

# Kern- und Teilchenphysik

■ Johannes Blümer

## SS2012

Vorlesung-Website

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



- Von  $W$ - und  $Z$ -Bosonen zum Standardmodell
    - Theoretisch akzeptiertes Konzept, experimentelle Suche!
    - Entdeckung
    - Eigenschaften
    - Kopplungen: “ $W^\pm$  ok”, aber  $Z^0$  anders? Elektroschwache WW!
    - vom SPS zum LHC, von  $W^\pm$ ,  $Z^0$  zum Higgs
    - Parameter des Standardmodells
    - Divergenzen, Eichsymmetrie, Higgs-Feld...
    - Higgs-Prozesse
  - Dunkle Materie
- Erinnerung an v22
- heute

# Elektro-Schwache WW

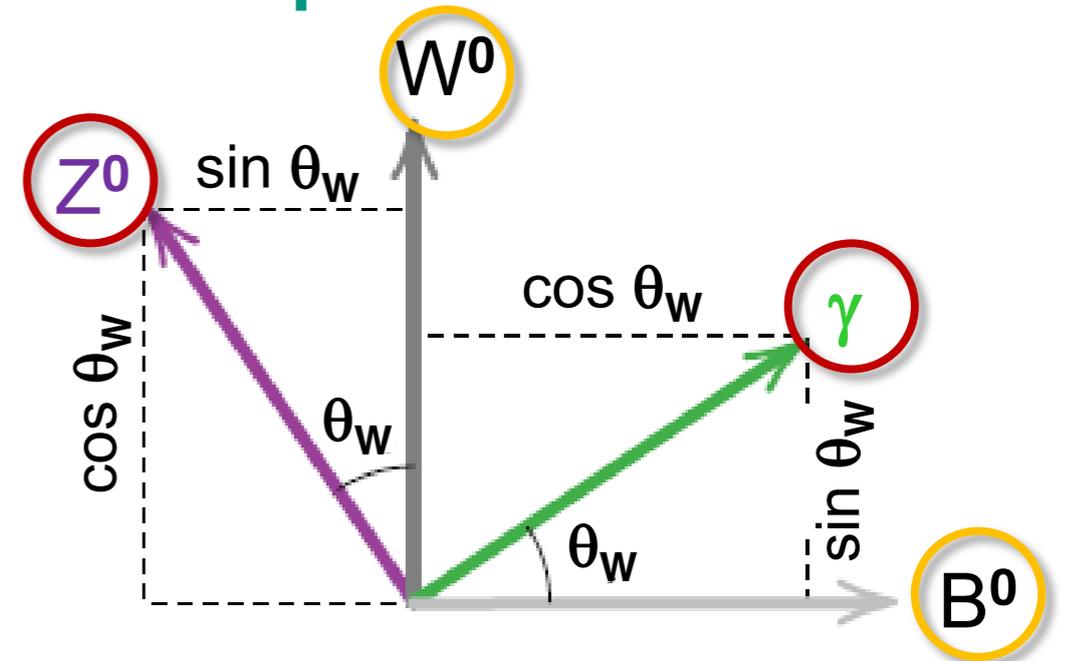
**Tabelle 11.1.** Multipletts der elektroschwachen Wechselwirkung. Die Quarks  $d'$ ,  $s'$  und  $b'$  gehen durch verallgemeinerte Cabibbo-Rotation (CKM-Matrix) aus den Masse-Eigenzuständen hervor. Dupletts des schwachen Isospins  $T$  sind durch Klammern zusammengefasst. Die elektrische Ladung der beiden Zustände in jedem Duplett unterscheidet sich jeweils um eine Einheit. Das Vorzeichen der dritten Komponente  $T_3$  ist so definiert, dass die Differenz  $z_f - T_3$  innerhalb eines Dupletts konstant ist.

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

# Photon und $Z^0$ als gedrehte Zustände

Darstellung als **Drehung um  $\theta_W$  im schwachen Isospinraum:**

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



**Weinbergwinkel  $\theta_W$ :**

- misst die Stärke der elektromagnet. relativ zur schwachen Wechselwirkung

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

$$\cos(\theta_W) = M_W / M_Z$$

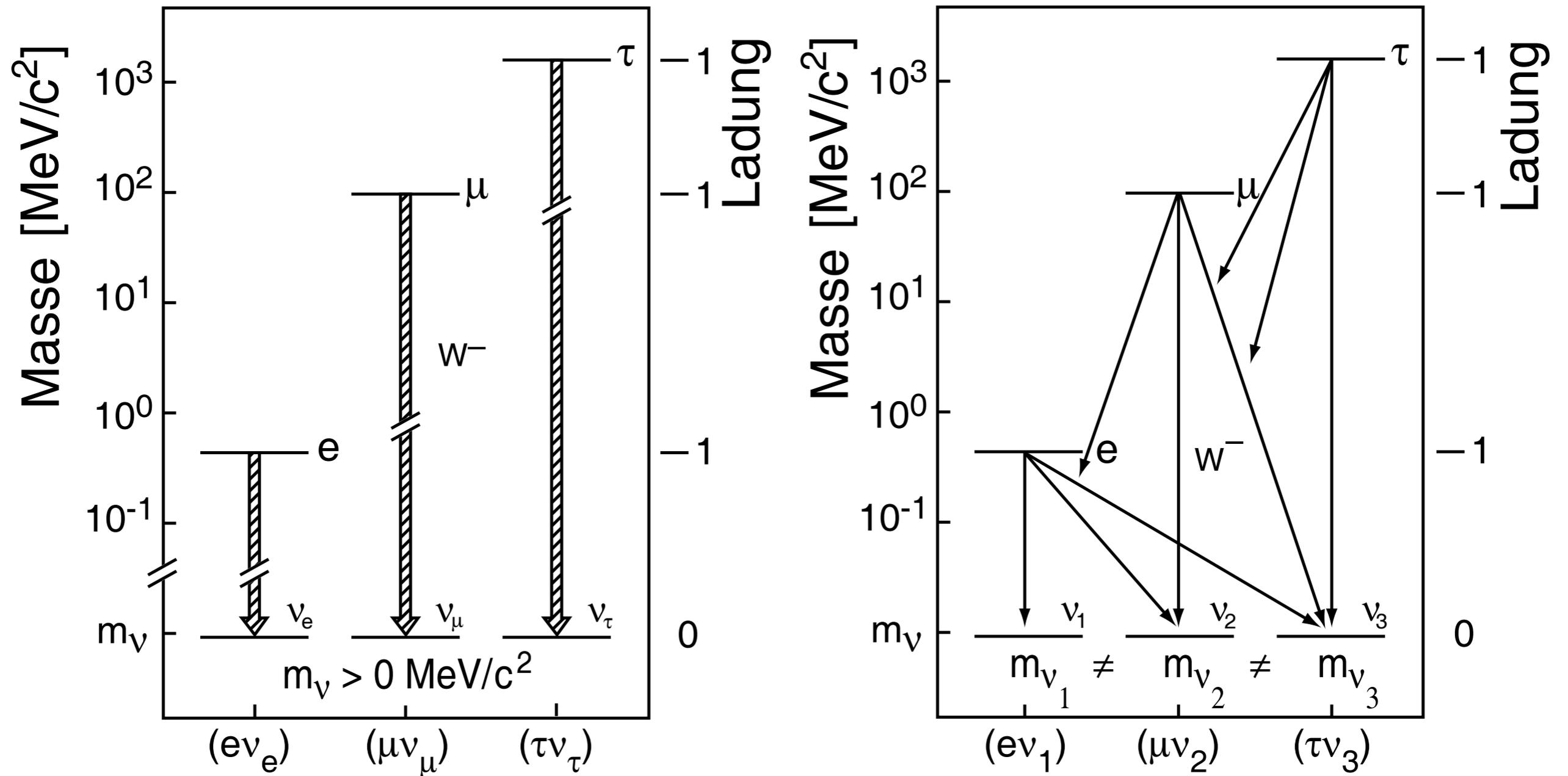
- experimenteller Wert aus der  $\nu$ -e Streuung, der elektroschwachen Interferenz bei  $e^+e^-$  Streuung,  $Z^0$  - Breite

$$\sin^2 \theta_W = 0.2325 \pm 0.0008$$

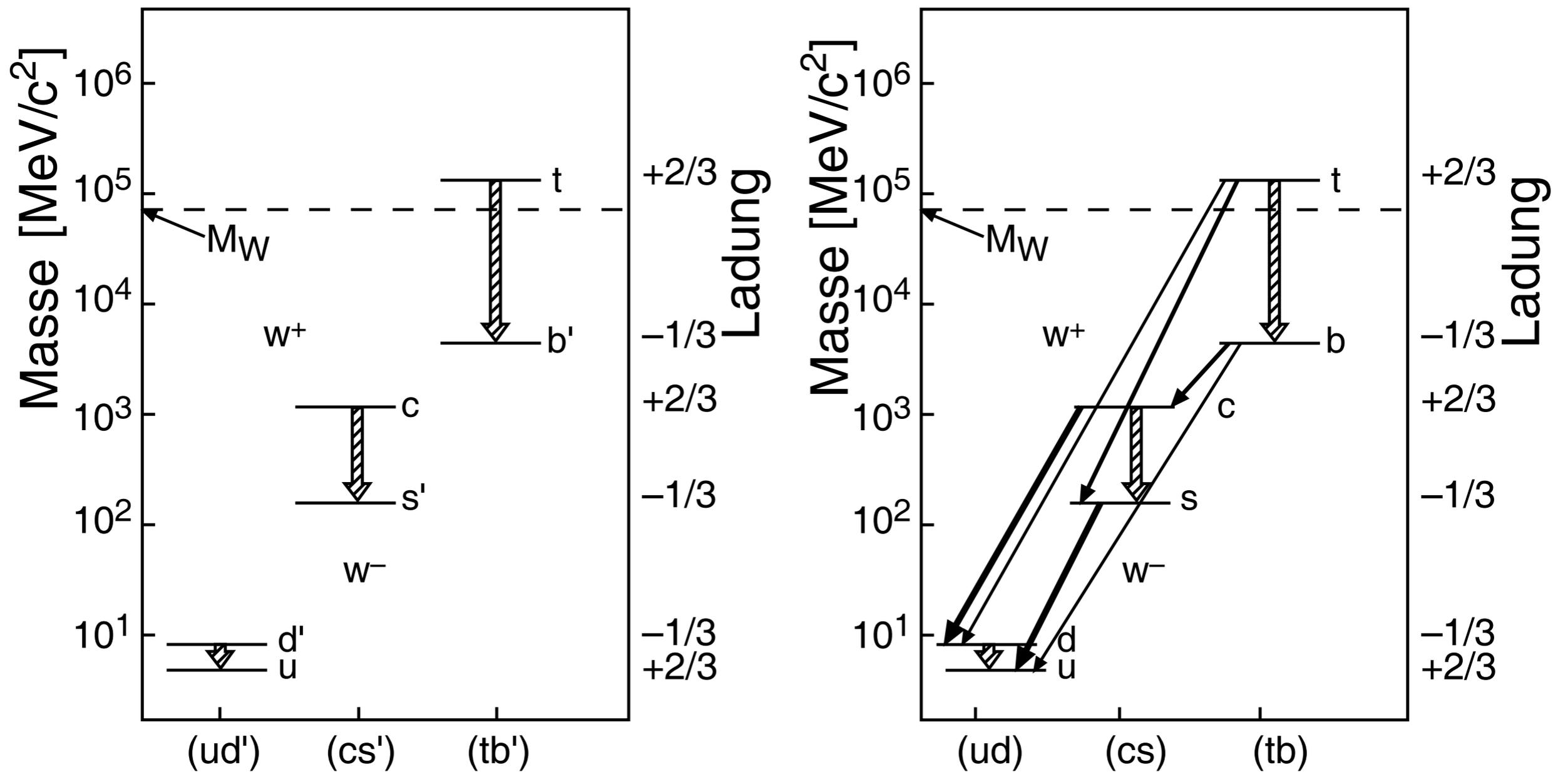
# Standardmodell

Fermionen	Familie			elektr. Ladung	Farbe	schwacher Isospin		Spin
	1	2	3			linkshdg.	rechtshdg.	
Leptonen	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	0	—	1/2	—	1/2
	e	$\mu$	$\tau$	-1			0	
Quarks	u	c	t	+2/3	r, b, g	1/2	0	1/2
	d	s	b	-1/3			0	

Wechselwirkung	koppelt an	Austausch-Teilchen	Masse (GeV/c <sup>2</sup> )	$J^P$
stark	Farbe	8 Gluonen (g)	0	1 <sup>-</sup>
elektromagn.	elektrische Ladung	Photon ( $\gamma$ )	0	1 <sup>-</sup>
schwach	schwache Ladung	$W^\pm, Z^0$	$\approx 10^2$	1



**Abbildung 12.1.** Durch geladene Ströme vermittelte Übergänge zwischen den leptonischen Zuständen. Links zwischen den leptonischen Eigenzuständen der schwachen Wechselwirkung, rechts zwischen den leptonischen Eigenzuständen des Massenoperators.



**Abbildung 12.2.** Durch geladene Ströme vermittelte Übergänge zwischen den Quarkzuständen. Links die Quarkeigenzustände der schwachen Wechselwirkung, rechts des Massenoperators. Die Dicke der Pfeile gibt die relative Stärke der Übergänge an. Die Masse des t-Quarks ist so groß, dass der Zerfall durch die Emission des *realen*  $W^+$ -Bosons stattfindet.

# Parameter des Standardmodells

Kopplungskonstanten	$e, g, \sin \theta_W$
Boson – Massen	$m_W, m_{\text{Higgs}}$
Lepton – Massen	$m_e, m_\mu, m_\tau$ ; $m_\nu = 0$ → nicht mehr
Quark – Massen	$m_u, m_d, m_c, m_s, m_t, m_b$
Parameter der CKM–Matrix	3 Winkel $\theta_i$ , Phase $\delta$
QCD Parameter	$\Lambda_{\text{QCD}}$

(>) **22 Parameter**

..., die exp. bestimmt werden müssen. Kann das fundamental sein?

- L, B separat erhalten
- $\nu_L, \bar{\nu}_R, m_\nu = 0$  ... das ist bereits sicher nicht der Fall...
- V-A – Kopplung
- $q(e^+) = q(p)$  obwohl Lepton- und Quarksektor völlig getrennt sind
- **Eichsymmetrie:**

<b>SU(3)</b>	<b>x</b>	<b>SU(2)</b>	<b>x</b>	<b>U(1)</b>
stark (8 Gluonen)		schwach $W^\pm, W^0$		e.m. $B^0$

Divergenzen, Eichsymmetrie, Higgs-Feld...

# Higgs-Prozesse

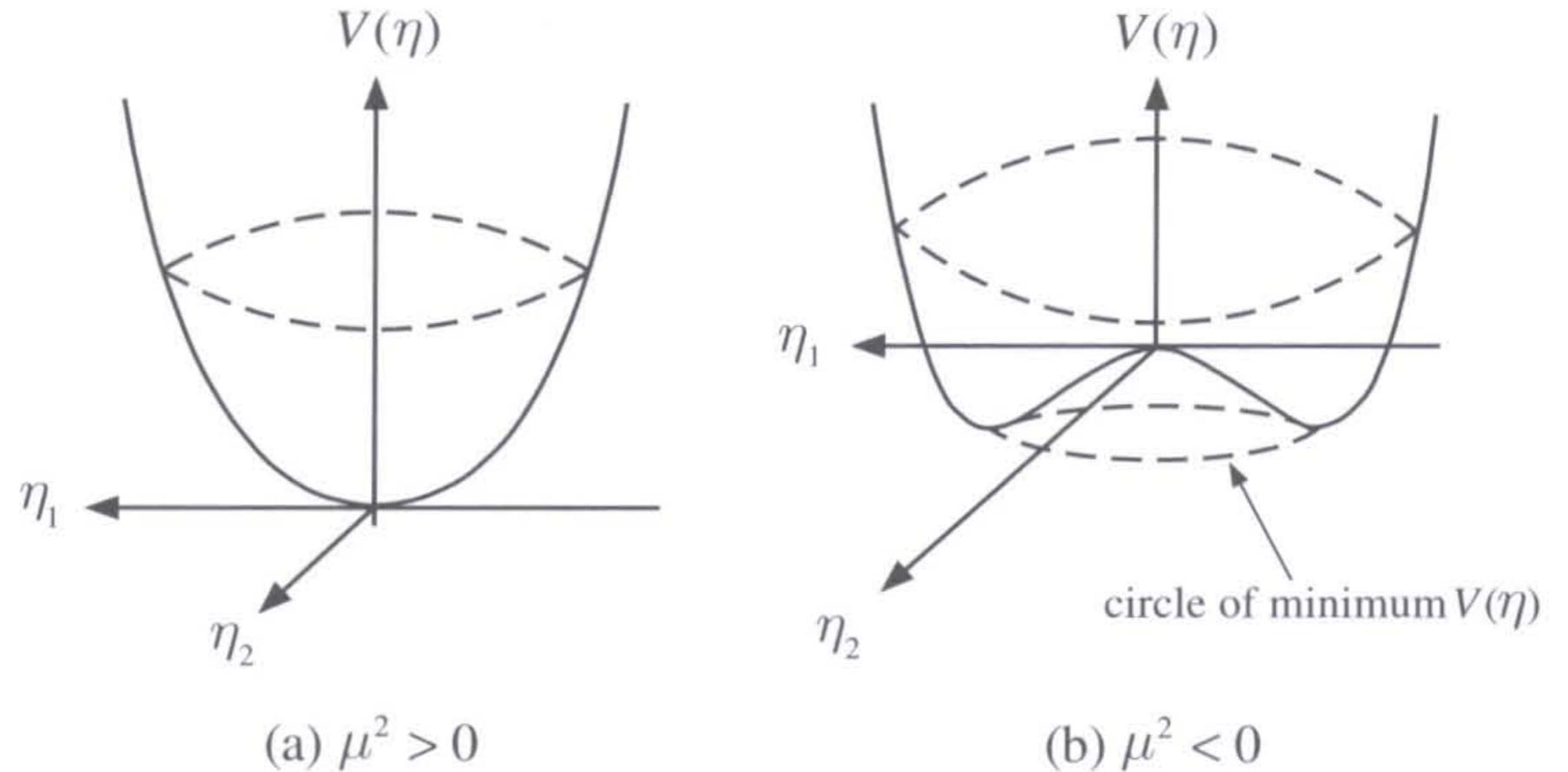


Figure 9.14 The potential energy density  $V(\eta)$ , as given by Equation (9.39), for  $\lambda > 0$ .

$$V(\eta) = \mu^2 |\eta(\vec{r}, t)|^2 + \lambda |\eta(\vec{r}, t)|^4$$

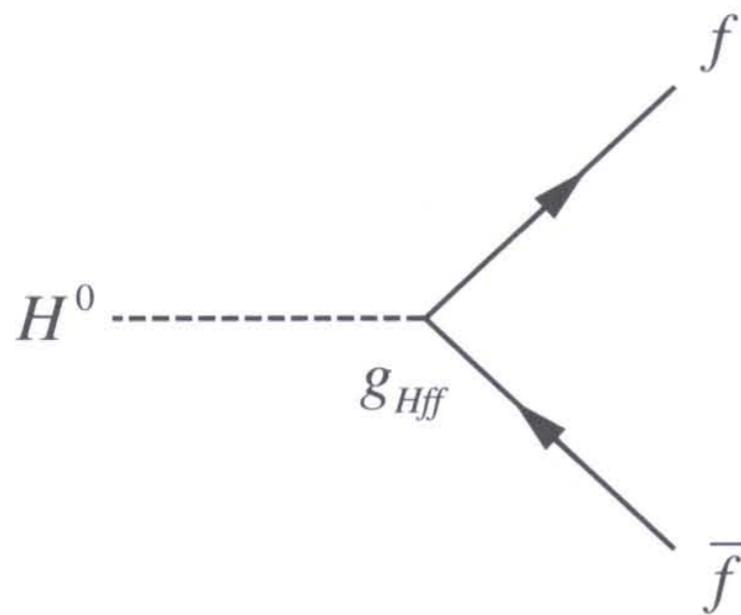


Figure 9.15 The basic vertices for Higgs boson–fermion interactions. The fermion  $f$  can be any quark, charged lepton or neutrino.

# Std.-Higgs-Erzeugung

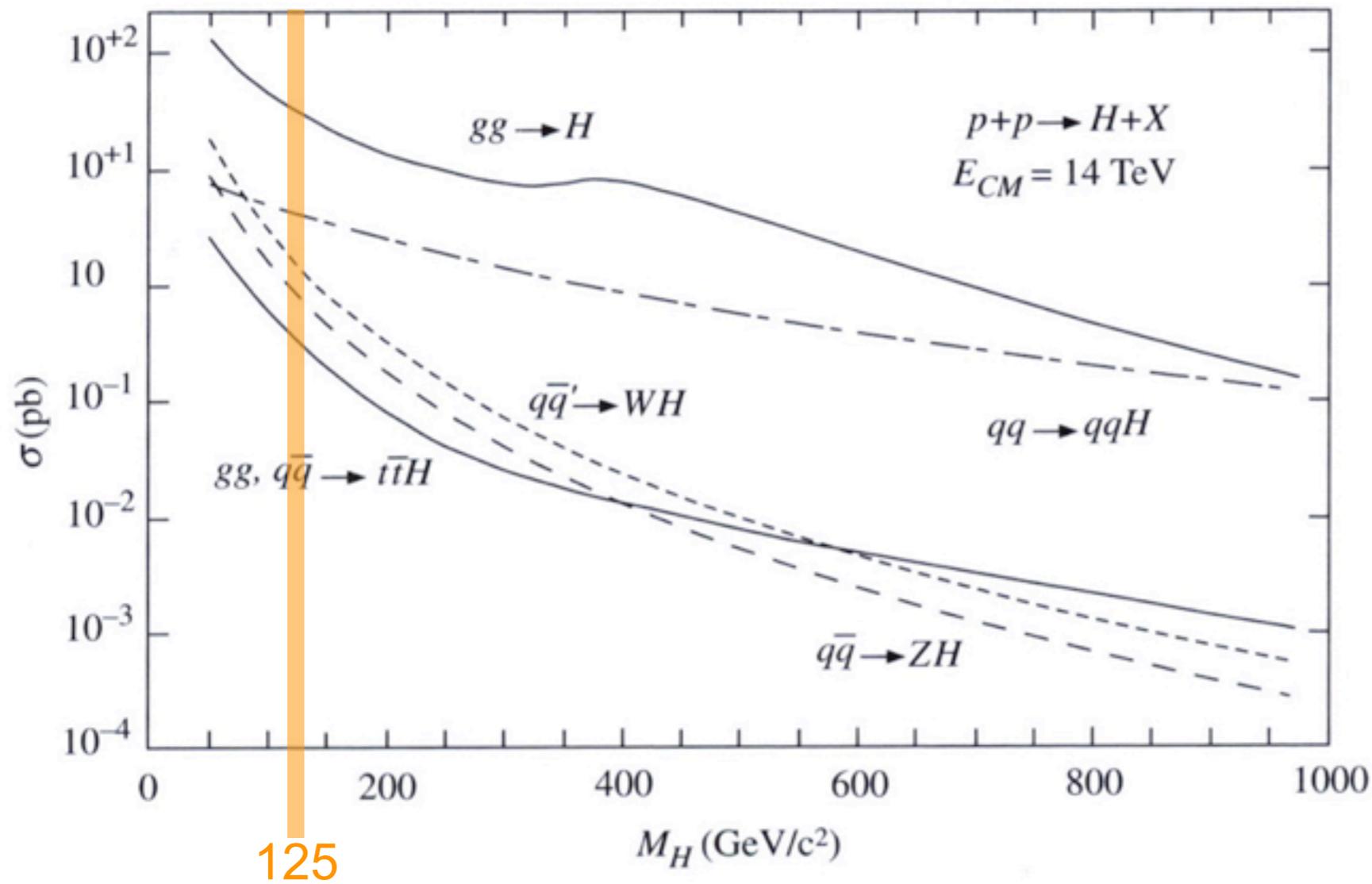
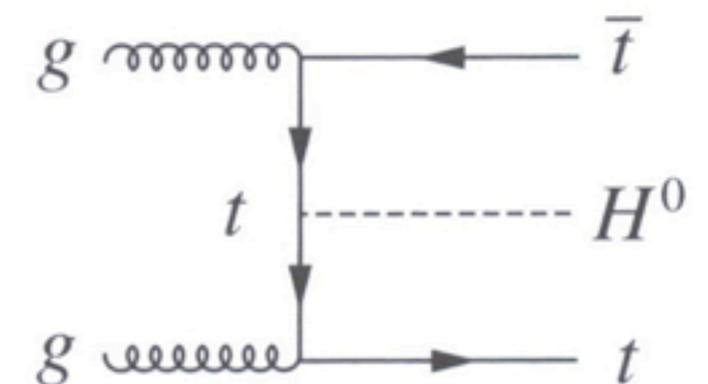
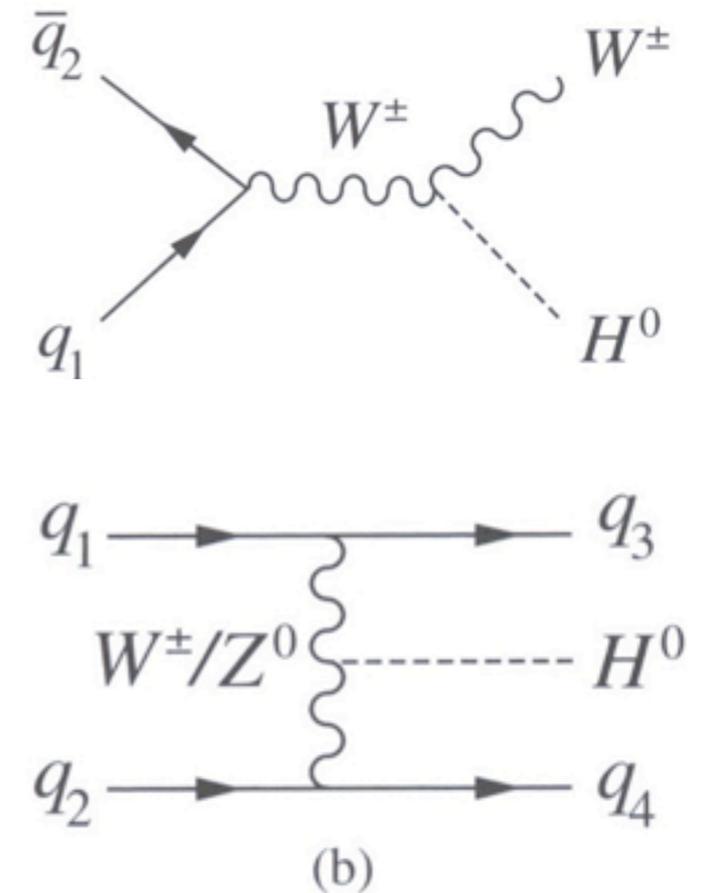
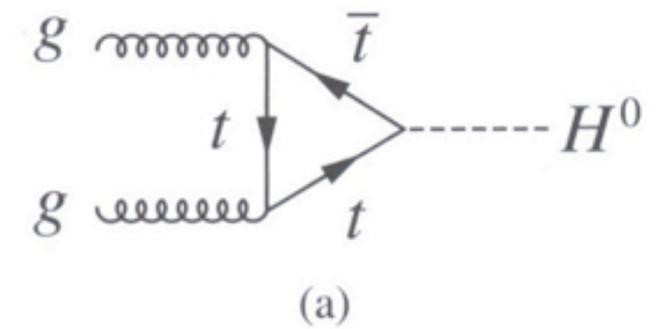


Figure 9.24 Production cross-sections of the standard model Higgs boson at the LHC at  $E_{CM} = 14$  TeV. (With kind permission from Springer Science and Business Media, Kunszt *et al.*, *Zeitschrift für Physik C*, **74**, 1997, 479)



# Higgs-Breite

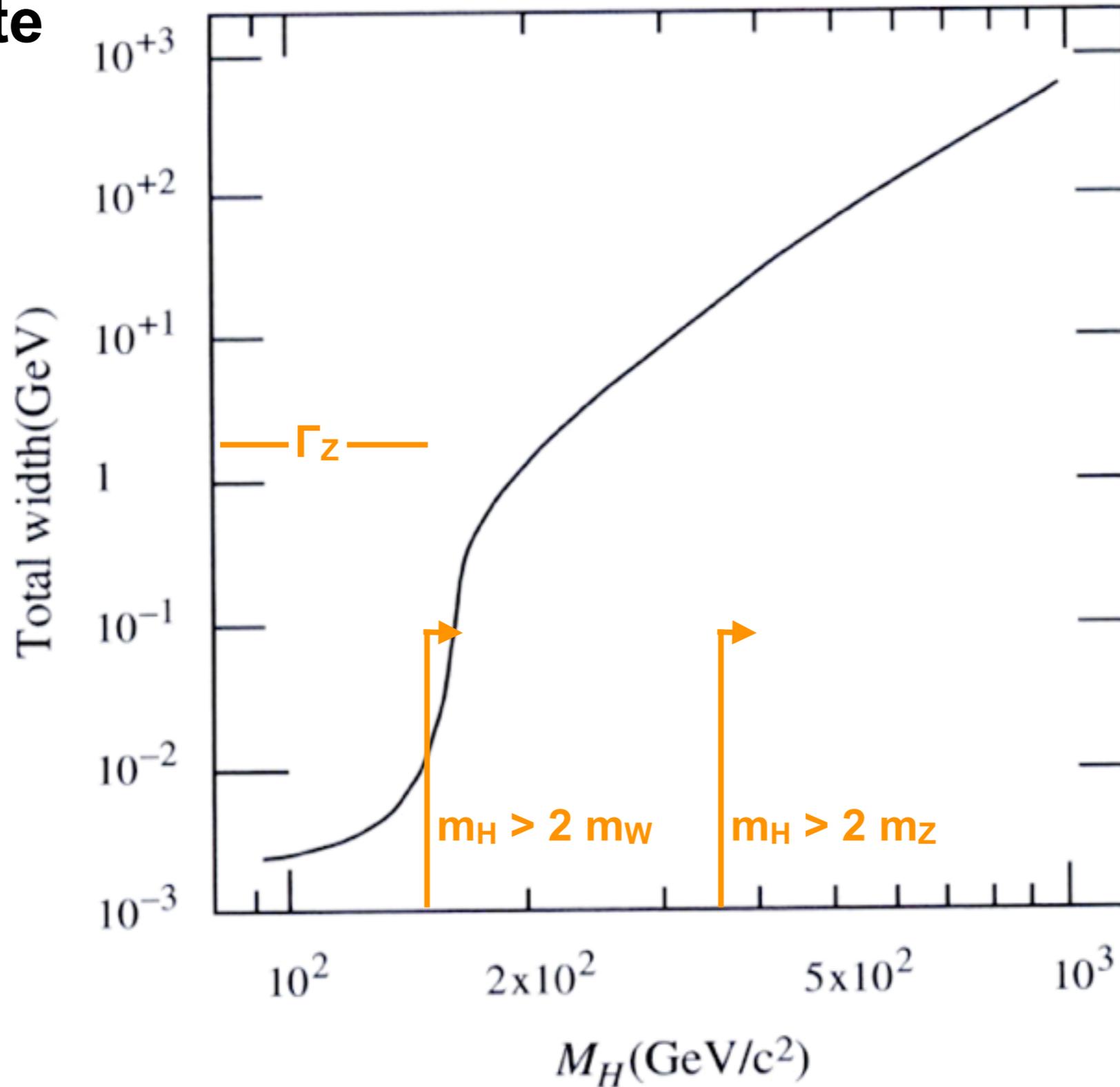


Figure 9.16 Width of the Higgs boson as a function of its mass. (With kind permission from Springer Science and Business Media, Kunszt *et al.*, *Zeitschrift für Physik C*, **74**, 1997, 479)

# Higgs-Zerfälle

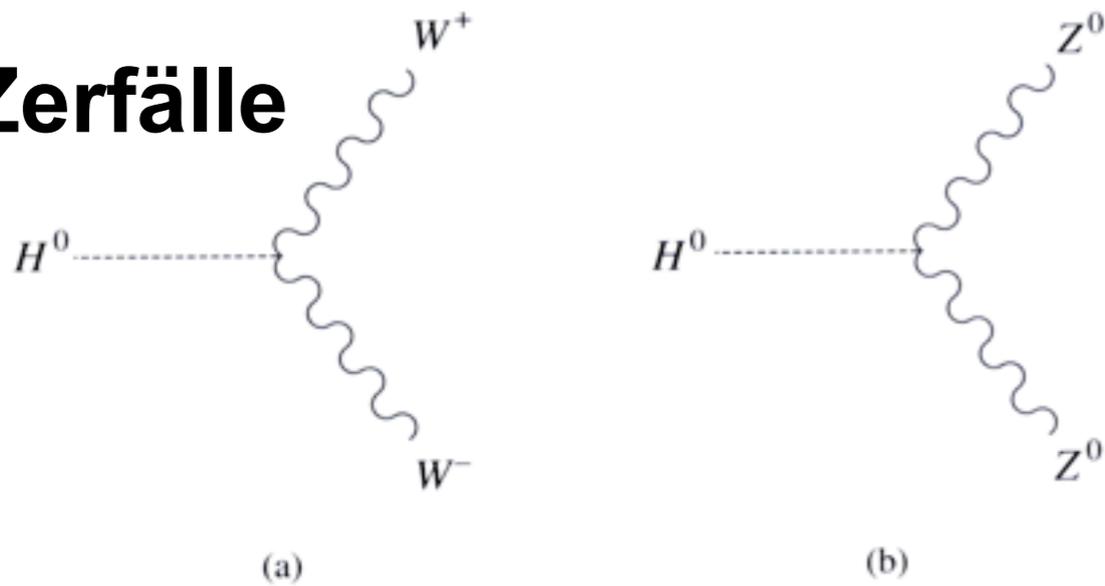


Figure 9.18 Decays of the Higgs boson to (a)  $W^+W^-$  and (b)  $Z^0Z^0$  pairs.

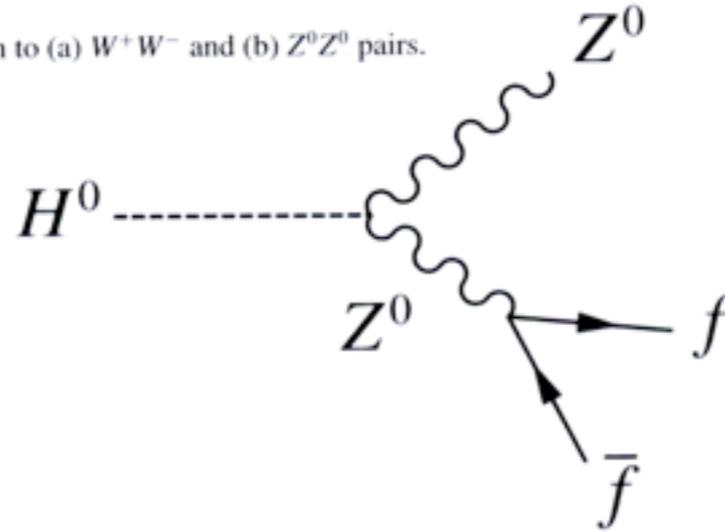


Figure 9.20 Mechanism of the rare  $H^0$  decays (9.50).

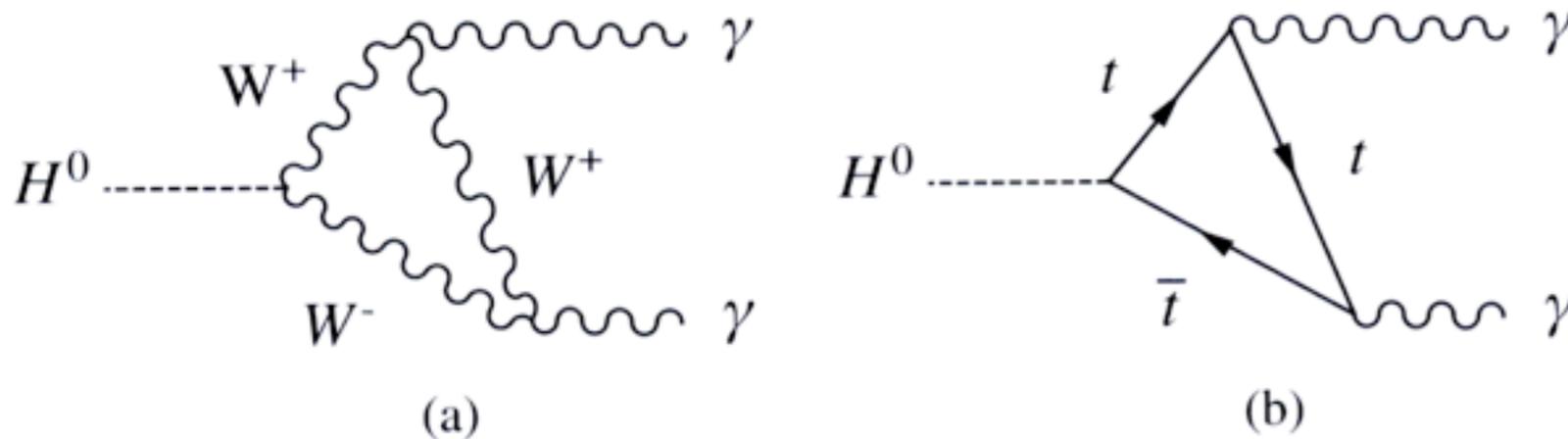
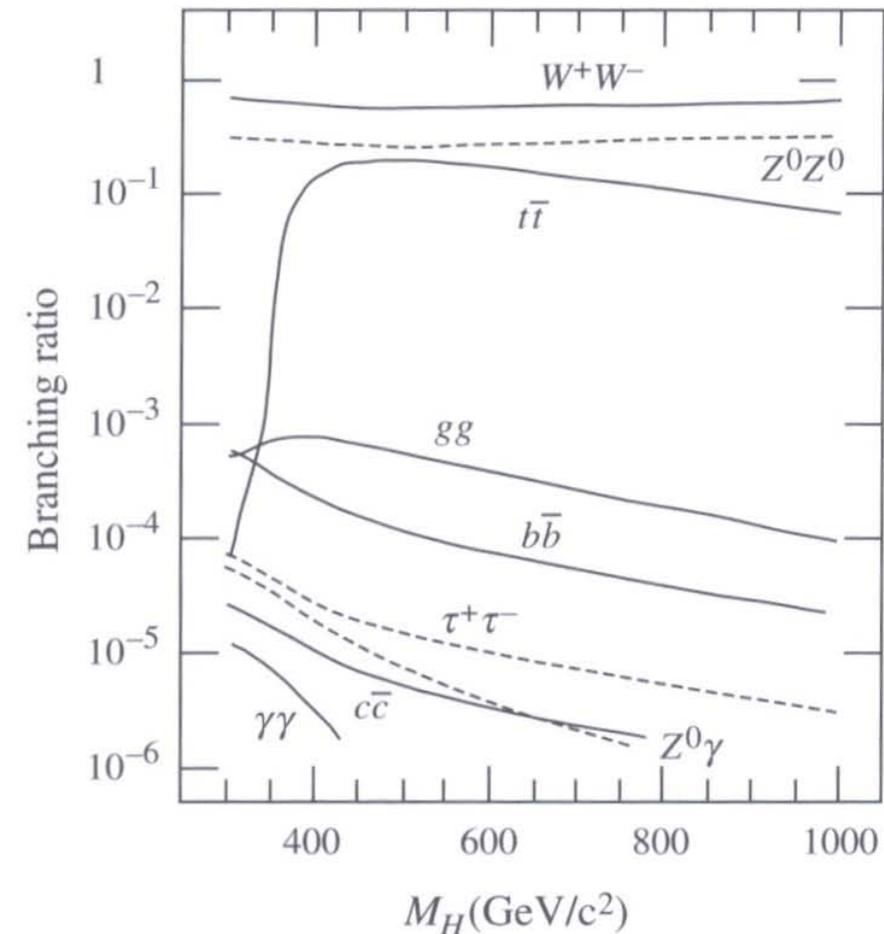
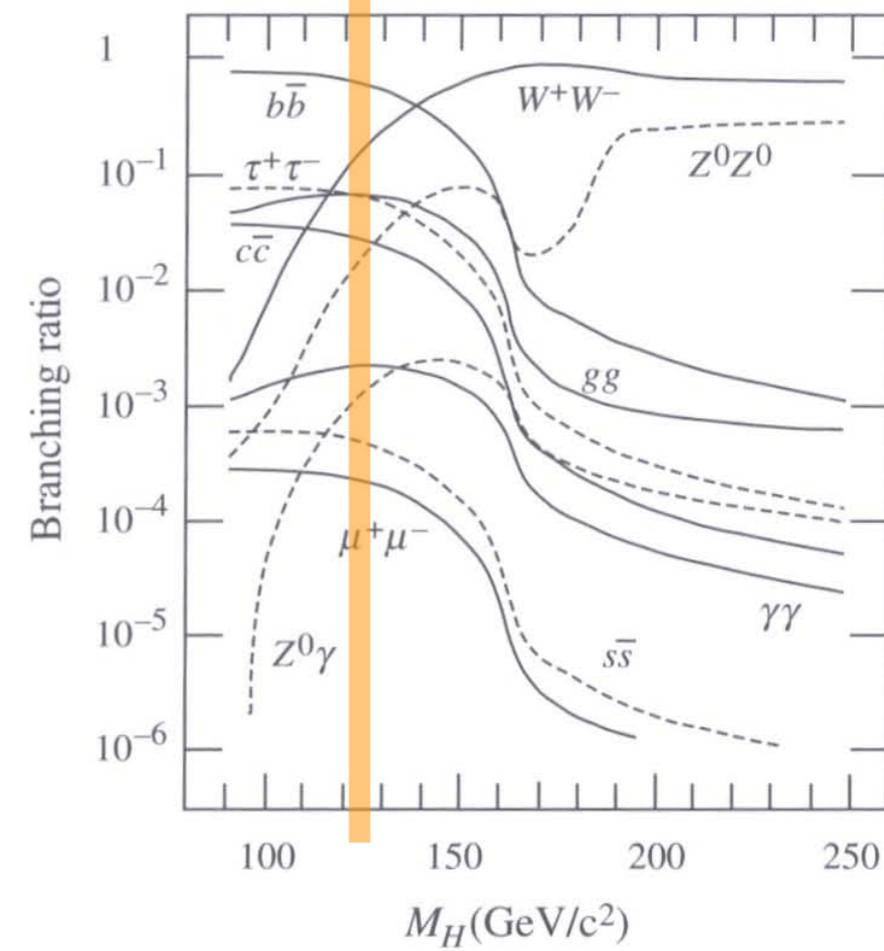


Figure 9.19 The dominant mechanisms for the decay  $H^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ .



- Hinweise auf Dunkle Materie
  - Rotationskurven
  - Gravitationslinsen
  - (Kosmologie)
- (Suche nach Annihilationssignalen)
- Suche nach Streuprozessen
  - Bolometer
  - Flüssiggas-Detektoren
  - DAMA
  - Ausschlusskurven

# Gravitationsbindung im Coma-Haufen?



Fritz Zwicky  
(1898-1974)

*Helv. Phys. Acta* 6  
110-127 (1933)  
'Die Rotverschiebung  
von extragalaktischen  
Nebeln'

Virialsatz:

$$T = -U/2$$

90% der Coma-  
Masse ist nicht  
sichtbar...???

**Should this turn out to be true, the surprising result would follow that dark matter is present in a much higher density than radiating matter"**



# Rotationskurven

