

Z0-Resonanz

Alexander Neuwirth



Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz
└─ Gliederung

└─ Gliederung

Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

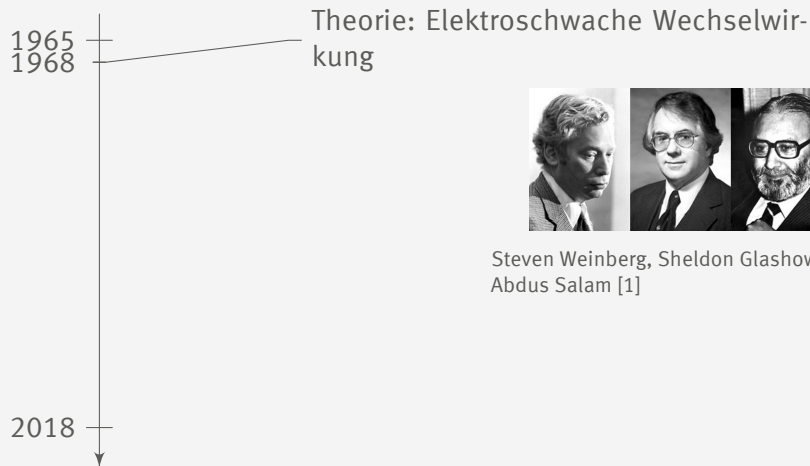
Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Historischer Überblick



Steven Weinberg, Sheldon Glashow und Abdus Salam [1]

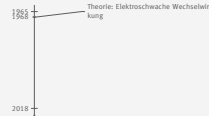
2018-11-27

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

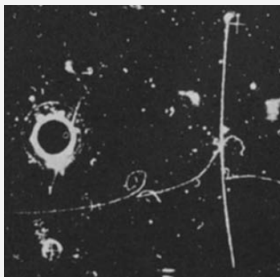
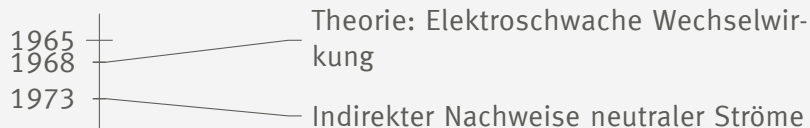
Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. Vereinheitlichung von elektr. + schwache WW. Kräfteaustausch durch Photon, W^\pm , Z^0
2. 1979 Nobelpreis für GWS
3. Neutrale Ströme von links nach rechts Antineutrinostrahl in Blaskammer. Photon nur bei elektr. Prozessen. (\Rightarrow neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^- folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung.
4. CERN
5. Large Elctron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



$$\bar{\nu}_{\mu} + e^{-} \rightarrow \bar{\nu}_{\mu} + e^{-} [2]$$

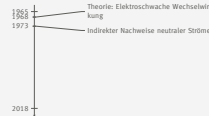
2018-11-27

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

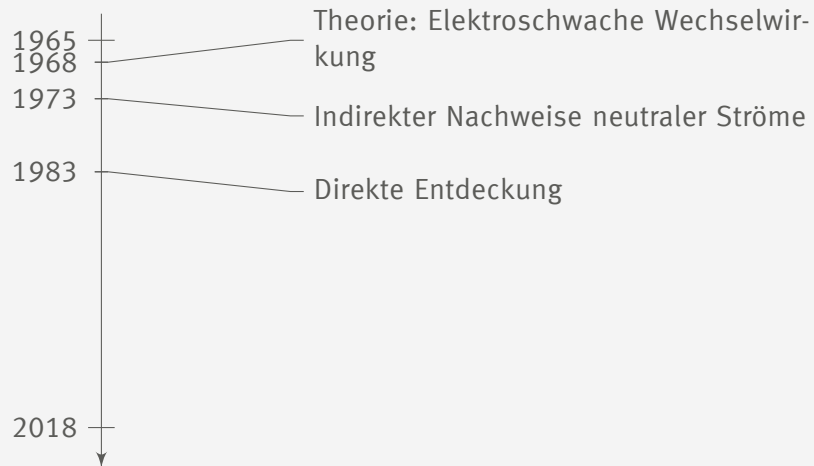
Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. Vereinheitlichung von elektr. + schwache WW. Kräfteaustausch durch Photon, W^{\pm} , Z^0
2. 1979 Nobelpreis für GWS
3. Neutrale Ströme von links nach rechts Antineutrinostrahl in Blasenkammer. Photon nur bei elektr. Prozessen.(=> neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^{-} folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung.
4. CERN
5. Large Elctron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigtbis 2000
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



2018-11-27

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

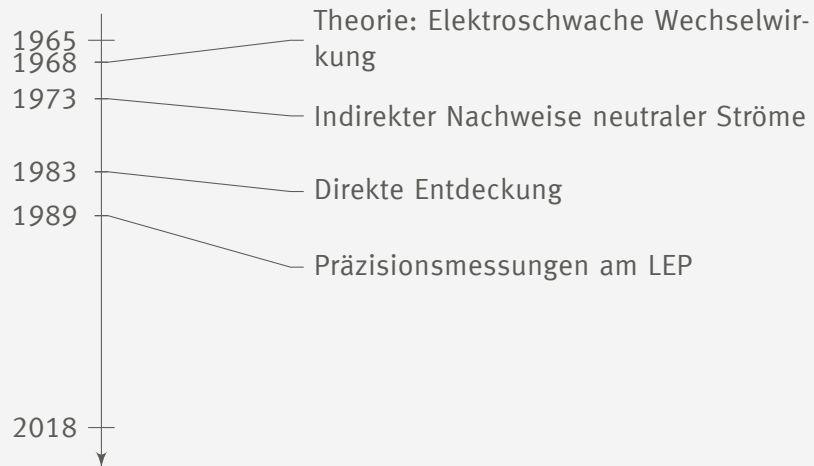
Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. Vereinheitlichung von elektr. + schwache WW. Kräfteaustausch durch Photon, W^\pm , Z^0
2. 1979 Nobelpreis für GWS
3. Neutrale Ströme von links nach rechts Antineutrinostrahl in Blaskammer. Photon nur bei elektr. Prozessen. (\Rightarrow neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^- folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung.
4. CERN
5. Large Elctron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



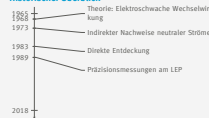
2018-11-27

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

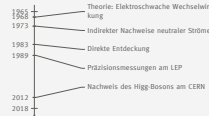
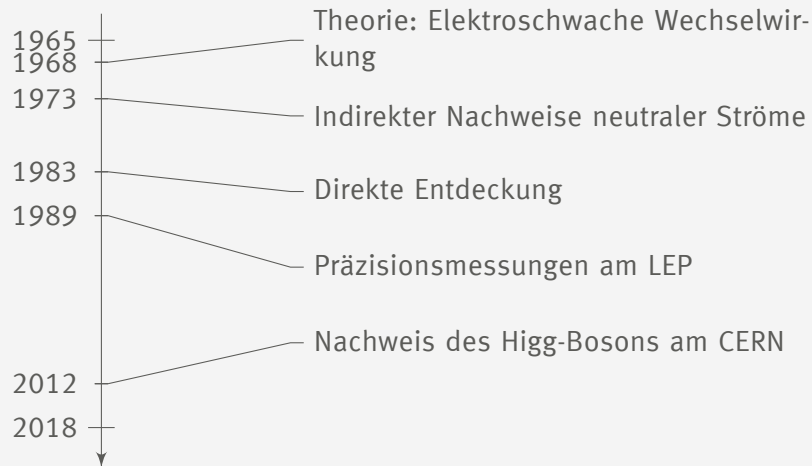
Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. Vereinheitlichung von elektr. + schwache WW. Kräfteaustausch durch Photon, W^{\pm} , Z^0
2. 1979 Nobelpreis für GWS
3. Neutrale Ströme von links nach rechts Antineutrinostrahl in Blaskammer. Photon nur bei elektr. Prozessen.(=> neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^{-} folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung.
4. CERN
5. Large Electron Positron Ring (CERN) Präzisionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



1. Vereinheitlichung von elektr. + schwache WW. Kräfteaustausch durch Photon, W^\pm , Z^0
2. 1979 Nobelpreis für GWS
3. Neutrale Ströme von links nach rechts Antineutrinostrahl in Blaskammer. Photon nur bei elektr. Prozessen.(=> neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^- folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung.
4. CERN
5. Large Elctron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigtbis 2000
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick

Theorie

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen
Elektroschwache Vereinheitlichung
Zerfallsbreite

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

2018-11-27

Z0 Resonanz Theorie

Historischer Überblick

Theorie

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen
Elektroschwache Vereinheitlichung
Zerfallsbreite

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III	
Masse	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Name	u up	c charm	t top	γ Photon
				125,09 GeV H Higgs Boson
	4,8 MeV	95 MeV	4,18 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g Gluon
Quarks				
	<2 eV	<0,19 MeV	<18,2 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino	Z⁰ Z Boson
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e Elektron	μ Myon	τ Tau	W[±] W Boson
Leptonen				Eichbosonen

Standardmodell[3]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Einordnung im Standardmodell der
Elementarteilchen

Einordnung im Standardmodell der
Elementarteilchen

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen



- Eichboson und Elementarteilchen
- Ladung
 - uct: $\frac{2}{3}$
 - dsb: $-\frac{1}{3}$
 - ν : 0
 - $e\mu\tau$: -1
- Antiteilchen invers
- Spin
 - Fermionen (Quarks+Leptonen): $\frac{1}{2}$
 - Bosonen: 1
- Masse steigt mit Generation
- schwache WW
- $W^{\pm} \Rightarrow$ elek. Teilchen WW (beta Zerfall)
- $Z^0 \Rightarrow$ auch neutral Teilchen WW (Neutrino)
- eigenes Antiteilchen
- Higgs aus Vollständigkeit

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

1. Allg. Grund + Was es ist.
2. Vereint QED mit schwacher WW.
3. Kräfte durch Austauschteilchen
4. W,Z bsplw. Beta-Zerfall, Gluon Kernzusammenhalt, Farbladung, 8 (n-p-Anziehung)
5. (Higgs)
6. ?schwere Austauschteilchen \Rightarrow geringe Stärke der WW. (Graviton schwerer als Higgs)?
7. (experimentelle Bestimmung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

1. Allg. Grund + Was es ist.
2. Vereint QED mit schwacher WW.
3. Kräfte durch Austauschteilchen
4. W,Z bsplw. Beta-Zerfall, Gluon Kernzusammenhalt, Farbladung, 8 (n-p-Anziehung)
5. (Higgs)
6. ?schwere Austauschteilchen ⇒ geringe Stärke der WW. (Graviton schwerer als Higgs)?
7. (experimentelle Bestimmung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

- ▶ Photon \rightarrow elektromagnetische Wechselwirkung
- ▶ W,Z-Boson \rightarrow schwache Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

- ▶ Photon \rightarrow elektromagnetische Wechselwirkung
- ▶ W,Z-Boson \rightarrow schwache Wechselwirkung

1. Allg. Grund + Was es ist.
2. Vereint QED mit schwacher WW.
3. Kräfte durch Austauschteilchen
4. W,Z bsplw. Beta-Zerfall, Gluon Kernzusammenhalt, Farbladung, 8 (n-p-Anziehung)
5. (Higgs)
6. ?schwere Austauschteilchen \Rightarrow geringe Stärke der WW. (Graviton schwerer als Higgs)?
7. (experimentelle Bestimmung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

- ▶ Photon → elektromagnetische Wechselwirkung
- ▶ W,Z-Boson → schwache Wechselwirkung
- ▶ Gluon → starke Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

- ▶ Photon → elektromagnetische Wechselwirkung
- ▶ W,Z-Boson → schwache Wechselwirkung
- ▶ Gluon → starke Wechselwirkung

1. Allg. Grund + Was es ist.
2. Vereint QED mit schwacher WW.
3. Kräfte durch Austauschteilchen
4. W,Z bsplw. Beta-Zerfall, Gluon Kernzusammenhalt, Farbladung, 8 (n-p-Anziehung)
5. (Higgs)
6. ?schwere Austauschteilchen ⇒ geringe Stärke der WW. (Graviton schwerer als Higgs)?
7. (experimentelle Bestimmung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

	Fermionmultipletts			
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$ e_R	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$ μ_R	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$ τ_R	
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$ u_R d_R	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$ c_R s_R	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$ t_R b_R	

Schwacher Isospin[4]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Schwacher Isospin

	Fermionmultipletts			
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$ e_R	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$ μ_R	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$ τ_R	
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$ u_R d_R	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$ c_R s_R	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$ t_R b_R	

Schwacher Isospin[4]

- Einführung von schwachem Isospin, analogon zu starkem Isospin
- Umwandung durch Absorption von W^\pm -Boson innerhalb Multiplett (darin Ladungsdifferenz = 1)
- Rechtshändige e, μ, τ Singulett Zustand.
- invers für Antiteilchen: rechshändige Fermionen (linkshändige Antifermionen) Singulett ($T = 0 = T_3$)
- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt
- z_f beschreibt Ladung
- Der ' bedeutet != Masseneigenzustände, sondern Quarkmisch-Matrix CKM
- ?was bedeutet der ' (Cabibbo-Rotation)?

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

	Fermionmultipletts			T
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2
	e_R	μ_R	τ_R	0
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2
	u_R	c_R	t_R	0
	d_R	s_R	b_R	0

Schwacher Isospin[4]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Schwacher Isospin

	Fermionmultipletts			T
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2
	e_R	μ_R	τ_R	0
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2
	u_R	c_R	t_R	0
	d_R	s_R	b_R	0

Schwacher Isospin[4]

- Einführung von schwachem Isospin, analogon zu starkem Isospin
- Umwandung durch Absorption von W^\pm -Boson innerhalb Multiplett (darin Ladungsdifferenz = 1)
- Rechtshändige e, μ, τ Singulett Zustand.
- invers für Antiteilchen: rechshändige Fermionen (linkshändige Antifermionen) Singulett ($T = 0 = T_3$)
- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt
- z_f beschreibt Ladung
- Der ' bedeutet != Masseneigenzustände, sondern Quarkmisch-Matrix CKM
- ?was bedeutet der ' (Cabibbo-Rotation)?

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

	Fermionmultipletts			T	T_3
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2
	e_R	μ_R	τ_R	0	0
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2
	u_R	c_R	t_R	0	0
	d_R	s_R	b_R	0	0

Schwacher Isospin[4]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Schwacher Isospin

	Fermionmultipletts			T	T_3
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2
	e_R	μ_R	τ_R	0	0
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2
	u_R	c_R	t_R	0	0
	d_R	s_R	b_R	0	0

Schwacher Isospin[4]

- Einführung von schwachem Isospin, analogon zu starkem Isospin
- Umwandung durch Absorption von W^\pm -Boson innerhalb Multiplett (darin Ladungsdifferenz = 1)
- Rechtshändige e, μ, τ Singulett Zustand.
- invers für Antiteilchen: rechshändige Fermionen (linkshändige Antifermionen) Singulett ($T = 0 = T_3$)
- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt
- z_f beschreibt Ladung
- Der ' bedeutet != Masseneigenzustände, sondern Quarkmisch-Matrix CKM
- ?was bedeutet der ' (Cabibbo-Rotation)?

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

Z0 Resonanz

	Fermionmultipletts			T	T_3	z_f
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2	0 -1
	e_R	μ_R	τ_R	0	0	-1
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2	+2/3 -1/3
	u_R	c_R	t_R	0	0	+2/3
	d_R	s_R	b_R	0	0	-1/3

Schwacher Isospin[4]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Schwacher Isospin

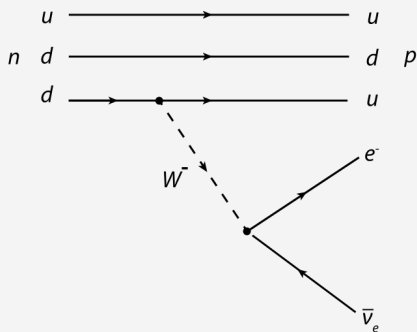
	Fermionmultipletts			T	T_3	z_f
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2	0 -1
	e_R	μ_R	τ_R	0	0	-1
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2	+2/3 -1/3
	u_R	c_R	t_R	0	0	+2/3
	d_R	s_R	b_R	0	0	-1/3

Schwacher Isospin[4]

- Einführung von schwachem Isospin, analogon zu starkem Isospin
- Umwandung durch Absorption von W^\pm -Boson innerhalb Multiplett (darin Ladungsdifferenz = 1)
- Rechtshändige e, μ, τ Singulett Zustand.
- invers für Antiteilchen: rechshändige Fermionen (linkshändige Antifermionen) Singulett ($T = 0 = T_3$)
- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt
- z_f beschreibt Ladung
- Der ' bedeutet != Masseneigenzustände, sondern Quarkmisch-Matrix CKM
- ?was bedeutet der ' (Cabibbo-Rotation)?

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen



β -Zerfall[5]

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

1. Bekannt aus schwacher WW

2. $d \rightarrow u + W^-$

3. analog $u \rightarrow d + W^+$

4. T: $d(-1/2) = W(?) + u(1/2)$

5. T: $W(?) = e(-1/2) + \nu(-1/2)$

6. ? Wieso T=1?

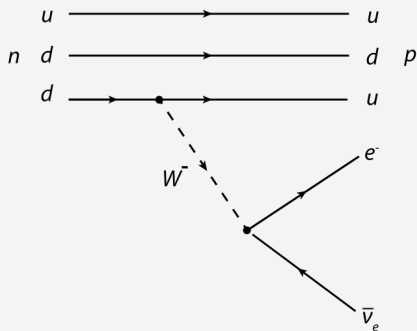
7. B^0 postuliert

8. Mehr zum Beta-Zerfall nächste Woche (+Paritätsverletzung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben



β -Zerfall[5]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben

1. Bekannt aus schwacher WW

2. $d \rightarrow u + W^-$

3. analog $u \rightarrow d + W^+$

4. T: $d(-1/2) = W(?) + u(1/2)$

5. T: $W(?) = e(-1/2) + \nu(-1/2)$

6. ? Wieso $T=1$?

7. B^0 postuliert

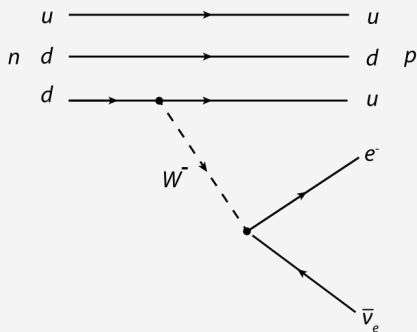
8. Mehr zum Beta-Zerfall nächste Woche (+Paritätsverletzung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben

► $W^-: T_3 = -1$



β -Zerfall[5]

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben
► $W^-: T_3 = -1$

1. Bekannt aus schwacher WW

2. $d \rightarrow u + W^-$

3. analog $u \rightarrow d + W^+$

4. T: $d(-1/2) = W(?) + u(1/2)$

5. T: $W(?) = e(-1/2) + \nu(-1/2)$

6. ? Wieso T=1?

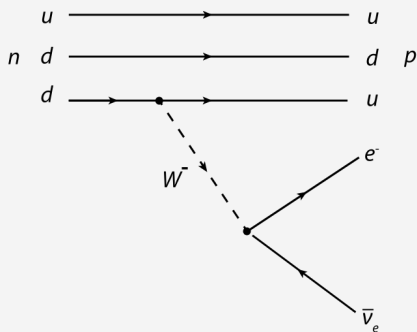
7. B^0 postuliert

8. Mehr zum Beta-Zerfall nächste Woche (+Paritätsverletzung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$
- ▶ $W^+: T_3 = 1$



β -Zerfall[5]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

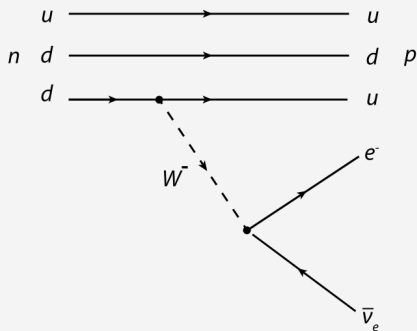
- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$
- ▶ $W^+: T_3 = 1$

1. Bekannt aus schwacher WW
2. $d \rightarrow u + W^-$
3. analog $u \rightarrow d + W^+$
4. T: $d(-1/2) = W(?) + u(1/2)$
5. T: $W(?) = e(-1/2) + \nu(-1/2)$
6. ?Wieso T=1?
7. B^0 postuliert
8. Mehr zum Beta-Zerfall nächste Woche (+Paritätsverletzung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$
- ▶ $W^+: T_3 = 1$
- ▶ $W^0: (T = 1, T_3 = 0)$
- ▶ $B^0: (T = 0, T_3 = 0)$



β -Zerfall[5]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$
- ▶ $W^+: T_3 = 1$
- ▶ $W^0: (T = 1, T_3 = 0)$
- ▶ $B^0: (T = 0, T_3 = 0)$

1. Bekannt aus schwacher WW
2. $d \rightarrow u + W^-$
3. analog $u \rightarrow d + W^+$
4. T: $d(-1/2) = W(?) + u(1/2)$
5. T: $W(?) = e(-1/2) + \nu(-1/2)$
6. ?Wieso $T=1$?
7. B^0 postuliert
8. Mehr zum Beta-Zerfall nächste Woche (+Paritätsverletzung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

$$\begin{aligned}
 |\gamma\rangle &= +\cos\theta_W |B^0\rangle + \sin\theta_W |W^0\rangle \\
 |Z^0\rangle &= -\sin\theta_W |B^0\rangle + \cos\theta_W |W^0\rangle
 \end{aligned}$$

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

$$\begin{aligned}
 |\gamma\rangle &= +\cos\theta_W |B^0\rangle + \sin\theta_W |W^0\rangle \\
 |Z^0\rangle &= -\sin\theta_W |B^0\rangle + \cos\theta_W |W^0\rangle
 \end{aligned}$$

1. Drehung um Weinberg-Winkel/elektroschwachen Mischungswinkel , Naturkonstante
2. spontane Symmetriebrechung, diagonalisierung der Massematrix führt zu diesen.
3. orthogonal + linear Kombination
4. Kopplungsstärke g für schwache WW. aus QFT \Rightarrow Kopplungskonstante
5. experimentelle Bestimmung, später mehr

Elektroschwache Vereinheitlichung

$$\begin{aligned} |\gamma\rangle &= +\cos\theta_W |B^0\rangle + \sin\theta_W |W^0\rangle \\ |Z^0\rangle &= -\sin\theta_W |B^0\rangle + \cos\theta_W |W^0\rangle \end{aligned}$$

$$\cos\theta_W = \frac{M_W}{M_Z} \approx 0.88$$

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

$$\begin{aligned} |\gamma\rangle &= +\cos\theta_W |B^0\rangle + \sin\theta_W |W^0\rangle \\ |Z^0\rangle &= -\sin\theta_W |B^0\rangle + \cos\theta_W |W^0\rangle \end{aligned}$$

$$\cos\theta_W = \frac{M_W}{M_Z} \approx 0.88$$

1. Drehung um Weinberg-Winkel/elektroschwachen Mischungswinkel , Naturkonstante
2. spontane Symmetriebrechung, diagonalisierung der Massematrix führt zu diesen.
3. orthogonal + linear Kombination
4. Kopplungsstärke g für schwache WW. aus QFT \Rightarrow Kopplungskonstante
5. experimentelle Bestimmung, später mehr

Elektroschwache Vereinheitlichung

$$\begin{aligned} |\gamma\rangle &= +\cos\theta_W |B^0\rangle + \sin\theta_W |W^0\rangle \\ |Z^0\rangle &= -\sin\theta_W |B^0\rangle + \cos\theta_W |W^0\rangle \end{aligned}$$

$$\cos\theta_W = \frac{M_W}{M_Z} \approx 0.88$$

$$e = g \cdot \sin\theta_W$$

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

$$|\gamma\rangle = +\cos\theta_W |B^0\rangle + \sin\theta_W |W^0\rangle$$

$$|Z^0\rangle = -\sin\theta_W |B^0\rangle + \cos\theta_W |W^0\rangle$$

$$\cos\theta_W = \frac{M_W}{M_Z} \approx 0.88$$

$$e = g \cdot \sin\theta_W$$

1. Drehung um Weinberg-Winkel/elektroschwachen Mischungswinkel , Naturkonstante
2. spontane Symmetriebrechung, diagonalisierung der Massematrix führt zu diesen.
3. orthogonal + linear Kombination
4. Kopplungsstärke g für schwache WW. aus QFT => Kopplungskonstante
5. experimentelle Bestimmung, später mehr

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Nachweis

Eigenschaften

Neutrino-generationen

Zusammenfassung

2018-11-27

Z0 Resonanz
└ Experimentelle Untersuchung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

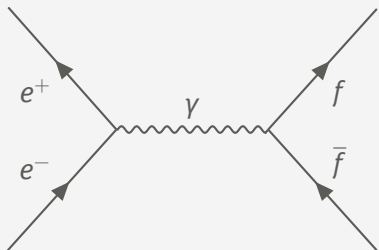
Erzeugung

Nachweis

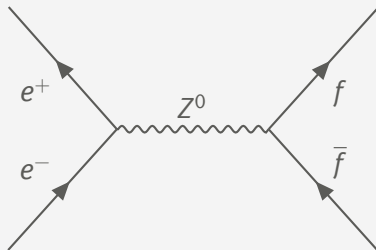
Eigenschaften

Neutrino-generationen

Zusammenfassung



e^+e^- -Vernichtung über γ [6]



e^+e^- -Vernichtung über Z^0 [6]

2018-11-27

Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Erzeugung

Erzeugung

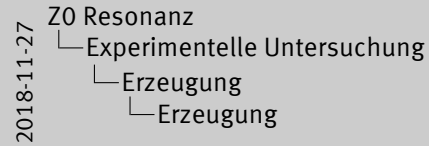


- Allg. W/Z-Boson durch Anti+Lepton/Anti-Quark Reaktion
- kollidierende Teilchenstrahlen
- feynman diagram
- bei passender Energie approx M_Z dominiert Z^0 , aus QFT+Feynmanregeln

Erzeugung

► Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$

Z0 Resonanz



Erzeugung

► Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$

1. 1989 am Stanford Linear Collider
2. Energie muss in Quarks enthalten sein → sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d)
3. 1996 am LEP, $50 \rightarrow 86 \rightarrow 104,6 \text{ GeV}$

Erzeugung

- ▶ Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$
- ▶ pp -Kollision: $u + \bar{u} \rightarrow Z^0$ benötigt $\sqrt{s} \gtrapprox 600 \text{ GeV}$ pro Proton

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Erzeugung

└ Erzeugung

Erzeugung

- ▶ Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$
- ▶ pp -Kollision: $u + \bar{u} \rightarrow Z^0$ benötigt $\sqrt{s} \gtrapprox 600 \text{ GeV}$ pro Proton

1. 1989 am Stanford Linear Collider
2. Energie muss in Quarks enthalten sein → sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d)
3. 1996 am LEP, $50 \rightarrow 86 \rightarrow 104,6 \text{ GeV}$

Erzeugung

- ▶ Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$
- ▶ pp -Kollision: $u + \bar{u} \rightarrow Z^0$ benötigt $\sqrt{s} \gtrapprox 600 \text{ GeV}$ pro Proton
- ▶ $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$ benötigt $\sqrt{s} \geq 2M_W c^2 \approx 160,8 \text{ GeV}$

Z0 Resonanz

2018-11-27

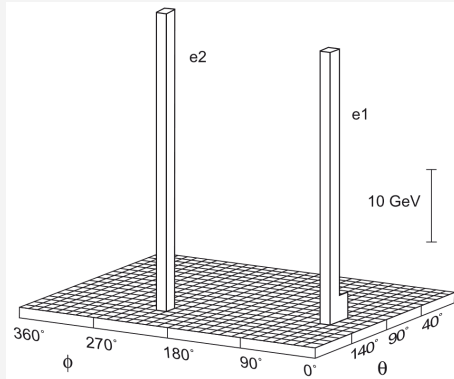
Z0 Resonanz
 └ Experimentelle Untersuchung
 └ Erzeugung
 └ Erzeugung

Erzeugung

- ▶ Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$
- ▶ pp -Kollision: $u + \bar{u} \rightarrow Z^0$ benötigt $\sqrt{s} \gtrapprox 600 \text{ GeV}$ pro Proton
- ▶ $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$ benötigt $\sqrt{s} \geq 2M_W c^2 \approx 160,8 \text{ GeV}$

1. 1989 am Stanford Linear Collider
2. Energie muss in Quarks enthalten sein → sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d)
3. 1996 am LEP, $50 \rightarrow 86 \rightarrow 104,6 \text{ GeV}$

Nachweis 1983 am CERN

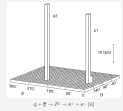


$$q + \bar{q} \rightarrow Z^0 \rightarrow e^+ + e^- [4]$$

Z⁰ Resonanz

2018-11-27
Z⁰ Resonanz
└ Experimentelle Untersuchung
└ Nachweis
└ Nachweis

Nachweis
1983 am CERN



- Energie Summe = Masse Z^0 (exakt?)
- Woher sicher, dass Z^0 Zerfall?

Eigenschaften

Experimentelle Bestimmung

► Messung:

- $M_Z = 91,188(2) \text{ GeV}/c^2$
- $\Gamma_Z = 2,495(2) \text{ GeV}$

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Eigenschaften

└ Eigenschaften

Eigenschaften

Experimentelle Bestimmung

- Messung:
 - $M_Z = 91,188(2) \text{ GeV}/c^2$
 - $\Gamma_Z = 2,495(2) \text{ GeV}$

1. Über Wirkungsquerschnitt? src [PD12]
- 2.
3. Hadronen (idR. Anti+Quark) nicht unterscheidbar
4. Anti+Neutrino schwer detektierbar \Rightarrow % über Γ_{tot}
5. totale Breite = alle Zerfälle Anti+Fermion???

Eigenschaften

Experimentelle Bestimmung

► Messung:

► $M_Z = 91,188(2) \text{ GeV}/c^2$

► $\Gamma_Z = 2,495(2) \text{ GeV}$

► Zerfall:

$Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$	3,363(4) %
$\mu^+ + \mu^-$	3,366(7) %
$\tau^+ + \tau^-$	3,370(8) %
$\nu_{e,\mu,\tau}^+ + \bar{\nu}_{e,\mu,\tau}$	20,0(6) %
Hadronen	69,91(6) %

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Eigenschaften

└ Eigenschaften

Eigenschaften Experimentelle Bestimmung

- Messung:
 ► $M_Z = 91,188(2) \text{ GeV}/c^2$
 ► $\Gamma_Z = 2,495(2) \text{ GeV}$

► Zerfall:

$Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$	3,363(4) %
$\mu^+ + \mu^-$	3,366(7) %
$\tau^+ + \tau^-$	3,370(8) %
$\nu_{e,\mu,\tau}^+ + \bar{\nu}_{e,\mu,\tau}$	20,0(6) %
Hadronen	69,91(6) %

1. Über Wirkungsquerschnitt? src [PD12]
- 2.
3. Hadronen (idR. Anti+Quark) nicht unterscheidbar
4. Anti+Neutrino schwer detektierbar \Rightarrow % über Γ_{tot}
5. totale Breite = alle Zerfälle Anti+Fermion???

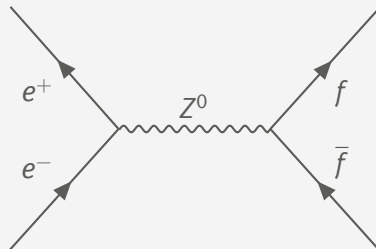
Neutrino-generationen

Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_f = \sigma_0 \cdot \frac{s\Gamma_Z^2}{(s - M_Z^2)^2 + M_Z^2\Gamma_Z^2}$$

mit

$$\sigma_0 = \frac{12\pi}{M_Z^2} \cdot \frac{\Gamma_{i=e}\Gamma_f}{\Gamma_Z^2}$$



2018-11-27

Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Neutrino-generationen

Neutrino-generationen

Neutrino-generationen
Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_f = \sigma_0 \cdot \frac{s\Gamma_f^2}{(s - M_Z^2)^2 + M_Z^2\Gamma_Z^2}$$

mit

$$\sigma_0 = \frac{12\pi}{M_Z^2} \cdot \frac{\Gamma_{i=e}\Gamma_f}{\Gamma_Z^2}$$

1. Formel für σ Breit-Wigner
2. Abhängig von ...
3. γ unterdrückt

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\Gamma_Z = \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}}$$

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Neutrino-generationen

└ Neutrino-generationen

Neutrino-generationen
Zerfallsbreite

$$\Gamma_Z = \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}}$$

1. $\Gamma_f = \frac{G_F M_Z^3}{24\sqrt{2}\pi} \cdot (1 + (1 - e|Q_f| \sin^2 \theta_W)^2)$
2. G_F Fermikonstante
3. Q_f Ladung des Fermions
4. Lep: e^\pm, μ^\pm, τ^\pm
5. Had: $u, c = 2/3; d, s, b = -1/3$
6. Neutrinos
7. kein top-Quark weil nicht genug Energie aus Z^0 (≈ 175 GeV)
8. Korrekturen aus QFT, höherer Ordnungen, Strahlungskorrektur
9. Passt mit Unsicherheiten zu Exp. (nicht auf Folie)
10. $\Gamma_e / \Gamma_{tot} = 3,37\%$ passt auch zu Exp.

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\Gamma_Z = \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}}$$

$$= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu$$

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Neutrino-generationen

└ Neutrino-generationen

Neutrino-generationen
Zerfallsbreite

$$\Gamma_Z = \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}}$$

$$= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu$$

1. $\Gamma_f = \frac{G_F M_Z^3}{24\sqrt{2}\pi} \cdot (1 + (1 - e|Q_f| \sin^2 \theta_W)^2)$
2. G_F Fermikonstante
3. Q_f Ladung des Fermions
4. Lep: e^\pm, μ^\pm, τ^\pm
5. Had: u,c= 2/3; d,s,b=-1/3
6. Neutrinos
7. kein top-Quark weil nicht genug Energie aus Z^0 (≈ 175 GeV)
8. Korrekturen aus QFT, höherer Ordnungen, Strahlungskorrektur
9. Passt mit Unsicherheiten zu Exp. (nicht auf Folie)
10. $\Gamma_e/\Gamma_{\text{tot}} = 3,37\%$ passt auch zu Exp.

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}\Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\ &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\ &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu\end{aligned}$$

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

- └ Experimentelle Untersuchung
 - └ Neutrino-generationen
 - └ Neutrino-generationen

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}\Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\ &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\ &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu\end{aligned}$$

1. $\Gamma_f = \frac{G_F M_Z^3}{24\sqrt{2}\pi} \cdot (1 + (1 - e|Q_f| \sin^2 \theta_W)^2)$
2. G_F Fermikonstante
3. Q_f Ladung des Fermions
4. Lep: e^\pm, μ^\pm, τ^\pm
5. Had: u,c= 2/3; d,s,b=-1/3
6. Neutrinos
7. kein top-Quark weil nicht genug Energie aus Z^0 (≈ 175 GeV)
8. Korrekturen aus QFT, höherer Ordnungen, Strahlungskorrektur
9. Passt mit Unsicherheiten zu Exp. (nicht auf Folie)
10. $\Gamma_e/\Gamma_{\text{tot}} = 3,37\%$ passt auch zu Exp.

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}
 \Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\
 &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\
 &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu \\
 &= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

2018-11-27

Z0 Resonanz

- └ Experimentelle Untersuchung
 - └ Neutrino-generationen
 - └ Neutrino-generationen

Neutrino-generationen
Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}
 \Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\
 &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\
 &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu \\
 &= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

1. $\Gamma_f = \frac{G_F M_Z^3}{24\sqrt{2}\pi} \cdot (1 + (1 - e|Q_f| \sin^2 \theta_W)^2)$
2. G_F Fermikonstante
3. Q_f Ladung des Fermions
4. Lep: e^\pm, μ^\pm, τ^\pm
5. Had: u,c= 2/3; d,s,b=-1/3
6. Neutrinos
7. kein top-Quark weil nicht genug Energie aus Z^0 ($\approx 175 \text{ GeV}$)
8. Korrekturen aus QFT, höherer Ordnungen, Strahlungskorrektur
9. Passt mit Unsicherheiten zu Exp. (nicht auf Folie)
10. $\Gamma_e/\Gamma_{\text{tot}} = 3,37\%$ passt auch zu Exp.

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}
 \Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\
 &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\
 &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu \\
 &= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV} \\
 &= 2,42 \text{ GeV}
 \end{aligned}$$

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz

- └ Experimentelle Untersuchung
 - └ Neutrino-generationen
 - └ Neutrino-generationen

1. $\Gamma_f = \frac{G_F M_Z^3}{24\sqrt{2}\pi} \cdot (1 + (1 - e|Q_f| \sin^2 \theta_W)^2)$
2. G_F Fermikonstante
3. Q_f Ladung des Fermions
4. Lep: e^\pm, μ^\pm, τ^\pm
5. Had: $u, c = 2/3$; $d, s, b = -1/3$
6. Neutrinos
7. kein top-Quark weil nicht genug Energie aus Z^0 ($\approx 175 \text{ GeV}$)
8. Korrekturen aus QFT, höherer Ordnungen, Strahlungskorrektur
9. Passt mit Unsicherheiten zu Exp. (nicht auf Folie)
10. $\Gamma_e / \Gamma_{\text{tot}} = 3,37\%$ passt auch zu Exp.

Neutrino-generationen
Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}
 \Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\
 &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\
 &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu \\
 &= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV} \\
 &= 2,42 \text{ GeV}
 \end{aligned}$$

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}
 \Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\
 &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\
 &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu \\
 &= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV} \\
 &= 2,42 \text{ GeV} \\
 &\xrightarrow[\text{korrektur}]{\text{Strahlungs-}} 2,497 \text{ GeV}
 \end{aligned}$$

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz
 └ Experimentelle Untersuchung
 └ Neutrino-generationen
 └ Neutrino-generationen

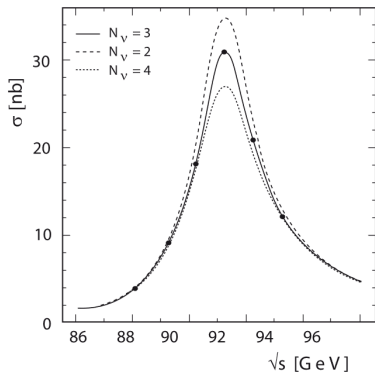
Neutrino-generationen
 Zerfallsbreite

$$\begin{aligned}
 \Gamma_Z &= \sum_f \Gamma_{Z \rightarrow f\bar{f}} \\
 &= \Gamma_{\text{Had}} + \Gamma_{\text{Lep}} + \Gamma_\nu \\
 &= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_\nu \\
 &= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV} \\
 &= 2,42 \text{ GeV} \\
 &\xrightarrow[\text{korrektur}]{\text{Strahlungs-}} 2,497 \text{ GeV}
 \end{aligned}$$

1. $\Gamma_f = \frac{G_F M_Z^3}{24\sqrt{2}\pi} \cdot (1 + (1 - e|Q_f| \sin^2 \theta_W)^2)$
2. G_F Fermikonstante
3. Q_f Ladung des Fermions
4. Lep: e^\pm, μ^\pm, τ^\pm
5. Had: u,c= 2/3; d,s,b=-1/3
6. Neutrinos
7. kein top-Quark weil nicht genug Energie aus Z^0 ($\approx 175 \text{ GeV}$)
8. Korrekturen aus QFT, höherer Ordnungen, Strahlungskorrektur
9. Passt mit Unsicherheiten zu Exp. (nicht auf Folie)
10. $\Gamma_e/\Gamma_{\text{tot}} = 3,37\%$ passt auch zu Exp.

Neutrino-Generationen

Z0 Resonanz



Wirkungsquerschnitt $e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen}$ [4]

2018-11-27

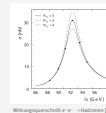
Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Neutrino-Generationen

Neutrino-Generationen

Neutrino-Generationen



1. Cern Experiment
2. Schwerpunkt energie gegen Wirkungsquerschnitt
3. Ähnlich der Breit Wigner Funktion aber nicht passend symmetrisch durch Korrekturen höherer Ordnung und Bremsstrahlung durch e^-
4. Verschiedene Anzahl-Neutrino-Generationen-Kurven
5. 3 Neutrino-Generationen \rightarrow 3 Leptonen 3 Quarks Generationen

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Neutrino-generationen

- ▶ Weinbergwinkel $\cos \theta_W \approx 0.88$
- ▶ Zerfallsbreite $\Gamma_Z \approx 2,4 \text{ GeV}$
- ▶ 3 Neutrino-generation

Z0 Resonanz

2018-11-27

Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung


└ Neutrino-generationen


Neutrino-generationen

- ▶ Weinbergwinkel $\cos \theta_W \approx 0.88$
- ▶ Zerfallsbreite $\Gamma_Z \approx 2,4 \text{ GeV}$
- ▶ 3 Neutrino-generation





1. Weinbergwinkel Massenverhältniss W,Z Boson

Quellen I

 Sheldon Glashow, Abdus Salam and Steven Weinberg. URL: <http://thescientificodyssey.libsyn.com/episode-225-putting-the-puzzle-together> (besucht am 12.11.2018).

 F.J. Hasert u. a. „Search for elastic muon-neutrino electron scattering“. In: Physics Letters B 46.1 (1973), S. 121–124. ISSN: 0370-2693. DOI: [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(73\)90494-2](https://doi.org/10.1016/0370-2693(73)90494-2). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0370269373904942>.

Quellen II

-  Standardmodell. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell> (besucht am 12.11.2018).
-  Povh et al. Teilchen und Kerne. Springer Spektrum, 2014. Kap. 12.
-  Beta-Decay. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Betastrahlung> (besucht am 12.11.2018).
-  Donald H. Perkins. Introduction to High Energy Physics. Cambridge University Press, 2000.

Quellen II

-  Standardmodell. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell> (besucht am 12.11.2018).
-  Povh et al. Teilchen und Kerne. Springer Spektrum, 2014. Kap. 12.
-  Beta-Decay. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Betastrahlung> (besucht am 12.11.2018).
-  Donald H. Perkins. Introduction to High Energy Physics. Cambridge University Press, 2000.

Folien-Überschrift

Hier kommt Text!

Ein „normaler“ Block

Inhalt hier.

`itemize` und `enumerate`:

- ▶ Ein Punkt
 - ▶ Ein Unterpunkt
- ▶ Noch ein Punkt

1. Ein Punkt
 - 1.1 Ein Unterpunkt
2. Noch ein Punkt

Folien-Überschrift

- ▶ Ein Punkt
 - ▶ Ein Unterpunkt
- ▶ Noch ein Punkt

1. Ein Punkt
 - 1.1 Ein Unterpunkt
2. Noch ein Punkt

Ein Alert-Block

Ein Folien-Untertitel

Z0 Resonanz

Achtung!

Hier kommt Rot ins Spiel!

2018-11-27

Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung

└ Ein Alert-Block

Ein Alert-Block
Ein Folien-Untertitel

Achtung!

Hier kommt Rot ins Spiel!

Ein Example-Block

Z0 Resonanz

Beispiel

Hier kommt Grün ins Spiel!

2018-11-27

Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung

└ Ein Example-Block

Ein Example-Block

Beispiel

Hier kommt Grün ins Spiel!

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Habt ihr noch Fragen?

<https://www.uni-muenster.de/Physik.FSPHYS>