

Z0-Resonanz

Alexander Neuwirth



Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

Z0 Resonanz

2018-11-12 Z0 Resonanz
└─ Gliederung
└─ Gliederung

Gliederung

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

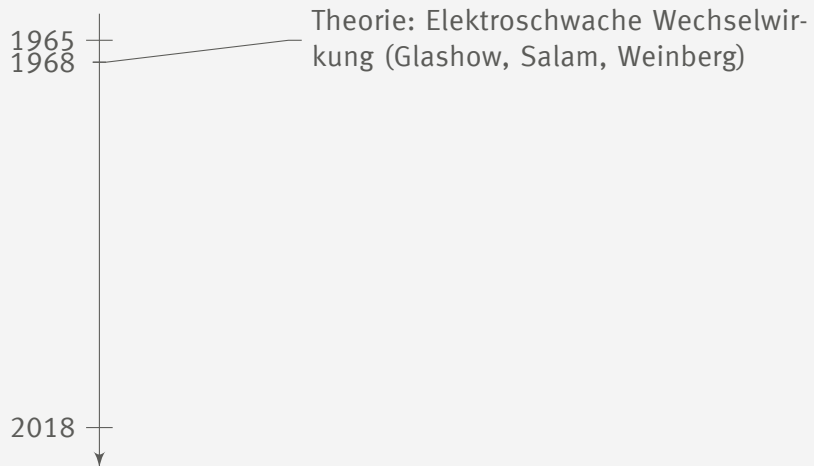
Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

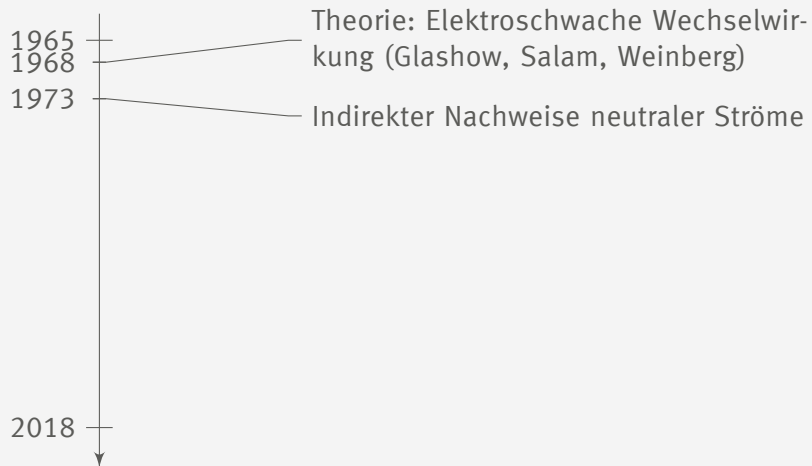
Zusammenfassung

Historischer Überblick

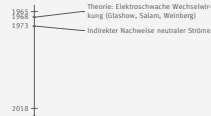


1. LEP bis 200

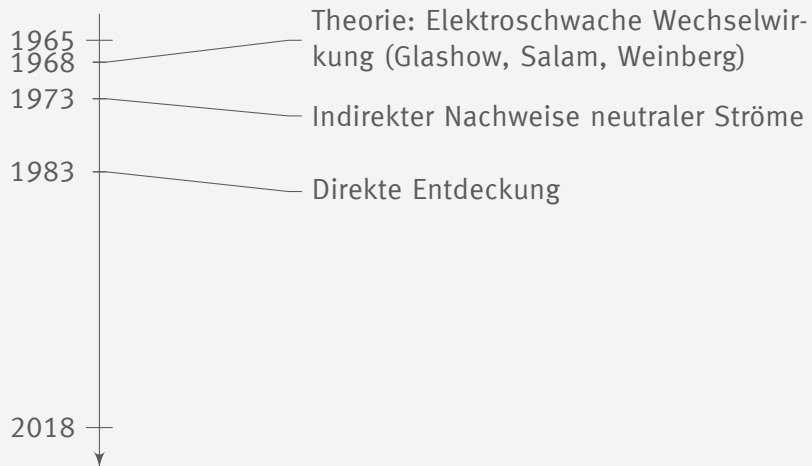
Historischer Überblick



1. LEP bis 200



Historischer Überblick



2018-11-12

Z0 Resonanz

Historischer Überblick

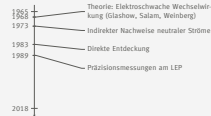
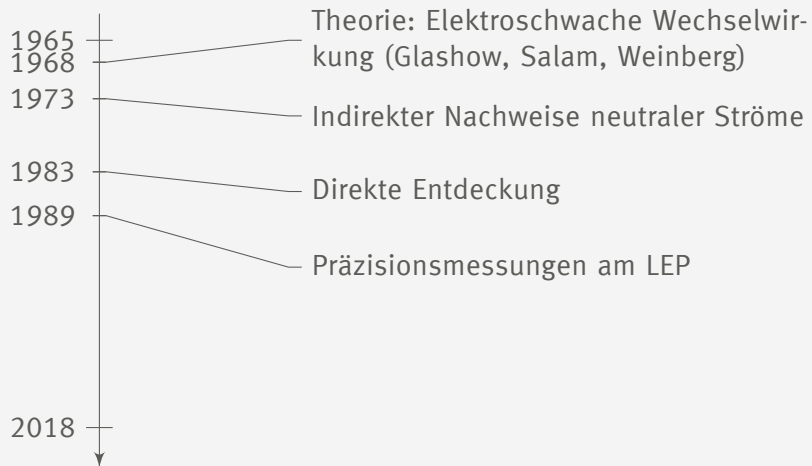
Historischer Überblick

Historischer Überblick



1. LEP bis 200

Historischer Überblick



1. LEP bis 200

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
	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[4]

2018-11-12

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[3]



more

Z0 Resonanz

2018-11-12

Z0 Resonanz

└ Theorie

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung



Steven Weinberg, Sheldon Glashow und Abdus Salam[3]

▶ more

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► Photon → elektromagnetische Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-12

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

2018-11-12

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 \rightarrow elektromagnetische Wechselwirkung
- ▶ W,Z-Boson \rightarrow schwache Wechselwirkung
- ▶ Gluon \rightarrow starke Wechselwirkung

Z0 Resonanz

2018-11-12

Z0 Resonanz

└ Theorie

└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

└└└ Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung
Austauschteilchen

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

2018-11-12

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Schwacher Isospin

Z0 Resonanz

	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]

2018-11-12

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]

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]

2018-11-12

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]

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[1]

2018-11-12

Z0 Resonanz

Theorie

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

Elektroschwache Vereinheitlichung

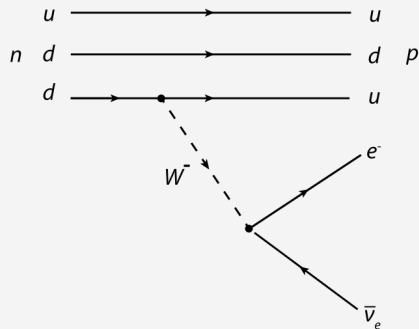
Schwacher Isospin

	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]

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen



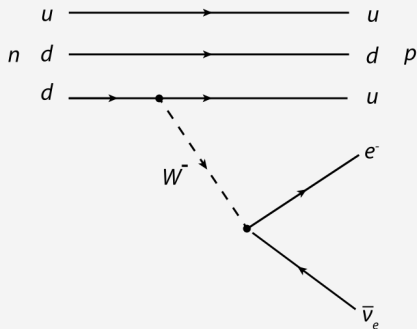
β -Zerfall[2]

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

► T_3 soll erhalten bleiben



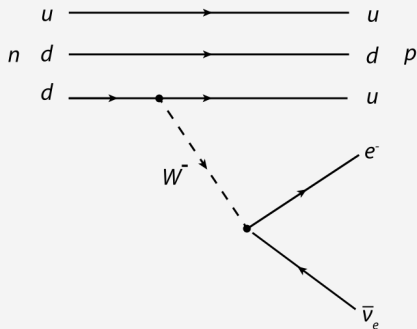
β -Zerfall[2]

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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



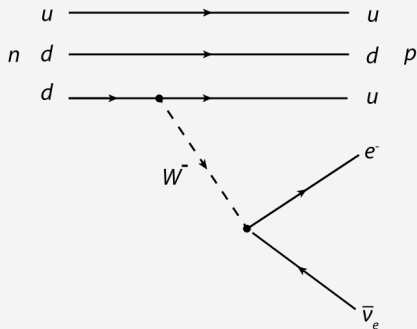
β -Zerfall[2]

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

Austauschteilchen

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



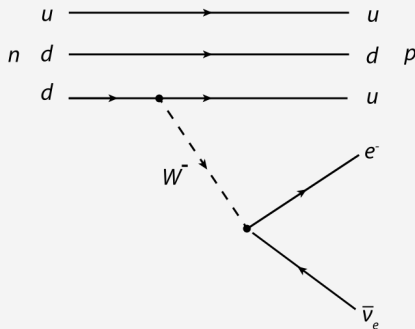
β -Zerfall[2]

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]

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

Elektroschwache Vereinheitlichung



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

Z0 Resonanz

2018-11-12

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

Elektroschwache Vereinheitlichung

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

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

2018-11-12

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

Historischer Überblick

Theorie

Experimentelle Untersuchung

Erzeugung

LEP am CERN

Zusammenfassung

2018-11-12

Z0 Resonanz

Experimentelle Untersuchung

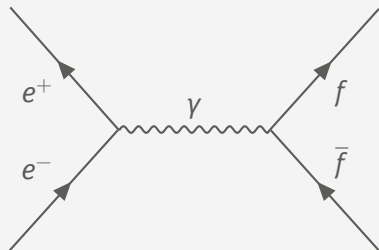
Historischer Überblick

Theorie

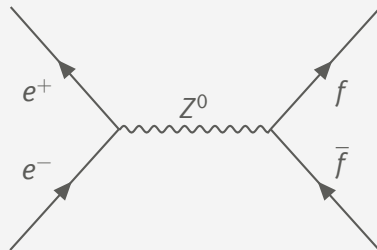
Experimentelle Untersuchung

Erzeugung
LEP am CERN

Zusammenfassung



e^+e^- -Vernichtung über γ [perkins]



e^+e^- -Vernichtung über Z^0 [perkins]

2018-11-12

Z⁰ Resonanz

└ Experimentelle Untersuchung

└ Erzeugung

└ Erzeugung

Erzeugung

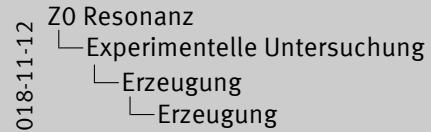


- feynman diagram
- bei passender Energie dominiert Z^0

Erzeugung

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

Z0 Resonanz



Erzeugung

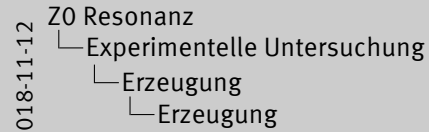
► Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$

1. 1989 am Stanford Linear Collider
2. 1996 am LEP

Erzeugung

Z0 Resonanz

- ▶ Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$
- ▶ $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$ benötigt $\sqrt{s} \geq 2M_W c^2 \approx 160,8 \text{ GeV}$



Erzeugung

- ▶ Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} = 2E_e \geq M_Z c^2 \approx 91,6 \text{ GeV}$
- ▶ $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$ benötigt $\sqrt{s} \geq 2M_W c^2 \approx 160,8 \text{ GeV}$

1. 1989 am Stanford Linear Collider
2. 1996 am LEP

Historischer Überblick

Theorie





Experimentelle Untersuchung

Zusammenfassung

- ▶ Weinberg winkel
- ▶ Zerfallsbreite
- ▶ Neutrino generation

1. WEinberg winkel aus ...
2. hihi3
3. hihi3

Quellen I

-  Povh et al. Teilchen und Kerne. Springer Spektrum, 2014.
-  Beta-Decay. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Betastrahlung> (besucht am 12.11.2018).
-  Sheldon Glashow, Abdus Salam and Steven Weinberg. URL:
<http://thescientificodyssey.libsyn.com/episode-225-putting-the-puzzle-together> (besucht am 12.11.2018).
-  Standardmodel. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell> (besucht am 12.11.2018).

Quellen I

-  Povh et al. Teilchen und Kerne. Springer Spektrum, 2014.
-  Beta-Decay. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Betastrahlung> (besucht am 12.11.2018).
-  Sheldon Glashow, Abdus Salam and Steven Weinberg. URL:
<http://thescientificodyssey.libsyn.com/episode-225-putting-the-puzzle-together> (besucht am 12.11.2018).
-  Standardmodel. URL:
<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

2018-11-12

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!

2018-11-12

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!

2018-11-12

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>