Anlage zum **„Nachweis der Mittelverwendung“** für 2007

VH-NG-008: Hochpräzisionsanalyse von Topquark-Eigenschaften bei TESLA

Mitglieder der Arbeitsgruppe

Dr. O. Veretin	Uni HH, Nachwuchsgruppenleiter
Prof. Dr. A. Ali	Ansprechpartner DESY
Prof. Dr. B. Kniehl	Ansprechpartner Uni HH
Prof. Dr. M. Steinhauser	Ansprechpartner Uni KA
Dr. Z. Merebashvili	Uni HH
J. Piclum	Uni HH/Uni KA

Kurze Beschreibung der Aktivitäten

Die Aktivitäten im Jahr 2007 gliedern sich in mehrere Teilbereiche auf.

1. **Topquark-Paarerzeugung in Zwei-Photon-Stößen.**
Um die Erzeugung resonanter $t\bar{t}$-Paare mit einem Photon-Collider zuverlässig zu beschreiben, werden zumindest die Korrekturen zu übernächstführender Ordnung (NNLO) in der nichtrelativistischen QCD (NRQCD) benötigt. Diese wurden erstmals in Ref. [1] berechnet, allerdings nur in numerischer Form. Für die analytische Berechnung werden zahlreiche Meisterintegrale benötigt, die in der Literatur bislang nicht verfügbar gewesen waren. Diese wurden in Ref. [2] untersucht. Die Methode der Entwicklung in großen Massen erlaubt es, die Reihenentwicklung des Ergebnisses vollständig zu rekonstruieren, die anschließend aufsummiert und durch transzendente Zahlen dargestellt werden kann. Diese Untersuchung liefert im Abelschen Bereich nebenbei auch die Meisterintegrale, die für die Berechnung der Korrekturen der Ordnung $\mathcal{O}(\alpha^2)$ zur Zerfallsbreite von Parapositronium benötigt werden.

2. **Zerfall des B_c-Mesons.**
Die NRQCD eignet sich auch zur theoretischen Untersuchung des B_c-Systems, welche Feynmandiagramme mit einer Hierarchie von zwei großen Quarkmassen, nämlich m_b und m_c, beinhaltet. Die Zwei-Schleifen-Korrekturen zu den Kurzabstandskoeffizienten, welche zum leptonischen Zerfall des B_c-Mesons beitragen, wurden erstmals in Ref. [3] analytisch berechnet. Diese Korrekturen haben wegen ihrer erheblichen numerischen Größe einen signifikanten Einfluß auf die theoretische Beschreibung der Dynamik des B_c-Bindungszustandes im Rahmen der NRQCD.

3. **Orthopositronium-Zerfall in drei Photonen.**
Der Zerfall von Orthopositronium in drei Photonen stellt ein klassisches Problem der nichtrelativistischen Quantenelektrodynamik (NRQED) dar. Die theoretische Vorhersage hat eine äußerst komlizierte Darstellung und war bislang selbst in der Ein-Schleifen-Näherung nur in Form eines zweidimsionalen Integrals bekannt, dessen numerische Berechnung daran litt, daß sich die Singularitäten der Teilergebnisse gegenseitig wegheben mussten [4]. Mit Hilfe von Methoden, welche die Hamburger Arbeitsgruppe im Laufe des Vorhabens entwickelt hatte, ist es nun erstmals gelungen, das Ergebnis in geschlossener Form durch transzendente Zahlen auszudrücken. Hierdurch konnte die bisherige Beschränkung der numerischen Genauigkeit völlig beseitigt werden. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse wird gerade fertiggestellt [5]. Das Ergebnis läßt sich

auf den Fall der Topquark-Paarerzeugung in Zwei-Photon-Stößen übertragen, wo es einer Klasse von Abelschen Beiträgen entspricht.

4. **Totaler Wirkungsquerschnitt der Topquark-Paarerzeugung in Zwei-Photon-Stößen.**
Ferner wurde der totale Wirkungsquerschnitt der Topquark-Paarerzeugung in Zwei-Photon-Stößen in nächstführender Ordnung berechnet. Unter Verwendung der in diesem Vorhaben entwickelten Technologie gelang es, das Ergebnis durch elementare Funktionen einer einzigen Variablen, nämlich des Verhältnisses von Topquarkmasse und Schwerpunktsenergie, darzustellen. Eine entsprechende Veröffentlichung steht kurz vor dem Abschluß [6]

5. **Zwei-Schleifen-Korrekturen zu den Formfaktoren des Z-Bosons.**
Mit Hilfe der Methode der asymptotischen Entwicklung wurden im Rahmen einer Abelschen Eichtheorie basierend auf der $U(1) \times U(1)$-Gruppe und auch im elektroschwachen Standardmodell ($SU(2) \times U(1)$) die Formfaktoren der Eichbosonkopplungen an masselose Fermionlinien für beliebige Werte des Impulsübertrags q^2 zu zwei Schleifen berechnet [7]. In einem nächsten Schritte sollen diese Ergebnisse für endliche Fermionmassen erweitert werden und an der Paarerzeugungsschwelle untersucht werden.

6. **Bestimmung der Massen von Charm- und Bottomquark aus Summenregeln.**
Mit Hilfe der ersten beiden Momente der Vakuumpolarisation eines schweren Quarks, die von der Hamburger Arbeitsgruppe neulich in analytischer Form gefunden worden waren [8], wurden in Verbindung mit Summenregeln aus neuen experimentellen Daten der e^+e^--Annihilation in Hadronen verbesserte Werte für die Massen von Charm- und Bottomquark im $\overline{\mathrm{MS}}$-Renormierungsschema hergeleitet [9].

7. **$\overline{\mathrm{MS}}$-Definition von starker Kopplungskonstante und Quarkmasen in supersymmetrischen Theorien.**
Da die dimensionale Regularisierung, auf der das $\overline{\mathrm{MS}}$-Renormierungsschema aufbaut, die Supersymmetrie verletzt, wird in diesem Falle häufig die Methode der dimensionalen Reduktion herangezogen. Vor diesem Hintergrund wurde der Zusammenhang zwischen der Polmasse eines schweren Quarks und der $\overline{\mathrm{MS}}$-Masse der dimensionalen Reduktion zu drei Schleifen berechnet [10]. Ferner wurde die Renormierungsgruppenevolution der starken Kopplungskonstante in dimensionaler Reduktion zu drei Schleifen unter Berücksichtigung der Entkopplung schwerer Quarks zu zwei Schleifen behandelt [11].

8. **Chromomagnetisches Moment eines schweren Quarks zu drei Schleifen.**
Mit Hilfe von Methoden, die teilweise im Verlauf des Fördervorhabens entwickelt worden waren, wurde nun das chromomagnetische Moment eines schweren Quarks zu drei Schleifen in der QCD berechnet und so der Anpassungskoeffizient und die anomale Dimension der chromomagnetischen Wechselwirkung in der effektiven Theorie scherer Quarks (HQET) gefunden [12]. Bei dieser Gelegenheit wurde auch die Drei-Schleifen-Korrektur zum anomalen magnetischen Moment eines schweren Quarks berechnet.

9. **Einfluß eines leichteren Quarks auf die Beziehung zwischen Pol- und $\overline{\mathrm{MS}}$-Masse eines schweren Quarks.**
Der Einfluß eines leichteren Quarks auf die Beziehung zwischen Pol- und $\overline{\mathrm{MS}}$-Masse eines schweren Quarks wurde mit Hilfe von Methoden, die teilweise im Verlauf des Fördervorhabens ent-

wickelt worden waren, zu drei Schleifen berechnet [13]. Solche Effekte wurden auch für die Wellenfunktionsrenormierung eines schweren Quarks im On-Shell-Renormierungsschema untersucht.

Literatur

[1] A. Czarnecki and K. Melnikov, Phys. Rev. D **65** (2002) 051501 [arXiv:hep-ph/0108233].

[2] B.A. Kniehl, A. Kotikov and O. Veretin, in preparation.

[3] A. I. Onishchenko and O. L. Veretin, Eur. Phys. J. C **50** (2007) 801 [arXiv:hep-ph/0302132].

[4] G. S. Adkins, Phys. Rev. A **72** (2005) 032501.

[5] B.A. Kniehl, A. Kotikov and O. Veretin, in preparation.

[6] B.A. Kniehl, O. Veretin and Z. Merebashvili, in preparation.

[7] A. Kotikov, J. H. Kühn and O. Veretin, "Two-loop formfactors in theories with mass gap and Z-boson production," Nucl. Phys. B **788** (2008) 47 [arXiv:hep-ph/0703013].

[8] B. A. Kniehl and A. V. Kotikov, "Heavy-quark QCD vacuum polarisation function: Analytical results at four loops," Phys. Lett. B **642** (2006) 68 [arXiv:hep-ph/0607201].

[9] J. H. Kühn, M. Steinhauser and C. Sturm, "Heavy quark masses from sum rules in four-loop approximation," Nucl. Phys. B **778** (2007) 192 [arXiv:hep-ph/0702103]. J. H. Kühn, M. Steinhauser and C. Sturm, "Precise Charm and Bottom quark masses," arXiv:0705.2335 [hep-ph]. M. Steinhauser, "Precise quark masses from sum rules," arXiv:0709.2020 [hep-ph].

[10] P. Marquard, L. Mihaila, J. H. Piclum and M. Steinhauser, "Relation between the pole and the minimally subtracted mass in dimensional regularization and dimensional reduction to three-loop order," Nucl. Phys. B **773** (2007) 1 [arXiv:hep-ph/0702185].

[11] R. V. Harlander, L. Mihaila and M. Steinhauser, "Running of α_s and m_b in the MSSM," Phys. Rev. D **76** (2007) 055002 [arXiv:0706.2953 [hep-ph]]; R. Harlander, P. Kant, L. Mihaila and M. Steinhauser, "Dimensional Reduction applied to QCD at higher orders," arXiv:0706.2982 [hep-ph].

[12] A. G. Grozin, P. Marquard, J. H. Piclum and M. Steinhauser, "Three-Loop Chromomagnetic Interaction in HQET," Nucl. Phys. B **789** (2008) 277 [arXiv:0707.1388 [hep-ph]].

[13] S. Bekavac, A. Grozin, D. Seidel and M. Steinhauser, "Light quark mass effects in the on-shell renormalization constants," JHEP **0710** (2007) 006 [arXiv:0708.1729 [hep-ph]].