

Z0-Resonanz

Alexander Neuwirth



Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Z0 Resonanz

2018-11-25

Z0 Resonanz
└─ Gliederung

└─ Gliederung

Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

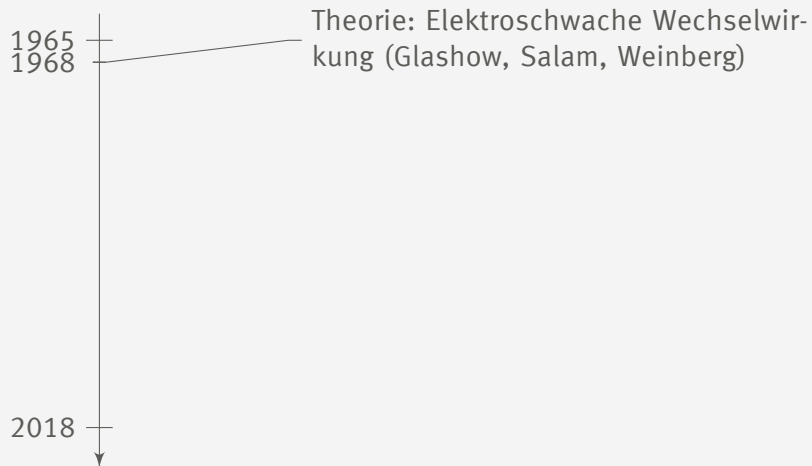
Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Historischer Überblick



2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Historischer Überblick

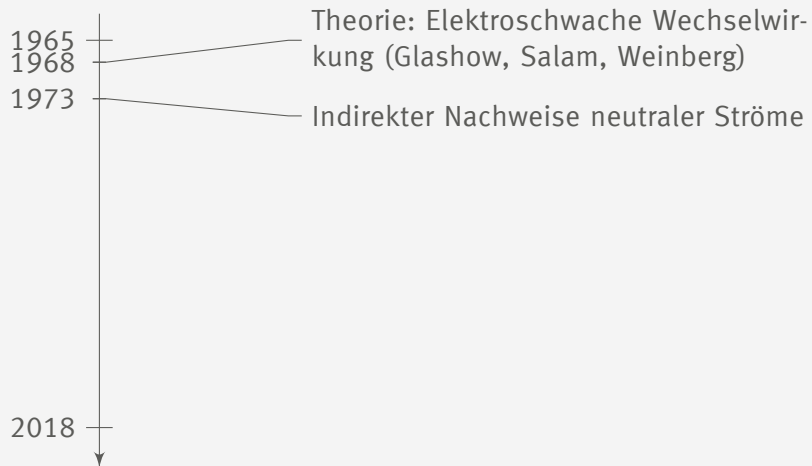
└ Historischer Überblick

1. LEP bis 200

Historischer Überblick



Historischer Überblick



2018-11-25

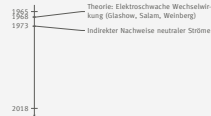
Z0 Resonanz

└ Historischer Überblick

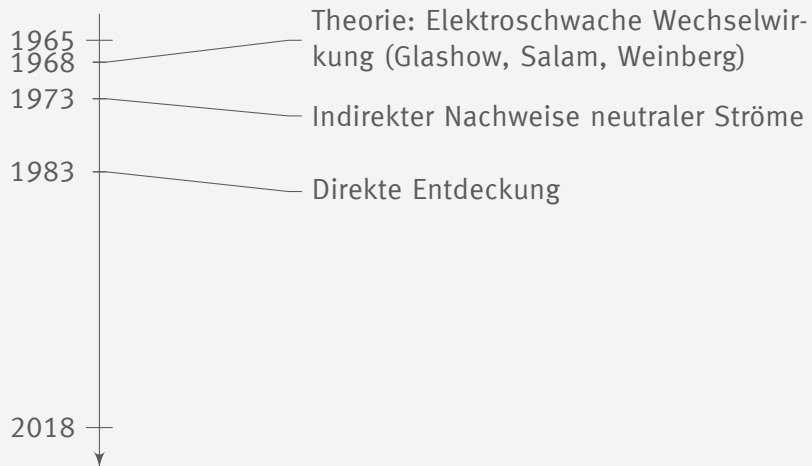
└ Historischer Überblick

1. LEP bis 200

Historischer Überblick



Historischer Überblick



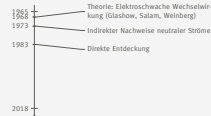
2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Historischer Überblick

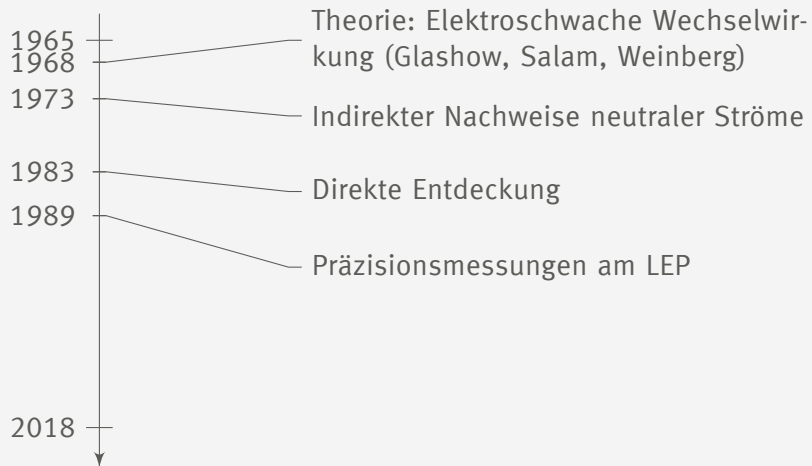
└ Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. LEP bis 200

Historischer Überblick



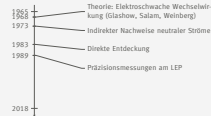
2018-11-25

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. LEP bis 200

Historischer Überblick

Theorie

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen
Elektroschwache Vereinheitlichung
Zerfallsbreite

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

2018-11-25

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	Photon
	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
	<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	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^\pm W Boson

Standardmodell[5]

2018-11-25

Z0 Resonanz

Theorie

Einordnung im Standardmodell der
Elementarteilchen

Einordnung im Standardmodell der
Elementarteilchen

Einordnung im Standardmodell der Elementarteilchen



- Eichboson und Elementarteilchen
- schwache WW
- eigenes Antiteilchen
- $W^\pm \Rightarrow$ elek. Teilchen WW (beta Zerfall)
- $Z^0 \Rightarrow$ auch neutral Teilchen WW (Neutrino)

Elektroschwache Vereinheitlichung



Steven Weinberg, Sheldon Glashow und Abdus Salam[4]



more

Z0 Resonanz

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

- Zusammenfassung schwache + elektrom. WW
- Steven Weinberg, Sheldon Glashow und Abdus Salam
- 1979 Nobelpreis

Elektroschwache Vereinheitlichung



Steven Weinberg, Sheldon Glashow und Abdus Salam[4]

▶ more

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

1. Kräfte durch Austauschteilchen
2. Higgs
3. experimentelle Bestimmung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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

Z0 Resonanz

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

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

1. Kräfte durch Austauschteilchen
2. Higgs
3. experimentelle Bestimmung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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

Z0 Resonanz

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

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

1. Kräfte durch Austauschteilchen
2. Higgs
3. 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[1]

2018-11-25

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[1]

- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- analogon zu starkem Isospin
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

Z0 Resonanz

2018-11-25

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[1]

	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[1]

- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- analogon zu starkem Isospin
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

Z0 Resonanz

2018-11-25

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[1]

	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[1]

- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- analogon zu starkem Isospin
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt

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[1]

2018-11-25

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Schwacher Isospin

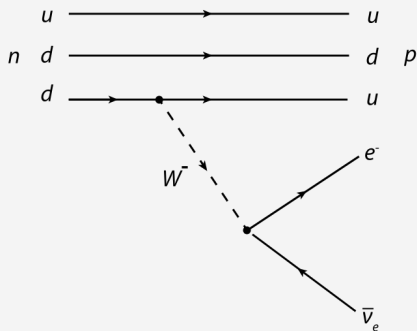
	Fermionmultipletts			T	T_3	z_f
Leptonen	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	1/2	+1/2 -1/2	0 -1
	e_R	μ_R	τ_R	0	0	-1
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$	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[1]

- Chiralität (l/r), Spinor Symmetrie
- analogon zu starkem Isospin
- Rechtshändige Neutrinos $T_3 = z = 0$, keine WW, Auftreten in Natur unbekannt

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen



β -Zerfall[2]

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

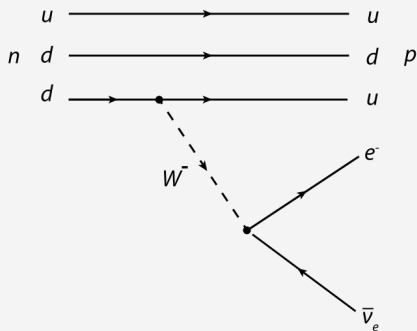
Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

1. Bekannt aus schwacher WW
2. Wieso $T=1$
3. B^0 postuliert

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben



β -Zerfall[2]

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

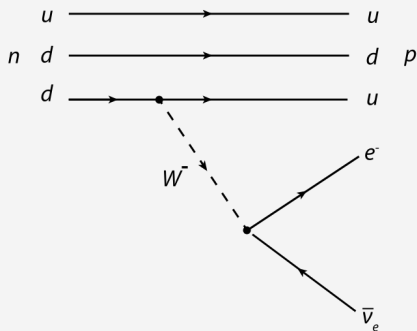
└ Elektroschwache Vereinheitlichung

1. Bekannt aus schwacher WW
2. Wieso $T=1$
3. B^0 postuliert

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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



β -Zerfall[2]

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

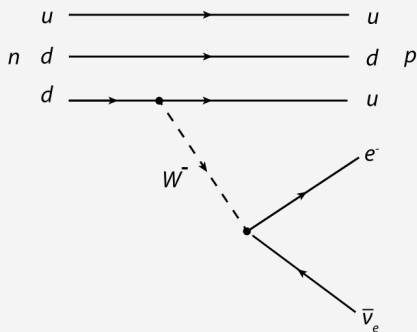
- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$

1. Bekannt aus schwacher WW
2. Wieso $T=1$
3. B^0 postuliert

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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



β -Zerfall[2]

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

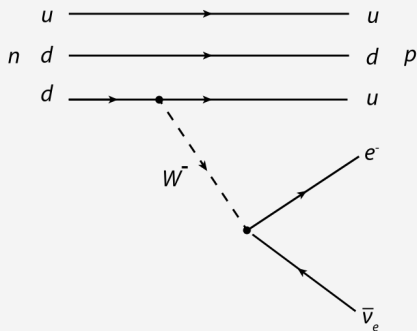
- ▶ T_3 soll erhalten bleiben
- ▶ $W^-: T_3 = -1$
- ▶ $W^+: T_3 = 1$

1. Bekannt aus schwacher WW
2. Wieso $T=1$
3. B^0 postuliert

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[2]

2018-11-25

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. Wieso $T=1$
3. B^0 postuliert

Elektroschwache Vereinheitlichung



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

2018-11-25

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. orthogonal + linear Kombination
3. experimentelle Bestimmung
4. Kopplungskonstanten relevant?

Elektroschwache Vereinheitlichung

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

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

2018-11-25

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. orthogonal + linear Kombination
3. experimentelle Bestimmung
4. Kopplungskonstanten relevant?

Elektroschwache Vereinheitlichung

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

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

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

2018-11-25

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. orthogonal + linear Kombination
3. experimentelle Bestimmung
4. Kopplungskonstanten relevant?

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Nachweis

Eigenschaften

Neutrino-generationen

Zusammenfassung

2018-11-25

Z0 Resonanz
└ Experimentelle Untersuchung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

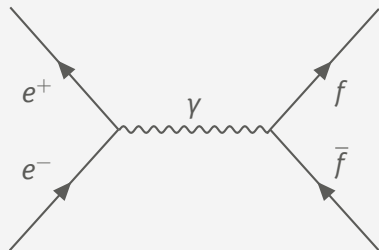
Erzeugung

Nachweis

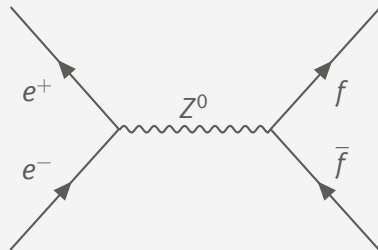
Eigenschaften

Neutrino-generationen

Zusammenfassung



e^+e^- -Vernichtung über γ [3]



e^+e^- -Vernichtung über Z^0 [3]

2018-11-25

Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

Erzeugung

Erzeugung

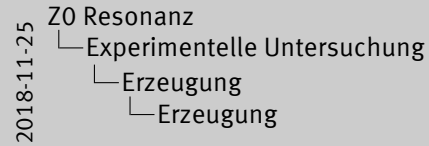


- Allg. W/Z-Boson durch Anti+Lepton/Anti-Quark Reaktion
- kollidierende Teilchenstrahlen
- feynman diagram
- bei passender Energie approx M_Z dominiert Z^0 , aus QFT+Feynmanregeln

Erzeugung

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

Z0 Resonanz



Erzeugung

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

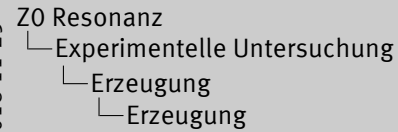
1. 1989 am Stanford Linear Collider
2. Energie muss in Quarks enthalten sein → sehr viel mehr Energie auf Protonen (analog mit d)
3. 1996 am LEP, $50 \rightarrow 86 \rightarrow 104,6 \text{ GeV}$

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

2018-11-25



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 \rightarrow 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

2018-11-25

Z0 Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Erzeugung

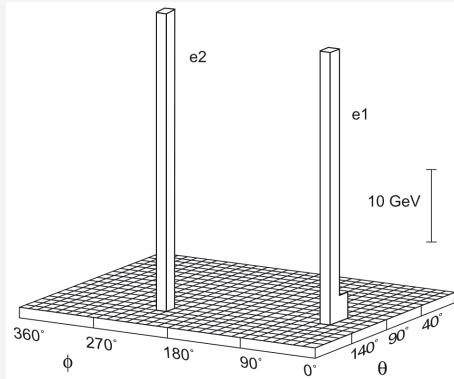
└ Erzeugung

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



$$q + \bar{q} \rightarrow Z^0 \rightarrow e^+ + e^- [1]$$

Z0 Resonanz

2018-11-25

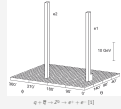
Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Nachweis

Nachweis

Nachweis
1983 am CERN



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

Eigenschaften

Experimentelle Bestimmung

► Messung:

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

2018-11-25

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:

$$Z^0 \rightarrow e^+ + e^- \quad 3,363(4) \%$$

$$\mu^+ + \mu^- \quad 3,366(7) \%$$

$$\tau^+ + \tau^- \quad 3,370(8) \%$$

$$\nu_{e,\mu,\tau}^+ + \bar{\nu}_{e,\mu,\tau} \quad 20,0(6) \%$$

$$\text{Hadronen} \quad 69,91(6) \%$$

2018-11-25

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???

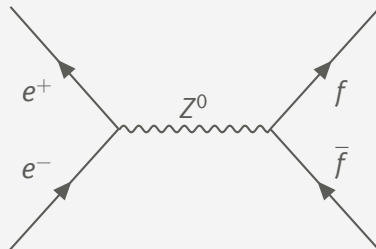
Neutrino-generationen

Wirkungsquerschnitt

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

mit

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



2018-11-25

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

2018-11-25

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 (≈ 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

2018-11-25

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 (≈ 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

2018-11-25

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 (≈ 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

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

2018-11-25

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

2018-11-25

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

2018-11-25

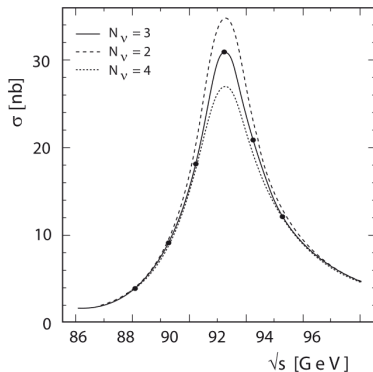
Z0 Resonanz
 └ Experimentelle Untersuchung
 └ Neutrino-generationen
 └ Neutrino-generationen

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

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

Neutrino-Generationen



Wirkungsquerschnitt $e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen}$ [1]

Z0 Resonanz

2018-11-25

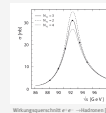
Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

Neutrino-Generationen

Neutrino-Generationen

Neutrino-Generationen



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

2018-11-25

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

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

Quellen I

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

Quellen II

Z0 Resonanz

 Standardmodell. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell> (besucht am
12.11.2018).

2018-11-25 Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung
└ Quellen

Quellen II

 Standardmodell. um:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell> (besucht am
12.11.2018).

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

2018-11-25

Z0 Resonanz
└ Zusammenfassung

└ Folien-Überschrift

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

Ein Alert-Block

Ein Folien-Untertitel

Z0 Resonanz

Achtung!

Hier kommt Rot ins Spiel!

2018-11-25

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!

2018-11-25

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>