

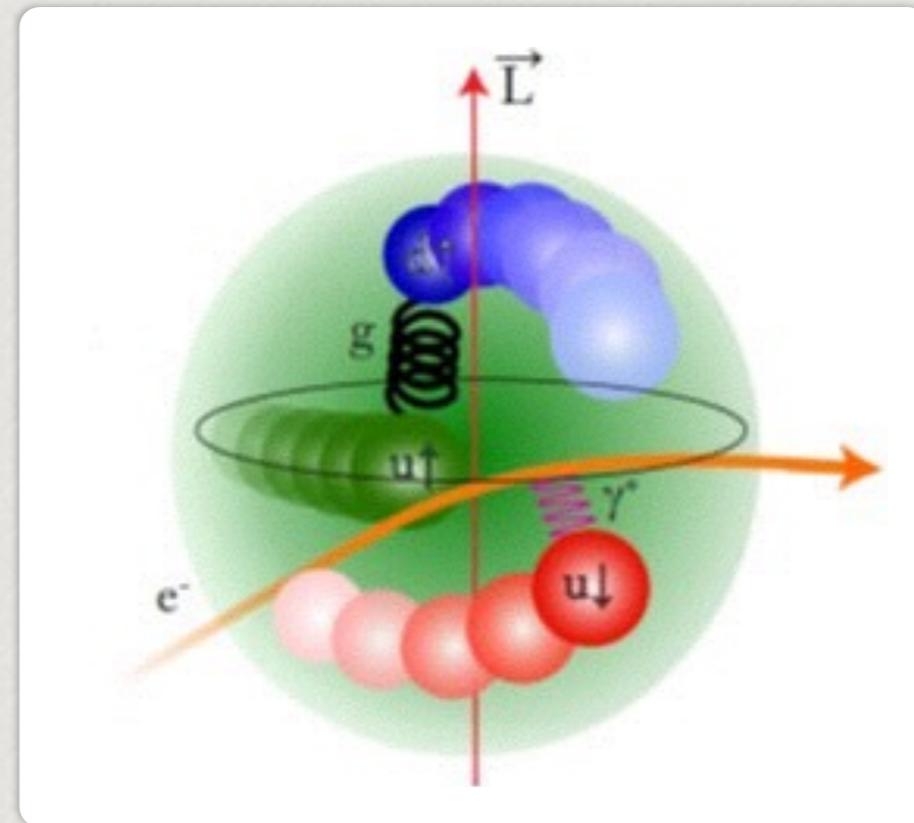
Fronteras en la Física Hadrónica

<http://www.particleadventure.org>

¿De qué está hecho el mundo?

y

¿qué lo mantiene unido?"



Contenido

Introducción

Física Hadrónica

Modelo de Interacción de Contacto

Mesones

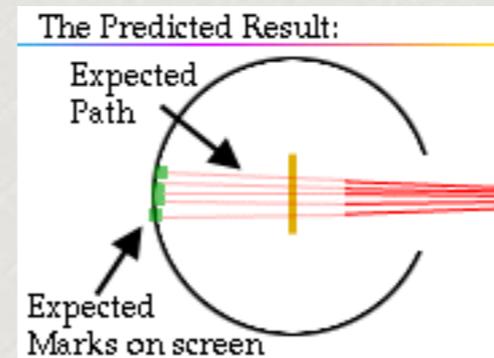
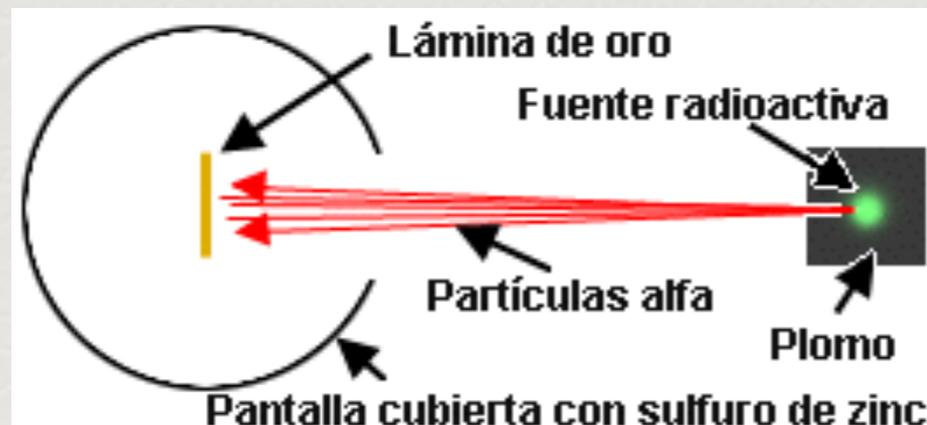
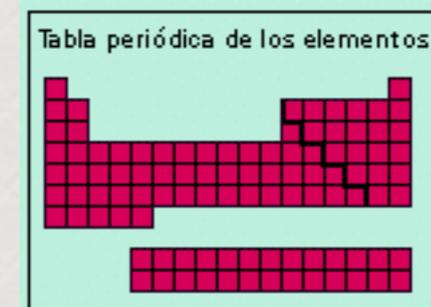
Bariones

Conclusiones

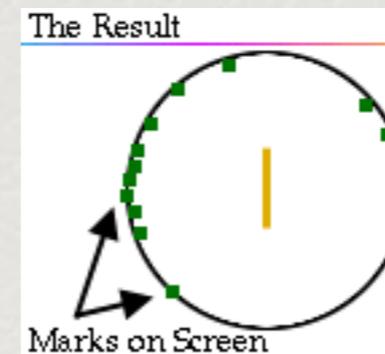
¿El átomo, es una partícula fundamental?



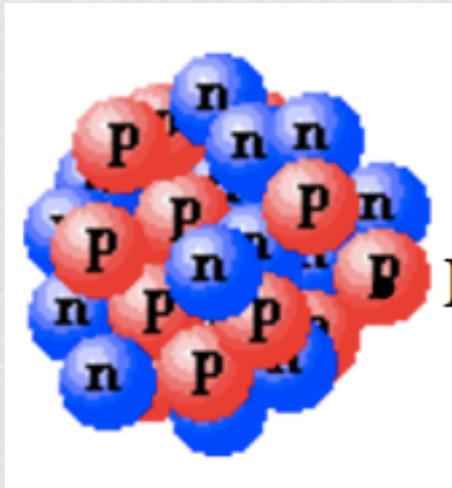
Alrededor del 1900, la gente pensaba que los átomos eran esferas permeables. Rutherford, supervisando a Geiger y Marsden, examinó la validez de esta teoría en su ahora famoso experimento de la lámina de oro.



aparecieron unos pocos puntos dispersados cerca del frente de la pantalla.

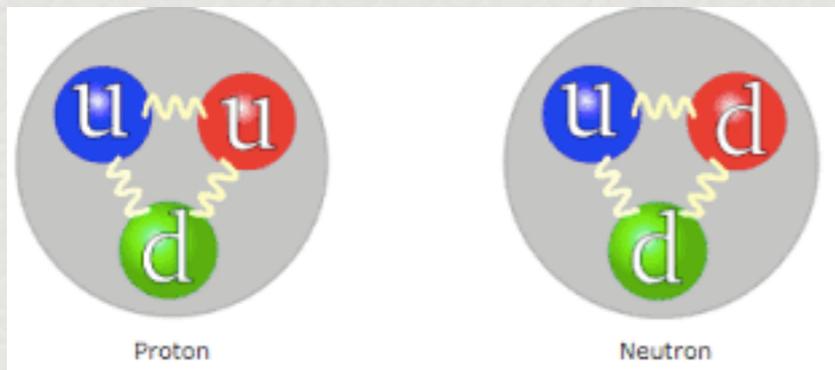


¿El átomo, es una partícula fundamental?

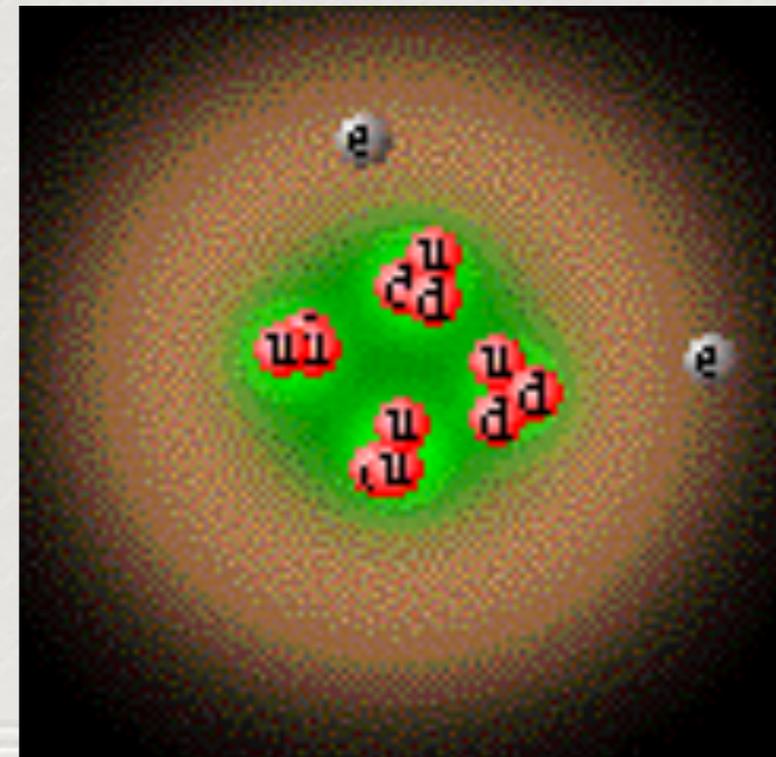


los científicos descubrieron que el núcleo está compuesto de protones (p) y neutrones (n)!!

Resulta que incluso los protones y los neutrones no son fundamentales -- están compuestos por partículas más fundamentales llamadas quarks.



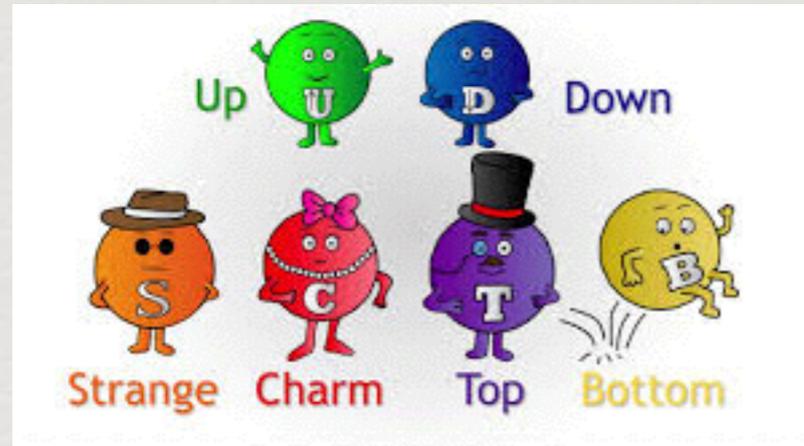
Si esta figura estuviera dibujada a escala, con un diámetro de 1 centímetro para los protones y neutrones, entonces los electrones y los quarks serían más pequeños que el diámetro de un pelo y el diámetro del átomo entero sería más grande que el largo de 30 campos de fútbol.





Quark, quark!

¿El átomo, es una partícula fundamental?



Murray Gell-Mann,
Premio Nobel en 1969.

Finnegans Wake de James Joyce

"kwork"

Sabor	Masa(GeV/c ²)	Carga elec.
u up	.005	+2/3
d down	.01	-1/3
c charm	1.5	+2/3
s strange	0.2	-1/3
t top	180	+2/3
b bottom	4.7	-1/3

Hay seis sabores de quarks.
"Sabores" aquí significa
simplemente, diferentes tipos.

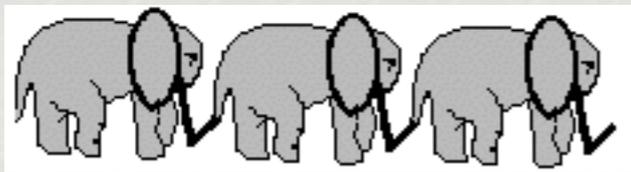
Los quarks quinto y sexto fueron llamados originalmente VERDAD (Truth) y BELLEZA (Beauty), pero incluso los físicos pensaron que era demasiado absurdo. Ahora ellos son llamados CIMA (TOP) Y FONDO (o TRASERO!) (BOTTOM) (manteniendo las iniciales T y B.)

¿El átomo, es una partícula fundamental?

Como en las comunidades de elefantes, los quarks sólo existen agrupados con otros quarks.

Los quarks individuales tienen cargas eléctricas fraccionarias. Sin embargo, estas cargas fraccionarias nunca son observadas directamente porque los quarks nunca están solos;

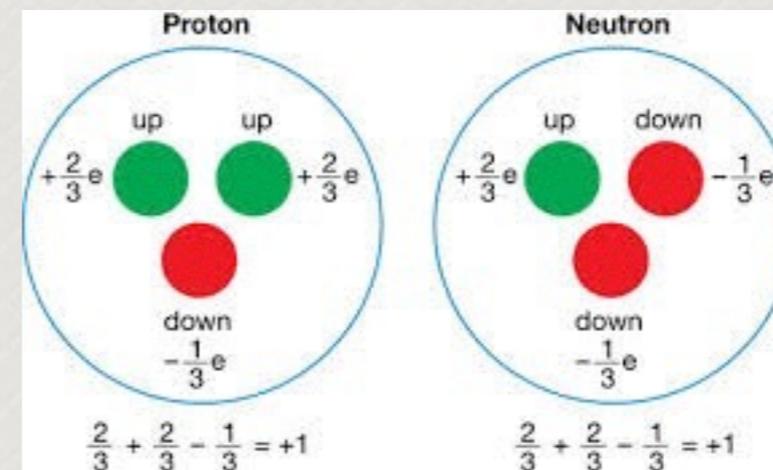
Hay dos clases de hadrones:



Bariones

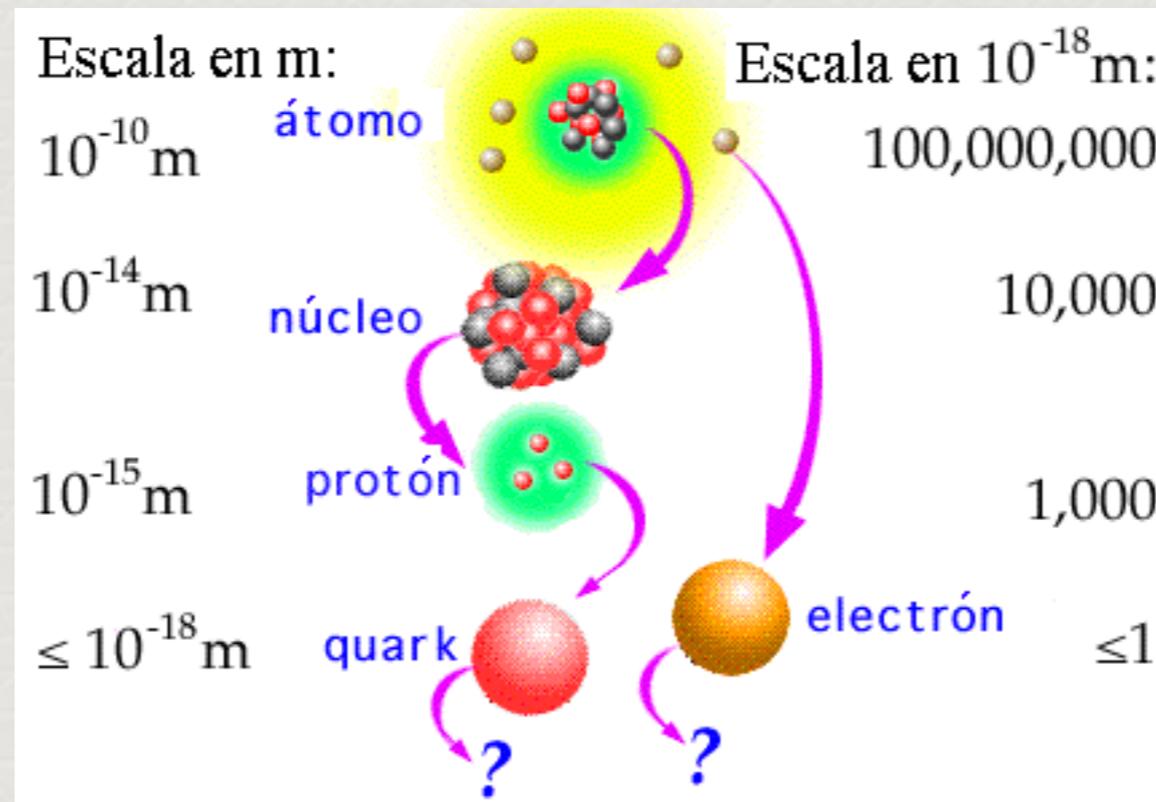


Mesones



En general, sólo una pequeña parte de la masa de un hadrón (por ejemplo un protón), es debida a los quarks que contiene!!

¿El átomo, es una partícula fundamental?



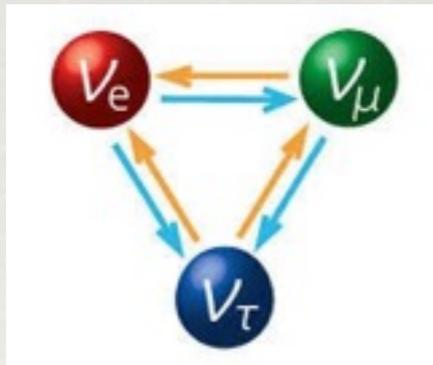
En resumen, sabemos que los átomos están compuestos de protones, neutrones, y electrones. Los protones y neutrones están compuestos de quarks, los cuales posiblemente estén compuestos de partículas más fundamentales...
...pero, esperamos que no.

¿El átomo, es una partícula fundamental?



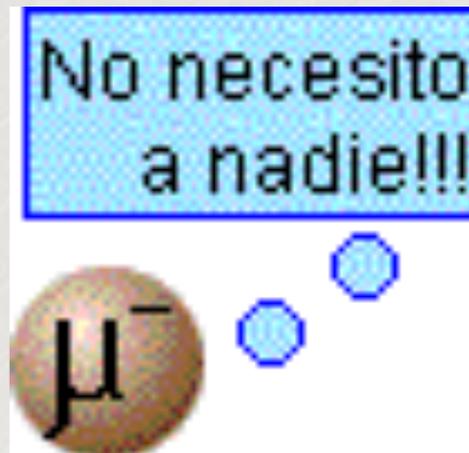
e^- electron	μ^- muon	τ^- tau
ν_e e neutrino	ν_μ μ neutrino	ν_τ τ neutrino

	Sabor	Masa(GeV/c^2)	Carga elec.
ν_e	e neutrino	$< 7 \times 10^{-9}$	0
e^-	electrón	.000511	-1
ν_μ	μ neutrino	$< .0003$	0
μ^-	muón	0.106	-1
ν_τ	τ neutrino	$< .03$	0
τ^-	tau	1.7771	-1



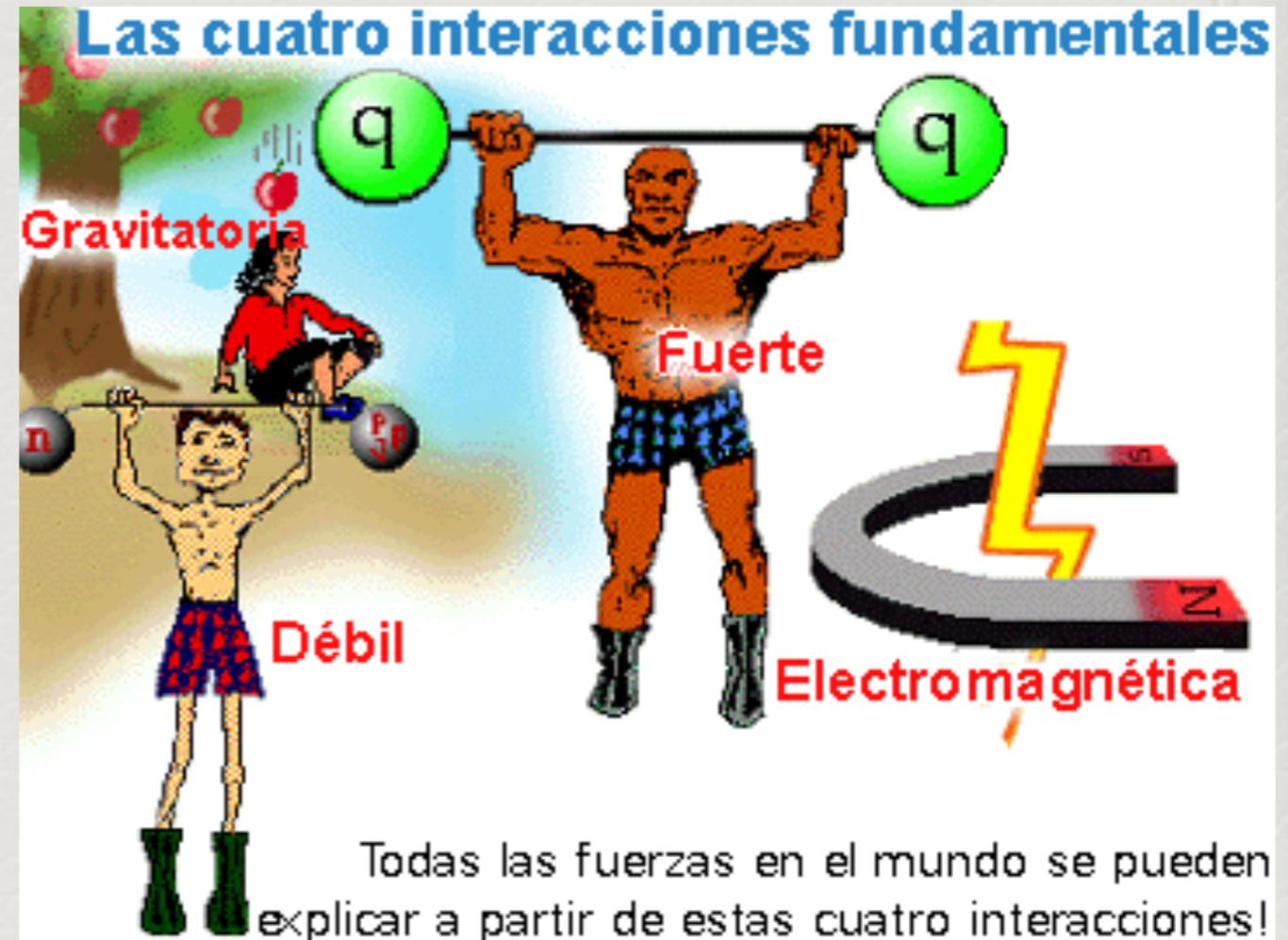
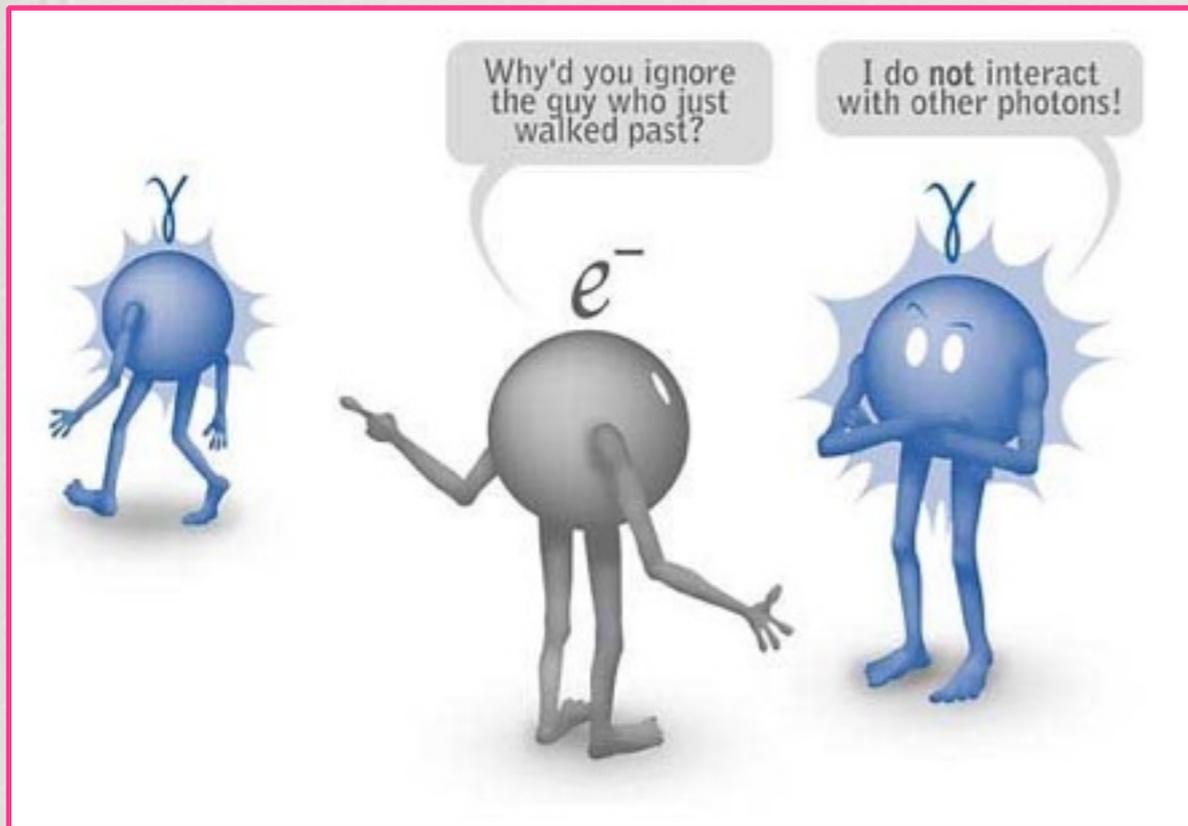
Enrico Fermi-1930

menos de una milmillonésima parte de la masa de un átomo de hidrógeno.



¿El átomo, es una partícula fundamental?

Partícula, que bien te conservas!!



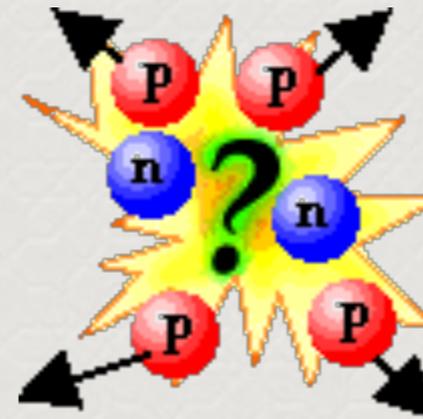
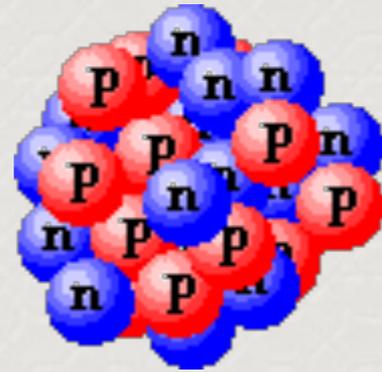
Interacción	Portadores	actúan sobre	Partículas fundamentales
Gravitación	Gravitón		Leptones* Quarks
Débil	W^+ , W^- , Z^0		
Electromagnética	Fotón		
Fuerte	Gluón		

* Nota: los leptones neutros (neutrinos) no sufren las interacciones electromagnéticas



¿qué lo mantiene unido?

Deberíamos esperar que el núcleo de un átomo explotara, debido a la repulsión electromagnética entre las cargas de los protones, que tienen el mismo signo. Sin embargo, los núcleos de la mayoría de los átomos son muy estables!



Qué mecanismo provee la energía requerida para contrarrestar la repulsión electromagnética?



¿qué lo mantiene unido?

Sucede que algunas partículas (quarks y gluones) tienen un tipo de carga, que no es electromagnética, llamada carga de color. La fuerza entre partículas con cargas de color es muy fuerte y por eso se ganó el nombre de fuerza fuerte. Como esta fuerza mantiene unidos a los quarks para formar hadrones, sus partículas mediadoras son caprichosamente llamadas gluones por su éxito al "pegar" los quarks entre sí.



Los quarks con cargas de color de un protón pueden "pegarse" con los quarks con cargas de color de otro protón, aunque los propios protones sean de color neutro. Ésto se llama la interacción fuerte residual, y es lo suficientemente fuerte como para contrarrestar la repulsión electromagnética entre los protones.

¿qué lo mantiene unido?

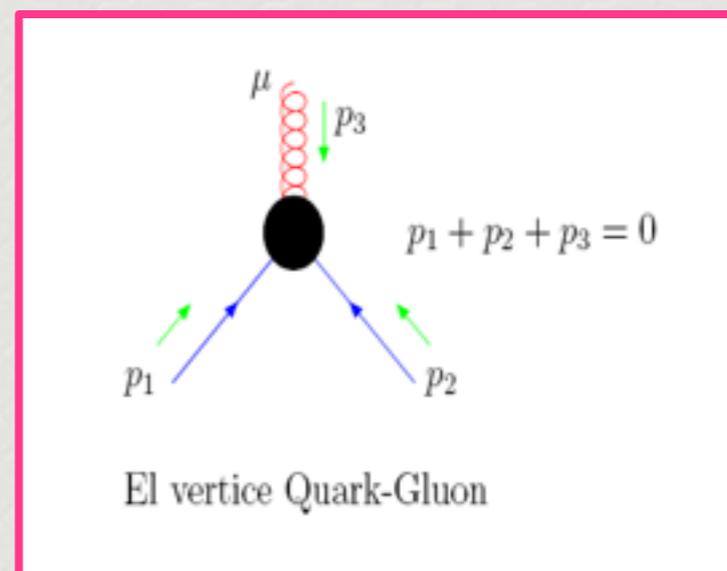


"Muchacho, si yo pudiera recordar los nombres de esas partículas, hubiera sido botánico!"

Enrico Fermi a León Lederman

Interacción	Portadores	actúan sobre	Partículas fundamentales
Gravitación	Gravitón		
Débil	W^+ , W^- , Z^0		Leptones*
Electromagnética	Fotón		Quarks
Fuerte	Gluón		Quarks

* Nota: los leptones neutros (neutrinos) no sufren las interacciones electromagnéticas



El Modelo Standard

Los físicos buscan partículas no descubiertas para tratar de comprender como funciona el universo. Y siempre se preguntan si, tanto las nuevas partículas como las partículas ya conocidas, serán verdaderamente fundamentales.



Los físicos han descubierto cerca de 200 partículas (muchas de las cuales no son fundamentales). Para no perderlas de vista las nombran con letras de los alfabetos romano y griego.

El Modelo Standard

Su elegancia radica en la capacidad de justificar la existencia de cientos de partículas e interacciones complejas, sobre la base de sólo unas pocas partículas e interacciones fundamentales.

Partículas portadoras de fuerza: Cada tipo de fuerza fundamental es "transportada" por una partícula portadora de fuerza (el fotón es un ejemplo).

Partículas materiales: El Modelo Standard establece que la mayoría de las partículas de las cuales tenemos conocimiento están compuestas en realidad de partículas más fundamentales llamadas quarks. Hay otra clase de partículas fundamentales llamadas leptones (el electrón es un ejemplo). Es decir, **hay dos clases de partículas:** las partículas que son materia (como los electrones, los protones, los neutrones, y los quarks) y partículas que transportan fuerzas (como los fotones).

El Modelo Standard

Leptons	ν_e e- neutrino	ν_μ μ - neutrino	ν_τ τ - neutrino
	e electron	μ muon	τ tau
Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
 Three Generations of Matter			

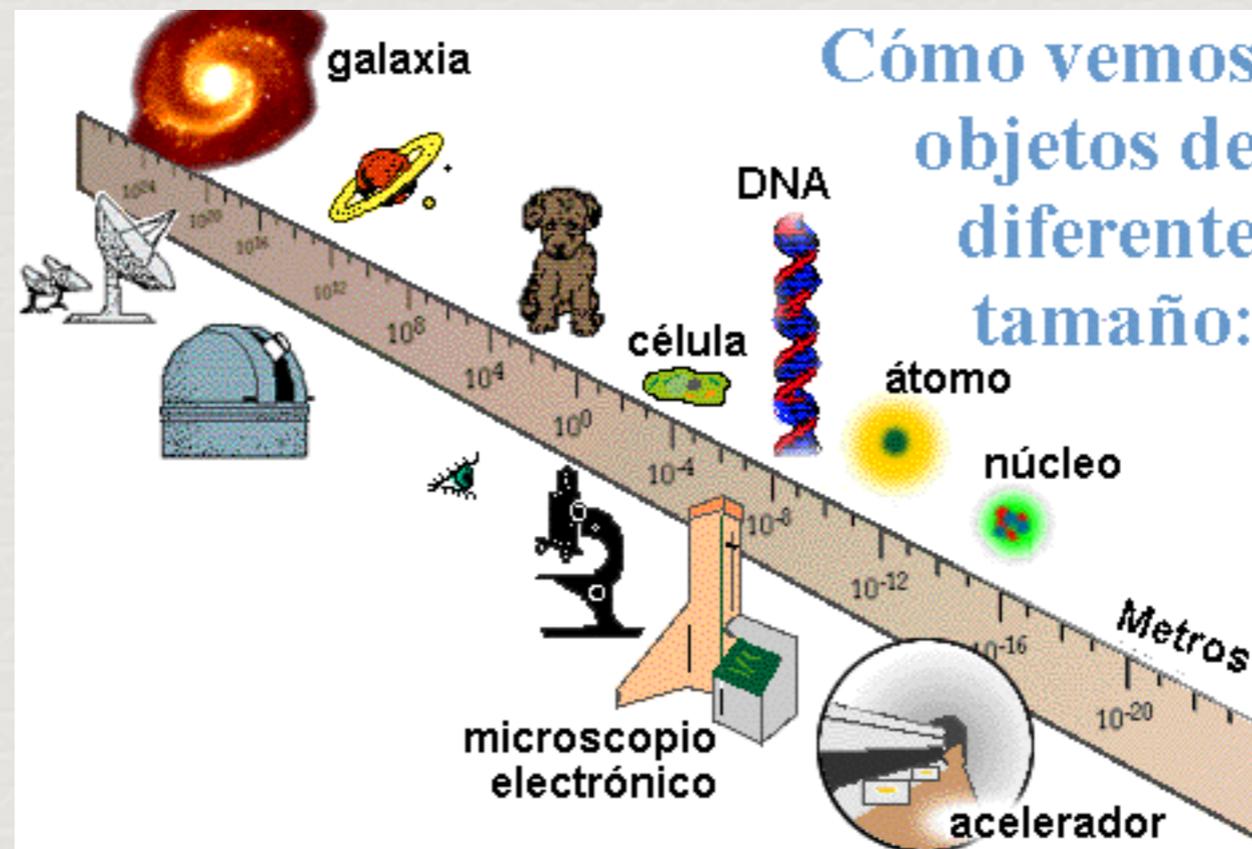
Toda la materia visible en el universo está formada por partículas de materia de la primera generación: quarks up y down, y electrones. Las partículas de la segunda y tercera generaciones son inestables y decaen hacia partículas de la primera generación. Esta es la razón por la cual toda la materia estable en el universo está constituida por partículas de la primera generación.

¿De qué está hecho el mundo?

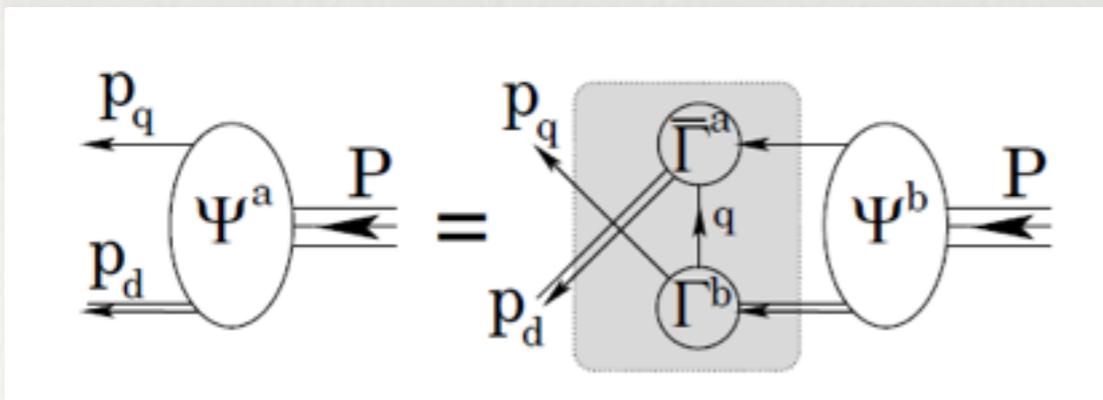
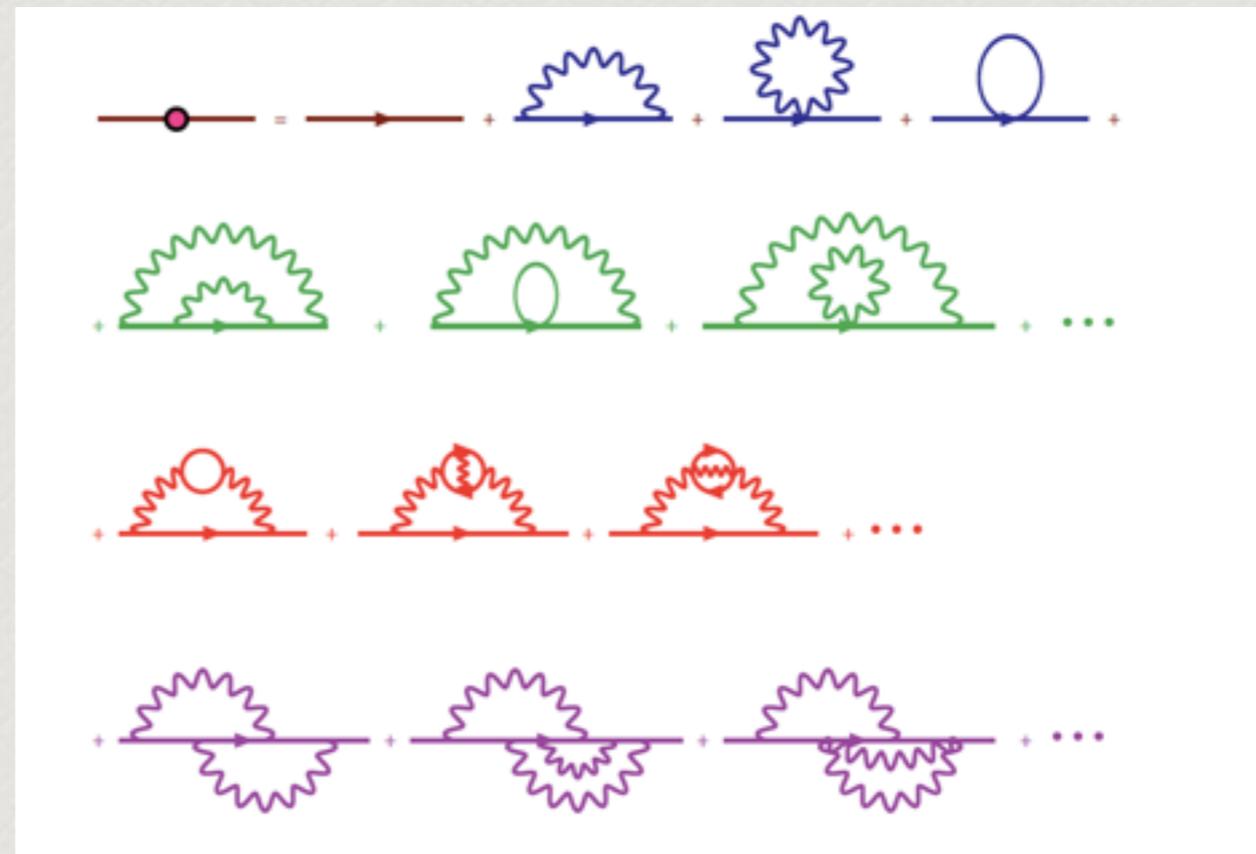
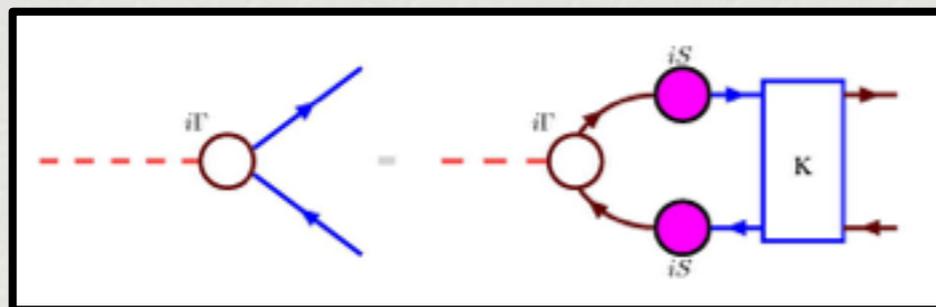
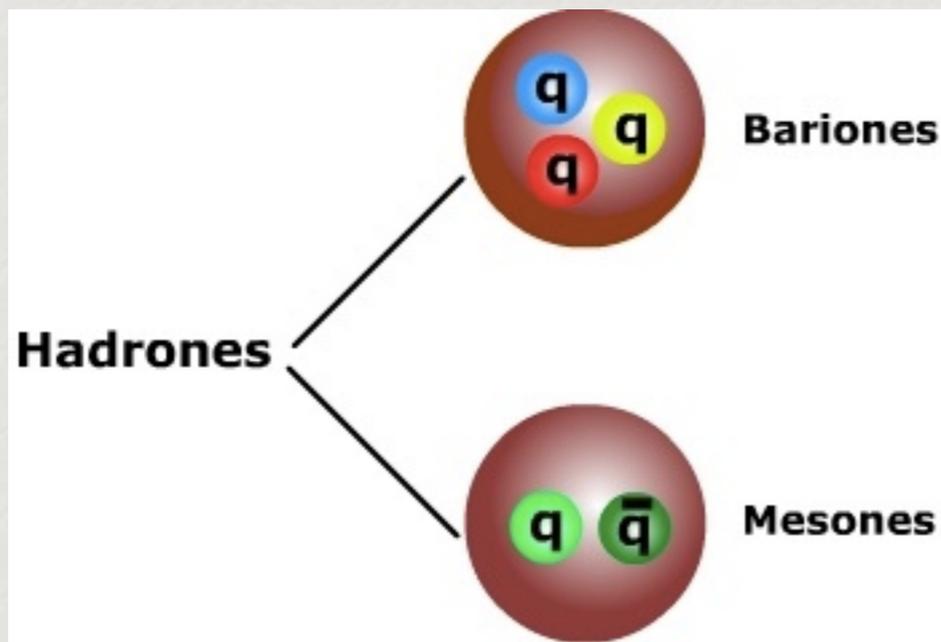
y

¿qué lo mantiene unido?"

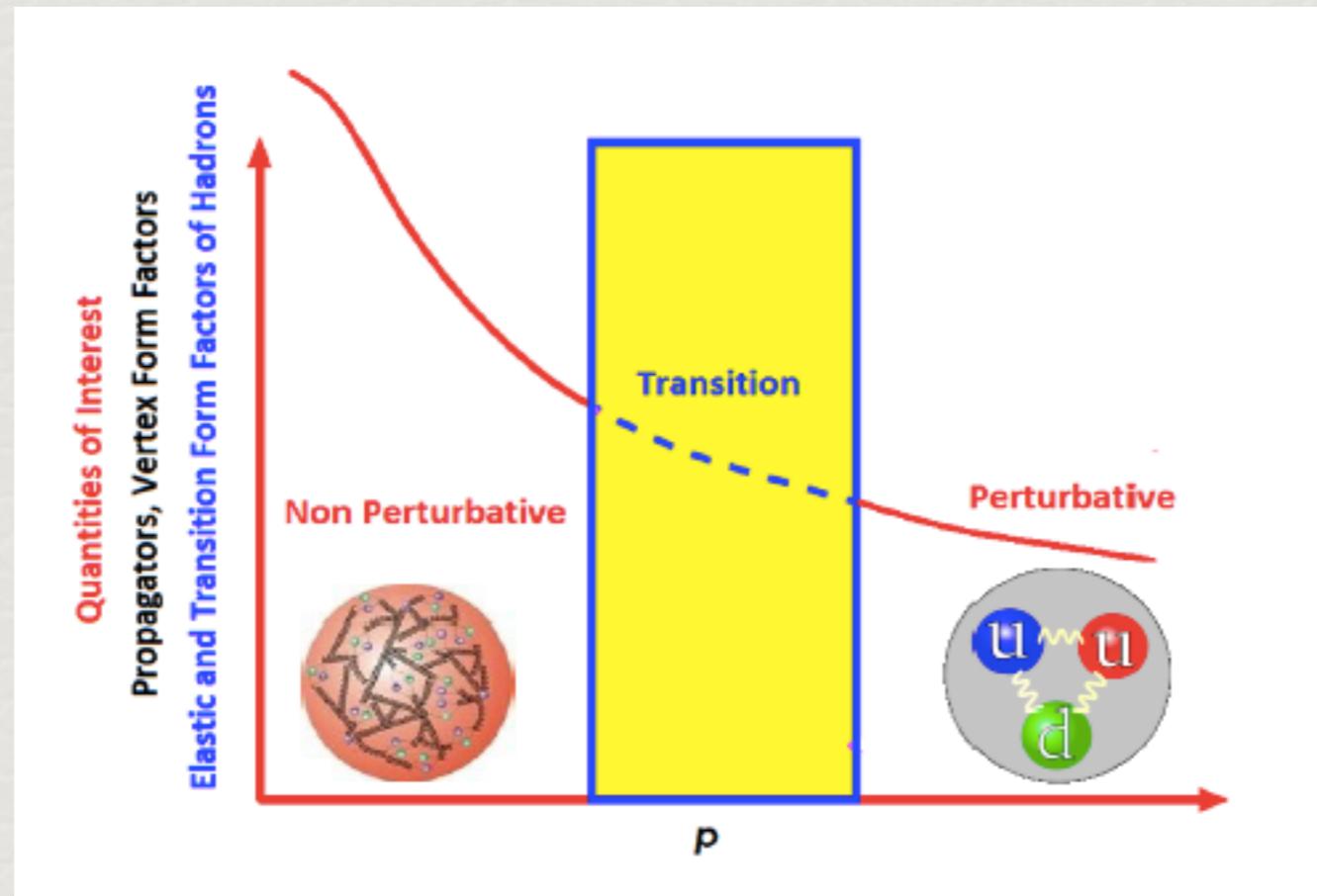
Aceleradores



La Física Hadrónica



La Física Hadrónica



Introducción

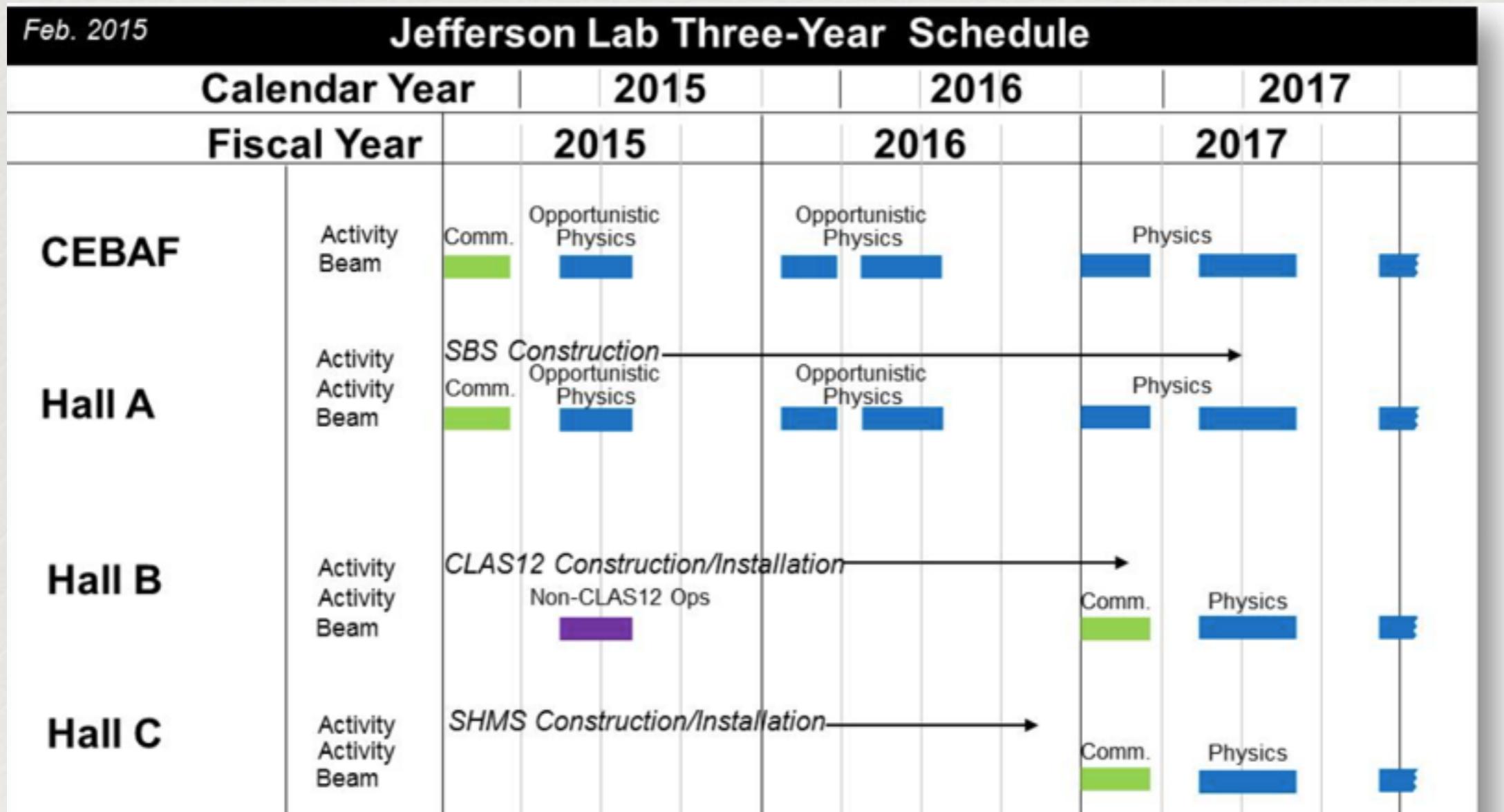
- Los estudios de la estructura de bariones excitados son una de las principales estudios en el laboratorio Jefferson .

Estado base:	$J^P=(\frac{1}{2})^+$	$(n,l)=(0,0)$	
Primer estado excitado:	$J^P=(\frac{1}{2})^-$	$(n,l)=(0,1)$	$N^*(1535)S_{11}$
Segundo estado excitado:	$J^P=(\frac{1}{2})^+$	$(n,l)=(1,0)$	$N(1440)P_{11}$

- Importantes componentes del programa experimental son:

- 1) Factores de forma de transición de resonancias conocidas para estudiar su estructura interna y confinamiento
- 2) Espectroscopia de bariones excitados, búsqueda de nuevos estados

La Física Hadrónica





**L.X. Gutiérrez Guerrero
Adnan Bashir (UMSNH),
Craig Roberts (Argonne),
David Wilson (Jlab).**

Interacción de Contacto

- PION FORM FACTOR FROM A CONTACT INTERACTION,
L.X. Gutiérrez-Guerrero, A. Bashir, I. C. Cloët , C. D. Roberts,
Phys. Rev. C 81, 065202 (2010).
- ABELIAN ANOMALY AND NEUTRAL PION PRODUCTION,
H. L. L. Roberts, C. D. Roberts, A. Bashir, L. X. Gutiérrez-
Guerrero , P. C. Tandy, Phys. Rev. C 82, 065202 (2010).
- PI AND RHO MESONS, AND THEIR DIQUARK PARTNERS,
FROM A CONTACT INTERACTION,
H. L. L. Roberts, A. Bashir, L. X. Gutiérrez-Guerrero, C. D. Roberts,
D. J. Wilson, Phys. Rev. C 83, 065206 (2011).
- NUCLEON AND ROPER ELECTROMAGNETIC ELASTIC AND
TRANSITION FORM FACTORS
D. J. Wilson, I.C Cloët, L. Chang, C. D. Roberts, Phys. Rev. C 83,
065206 (2011).

Interacción de Contacto

- **SPECTRUM OF HADRONS WITH STRANGENESS**

Chen Chen, L. Chang, C.D. Roberts, Shaolong Wan, D.J. Wilson

Few Body Syst. 53 (2012)

- **MASSES OF GROUND AND EXCITED-STATES HADRONS**

H.L.L. Roberts, Lei Chang, Ian C. Cloët, Craig D. Roberts

Few Body Syst. 51(2011)

- **ELASTIC AND TRANSITION FORM FACTORS OF THE Δ (1232),**

Jorge Segovia, Chen Chen, Ian C. Cloët, C. D. Roberts, et al.

ArXiv: 1308.5225v1 (Agosto 2013)

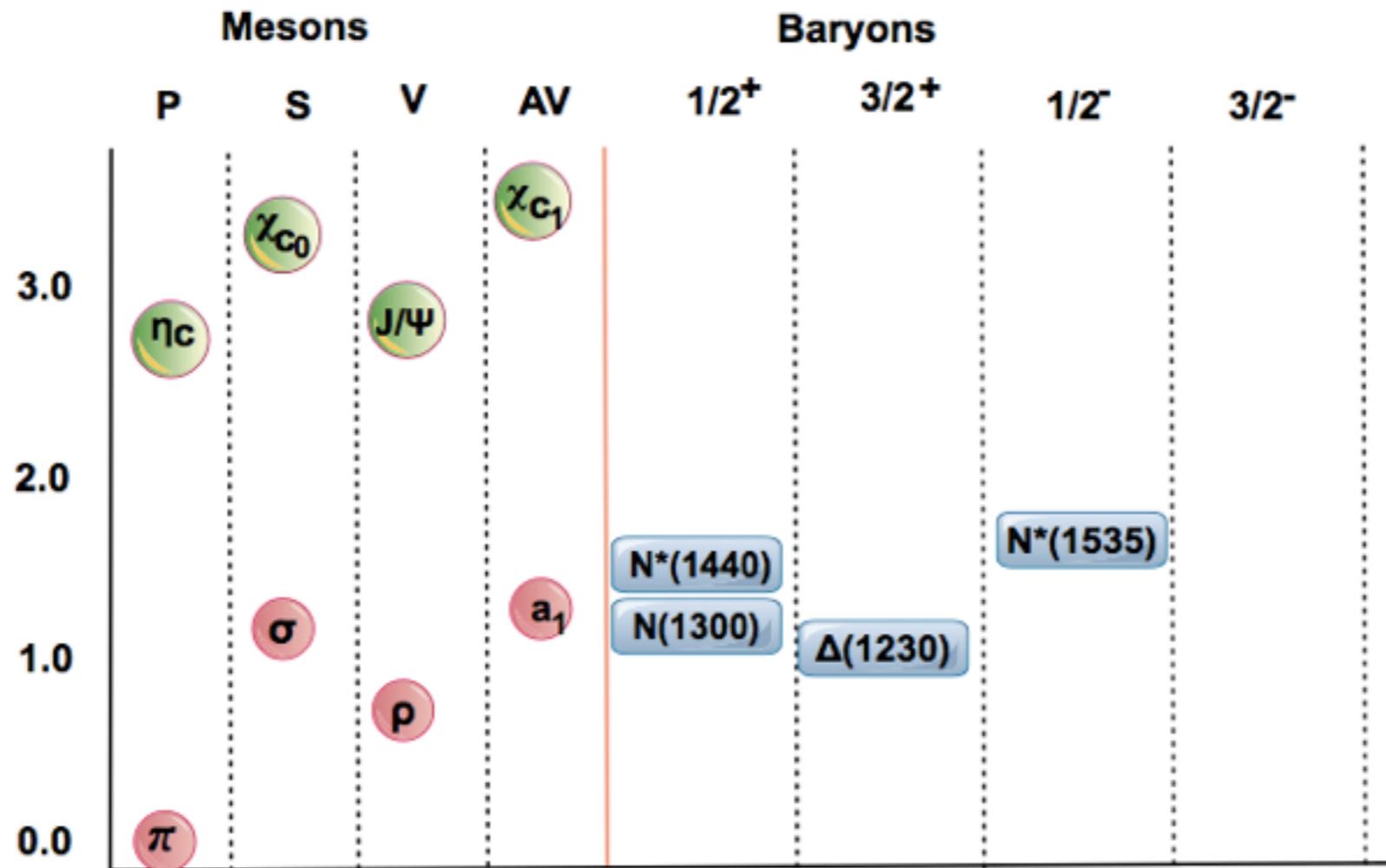
- **CHARMONIA IN A CONTACT INTERACTION,**

Marco Bedolla, Adnan Bashir et al. Phys. Rev. D.92, 054031 (2015)

- **INVERSE MAGNETIC CATALYSIS AND CONFINEMENT WITHIN A CONTACT INTERACTION MODEL FOR QUARKS**

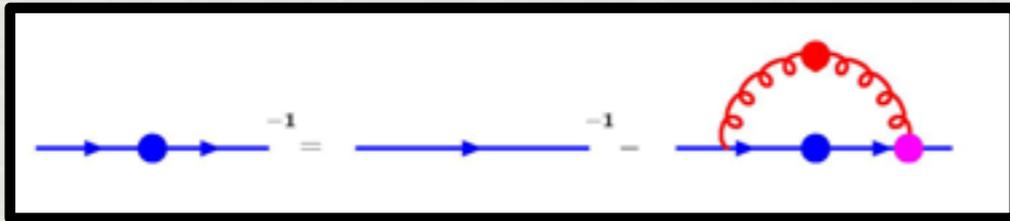
Aftab Ahmat et al. J.Phys. G43 (2016) no.6, 065002

Interacción de Contacto



La ecuación gap en interacción de contacto

Las SDE para el propagador del quark en espacio Euclideo



$$S^{-1}(p) = Z_2(i\gamma \cdot p + m) + \Sigma(p)$$

donde

$$\Sigma(p) = Z_1 \int d^4q g^2 D_{\mu\nu}(p-q) \frac{\lambda^a}{2} \gamma_\mu S(q) \Gamma_\nu^a(q,p)$$

Ansatz:

$$g^2 D_{\mu\nu}(p-q) = \delta_{\mu\nu} \frac{1}{m_G^2}$$

$$\Gamma_\nu^a(p,q) = \frac{\lambda^a}{2} \gamma_\nu$$

con

$$\int_q^\Lambda = \frac{1}{4\pi^2} \int d^4q$$

Nos da la ecuación gap para el modelo NJL

$$S^{-1}(p) = (i\gamma \cdot p + m) + \frac{1}{3\pi^2 m_G^2} \int_q^\Lambda \gamma_\mu S(q) \gamma_\mu$$

The Gap Equation with a Contact Interaction

$$M = m + M \frac{1}{3\pi^2} \frac{1}{m_G^2} C(M^2; r_{IR}^2, r_{UV}^2)$$

$$M = m + M \frac{1}{3\pi^2} \frac{1}{m_G^2} C(M^2; r_{IR}^2, r_{UV}^2)$$

$$g^2 D_{\mu\nu}(p - q) = \delta_{\mu\nu} \frac{1}{m_G^2} = \delta_{\mu\nu} \frac{4\pi\alpha_{IR}}{m_G^2}$$

$$C(M^2; r_{IR}^2, r_{UV}^2)$$

$$\Gamma_\nu^a(p, q) = \frac{\lambda^a}{2} \gamma_\nu$$

$$\Gamma(-1, M^2 r_{IR}^2)$$

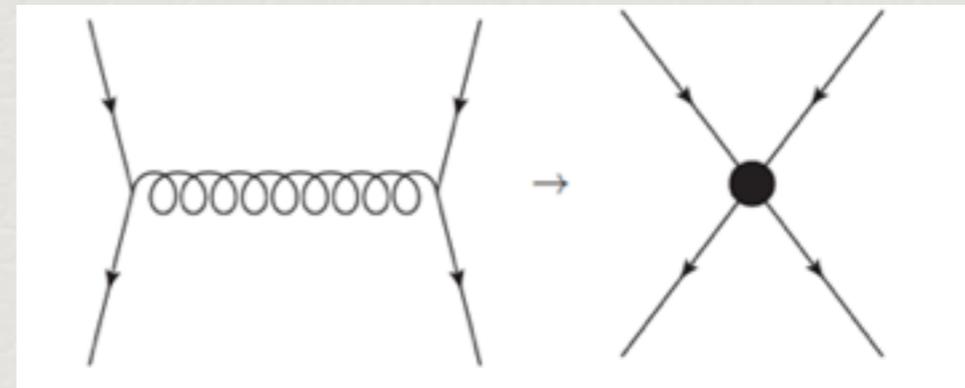
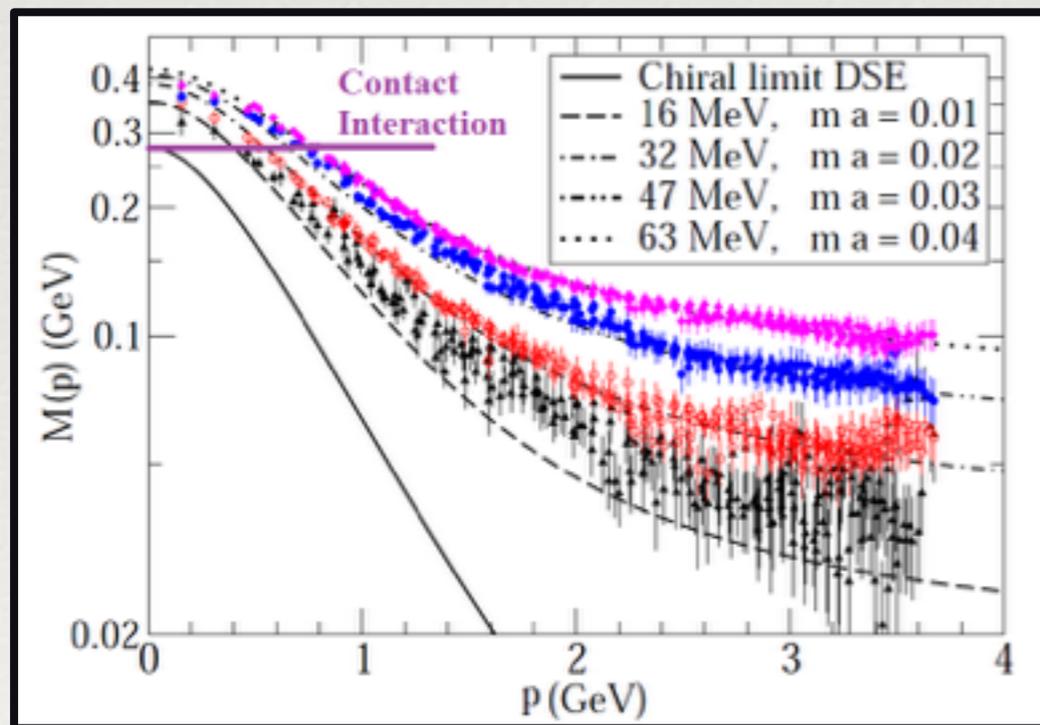
Con los valores fenomenologicos:

m	E_π	F_π	E_ρ	M	$\kappa_\pi^{1/3}$	m_π	m_ρ	f_π	f_ρ
0	3.568	0.459	1.520	0.358	0.241	0	0.919	0.100	0.130
0.007	3.639	0.481	1.531	0.368	0.243	0.140	0.928	0.101	0.129

Los resultados obtenidos estan en GeV, $m_G=0.132$, $\Lambda_{ir}=0.24$, y $\Lambda_{uv}=0.905$.
Lo cual da un error de 13% en comparacion con las observables.

Interacción de Contacto

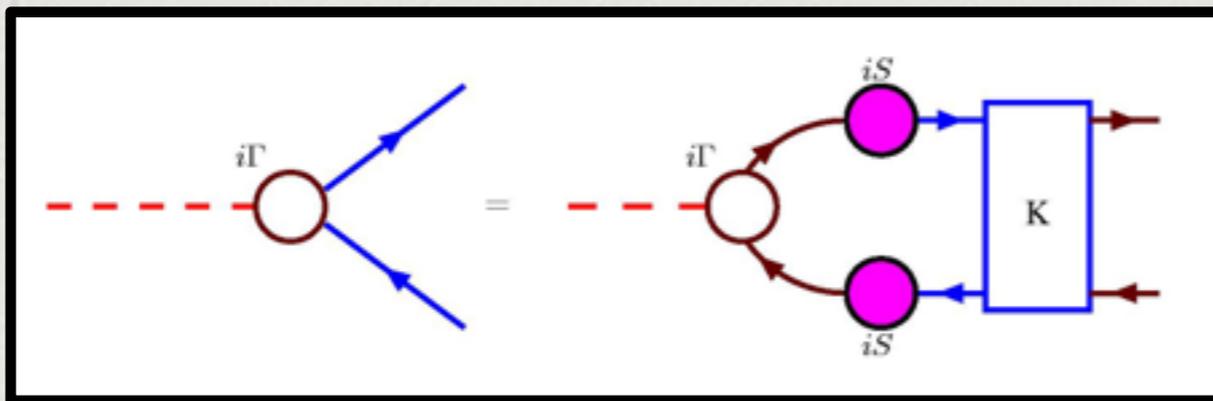
- Simple de usar
- Buenas aproximaciones para Q^2 pequeñas.
- Si interpretamos cuidadosamente los resultados obtenidos con este modelo podemos extraer información valiosa, por ejemplo, acerca de las relaciones entre diferentes hadrones.
- Sirven como sustituto útil, en dominios donde QCD es incapaz de entrar.



$$g^2 D_{\mu\nu}(p - q) = \delta_{\mu\nu} \frac{1}{m_G^2} \delta(\tilde{\Lambda}^2 - q^2),$$

Bethe Salpeter:

$$\Gamma_\pi(k, P) = \gamma_5 \left[iE_\pi(k; P) + \gamma \cdot P F_\pi(k; P) + \gamma \cdot k k \cdot P G_\pi(k; P) + \sigma_{\mu\nu} k_\mu P_\nu H_\pi(k; P) \right]$$



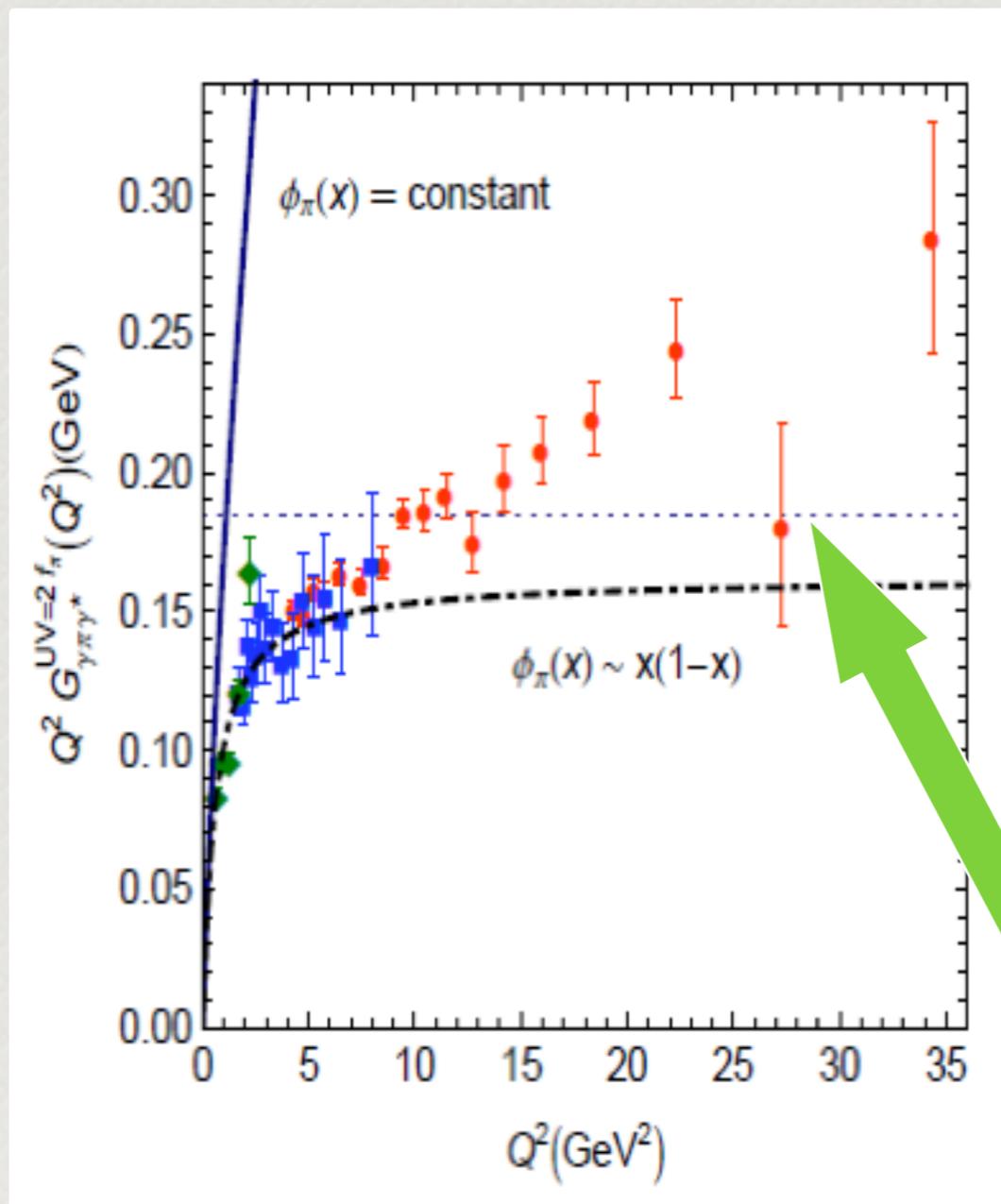
$$S(p) = \frac{1}{i\gamma \cdot p A(p^2) + B(p^2)}$$

$$P_\mu \Gamma_{5\mu}(q_+, q) = S^{-1}(q_+) i\gamma_5 + i\gamma_5 S^{-1}(q)$$

Goldberger-Triemann relations:

$$\begin{aligned} f_\pi E_\pi(k; P=0) &= B(k^2) \\ F_R(k; 0) + 2f_\pi F_\pi(k; 0) &= A(k^2) \\ G_R(k; 0) + 2f_\pi G_\pi(k; 0) &= 2A'(k^2) \\ H_R(k; 0) + 2f_\pi H_\pi(k; 0) &= 0 \end{aligned}$$

Factor de forma de transición: $\gamma^* \pi^0 \gamma$



Trabajos que tratan de explicar el comportamiento de el FFT medido por BaBar como un indicio de que la amplitud de distribución se desvia de su comportamiento asintótico a una constante.

Círculos rojos: B. Aubert et al., Phys. Rev. D 80, 052002 (2009)

Curva sólida: Interacción de contacto

Curva punto-guion: P. Maris y P.C. Tandy, Phys. Rev. C 65, 045211 (2002)

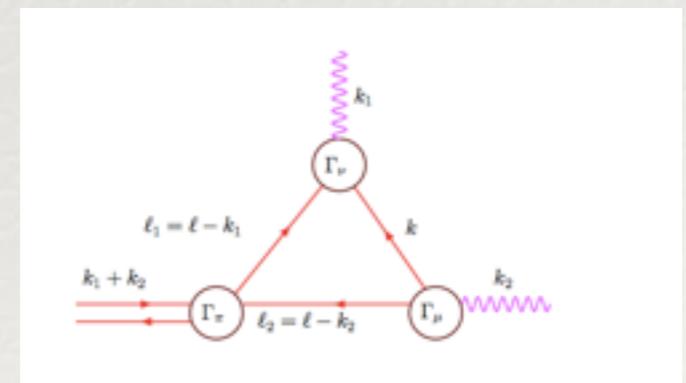
M. V. Polyakov, JETP Lett. 90, 228 (2009).

Resultado para QCD perturbativa

Diamantes verdes y cuadrados azules

H.J Behrend et. al. Z. Phys. C 49, 401 (1991)

J.Gronberg et. al., Phys. Rev. D 57, 33 (1998)

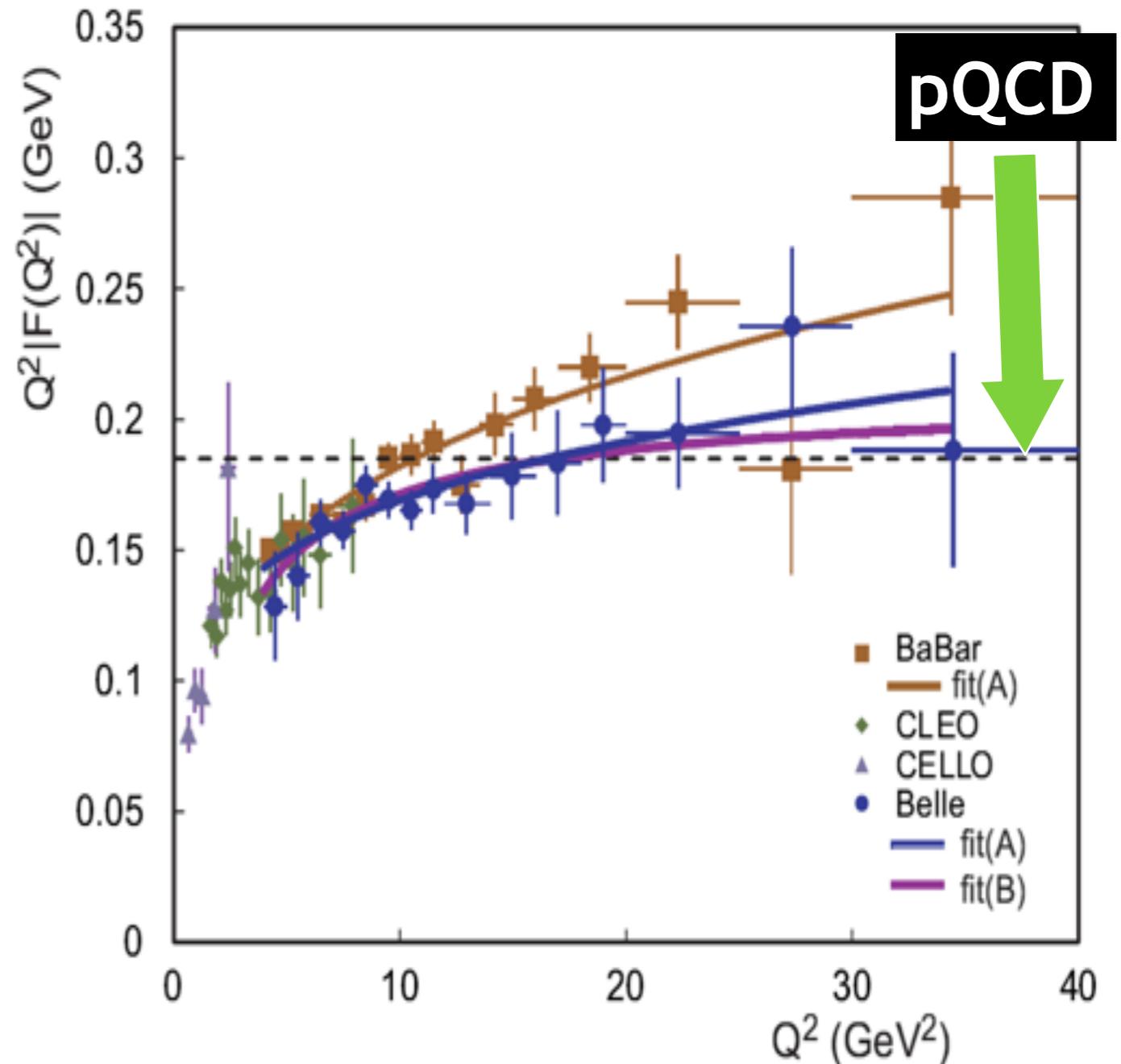


Factor de forma de transición: $\gamma^* \pi^0 \gamma$

SUMMARY AND CONCLUSION

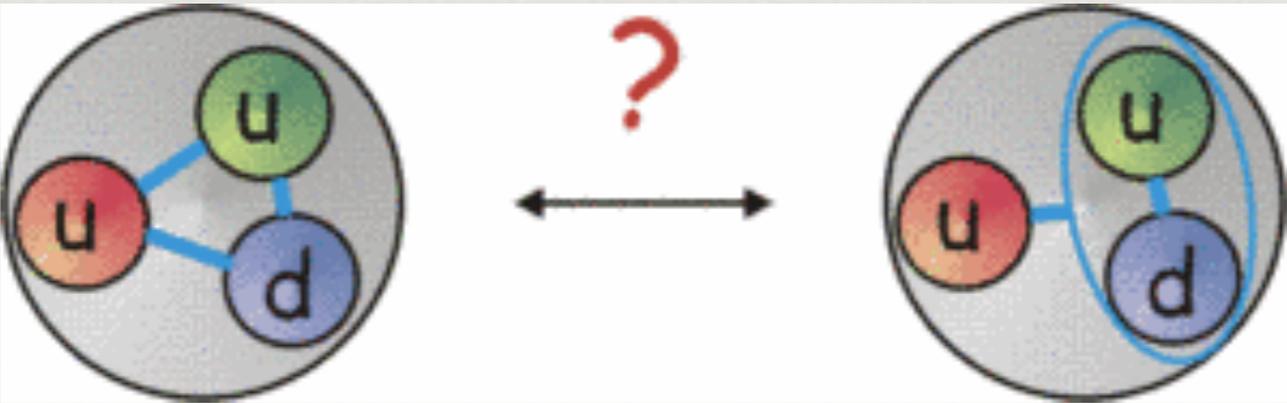
We have presented a measurement of the neutral pion transition form factor for the process $\gamma\gamma^* \rightarrow \pi^0$ in the region $4 \text{ GeV}^2 \lesssim Q^2 \lesssim 40 \text{ GeV}^2$ with a 759 fb^{-1} data sample collected with the Belle detector at the KEKB asymmetric-energy e^+e^- collider. The measured values of $Q^2|F(Q^2)|$ agree with the previous measurements for $Q^2 \lesssim 9 \text{ GeV}^2$. In the higher Q^2 region, in contrast to BaBar, our results do not show a rapid growth with Q^2 and are closer to theoretical expectations.

arXiv:1205.3249 [hep-ex] Belle
2012 de acuerdo con el límite en
PQCD



B. Aubert et al., Phys.Rev D80 052002 (2009) Babar 2009 en desacuerdo con el límite en PQCD

Diquarks



Bethe-Salpeter Equation

H. L. L. Roberts, et al. Phys. Rev. C 82, 065202 (2010).

$$\pi \quad \Gamma_\pi(P) = \gamma_5 \left[iE_\pi(P) + \frac{\gamma \cdot P}{M} F_\pi(P) \right] .$$

$$\rho \quad \Gamma_\mu^\rho(P) = \gamma_\mu^T E_\rho(P) + \frac{1}{M} \sigma_{\mu\nu} P_\nu F_\rho(P) .$$

$$a_1 \quad \Gamma_\mu^{a_1}(P) = \gamma_5 \left[\gamma_\mu^T E_{a_1}(P) + \frac{1}{M} \sigma_{\mu\nu} P_\nu F_{a_1}(P) \right] ,$$

$$\sigma \quad \Gamma_\sigma(P) = E_\sigma(P) I_D .$$

Meson	Diquark
π	$(qq)^{0^+}$
ρ	$(qq)^{1^+}$
σ	$(qq)^{0^-}$
a_1	$(qq)^{1^-}$

One
from
chan

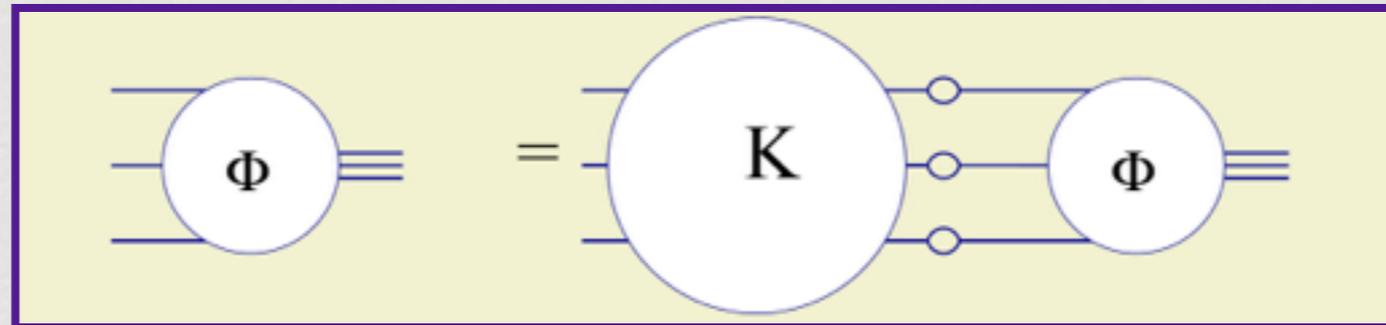
$$\pi \quad F_{0^+}^{\text{em}}(Q^2) = \frac{1}{3} F_\pi^{\text{em}}(Q^2) \Big|_{m_\pi \rightarrow m_{qq_0^+}}^{(E_\pi, F_\pi) \rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}}(E_{qq_0^+}, F_{qq_0^+})} ,$$

$$\rho \quad F_{1_{\{ud\},j}^+}^{\text{em}}(Q^2) = \frac{1}{3} F_j(Q^2) \Big|_{m_\rho \rightarrow m_{qq_1^+}}^{E_\rho \rightarrow \sqrt{\frac{2}{3}} E_{qq_1^+}} .$$

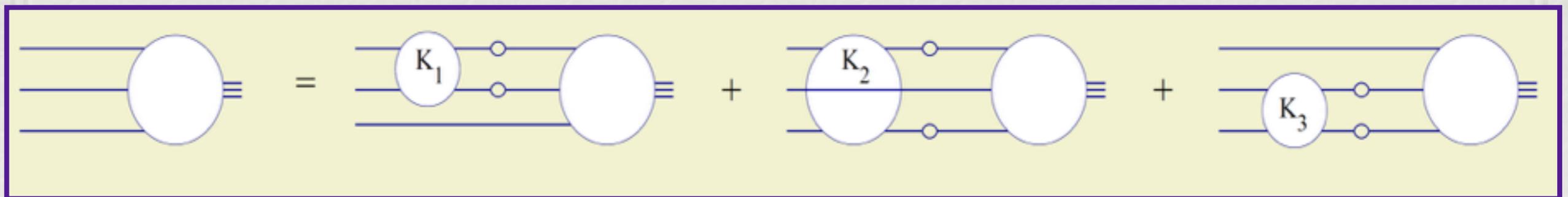
nd parity P
ich the only

Faddeev Equation

La ecuación de Faddeev tiene 64 estructuras de Dirac.



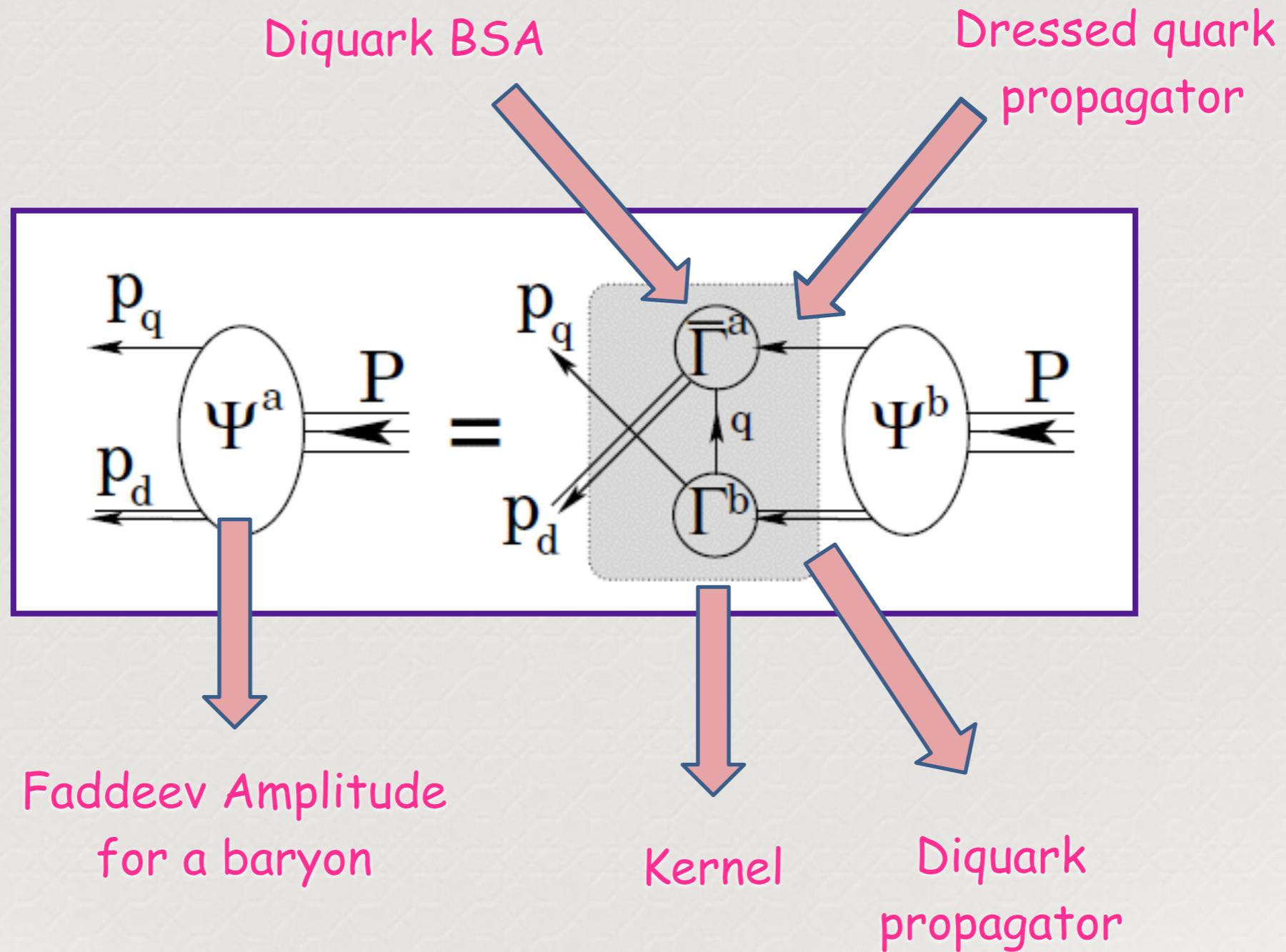
Quark-Diquark picture: 8 Estructuras de Dirac



G. Eichmann, Phys. Rev. D84, 014014 (2011).

Reproducimos las masas de los nucleones con 5% de error.

Faddeev Equation



Diquarks

- Resonancia Roper :
 - Tiene el mismo espín y paridad como el protón.
 - Tiene menos masa que $N(1535)S_{11}$, $J^P=1/2^-$ resonance.
 - Los factores de forma Electromagnéticos del proton son medibles.
 - En Jlab, Los factores de forma del Proton-roper fueron obtenidos. Phys,Rev. C79 065206 (2009), C80, 055203 (2009).

Meson	Diquark
π	$(qq)^{0+}$
ρ	$(qq)^{1+}$
σ	$(qq)^{0-}$
a_1	$(qq)^{1-}$

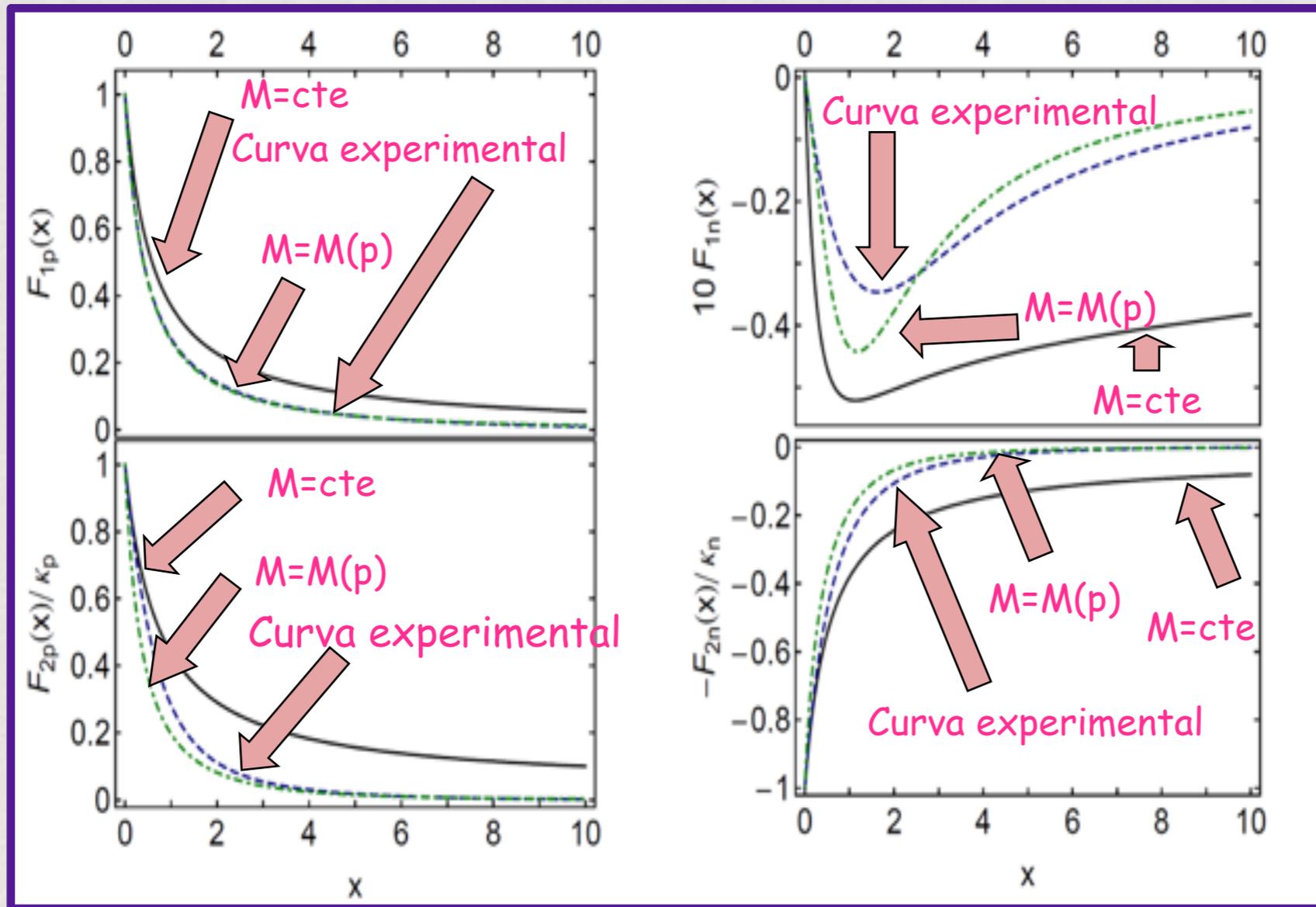
Para el estado $N(\frac{1}{2}^-)$ necesitamos las contribuciones σ y a_1 .

Roper Resonance

Proton

Neutron

Dirac



Pauli

$$x = \frac{Q^2}{m_N^2}$$

D.J. Wilson et. al., Phys. Rev. C85, 025205 (2012).

I. Cloët et. al., Few Body Syst. 46, 1 (2009).

J. Kelly, Phys. Rev. C70, 068202 (2004).

$$N(\frac{1}{2}^+) \longrightarrow N(\frac{1}{2}^-; 1535)$$

- Necesitamos los factores de forma electromagnéticos de los mesones σ and a_1

ii. Diquarks 0^- y 1^-

$$1^+ \gamma 1^-, \quad 1^+ \gamma 0^-, \quad 0^+ \gamma 1^-, \quad 0^+ \gamma 0^-$$

$$a_1 \rightarrow \rho \gamma, \quad a_1 \rightarrow \pi \gamma, \quad \rho \rightarrow \sigma \gamma, \quad \sigma \rightarrow \pi \gamma$$

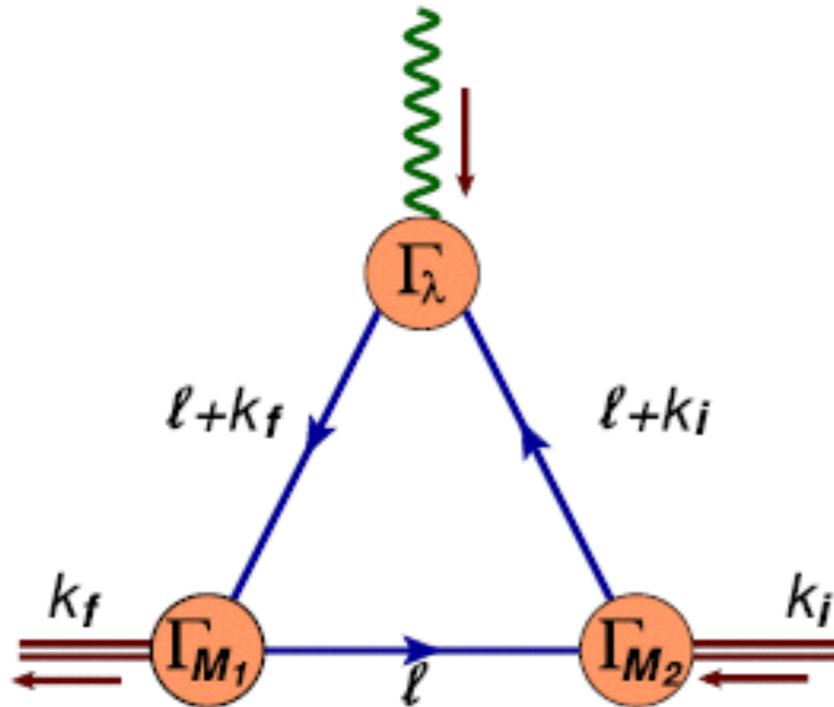
iii. Transiciones:

$$N(\frac{1}{2}^+) \longrightarrow N(\frac{1}{2}^-; 1535)$$

scalar diquark	0^+	pseudo-scalar diquark	0^-
axial vector diquark	1^+	vector diquark	1^-

- Usando la ecuación de Faddeev para $N(\frac{1}{2}^-)$ obtener los factores de forma.
- Calcular la transición.

$$N(\frac{1}{2}^+) \longrightarrow N(\frac{1}{2}^-; 1535)$$



$$M_1 \rightarrow \gamma M_2$$

Donde M_1 y M_2 son mesones arbitrarios.

M	Λ_{IR}	Λ_{UV}	m_G
0.368	0.24	0.905	0.132
Meson	Mass	BS components	
π	0.140	$(E_\pi, F_\pi) = (3.639, 0.481)$	
σ	1.290	$E_\sigma = 3.789$	
ρ	0.929	$E_\rho = 1.531$	
a_1	1.383	$E_{a_1} = 3.515$	

$\sigma\gamma\sigma$	$\Lambda^\sigma = G^\sigma$
$a_1\gamma a_1$	$\Lambda_{\lambda\mu\nu}^{a_1}(k, Q) = \sum_{j=1}^3 T_{\lambda\mu\nu}^{a_1(j)}(k, Q) F_j^{a_1}(Q^2)$
$a_1\gamma\sigma$	$\Lambda_{\lambda\nu}^{a_1\sigma}(k, Q) = T_{\lambda\nu}^{a_1\sigma}(k, Q) F^{a_1\sigma}(Q^2)$
$\rho\gamma\sigma$	$\Lambda_{\lambda\mu}^{\rho\sigma}(k, Q) = \sum_{j=1}^2 T_{\lambda\mu}^{\rho\sigma(j)}(k, Q) F_j^{\rho\sigma}(Q^2)$
$a_1\gamma\pi$	$\Lambda_{\lambda\mu}^{a_1\pi}(k, Q) = \sum_{j=1}^2 T_{\lambda\mu}^{a_1\pi(j)}(k, Q) F_j^{a_1\pi}(Q^2)$
$a_1\gamma\rho$	$\Lambda_{\lambda\mu\nu}^{a_1\rho}(k, Q) = \sum_{j=1}^3 T_{\lambda\mu\nu}^{a_1\rho(j)}(k, Q) F_j^{a_1\rho}(Q^2)$

$$N(\frac{1}{2}^+) \longrightarrow N(\frac{1}{2}^-; 1535)$$

J.J. Dudek, R. Edwards and C.E. Thomas,
Phys. Rev. D 79, 094504(2009).

$$1^+ \gamma 1^-, \quad 1^+ \gamma 0^-, \quad 0^+ \gamma 1^-, \quad 0^+ \gamma 0^-$$

$$a_1 \rightarrow \rho \gamma, \quad a_1 \rightarrow \pi \gamma, \quad \rho \rightarrow \sigma \gamma, \quad \sigma \rightarrow \pi \gamma$$

$$\Lambda_{\lambda\mu\nu}^2(Q, k_i, k_f) = \frac{\epsilon_{\lambda\alpha\beta\gamma}(k_i - k_f)^\gamma}{4\sqrt{2}(k_i \cdot k_f^2 - k_i^2 k_f^2)} \times$$

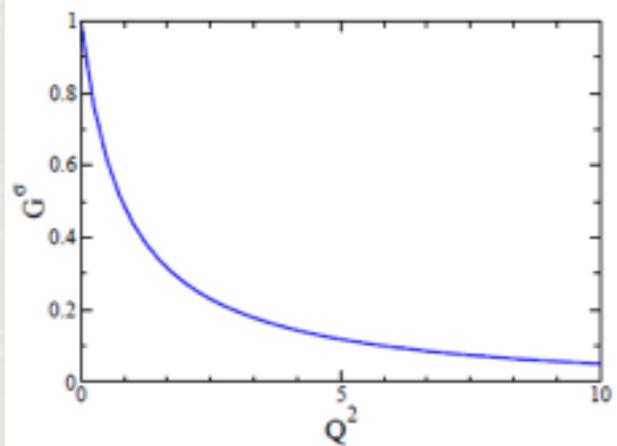
$$\left\{ F_1^2(k_i + k_f)^\beta [2M_{a_1} \mathcal{P}_{\sigma\mu}^\perp(k_i) k_f^\sigma \mathcal{P}_{\alpha\nu}^\perp(k_f) + 2M_\rho \mathcal{P}_{\sigma\nu}^\perp(k_f) k_i^\sigma \mathcal{P}_{\alpha\mu}^\perp(k_i)] \right.$$

$$+ F_2^2(k_i + k_f)^\beta [2M_{a_1} \mathcal{P}_{\sigma\mu}^\perp(k_i) k_f^\sigma \mathcal{P}_{\alpha\nu}^\perp(k_f) - 2M_\rho \mathcal{P}_{\sigma\nu}^\perp(k_f) k_i^\sigma \mathcal{P}_{\alpha\mu}^\perp(k_i)] +$$

$$+ F_3^2 [4(k_i^2 + k_f^2 - k_i \cdot k_f^2) \mathcal{P}_{\alpha\mu}^\perp(k_i) \mathcal{P}_{\beta\nu}^\perp(k_f) + (k_i + k_f)^\beta ((k_i^2 - k_f^2 + Q^2) k_f^\sigma \mathcal{P}_{\sigma\mu}^\perp(k_i) \mathcal{P}_{\alpha\nu}^\perp(k_f)$$

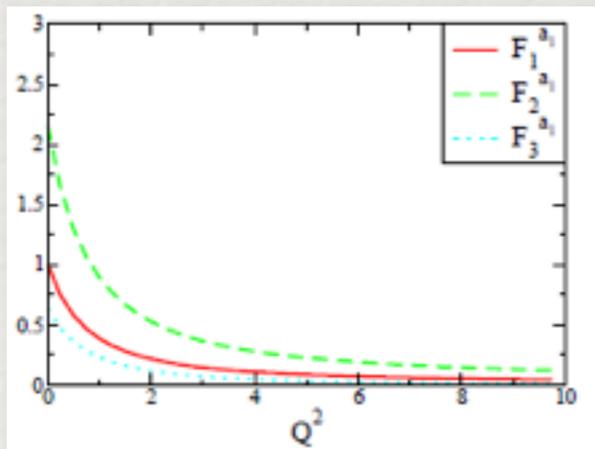
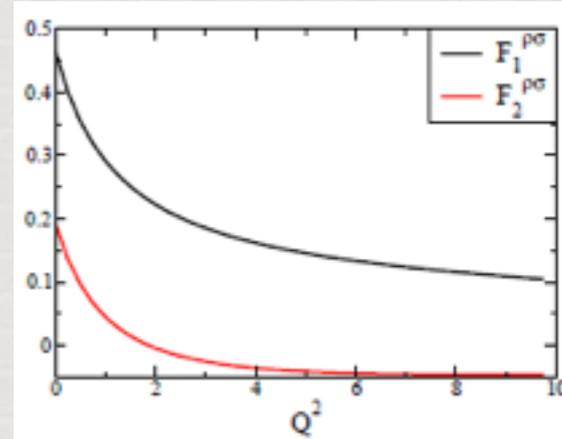
$$+ (k_i^2 - k_f^2 - Q^2) k_f^\sigma \mathcal{P}_{\sigma\nu}^\perp(k_f) \mathcal{P}_{\alpha\mu}^\perp(k_i))] \left. \right\}$$

$$N(\frac{1}{2}^+) \longrightarrow N(\frac{1}{2}^-; 1535)$$



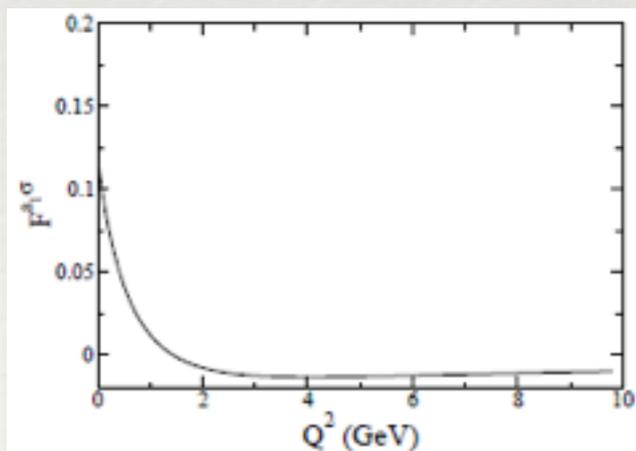
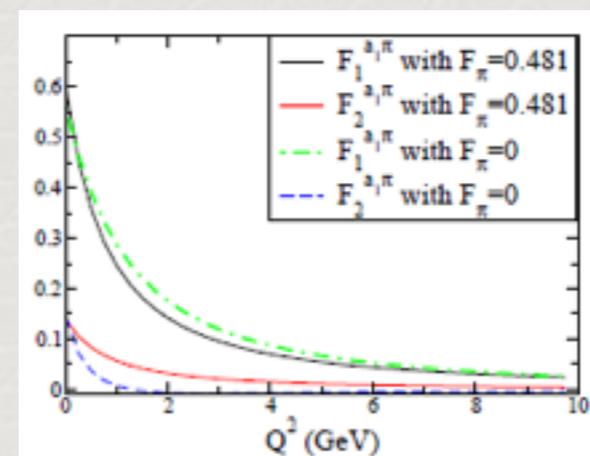
$\sigma\gamma\sigma$

$\rho\gamma\sigma$



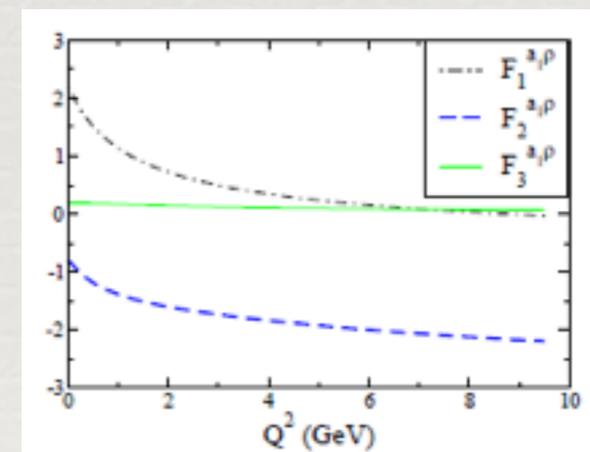
$a_1\gamma a_1$

$a_1\gamma\pi$



$a_1\gamma\sigma$

$a_1\gamma\rho$



Ecuación de Faddeev

- La corriente electromagnética del nucleón se escribe como:

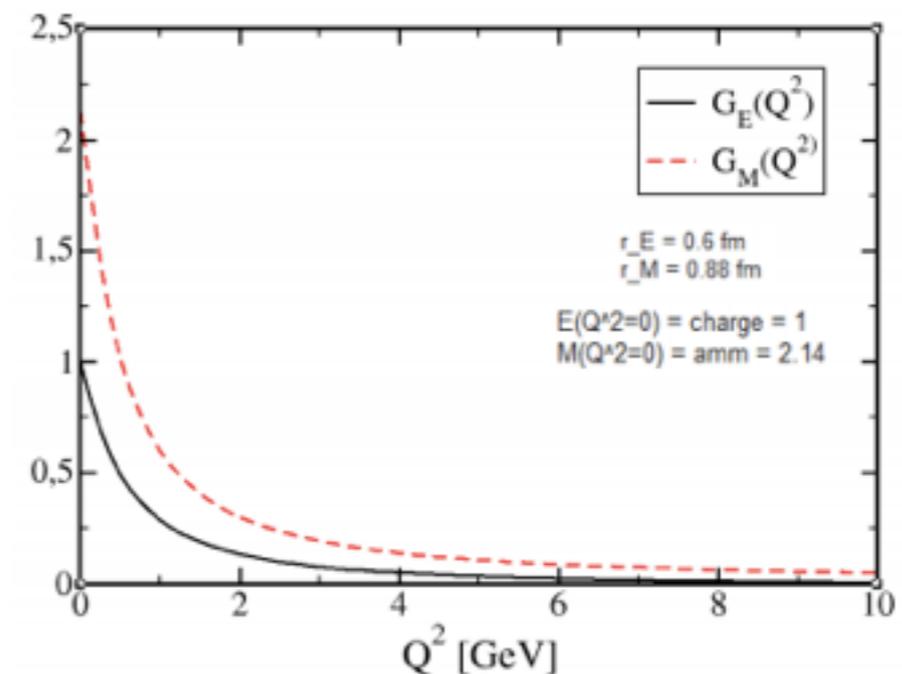
$$J^\mu(Q^2) = \Lambda_+(P_f) \left(F_1 i\gamma^\mu - \frac{F_2}{2M} i\sigma^{\mu\nu} Q^\nu \right) \Lambda_+(P_i)$$

- F1 y F2 son los factores adimensionales de Forma de Dirac y Pauli. Para $Q=0$ son las cargas del proton y neutron.
- Los factores de forma eléctrico y magnético se escriben:

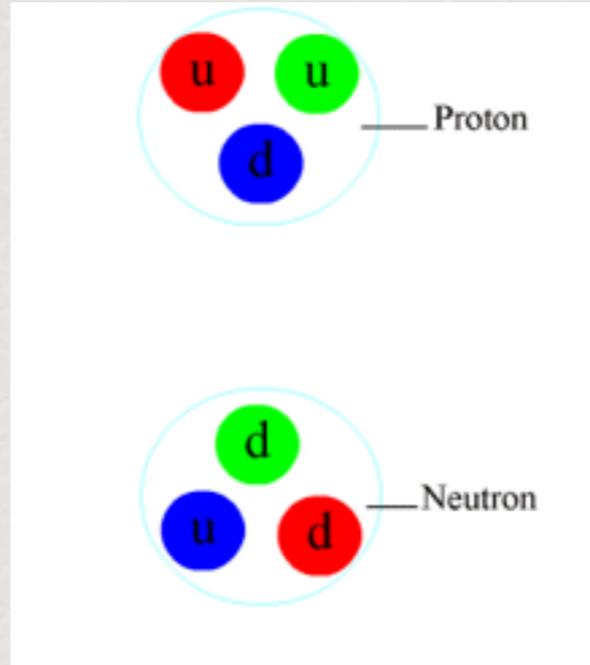
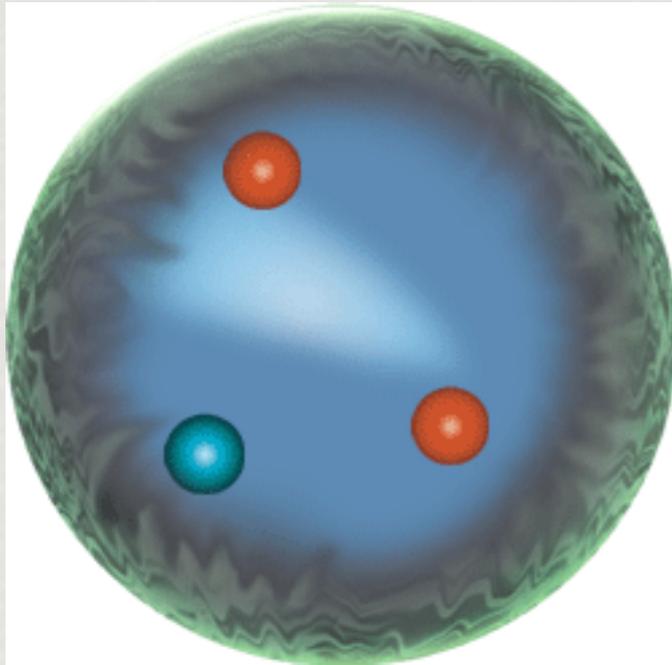
$$\begin{aligned} G_E = F_1 - \tau F_2 \\ G_M = F_1 + F_2 \end{aligned} \iff F_1 = \frac{G_E + \tau G_M}{1 + \tau}, \quad F_2 = \frac{G_M - G_E}{1 + \tau}.$$

$$\tau = Q^2 / (4M^2),$$

PRELIMINARY



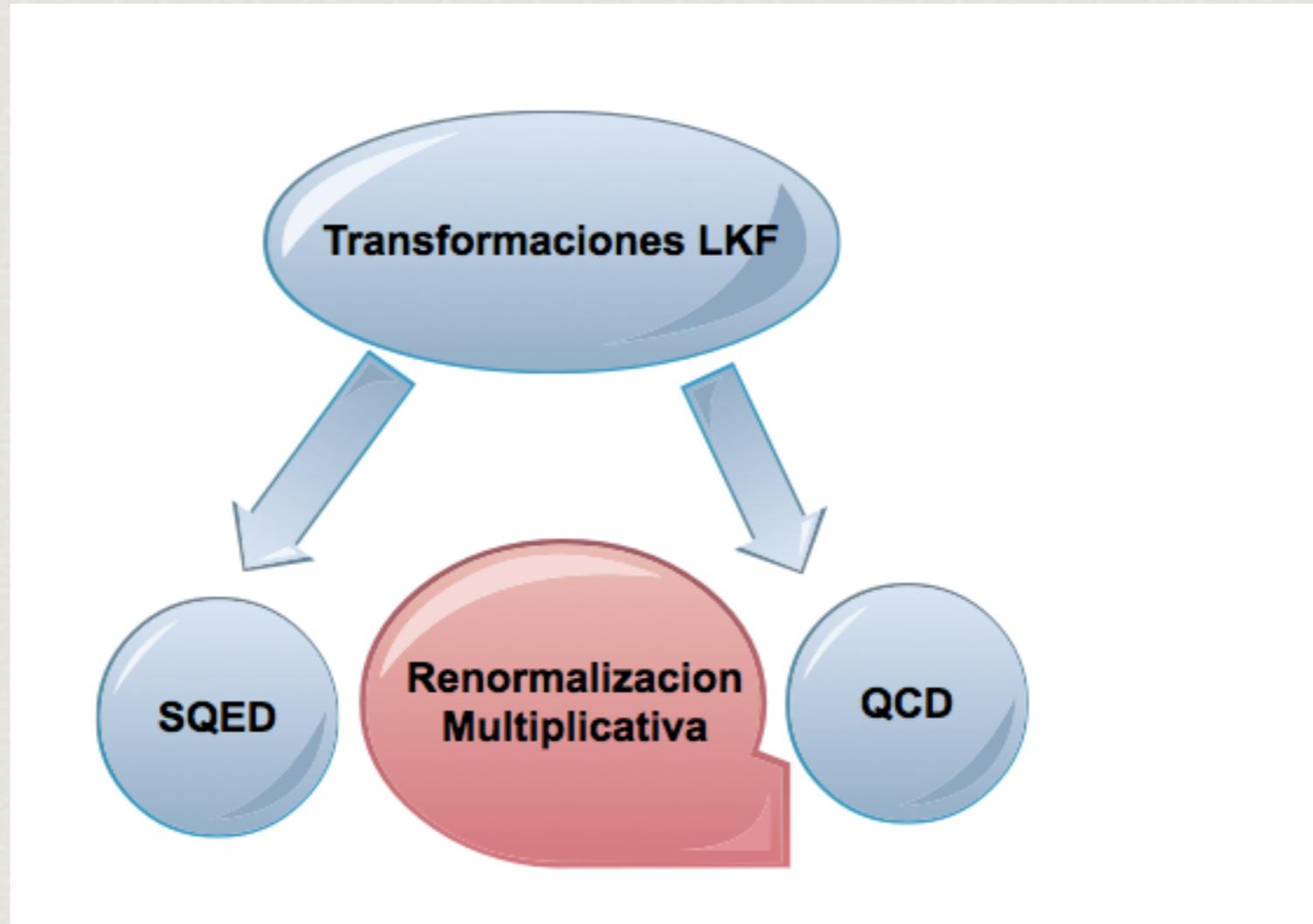
Conclusiones



Quark-gluon vertex: A perturbation theory primer and beyond
by R. Bermudez, L. Albino, L. X. Gutiérrez-Guerrero, et al.

**ESTRUCTURE OF THE NEUTRAL PION AND ITS ELECTROMAGNETIC
TRANSITION FORM FACTORS**, K. Raya, L. Chang, A. Bashir, L. X. Gutierrez
Guerrero, C. D. Roberts and P. C. Tandy, *Phys.Rev. D93 074017 2016*.

Conclusiones



L. Albino, A. Bashir,
L.X. Gutiérrez Guerrero Y. Concha

M. Jamil Aslam, A. Bashir, L. X.
Gutiérrez-Guerrero
e-Print: arXiv:1209.1292

Conclusiones

