

## الآية

﴿أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ

مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ

أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ (27) وَمِنَ النَّاسِ وَالدَّوَابِّ

وَالْأَنْعَامِ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ كَذَلِكَ إِنَّمَا يَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ

الْعُلَمَاءُ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ مُخْتَلِفٌ (28) ﴿

صدق الله العظيم

سورة فاطر الآية (27، 28)

# *Dedication*

*To*

*Dearest people in my life*

*My mother for her unlimited love,*

*My father for his constructive advice throughout my life,*

*My brothers and my sisters and*

*All of my friends.*

*I dedicate this work*

## ***Acknowledgments***

*My great thanks to Allah for everything. My deep gratitude to my supervisor **Dr. Ammar Ibrahim Abdalgabar** for his invaluable guidance, fruitful discussions and comments throughout this work. Also every special thanks are extended to my teachers, friends and colleagues.*

# Abstract

In this thesis, the one loop renormalization group equations for the gauge couplings in the standard model and universal extra dimension were calculated. The universal extra dimension model compactified on the  $S_1/Z_2$  orbifold which has a size  $1/R \approx 1$  TeV to yield the 4D standard model. We considered different matter fields localization that is all field have access to the full space time (bulk case), or some of the fields do propagate in extra dimension (brane case). We discussed the evolution of the inverse fine structure constants  $\alpha^{-1}$  as function of energy scale in these models and found that as expected the extra dimension lowered the unification scale with respect to the standard model unification scale for different values of the compactification scale  $R^{-1} = 1$  TeV, 5 TeV and 13 TeV . We have shown that in both scenarios (brane and bulk) the gauge couplings are almost unify but do not unify at single energy scale for example with  $R^{-1} = 1$  TeV we get an approximate unification at energy scale  $10^{4.3}$  GeV. We find that there is a difference in the  $\alpha_2^{-1}$  evolution where it increases in the brane case and decreases in the bulk propagating case. Furthermore a successful unification of the three gauge couplings was achieved by introducing three real scalar fields into the extra dimension model in both scenarios. We also discussed the running of Weinberg angle for  $R^{-1} = 1$  TeV, and found that  $\sin^2\theta_w$  can rise from 0.23 to 0.4. This result may be useful, at least from a model building perspective.

## ملخص البحث

في هذا البحث دُرِس نشأة ثابت بنية التفاعلات في نموذج الأبعاد الزائدة (نظرية النموذج القياسي للجسيمات الأولية في خمسة أبعاد). حُسب ثابت البنية الدقيق للرتبة الأولى باستخدام معادلات المجموعات المعيارية في نموذج الأبعاد الزائدة. ودرست تأثيرات هذه النظرية على ثوابت البنية العيارية عند قيم مختلفة للطاقة ( 1 تيرا إلكترون فولت ، 5 تيرا إلكترون فولت، 13 تيرا إلكترون فولت) في مدى قريب من طاقة المصادم الهادروني الكبير (14 تيرا إلكترون فولت) وذلك في حالتَي (bulk and brane) وتم الحصول على التوحيد في مدى أقل من النموذج القياسي كما هو متوقع من نظرية الأبعاد الزائدة. ووجد ان مقلوب ثوابت البنية في نموذج الأبعاد الزائدة في حالتَي bulk و brane يتحدوا في نقطة واحدة على سبيل المثال وجد انه عند طاقة (1 تيرا إلكترون فولت) يحدث تقريبا توحيد لهذه الثوابت عند طاقة  $10^{4.3}$  قيقا إلكترون فولت. ووجد ايضا إختلاف في نشأة مقلوب ثابت البنية  $\alpha_2^{-1}$  في حالتَي bulk و brane حيث لوحظ انه يتزايد مع زيادة الطاقة في حالة brane ويتناقص مع زيادة الطاقة في حالة bulk للحصول على توحيد لهذه الثوابت تم إضافة ثلاثة جسيمات قياسية لنموذج الأبعاد الزائدة وهذه الجسيمات حققت توحيد جميع ثوابت البنية الدقيقة في نقطة واحدة وذلك في جميع الحالات bulk و brane. نوقش في هذا البحث  $\sin^2 \theta_w$  في حالتَي bulk و brane ، عند طاقة (1 تيرا إلكترون فولت) وجد ان  $\sin^2 \theta_w$  تزيد من (0.23) الي (0.4) وهذه النتيجة مهمة في بناء أي نظرية موحدة .

## Table of contents

Contents	Page
الاية	I
Acknowledgment	II
Dedication	III
Abstract	IV
المخلص	V
Table of contents	VI — VII
List of Figures	VIII
List of Tables	IX

### Chapter I: Introduction

Topic number	Topic	Page
1.1	General Introduction of elementary particles	1
1.2	Problem of the study	3
1.3	objective of the research	4
1.4	Outlines of the thesis	4

### Chapter II: The Standard model and Beyond

Topic number	Topic	Page
2.1	Introduction	5
2.2	What is the standard model (SM)	5
2.3	Symmetries and Particle Content in standard model	8
2.4	The Higgs Mechanism	9
2.5	The lagrangian of the standard model	11
2.6	Problems with the Standard Model	13
2.7	Beyond the Standard Model	14

### **Chapter III: Renormalization Group Equations**

Topic number	Topic	Page
3.1	Introduction	20
3.2	Renormalization group equations	20
3.3	Calculation of Beta Function for the gauge couplings constant in the SM	21
3.4	Beta Function for gauge coupling constant in ED (Bulk Case)	27
3.5	Beta Function for gauge coupling constant in ED (Brane Case)	31

### **Chapter IV: Numerical results, discussions and conclusions**

Topic number	Topic	Page
4.1	Numerical Results and Discussions	33
4.2	Conclusion	40
4.3	Recommendation	40
4.4	References	41

## List of Figures

Figure number	Figure Caption	Page
Figure 2.1.	The Higgs potential with: the case $\mu^2 > 0$ ; as function of $ \Phi $ .	10
Figure 2.2.	The Higgs potential with: the case $\mu^2 < 0$ ; as function of $ \Phi $ .	10
Figure 2.3	Unification of inverse fine structure constants in 4D MSSM, the unification takes place at $2 \times 10^{16}$ GeV	16
Figure 3.1.	The one-loop gauge field self-correction diagrams in the Standard model	21
Figure 3.2.	Contribution of extra dimension fields to gauge couplings unification	28
Figure 4.1	Evolution of the inverse fine structure constants in the standard model	34
Figure 4.2	Evolution of the inverse fine structure constants in ED (Bulk Case)	34
Figure 4.3	Evolution of the inverse fine structure constants in ED Brane Case	35
Figure 4.4	Evolution of the inverse fine structure constants in ED in general case	36
Figure 4.5	The evolution of the Weinberg angle for three different values of the compactification where the solid line represents the SM case.	38



Figure 4.6	Unification of couplings with additional scalar fields in bulk case.	39
Figure 4.7	Unification of couplings with additional scalar fields in brane case.	39

### List of Tables

Table number	Table Caption	Page
Table 2.1.	The SM fields with their representations under $SU(3)_c$ and $SU(2)_L$ and their Charges under $U(1)_Y$ and $U(1)_{EM}$ $Q$ is the electric charge and $s$ is the spin of the field	7
Table 2.2.	Supersymmetric partners with the Standard Model members	15