

# A Duality as a Theory for the Electroweak Interactions

Dissertation der Fakultät für Physik der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Xavier Calmet  
aus Marignane

Januar 2002

1. Gutachter: Prof. Dr. H. Fritzsche
  2. Gutachter: Prof. Dr. J. Wess
- Prüfungstag: 8.05.2002



Berichte aus der Physik

**Xavier Calmet**

**A Duality as a Theory  
for the Electroweak Interactions**

Shaker Verlag  
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Calmet, Xavier:*

A Duality as a Theory for the Electroweak Interactions / Xavier Calmet.

Aachen : Shaker, 2002

(Berichte aus der Physik)

Zugl.: München, Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-0324-9

Copyright Shaker Verlag 2002

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0324-9

ISSN 0945-0963

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 1290 • D-52013 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Deutsche Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Doktorarbeit wurde ein Modell für die elektroschwache Wechselwirkung entwickelt. Das Modell basiert auf der Tatsache, daß die sog. “Confinement”-Phase und Higgs-Phase der Theorie mit einem Higgs-Boson in der fundamentalen Darstellung der Eichgruppe  $SU(2)$  identisch sind. In der Higgs-Phase wird die Eichsymmetrie durch den Higgsmechanismus gebrochen. Dies führt zu Massentermen für die Eichbosonen, und über die Yukawa-Kopplungen zu Massentermen für die Fermionen. In der “Confinement”-Phase ist die Eichsymmetrie ungebrochen. Nur  $SU(2)$ -Singulets kann eine Masse zugeordnet werden, d.h., physikalische Teilchen müssen  $SU(2)$ -Singulets sein. Man nimmt an, daß die rechtshändigen Quarks und Leptonen elementare Objekte sind, während die linkshändigen Dupletts Bindungszustände darstellen.

Es stellt sich heraus, daß das Modell in der “Confinement”-Phase dual zum Standard-Modell ist. Diese Dualität ermöglicht eine Berechnung des elektroschwachen Mischungswinkels und der Masse des Higgs-Bosons. Solange die Dualität gilt, erwartet man keine neue Physik.

Es ist aber vorstellbar, daß die Dualität bei einer kritischen Energie zusammenbricht. Diese Energieskala könnte sogar relativ niedrig sein. Insbesondere ist es möglich, daß das Standard-Modell im Yukawa-Sektor zusammenbricht. Falls die Natur durch die “Confinement”-Phase beschrieben wird, koennte man davon ausgehen, daß die leichten Fermionmassen erzeugt werden, ohne daß das Higgs-Boson an die Fermionen gekoppelt wird. Dann würde aber das Higgs-Boson anders als im Standard Modell zerfallen. Es ist jedoch auch vorstellbar, daß die Verletzung der Dualität erst bei hohen Energien stattfindet. Dann erwartet man neue Teilchen wie Anregungen mit Spin 2 der elektroschwachen Bosonen. Ebenso vorstellbar sind Fermionen-Substruktur-Effekte die beim anomal magnetischen Moment des Muons sichtbar werden.



Cette thèse est dédiée à mes parents





# Acknowledgements

It is a pleasure to thank Professor Harald Fritzsch for his scientific guidance and for a fruitful collaboration. I have learnt a lot from the numerous discussions we had during the completion of this work.

I would like to thank Dr. Arnd Leike for the interesting discussions we had and for trying to organize a bit of a social life in the research group. I would also like to thank him for reading this work thoroughly.

I am particularly happy to thank Professor Zhi-zhong Xing for the discussions we had. These enlightening discussions were the sources of my works on  $B$  physics. I would like to thank him for his encouragements to write down these ideas.

Professor Fritzsch's group was small during my stay in Munich, but it was really stimulating due to the presence of Arnd and Zhi-zhong.

I would also like to thank Andrey Neronov and Michael Wohlgenannt for the collaborations that emerged from inspiring discussions.

I am grateful to Dr. E. Seiler for enlightening discussions concerning the complementarity principle. I would like to thank Nicole Nesvadba from Opal, Dr. Philip Bambade, Jens Rehn and Marcel Stanitzki from Delphi for discussions on searches at LEP for a Higgs boson that does not couple to  $b$ -quarks.

Last but not least, I would like to thank my parents and my brother Lionel for their love and for their moral support during the completion of this work. It has always been a pleasure to discuss physics with you Dad, and I am sure that you could have produced many other interesting ideas in theoretical particle physics if you had chosen to stick to physics instead of leaving for computer science.



# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>11</b>
1.1	The standard electroweak model . . . . .	13
1.1.1	The Higgs mechanism . . . . .	15
1.1.2	Naturalness and Hierarchy problem . . . . .	16
1.2	Extensions of the standard model . . . . .	18
1.2.1	Composite models . . . . .	18
1.2.2	Technicolor . . . . .	19
1.2.3	Supersymmetry . . . . .	21
1.2.4	New ideas and new dimensions . . . . .	23
1.3	Discussion . . . . .	24
<b>2</b>	<b>The dual phase of the standard model</b>	<b>27</b>
2.1	The confinement phase . . . . .	27
2.2	The duality . . . . .	29
2.2.1	The gauge invariant standard model . . . . .	31
2.3	The relation to lattice gauge theory . . . . .	33
2.3.1	Discussion . . . . .	36
2.4	A global $SU(2)$ symmetry . . . . .	37
2.5	Electromagnetism and mixing . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Making use of the duality</b>	<b>41</b>
3.1	Calculation of the weak mixing angle . . . . .	41
3.2	Calculation of the Higgs boson mass . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Supersymmetry and Confinement</b>	<b>47</b>
4.1	Supersymmetry and the confinement phase . . . . .	47
4.2	Hidden supersymmetry . . . . .	48
4.2.1	Back to known particles . . . . .	51
4.3	The MSSM . . . . .	52

<b>5</b>	<b>Testing the duality</b>	<b>55</b>
5.1	The Higgs boson might not couple to $b$ -quarks . . . . .	55
5.2	Electroweak $d$ -waves . . . . .	59
5.3	Production of the electroweak $d$ -waves . . . . .	60
5.4	The reaction $W^+ + W^- \rightarrow W^+ + W^-$ . . . . .	61
5.5	Discussion . . . . .	65
5.6	Conclusions . . . . .	68
<b>6</b>	<b>The substructure of fermions</b>	<b>69</b>
6.1	Anomalous magnetic moment . . . . .	69
6.2	Radiative lepton decays . . . . .	70
<b>7</b>	<b>Conclusions</b>	<b>75</b>