

Asymptotische Entwicklungen in der Quantenfeldtheorie und phänomenologische Anwendungen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN
von der Fakultät für Physik der
Universität Karlsruhe (TH)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Phys. Thorsten Seidensticker
aus Wetzlar

Tag der mündlichen Prüfung
Referent
Korreferent

11. Mai 2001
Prof. Dr. J.H. Kühn
Prof. Dr. W. Hollik

Berichte aus der Physik

Thorsten Seidensticker

**Asymptotische Entwicklungen
in der Quantenfeldtheorie und
phänomenologische Anwendungen**

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Seidensticker, Thorsten:

Asymptotische Entwicklungen in der Quantenfeldtheorie und
phänomenologische Anwendungen/Thorsten Seidensticker.

Aachen : Shaker, 2001

(Berichte aus der Physik)

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-8943-2

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-8943-2

ISSN 0945-0963

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Asymptotische Entwicklungen und ihre Automatisierung	3
1.1 Motivation	3
1.2 Asymptotische Entwicklungen	4
1.3 Automatisierung der Berechnung von asymptotischen Entwicklungen von Feynman-Diagrammen	6
2 QCD-Korrekturen zweiter Ordnung zum Zerfall des Top-Quarks	9
2.1 Motivation	9
2.2 Methode	10
2.3 QCD-Korrekturen erster Ordnung	14
2.4 QCD-Korrekturen zweiter Ordnung	17
2.4.1 Einführende Bemerkungen und Notation	17
2.4.2 Führende Ordnung: $M_W = 0$	18
2.4.3 Terme proportional M_W^2	20
2.4.4 Terme proportional M_W^4	21
2.5 Zusammenfassung: Korrekturen zweiter Ordnung	22
2.6 Abschätzungen der Zerfallsraten $\Gamma(b \rightarrow u\bar{\nu})$ und $\Gamma(\mu \rightarrow e\nu_\mu\bar{\nu}_e)$	24
3 QED-Korrekturen zweiter Ordnung zum Zerfall des Myons	27
3.1 Motivation	27
3.2 Eigenschaften der Fermi-Wechselwirkung	28
3.3 Methode	29
3.4 Korrekturen erster Ordnung	30
3.5 Korrekturen zweiter Ordnung	32
4 QCD-Korrekturen zweiter Ordnung zum Zerfall des Bottom-Quarks	35
4.1 Motivation	35
4.2 Zusammenhang mit dem Myon-Zerfall	36
4.3 Nicht-abelsche Beiträge	37
5 3-Schleifen-β-Funktion im MOM-Schema	39
5.1 Motivation	39
5.2 Wellenfunktions-Renormierungen	40
5.3 Ableitung der β -Funktion im MOM-Schema	42
5.4 Methode	44

5.4.1	Rekursionsformeln für 1-Schleifen-3-Punkt-Funktionen	44
5.4.2	Entwicklung des 1-Schleifen-Master-Integrals	45
5.4.3	Entwicklung der 2-Schleifen-Master-Integrale	47
5.4.4	Implementierung	49
5.5	QCD-Vertices	51
5.5.1	Geist-Gluon-Vertex	51
5.5.2	Quark-Gluon-Vertex	55
5.5.3	3-Gluon-Vertex	58
5.6	MOM-Kopplungskonstante und MOM- β -Funktion	62
5.7	Diskussion der Gitterrechnungen	63
6	Führende 3-Schleifen-Top-Korrekturen zum ρ-Parameter	67
6.1	Motivation und Definitionen	67
6.2	Methode und Renormierung	68
6.2.1	Selbstenergien der Eichbosonen	68
6.2.2	Renormierung des Vakuumerwartungswerts	70
6.2.3	Renormierung der Masse des Higgs-Bosons	71
6.2.4	Renormierung der Masse des Top-Quarks	71
6.2.5	Renormierung der Masse des W -Bosons	72
6.3	Einführung der Fermi-Konstanten	73
6.4	Slavnov-Taylor-Identitäten und γ_5	74
6.5	Resultate	75
A	Details zu Kapitel 2	79
A.1	Optisches Theorem für Fermionen	79
A.2	On-Shell-Renormierung	80
A.3	Zusammenhang von $\Gamma(b \rightarrow Wu)$ und $\Gamma(b \rightarrow u\bar{\nu})$	80
A.3.1	Amplitude für $\Gamma(b \rightarrow Wu)$	81
A.3.2	Amplitude für $\Gamma(b \rightarrow u\bar{\nu})$	81
A.3.3	$\Gamma(b \rightarrow u\bar{\nu})$	82
A.4	Analytische Reihenergebnisse	83
A.4.1	Führende Ordnung: $M_W = 0$	83
A.4.2	Terme proportional M_W^2	85
A.4.3	Terme proportional M_W^4	86
B	Details zu den Kapiteln 3 und 4	89
B.1	Die Fierz-Transformation	89
B.2	Analytische Reihenergebnisse	90
C	Details zu Kapitel 5	93
C.1	Entwicklungen der 2-Schleifen-Master-Topologie „Leiter“	93
C.2	Analytische Reihenentwicklungen	94
C.2.1	Geist-Gluon-Vertex	94
C.2.2	Quark-Gluon-Vertex	96
C.2.3	3-Gluon-Vertex	99

D	Renormierungskonstanten	103
D.1	Reine QCD	103
D.1.1	Renormierungskonstanten im $\overline{\text{MS}}$ -Schema	104
D.1.2	Quark-Massen im on-shell-Schema	105
D.2	Elektroschwache Korrekturen	105
D.2.1	$\overline{\text{MS}}$ -Schema	105
D.2.2	Masse des Top-Quarks im on-shell-Schema	106
	Literaturverzeichnis	107