

Z0-Resonanz

Alexander Neuwirth



Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz
└─ Gliederung

└─ Gliederung

Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

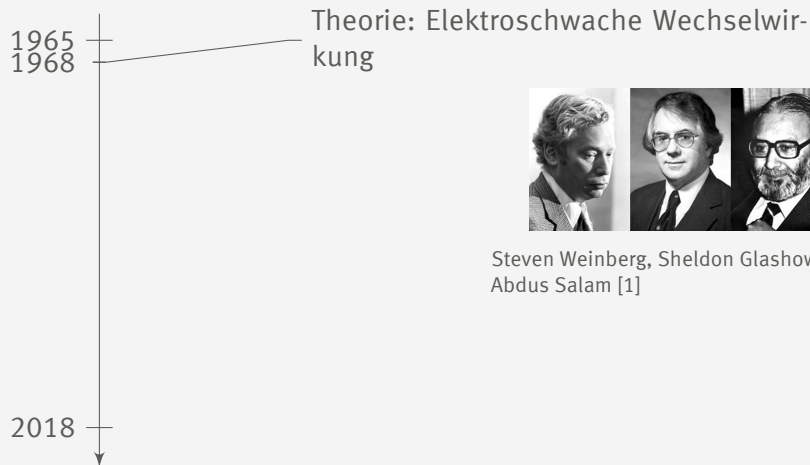
Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Historischer Überblick



Steven Weinberg, Sheldon Glashow und Abdus Salam [1]

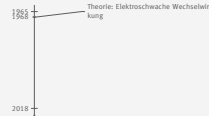
2018-11-29

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

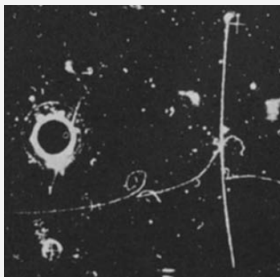
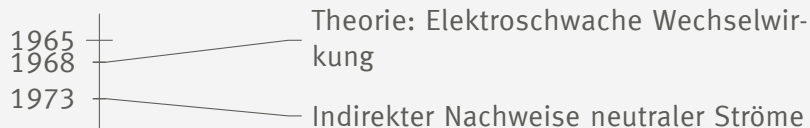
Historischer Überblick

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. Neutronstrahl durch bsplw. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$ und Ladungsfilter
4. CERN
5. Large Electron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000, gute Bestätigung des Standardmodells W,Z-Boson
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



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

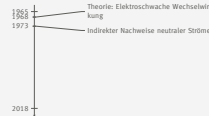
2018-11-29

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

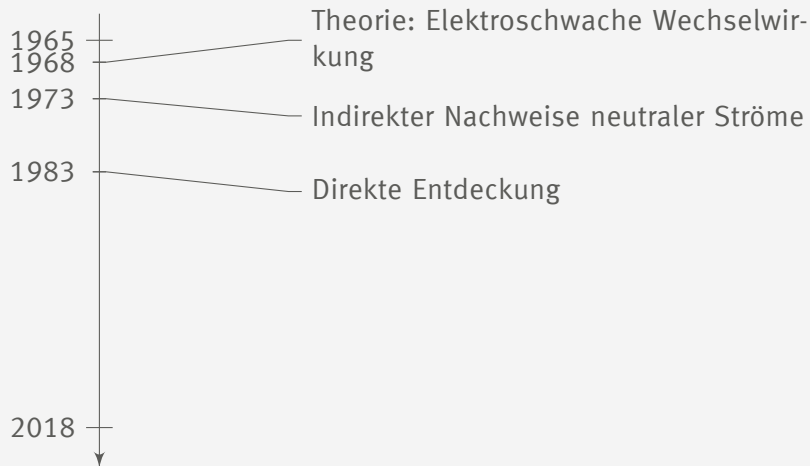
Historischer Überblick

Historischer Überblick



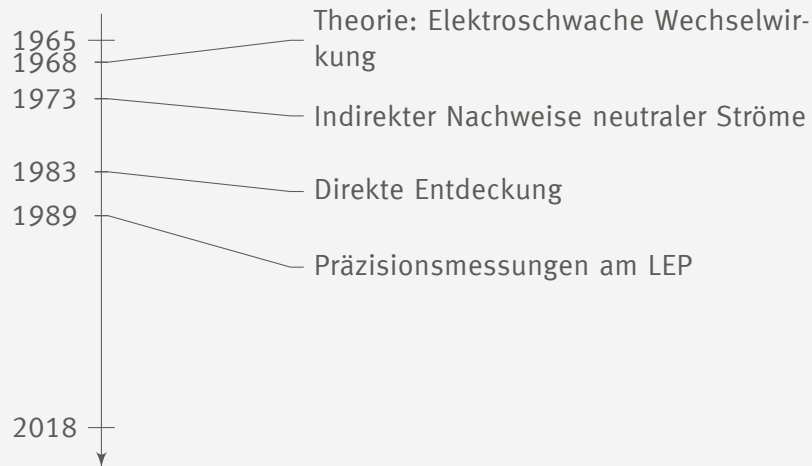
1. Vereinheitlichung von elektr. + schwache WW. Kräfteaustausch durch Photon, W^\pm , Z^0
2. 1979 Nobelpreis für GWS
3. Neutrale Ströme von links nach rechts Antineutrinostrahl in Blasenkammer. Photon nur bei elektr. Prozessen.(=> neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^- folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung. Neutronenstrahl durch bsplw. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$ und Ladungsfilter
4. CERN
5. Large Electron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000, gute Bestätigung des Standardmodells W,Z-Boson
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. (\Rightarrow neutraler Strom, Z) Anhand von Winkel und 1/3 Energie des e^- folgt Wechselwirkung durch neutrale Ströme. 700000 - Bilder überprüft. Spiral/Bremsstrahlung. Neutronenstrahl durch bsplw. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$ und Ladungsfilter
4. CERN
5. Large Electron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000, gute Bestätigung des Standardmodells W,Z-Boson
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



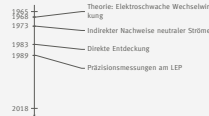
2018-11-29

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

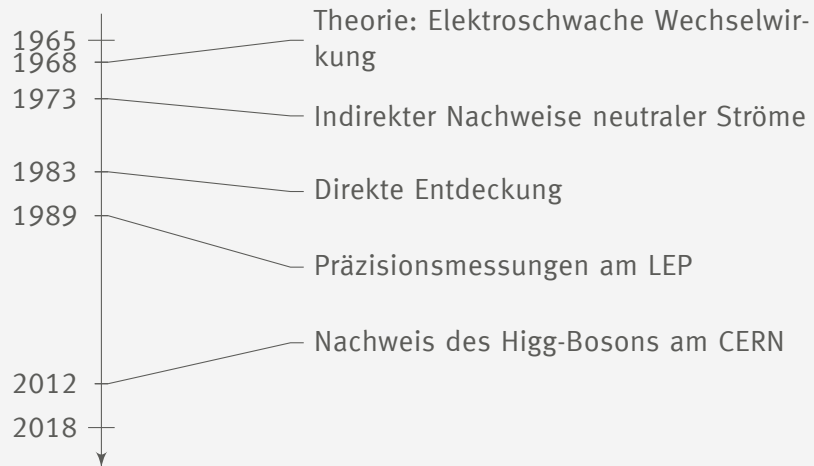
Historischer Überblick

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. Neutronstrahl durch bsplw. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$ und Ladungsfilter
4. CERN
5. Large Electron Positron Ring (CERN) Präzisionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000, gute Bestätigung des Standardmodells W,Z-Boson
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick



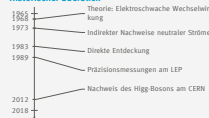
2018-11-29

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. Neutronenstrahl durch bsplw. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$ und Ladungsfilter
4. CERN
5. Large Electron Positron Ring (CERN) Präzessionsmessungen weiter Bestätigt bis 2000, gute Bestätigung des Standardmodells W,Z-Boson
6. 2013 Francois Englert und Peter Higgs Nobelpreis

Historischer Überblick

Theorie

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen
Elektroschwache Vereinheitlichung

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

2018-11-29

Z0 Resonanz
Theorie

Historischer Überblick

Theorie
Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen
Elektroschwache Vereinheitlichung

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	Photon
	4,8 MeV	95 MeV	4,18 GeV	125,09 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
	d down	s strange	b bottom	Higgs Boson
	<2 eV	<0,19 MeV	<18,2 MeV	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
	0	0	0	1
	ν_e Elektron- Neutrino	ν_μ Myon- Neutrino	ν_τ Tau- Neutrino	Z ⁰ 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

Standardmodell[3]

2018-11-29

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[±] => elek. Teilchen WW (beta Zerfall)
- Z⁰ => auch neutral Teilchen WW (Neutrino)
- eigenes Antiteilchen
- Higgs aus Vollständigkeit

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz
└ Theorie
└ Elektroschwache Vereinheitlichung
└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

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

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

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. Warum? Weil Divergenzen in höherer Ordnung/Energien auftreten
3. Vereint QED mit schwacher WW.
4. Kräfte durch Austauschteilchen
5. W,Z bsplw. Beta-Zerfall, Gluon Kernzusammenhalt, Farbladung, 8 (n-p-Anziehung)
6. (Higgs)
7. ?schwere Austauschteilchen ⇒ geringe Stärke der WW. (Graviton schwerer als Higgs)?
8. (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]

2018-11-29

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)
- Chiralität Index R/L formal: Zerlegung von Dirac-Spinoren in orthogonale Zustände die unter Paritätsoperationen ineinander übergehen. Eigenzustände ± 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]

2018-11-29

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)
- Chiralität Index R/L formal: Zerlegung von Dirac-Spinoren in orthogonale Zustände die unter Paritätsoperationen ineinander übergehen. Eigenzustände ± 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
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]

2018-11-29

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)
- Chiralität Index R/L formal: Zerlegung von Dirac-Spinoren in orthogonale Zustände die unter Paritätsoperationen ineinander übergehen. Eigenzustände ± 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	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	$\begin{matrix} +1/2 \\ -1/2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ -1 \end{matrix}$
	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	$\begin{matrix} +1/2 \\ -1/2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} +2/3 \\ -1/3 \end{matrix}$
	u_R	c_R	t_R	0	0	+2/3
	d_R	s_R	b_R	0	0	-1/3

Schwacher Isospin[4]

2018-11-29

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Schwacher Isospin

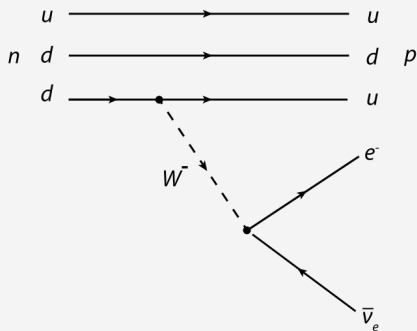
	Fermionmultipletts			T	T_3	z_f
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2	$\begin{matrix} +1/2 \\ -1/2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ -1 \end{matrix}$
	e_R	μ_R	τ_R	0	0	-1
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	1/2	$\begin{matrix} +1/2 \\ -1/2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} +2/3 \\ -1/3 \end{matrix}$
	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)
- Chiralität Index R/L formal: Zerlegung von Dirac-Spinoren in orthogonale Zustände die unter Paritätsoperationen ineinander übergehen. Eigenzustände ± 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]

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

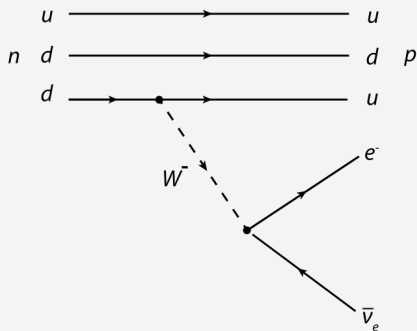
└ Elektroschwache Vereinheitlichung

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]

2018-11-29

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

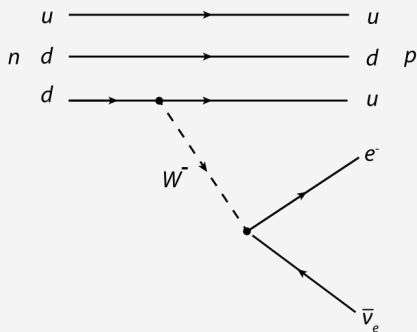
8. Mehr zum Beta-Zerfall nächste Woche (+Paritätsverletzung)

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben

► $W^-: T_3 = -1$



β -Zerfall[5]

2018-11-29

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?

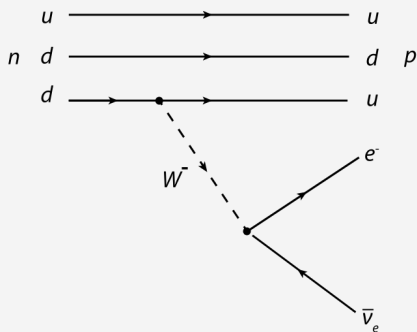
7. B^0 postuliert

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]

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

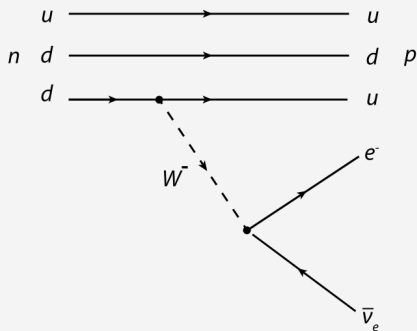
- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$
- ▶ $W^+: T_3 = 1$

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]

2018-11-29

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

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

2018-11-29

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 => Kopplungskonstante
5. experimentelle Bestimmung, später mehr

Elektroschwache Vereinheitlichung

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

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

2018-11-29

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 => Kopplungskonstante
5. experimentelle Bestimmung, später mehr

Elektroschwache Vereinheitlichung

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

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

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

2018-11-29

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

2018-11-29

Z0 Resonanz
└ Experimentelle Untersuchung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

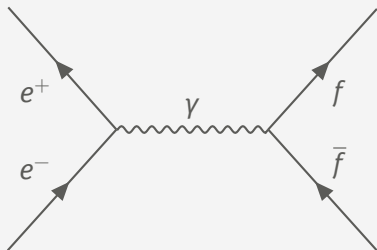
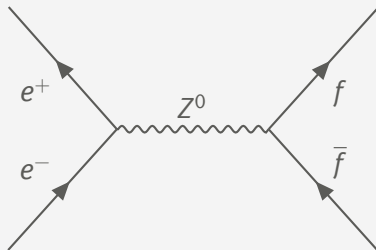
Erzeugung

Nachweis

Eigenschaften

Neutrino-generationen

Zusammenfassung


 e^+e^- -Vernichtung über γ [6]

 e^+e^- -Vernichtung über Z^0 [6]

2018-11-29

Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Erzeugung

Erzeugung

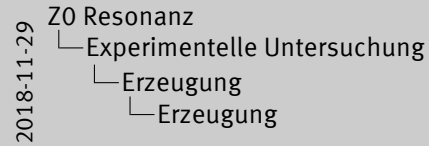


- W/Z-Boson durch Antilepton+Lepton/AntiQuark+Quark Reaktion
- kollidierende Teilchenstrahlen
- feynman diagram
- Zeit nach rechts
- Antiteilchen Zeitlich invers (Aus Dirac-Gleichung (Schrödinger Gleichung mit eingesetzter Impuls/Energie Relation wirkt auf vier komponentigen Dirac Spinor) ergeben sich positive und negative Lösungen für die Energie) (bzw. Klein Gordon Gleichung (entkoppelt)) nach Stückelberg-Feynman-Interpretation, bsplw. E-Feld e^- vs e^+ mit anderer Richtung ist gleich. (Dirac sagte Antiteilchen vorher/definierte, wobei negative Energien besetzt sind und Löcher sich ausbreiten basierend auf Pauli-Ausschlussprinzip, da Bosonen nicht gehorchen \Rightarrow reverse Zeit Interpretation)
- über Z zu Fermion und Antifermion paar.
- 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

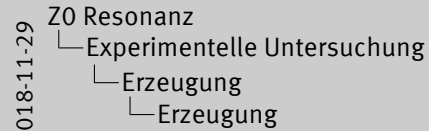
► Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$

1. 1989 am Stanford Linear Collider und LEP
2. Energie muss in Quarks enthalten sein → sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d) ⇒ e-e+ Kollision einfacher
3. 1996 am LEP, 50 → 86 → 104,6 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



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 und LEP
2. Energie muss in Quarks enthalten sein \rightarrow sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d) \Rightarrow e-e+ Kollision einfacher
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

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Erzeugung

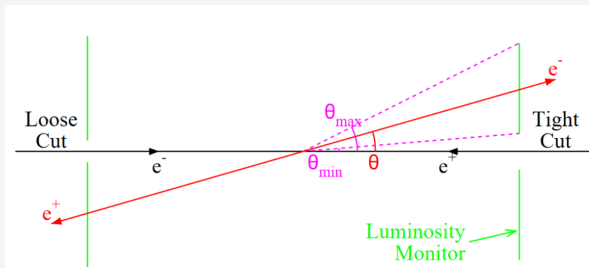
└ Erzeugung

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 und LEP
2. Energie muss in Quarks enthalten sein \rightarrow sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d) \Rightarrow e-e+ Kollision einfacher
3. 1996 am LEP, $50 \rightarrow 86 \rightarrow 104,6 \text{ GeV}$

$$\dot{N}_f = \sigma_f \mathcal{L}$$

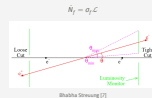


Bhabha Streuung [7]

2018-11-29

Z0 Resonanz
└ Experimentelle Untersuchung
└ Erzeugung
└ Erzeugung

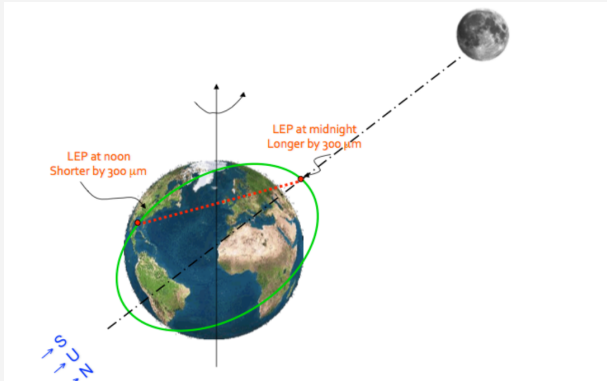
Erzeugung
Luminosität



1. Luminosität hängt von Beschleuniger ab
2. sigma ist gesucht
3. N sind Anzahl Teilchen bei Reaktion
4. eig. noch Fehler korrektur mit Akzeptanzraten und Effizienzen
5. Wirkungsquerschnitt für Bhabha-Streuung $ee \rightarrow ee$ reine QED ziemlich genau bekannt (Kamera am detektor?)

Erzeugung

Einfluss durch Gezeiten



LEP Ausdehnung[8]

Z0 Resonanz

2018-11-29

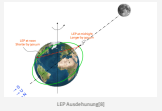
Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Erzeugung

Erzeugung
Einfluss durch Gezeiten



1. weiter Effekt
2. Energie schwankt im Tagesverlauf
3. Resonante Depolarisation
4. Größe primär relevant für Energie (+Synchrotronstrahlung)

Erzeugung

Einfluss durch Gezeiten

Z0 Resonanz

2018-11-29

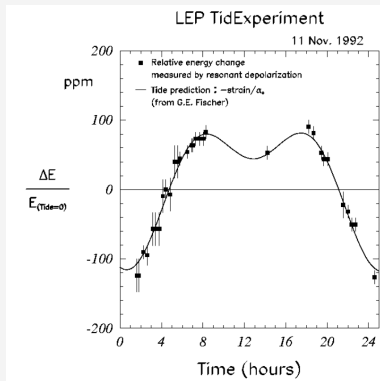
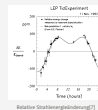
Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Erzeugung

Erzeugung
Einfluss durch Gezeiten

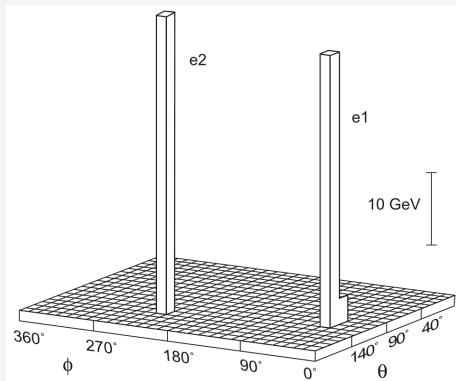


Relative Strahlenergieänderung[7]

1. weiter Effekt
2. Energie schwankt im Tagesverlauf
3. REsonante depolarisation
4. Größe primär relevant für Energie (+Synchrotron strahlung)

Nachweis

1983 am CERN



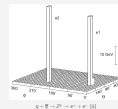
$$q + \bar{q} \rightarrow Z^0 \rightarrow e^+ + e^- [4]$$

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz
└ Experimentelle Untersuchung
└ Nachweis
└ Nachweis

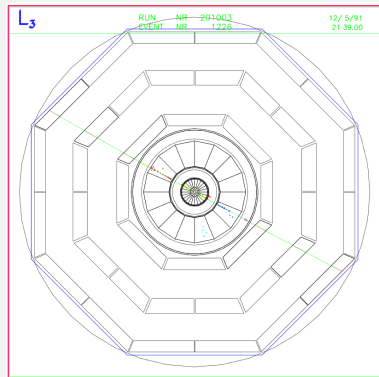
Nachweis
1983 am CERN



- Plane unten sind Kalorimeterzellen
- Energie Summe = Masse Z^0
- Beispiel Event einer Messung
- Winkel $180^\circ \Rightarrow$ entgegen gesetzte Richtungen
- ?Woher sicher, dass Z^0 Zerfall?

Nachweis

1993 am LEP/CERN



$$e^- + e^- \rightarrow Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^- [7]$$

Z⁰ Resonanz

2018-11-29

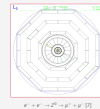
Z⁰ Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Nachweis

└ Nachweis

Nachweis
1993 am LEP/CERN



- L3 detector LEP
- Beispiel Muon
- Winkel 180° => entgegen gesetzte Richtungen
- ?Woher sicher, dass Z⁰ Zerfall?

Eigenschaften

Experimentelle Bestimmung

► Messung:

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

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) %

2018-11-29

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

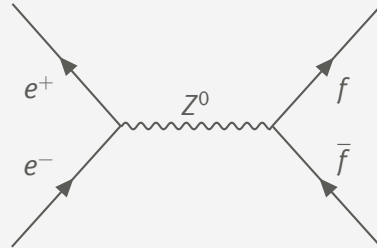
4. Anti+Neutrino schwer detektierbar \Rightarrow % über Γ_{tot}

5. totale Breite = alle Zerfälle Anti+Fermion???

Neutrino-generationen

Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_f = \frac{12\pi \cdot \Gamma_f \cdot \Gamma_e}{(s - M_Z^2)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2}$$



2018-11-29

Z0 Resonanz

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

Neutrino-generationen
Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_f = \frac{12\pi \cdot \Gamma_f \cdot \Gamma_e}{(s - M_Z^2)^2 + M_Z^2 \Gamma_Z^2}$$

1. Formel für σ Breit-Wigner
2. Einheiten h und c multiplizieren
3. Abhängig von ...
4. γ unterdrückt

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

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 ($\approx 175 \text{ GeV}$)
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

2018-11-29

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 ($\approx 175 \text{ GeV}$)
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

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

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

$$= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_{\nu}$$

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Neutrino-generationen

└ Neutrino-generationen

Neutrino-generationen
Zerfallsbreite

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

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 ($\approx 175 \text{ GeV}$)
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

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

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

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

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

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

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

$$= N_C \cdot 2 \cdot \Gamma_u + N_C \cdot 3 \cdot \Gamma_d + 3 \cdot \Gamma_e + 3 \cdot \Gamma_{\nu}$$

$$= 3 \cdot 2 \cdot 94,9 \text{ MeV} + 3 \cdot 3 \cdot 122,4 \text{ MeV} + 3 \cdot 83,3 \text{ MeV} + 3 \cdot 165,8 \text{ MeV}$$

$$= 2,42 \text{ GeV}$$

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Neutrino-generationen

└ Neutrino-generationen

Neutrino-generationen

Zerfallsbreite

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

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

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

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

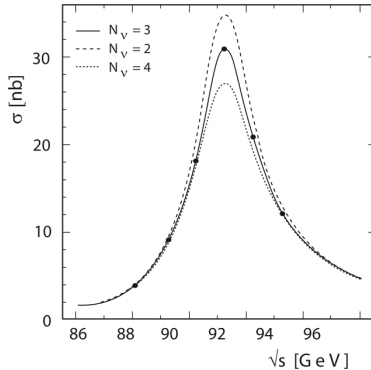
Neutrino-generationen
 Zerfallsbreite

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

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



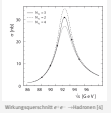
Wirkungsquerschnitt $e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen}$ [4]

2018-11-29

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
Zusammenfassung

2018-11-29 Z0 Resonanz
Zusammenfassung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung
Zusammenfassung

Zusammenfassung

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

Z0 Resonanz

2018-11-29

Z0 Resonanz

└ Zusammenfassung

└ Zusammenfassung


└ Zusammenfassung


Zusammenfassung

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

1. Weinbergwinkel Massenverhältniss W,Z Boson
2. Zerfallsbreite aus QFT großer Erfolg in Übereinstimmung mit Experiment
3. Bestätigung, dass es 3 Neutrinogenerationen gibt
4. Weiterführend Große Vereinheitlichung Analog ab $10^{16} \text{ GeV} \Rightarrow$ keine Differenzierung Fermionen, Quarks und Leptonen. (Astrovorträge, Universumentwicklungsröhre)
5. Noch Weiterführend Quantengravitation kombiniert mit GUT

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>.





2018-11-29

- Z0 Resonanz
 - Zusammenfassung
 - Zusammenfassung
 - Quellen

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.


2018-11-29


Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung
 └ Zusammenfassung
 └ Quellen

Quellen II

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

Quellen III



 Versuch Z0-Resonanz. URL: https://www.physik.hu-berlin.de/de/eephys/teaching/lab/z0resonance/index_html (besucht am 25.11.2018).

 How is the beam energy calibrated through the resonant spin depolarization? URL: <http://tlep.web.cern.ch/content/how-beam-energy-calibrated-through-resonant-spin-depolarization> (besucht am 29.11.2018).

2018-11-29

- Z0 Resonanz
 - Zusammenfassung
 - Zusammenfassung
 - Quellen

Quellen III

-  Versuch Z0-Resonanz, URL: https://www.physik.hu-berlin.de/de/eephys/teaching/lab/z0resonance/index_html (besucht am 25.11.2018).
-  How is the beam energy calibrated through the resonant spin depolarization? URL: <http://tlep.web.cern.ch/content/how-beam-energy-calibrated-through-resonant-spin-depolarization> (besucht am 29.11.2018).

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Fragen?

2018-11-29

Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung
└ Zusammenfassung

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Fragen?