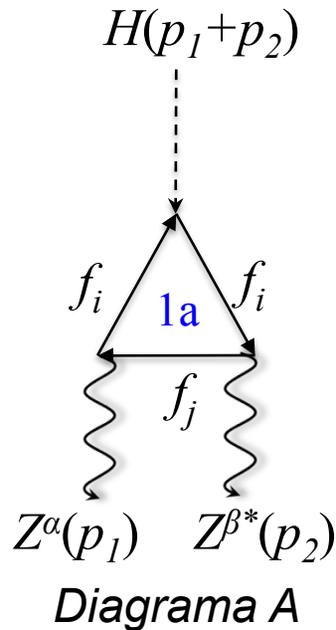
- 1.- Se requieren acoplamientos complejos: $\text{Im}(g_{ij}g_{ji}^*) \neq 0$.
- 2.- Es necesario el cambio de sabor fermiónico.

$$a_3(m_Z) \sim \text{Re}(g_{ij}g_{ji}^*)$$

$$\Gamma^{\alpha\beta}(p_1, p_2) = a_1 g^{\alpha\beta} + a_2 [(p_1 \cdot p_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha p_2^\beta] + a_3 \epsilon^{\alpha\beta\mu\nu} p_{1\mu} p_{2\nu}$$

VIOLACIÓN DE CP EN EL VÉRTICE ZZH

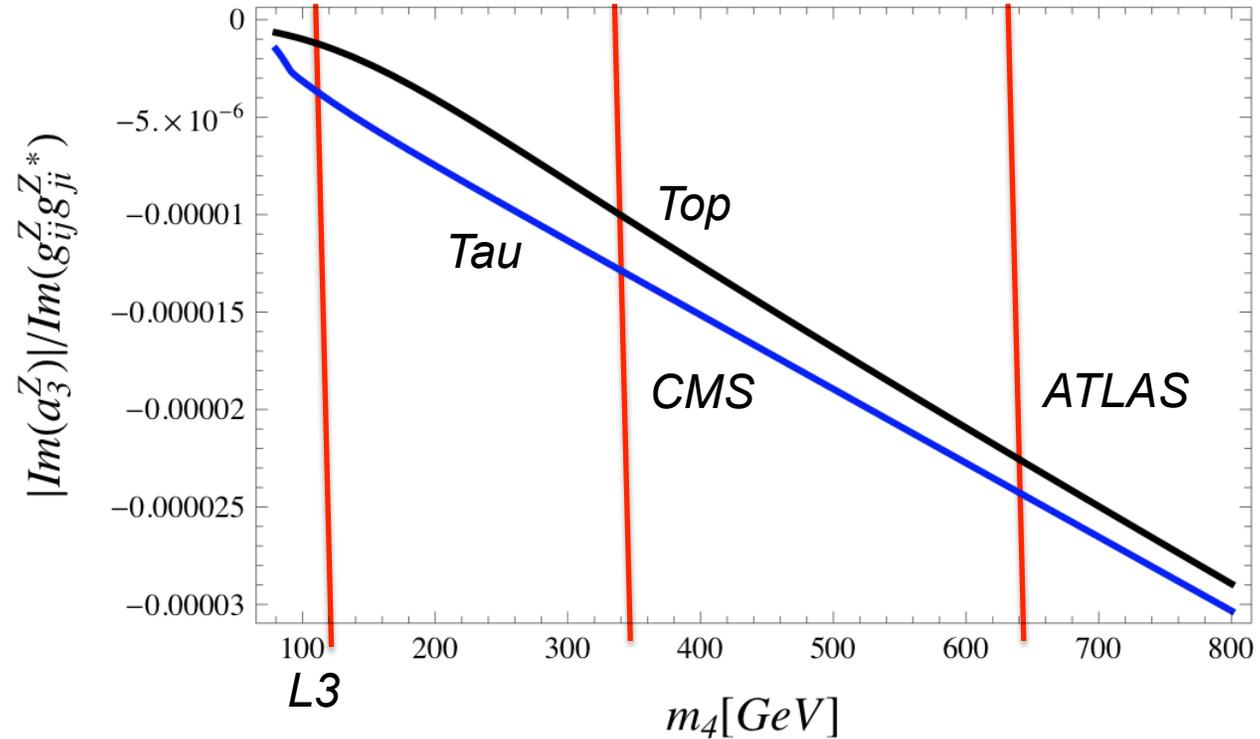
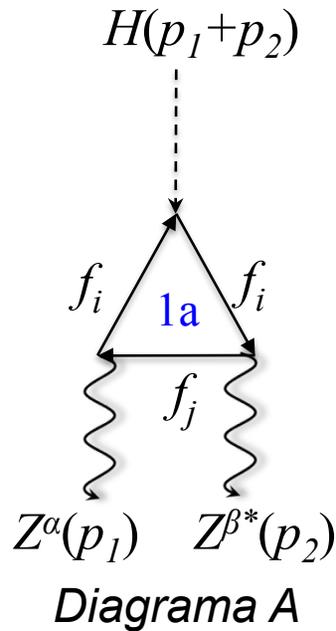
Acoplamiento impar ante CP de $Z_\alpha(p_1)Z_\beta^*(p_2)H(p_1+p_2)$



$$\Gamma^{\alpha\beta}(p_1, p_2) = a_1 g^{\alpha\beta} + a_2 [(p_1 \cdot p_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha p_2^\beta] + a_3 \epsilon^{\alpha\beta\mu\nu} p_{1\mu} p_{2\nu}$$

VIOLACIÓN DE CP EN EL VÉRTICE ZZH

Acoplamiento impar ante CP de $Z_\alpha(p_1)Z_\beta^*(p_2)H(p_1+p_2)$



$$\Gamma^{\alpha\beta}(p_1, p_2) = a_1 g^{\alpha\beta} + a_2 [(p_1 \cdot p_2) g^{\alpha\beta} - p_1^\alpha p_2^\beta] + a_3 \epsilon^{\alpha\beta\mu\nu} p_{1\mu} p_{2\nu}$$

CONCLUSIONES

- 1.- *Se ha mostrado la importancia que tiene la fusión de bosones de norma neutros, en la producción y decaimiento del bosón de Higgs.*
2. *Se inducen los acoplamientos que violan CP, únicamente sí existe cambio de sabor fermiónico y sí las constantes de acoplamientos son complejas.*
- 3.- *Se usa mezcla fermiónica con la cuarta familia, asociada con el leptón tau y el quark top, y se encontró:*

$$\text{Re}(a_3) \sim 10^{-7} \quad \text{Im}(a_3) \sim 10^{-5}$$