



FİZ0424 PARÇACIK FİZİĞİ

*Ankara Üniversitesi
Fen Fakültesi Fizik Bölümü
8. Hafta*

AYSUHAN OZANSOY

İçerik:

1. Higgs Mekanizması
2. Higgs Mekanizması (popüler anlatım)
3. Higgs Bozonunun Etkileşmeleri
4. Higgs Bozonunun Keşfi

1. Higgs Mekanizması

→ Önceki kesimde U(1) ayar simetrisi için uyguladığımız yöntemi burada SU(2) ayar simetrisi için uygulayalım:

Standart Model Higgs alanı kompleks bir ikili olarak tanımlanır.

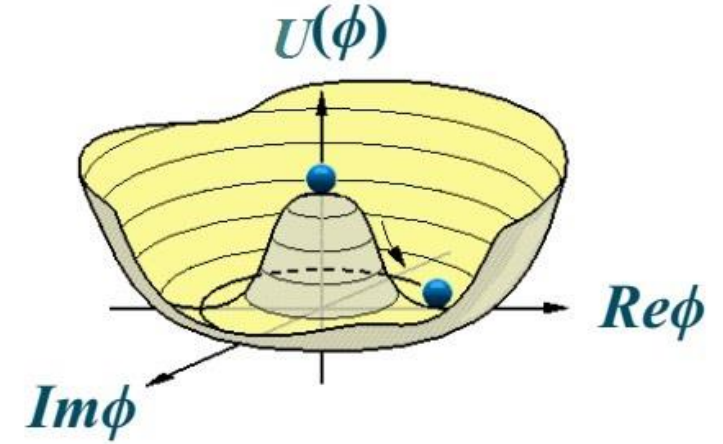
$$\Phi = \begin{pmatrix} \Phi_\alpha \\ \Phi_\beta \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} \Phi_1 + i\Phi_2 \\ \Phi_3 + i\Phi_4 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{L} = (\partial_\mu \phi)^\dagger (\partial^\mu \phi) - \mu^2 \phi^\dagger \phi - \lambda (\phi^\dagger \phi)^2$$

$$\phi \rightarrow \phi' = e^{i\alpha_a \tau_a / 2} \phi$$

$$D_\mu = \partial_\mu + ig \frac{\tau_a}{2} W_\mu^a$$

Yerel ayar dönüşümü altında lagranjiyeni değişmez yapmak için ayar alanı tanımlanır; yani dört-türevler yerine kovaryant türevler yazılır.



$$\phi^\dagger\phi \equiv \frac{1}{2}(\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_3^2 + \phi_4^2) = -\frac{\mu^2}{2\lambda} \quad \text{Potansiyelin minimum koşulu}$$

$$\phi_1 = \phi_2 = \phi_4 = 0, \quad \phi_3^2 = -\frac{\mu^2}{\lambda} \equiv v^2 \quad \text{Seçimi yapılırsa} \quad \longrightarrow \quad \phi_0 \equiv \sqrt{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$$

$$\phi(x) = \sqrt{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v + h(x) \end{pmatrix}$$

$h(x)$ Higgs alanıdır.

→ Bundan sonra önceki kesimde uygulanan prosedür uygulanarak; teoriden kütesiz Goldstone bozonları kalkar, kütleli skaler Higgs alanı ile kütleli ayar alanı kalır.

Özetle;

- Yerel ayar değişmezliği ile kendiliğinden simetri kırılmasının birleşimi Higgs mekanizmasıdır. Higgs alanının vakum beklenen değeri sıfırdan farklı olduğundan simetri kendiliğinden kırılır; W^+ , W^- , ve Z bozonları kütle kazanır ve bir tane kütleli spin-0 Higgs bozonu kalır.
- Diğer parçacıklar (elektronlar, kuarklar,...) kütlelerini Higgs ile etkileşmelerinden kazanırlar.

→ 1964 yılında 6 yazar (Brout and Englert, Higgs, and Guralnik, Hagen, and Kibble)) farklı 4 makale ile zayıf etkileşmelerin aracı parçacıklarına kütle verme mekanizmasını önerdiler.

BROKEN SYMMETRY AND THE MASS OF GAUGE VECTOR MESONS*

F. Englert and R. Brout

Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium

(Received 26 June 1964)

BROKEN SYMMETRIES, MASSLESS PARTICLES AND GAUGE FIELDS

P. W. HIGGS

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Scotland

Received 27 July 1964

VOLUME 13, NUMBER 16

PHYSICAL REVIEW LETTERS

19 OCTOBER 1964

BROKEN SYMMETRIES AND THE MASSES OF GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland

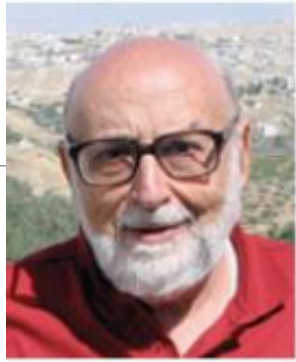
(Received 31 August 1964)

GLOBAL CONSERVATION LAWS AND MASSLESS PARTICLES*

G. S. Guralnik,[†] C. R. Hagen,[‡] and T. W. B. Kibble

Department of Physics, Imperial College, London, England

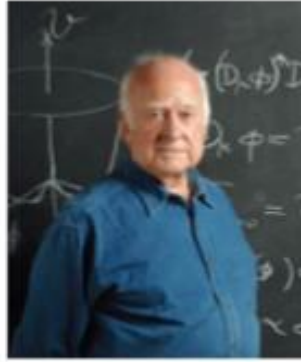
(Received 12 October 1964)



François Englert



Robert Brout



Peter Higgs



Gerald Guralnik



Carl Hagen



Tom Kibble

→ Mekanizma **Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble** mekanizması olarak adlandırılır. Ancak kısaca Higgs mekanizması olarak bilinir. Bunun nedeni, Peter Higgs' in diğerlerinden bir adım öne geçerek, kütle kazanım mekanizmasını anlatan kuramın yanı sıra, bu kuramın varlığına işaret edecek bir de temel parçacığın olduğunu öne sürmesidir. Higgs' in önerdiği bu parçacık LHC' de 2012 yılında keşfedilen **Higgs bozonudur**.

2. Higgs mekanizması (popüler anlatım)

→ Peki, bu Higgs mekanizmasını herkesin anlayabileceği bir şekilde nasıl anlatabiliriz:

Popüler bir anlatımın hikayesi şöyle: 1993 yılında İngiltere Bilim Bakanının isteği üzerine David Miller şu şekilde anlatıyor:



Fizikçilerin olduğu bir oda düşünün. Bu fizikçi grubunu Higgs alanı ile özdeşleştirebiliriz. Önce odaya hiç kimsenin tanımadığı biri girmiş olsun. Bu kişi, kimse ile tanışmadığı için oda içerisinde rahatça hareket edebilecektir. Bu kütsesiz ya da hafif olan parçacıkların Higgs alanındaki etkileşmesine eşdeğerdir.

Daha sonra odaya ünlü bir fizikçinin, örneğin Einstein'ın girdiğini düşünelim. Bu durumda odadaki fizikçiler Einstein'ın etrafına toplanacaktır. Einstein onlarla konuşabilmek ve sorularını cevaplayabilmek için kalabalığın ortasında kalmak zorunda kalacaktır. Bu durum da Higgs alanı ile parçacıkların kütle kazanmasına eşdeğerdir.

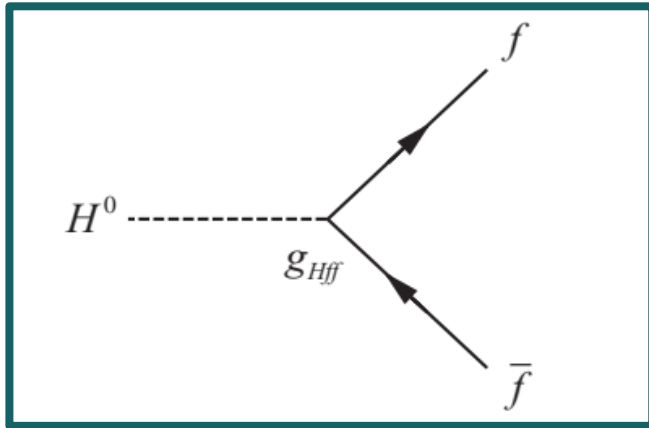


→ Peki Higgs bozonunun kendisi bu resmin neresindedir?

Şimdi de bir kişi kapıdan Einstein' in geleceğini fısıldasın. Bu durumda odanın farklı noktalarında gruplar oluşacak ve Einstein hakkında konuşmaya başlayacaklardır. Bu şekilde odanın çeşitli noktalarındaki insan yoğunluğu Higgs alanından doğan Higgs parçacığı olarak düşünülebilir. Durgun suya atılan bir taşın su dalgaları oluşturması gibi, alana verilen enerji de Higgs parçacıklarının doğmasını sağlar.

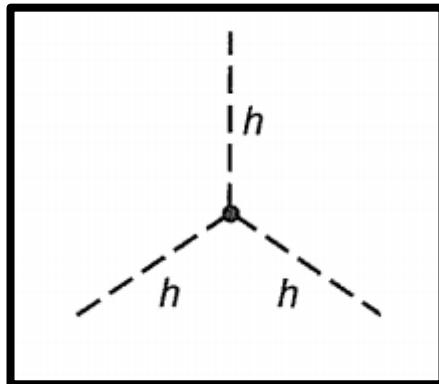
3. Higgs Bozonunun Etkileşmeleri

Higgs-fermiyon-antifermiyon

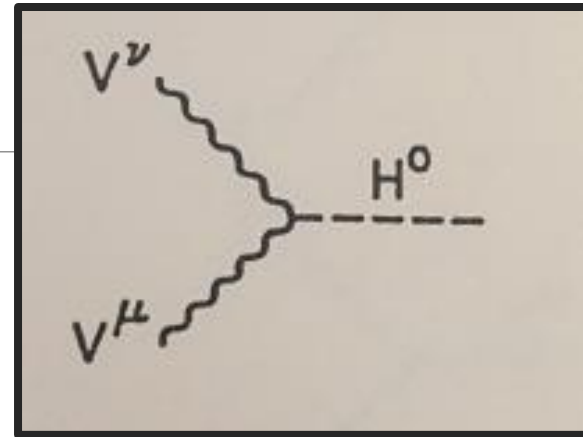


$$g_{Hff} = \sqrt{2} g_w \left(\frac{m_f}{M_w} \right)$$

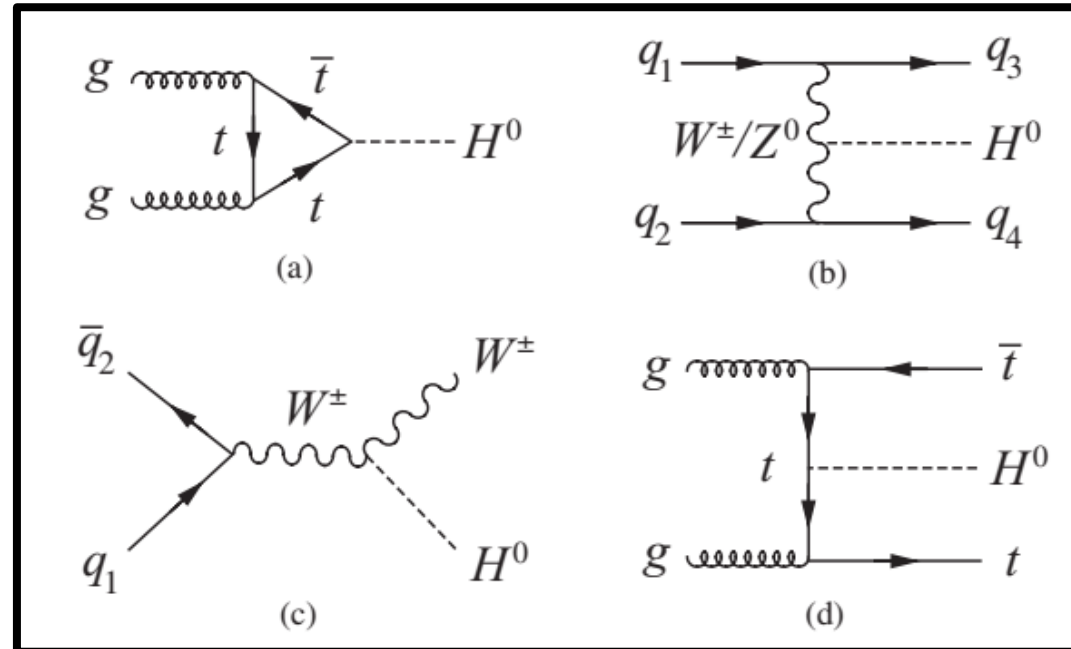
3' lü Higgs etkileşmesi



Higgs -vektör (ayar) bozonlar



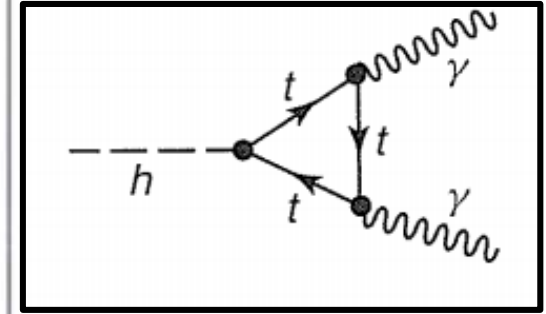
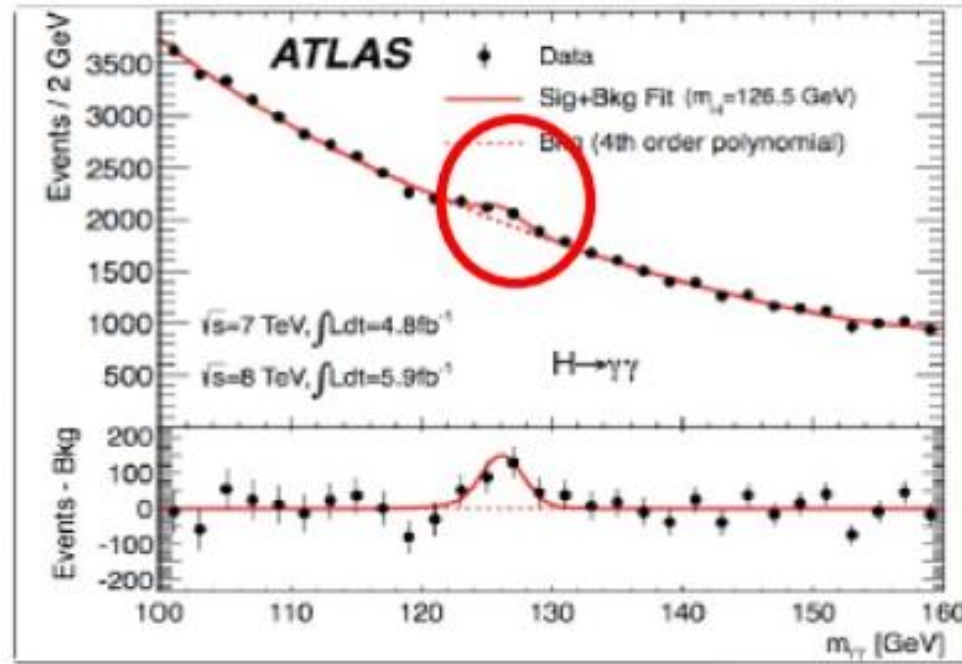
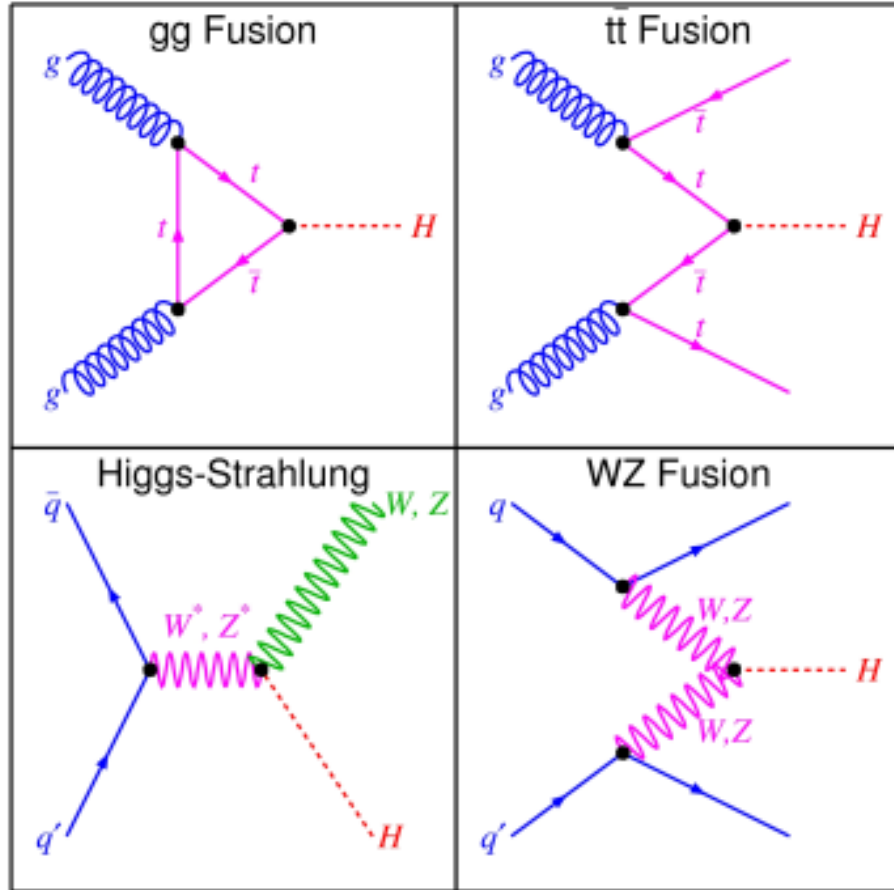
V= W veya Z



LHC' de Higgs üretim mekanizmaları

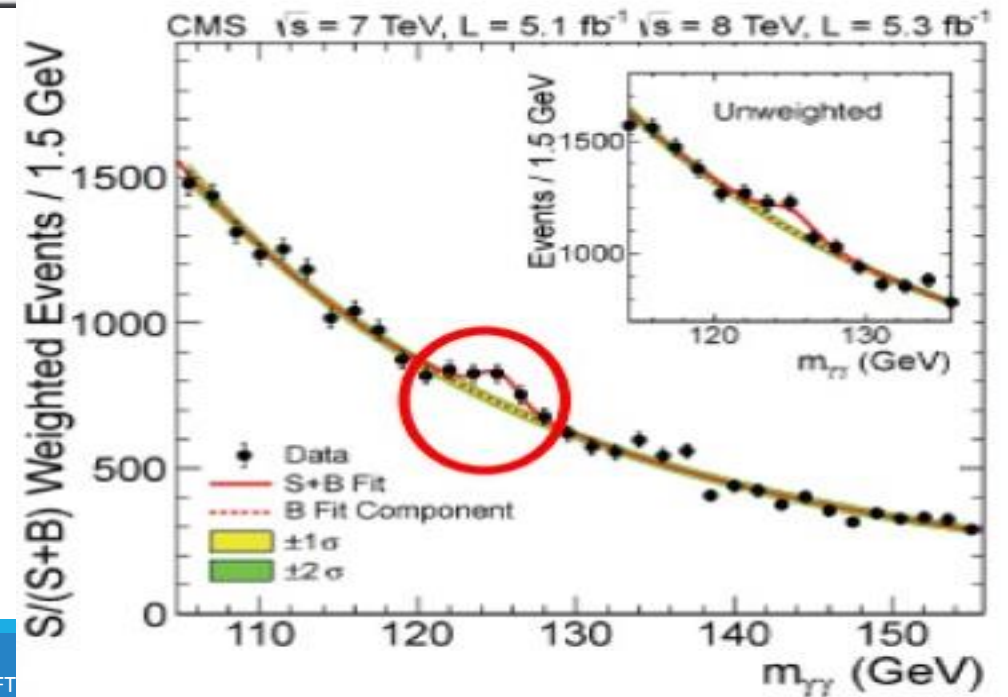
4. Higgs Bozonunun Keşfi

LHC' de Higgs üretim mekanizmaları



$H \rightarrow \gamma\gamma$
için ATLAS ve
CMS sonuçları,
2012

$H \rightarrow \gamma\gamma$



→ Higgs benzeri bir parçacığın bulunduğu 4 Temmuz 2012 tarihinde CERN' deki ATLAS ve CMS deney grupları tarafından resmi olarak açıklandı.

- [1] G. Aad, T. Abajyan, B. Abbott et al., "Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC," *Physics Letters B*, vol. 716, no. 1, pp. 1–29, 2012.
- [2] S. Chatrchyan, V. Khachatryan, A. M. Sirunyan et al., "Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC," *Physics Letters B*, vol. 716, no. 1, pp. 30–61, 2012.

→ 2013 Nobel Fizik Ödülünü F. Englert ve P. Higgs paylaştılar.

→ Higgs bozonunun keşfi ile elektrozayıf teori tamamlanmış oldu. Parçacıkların nasıl kütle kazandıklarını öğrenmiş olduk. 48 yıllık bir öngörü büyük çaplı bir deneyle kanıtlanmış oldu.

ATLAS ve CMS' in ilgili makaleleri



* for us finding the Higgs it was
48 years = 1,513,728,000 sec

Kaynaklar:

1. Ho-Kim, Q. and Pham, X. 1998. *Elementary Particles and Their Interactions*, Springer-Verlag, Berlin.
2. Aitchison, I. Jr. and Hey J. G. 2003. *Gauge Theories in Particle Physics Vol. 1*, IOP Publishing, 406 p, UK.
3. "Introduction to Elementary Particles" , D. Griffiths, Wiley, 2nd revised edition, 2013.
4. "Quarks and Leptons-An Introductory Course on Modern Particle Physics" , F. Halzen and A. D. Martin, John Wiley & Sons, 1984.
5. «Meraklısına Parçacık ve Hızlandırıcı Fiziği», B. Akgün, G. Ünel, S. Erhan, S. Sekmen, U. Köse ve V. Yıldız.