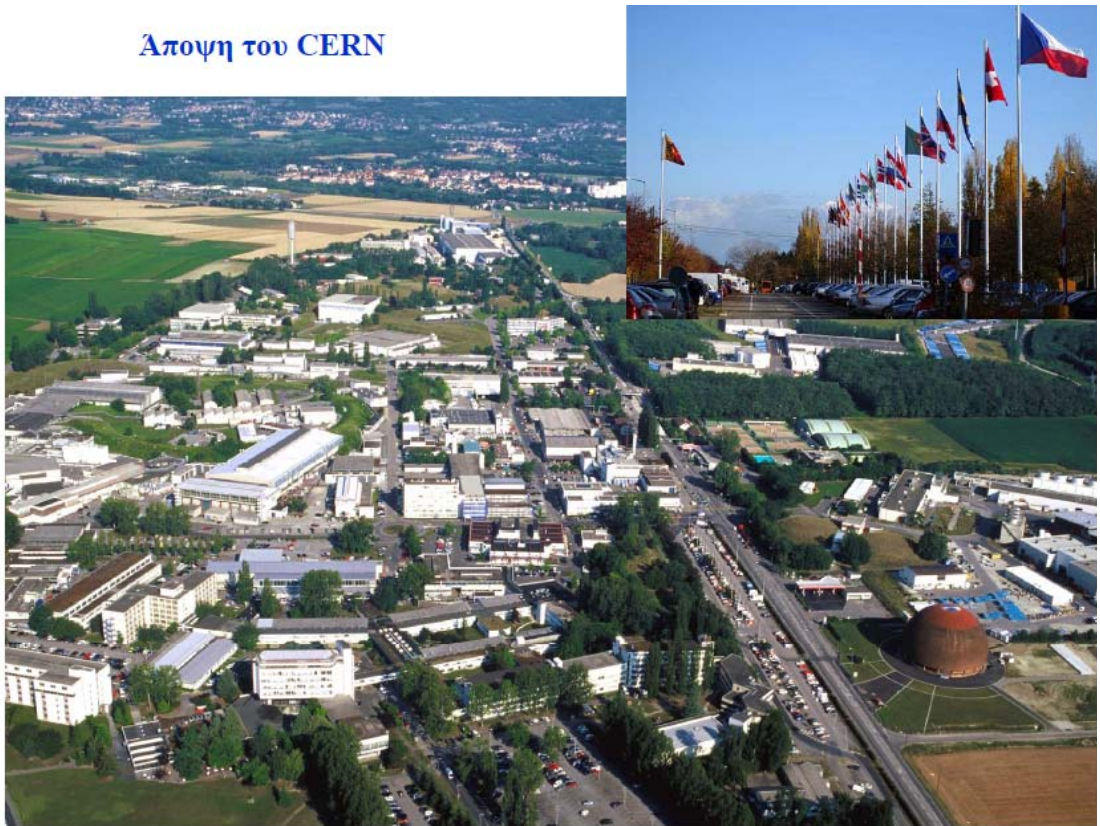


Τι ελπίζουμε από τον μεγάλο επιταχυντή στο CERN

Γεωργίου Ι. Γούναρη
Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειον Πανεπιστήμιον Θεσσαλονίκης¹

Εισαγωγή Πρώτα μια εικόνα από το CERN, το τούνελ και τα 4 μεγάλα εκεί πειράματα:

Άποψη του CERN



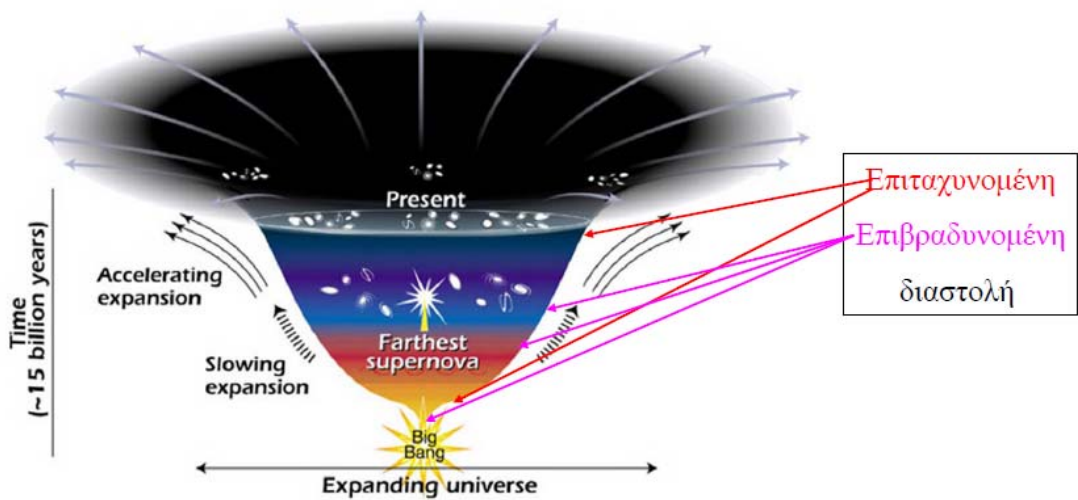
Εικόνα 1 Μια γενική άποψη του κέντρου του CERN

¹ gounaris@physics.auth.gr



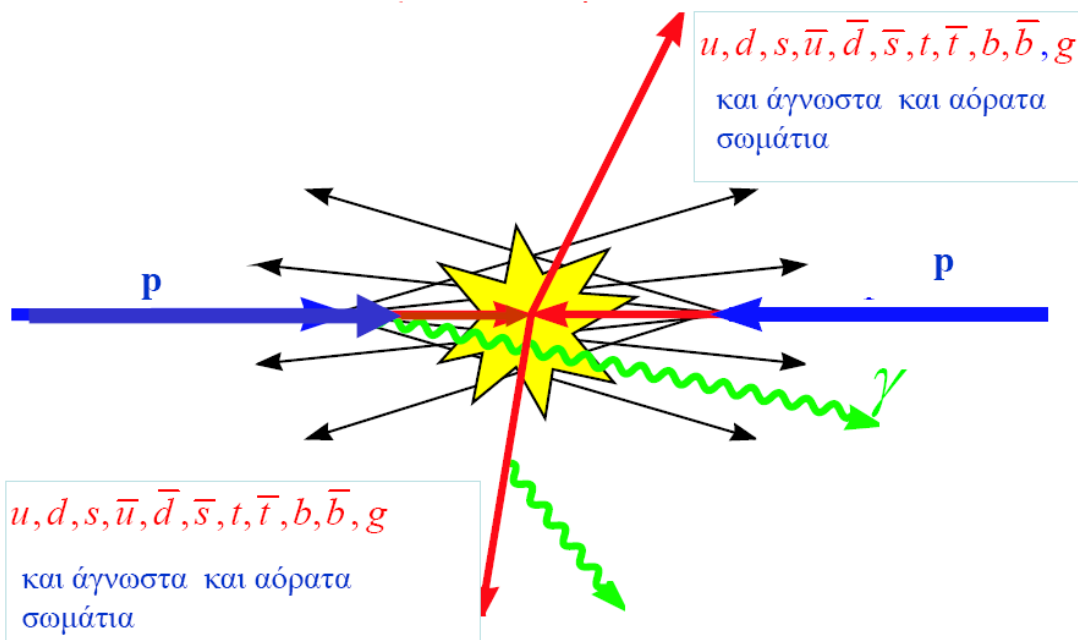
Εικόνα 2: Το υπόγειο τούνελ του **LHC** και τα 4 πειράματά του. Η περίμετρος του τούνελ είναι 26.7 χιλμ.

Στην **εικόνα 3** δίδεται μια περίληψη της ιστορίας της Δημιουργίας. Ο Χώρος και η ύλη (και τα κβάντα των δυνάμεων) δημιουργήθηκαν όλα μαζί. Στην Αρχή η πυκνότητα ενέργειας και η θερμοκρασία ήταν τόσο **ΤΕΡΑΣΤΙΑ**, ώστε μόνο στοιχειώδη σωματίδια (και κβάντα δυνάμεων) και σκέτη ενέργεια μπορούσαν να υπάρξουν. Όλα τα σύνθετα έγιναν αργότερα! Η φυσική των στοιχειωδών σωματιών (συμπεριλαμβανομένης της βαρύτητας) καθορίζουν την Κοσμολογία..



Εικόνα 3: Μια επιτομή της ιστορίας του Σύμπαντος.

Το LHC συνίσταται από δύο πυκνότερες δέσμες πρωτονίων που συγκρούονται μεταξύ τους. Το κάθε πρωτόνιο προβλέπεται να έχει τελικά ενέργεια 7000 φορές την μάζα του, και αναμένονται $10^8 - 10^9$ συγκρούσεις το δευτερόλεπτο.



Εικόνα 4: Το κάθε προσπίπτον πρωτόνιο αποτελεί μια ισχυρή δέσμη από κουάρκς, αντικουάρκς και γλουόνια παριστάμενα με τα μαύρα βέλη. Τα κόκκινα παριστούν σωματίδια προϊόντα συγκρούσεως. Τα πράσινα είναι φωτόνια ακτινοβολούμενα από τα διάφορα σωματίδια προ ή μετά την σύγκρουση.

Η κάθε δέσμη πρωτονίων θα έχει την διατομή μιας τρίχας. Στις ενέργειες αυτές, το κάθε πρωτόνιο αποτελεί, από μόνο του, μια ισχυρότατη δέσμη από κουάρκς αντικουάρκς και gluons. Έτσι, η πυκνότητα ενέργειας στην περιοχή συγκρούσεως αναμένεται τεράστια: Συγκρίσιμη με την πυκνότητα των πρώτων στιγμών της Δημιουργίας! Συνεπώς, ό,τι παρήχθη κοντά στην Αρχή, θα μπορεί να παραχθεί και στο LHC

Μια σχεδίαση του φαινομένου εμφανίζεται στην Εικόνα 4.

Στην ομιλία αυτή θα ασχοληθούμε με τις ενότητες:

1. Οι δυνάμεις μεταξύ των στοιχειωδών σωματίων «σκληρύνονται» σε πολύ μικρές αποστάσεις. Η λογική απαιτεί να υπάρχει κάποιο όριο Όσο πιο απαλές είναι οι δυνάμεις μια θεωρίας, τόσο πιο κοντά στην αλήθεια βρίσκονται.
2. Το Στάνταρτ Μοντέλο για τα στοιχειώδη σωματίια και τις μεταξύ των δυνάμεις.
3. Ο μηχανισμός Higgs για την μάζα, και το σωματίιο Higgs.
4. Η Υπερσυμμετρία.
5. Η Σκοτεινή Ύλη (ΣΥ) και η Σκοτεινή Ενέργεια (ΣΕ) που κατακλύζουν το Σύμπαν. Με τον LHC, ελπίζουμε να παράγουμε στην Γη ΣΥ !
6. Τι είναι η ΣΕ ; Πεδία με ενέργεια και πίεση σύμφυτα με το χώρο;

Οι δυνάμεις και οι σκληρότητες τους

- Τα στοιχειώδη σωματίια δεν έχουν ακτίνα. Τίποτε δεν τα εμποδίζει να πλησιάζουν απεριόριστα μεταξύ τους. Έτσι, ένα ζεύγος ηλεκτρονίων e^-e^- , που απωθούνται από ένα σκληρό δυναμικό Coulomb της μορφής $V \sim \alpha/r$ θα μπορούσε να αποκτήσει ενέργεια μεγαλύτερη από την ενέργεια του Σύμπαντος ολοκλήρου !... Άτοπο που πρέπει να αποφευχθεί ... Η φύση είναι έτσι φτιαγμένη ώστε η σκληρότητα των δυνάμεων «απαλύνεται» σε πολύ μικρές αποστάσεις. Τα βήματα της απαλύνσεως εξηγούμε παρακάτω:
- Στην Κλασσική Φυσική ένα e^- με ακτίνα r_e θα είχε μάζα $m_e \approx \alpha/r_e$ που θα απειριζόταν «ταχύτατα» καθώς $r_e \rightarrow 0$. Οι κλασσικές δυνάμεις είναι δηλαδή πολύ «σκληρές»!
- Μια πρώτη απάλυνση προέρχεται από την **αντιύλη**, (Dirac) και ανακαλύφθηκε στα ~ 1930 . Εξ αιτίας της, οι σκληρότητες των δυνάμεων απαλύνονται και η μάζα του ηλεκτρονίου συμπεριφέρεται ως $m_e \sim \alpha \ln(1/r_e)$, απειριζόμενη μόνο λογαριθμικά, καθώς $r_e \rightarrow 0$.
- Ο λογαριθμικός απειρισμός είναι «ήπιος» και καθιστά εφικτή την διατύπωση της συνεπούς μαθηματικής θεωρίας της Κβαντικής Φυσικής.
- Αναζητώντας τρόπους περαιτέρω απαλύνσεως οδηγηθήκαμε στις **Θεωρίες Βαθμίδος (ΘΒ)**. Τι είναι οι ΘΒ ;

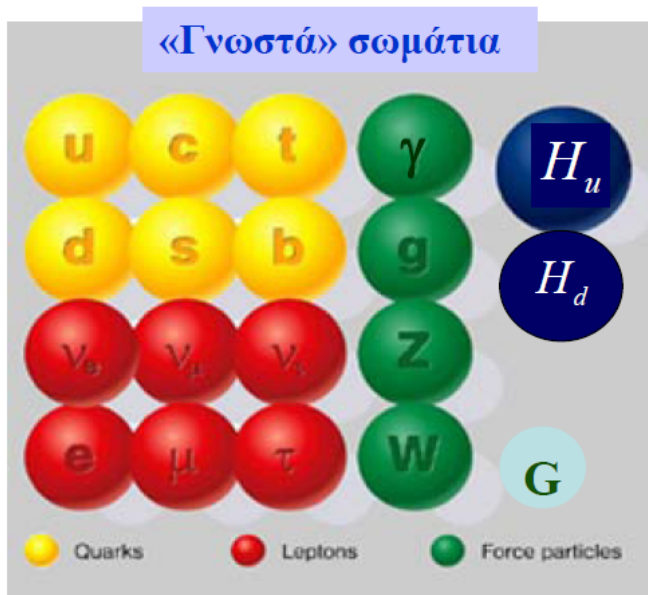
- Στην Γενική Σχετικότητα (ΓΣ) οι δυνάμεις βαρύτητας καθορίζονται από την απαίτηση να είναι αναλλοίωτες κάτω από τοπικούς χωροχρονικούς-μετασχηματισμούς. Η τοπικότης είναι βασικό συστατικό της ΓΣ, που στην κβαντική γλώσσα εισάγει τα κβάντα της βαρύτητας με σπιν=2.
- Στις ΘΒ, τα σωματίδια χωρίζονται σε ομάδες με παρόμοιες ιδιότητες, και κοινό σπιν=0, ½, ή 1. Τα σωματίδια και ακέραιο σπιν λέγονται «μποζόνια», ενώ εκείνα να με ημι-ακέραιο λέγονται «φερμιόνια». Δυο (ή περισσότερα) φερμιόνια δεν μπορούν να βρεθούν στην ίδια κατάσταση, ενώ για τα μποζόνια δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός.
- Οι δυνάμεις εισάγονται απαιτώντας το αναλλοίωτο τους, κάτω από τοπικούς στον χωροχρόνο μετασχηματισμούς, που εναλλάσσουν μεταξύ τους σωματίδια της αυτής ομάδας, (χωρίς να επηρεάζουν τον χωρόχρονο...)
- Ύλη αποκαλούμε συνήθως τα σωματίδια με σπιν=0 ή ½. Τα κβάντα των ηλεκτρομαγνητικών, ασθενών και ισχυρών δυνάμεων είναι τα φωτόνια (γ), τα W^\pm και Z σωματίδια, και τα γλουόνια (g), που όλα χαρακτηρίζονται από σπιν=1. Και η ύλη και οι δυνάμεις εμφανίζονται ως σωματίδια. Και οι έννοιες «σωμάτιο» και «κβάντουμ» συμπίπτουν. Η τοπικότης των ΘΒ είναι το βασικό στοιχείο που καθορίζει το τρόπο με το οποίο αλληλεπιδρούν.
- Η φιλοσοφία στις ΘΒ και ΓΣ παρόμοια ... ! Τα κβάντα της ΓΣ είναι τα βαρυτόνια, που χαρακτηρίζονται από σπιν=2.
- Όταν δεν υπάρχει μάζα, οι ΘΒ έχουν μόνον λογαριθμικούς απειρισμούς, και αποδεκτές επομένως σκληρότητες δυνάμεων. Όμως, όταν υπάρχει μάζα, οι σκληρότητες καθίστανται απαράδεκτες !
- Ο μόνος γνωστός τρόπος να απαλυνθούν οι εκ της μάζας σκληρότητες, είναι να υποθέσουμε ότι το Σύμπαν κατακλύζεται από πεδία Higgs (θα επανέλθουμε)
- Η αντιύλη, οι θεωρίες βαθμίδος και το πεδίο Higgs εξαλείφουν ένα μεγάλο μέρος της σκληρότητας των δυνάμεων και προσδίδουν στις θεωρίες μας μαθηματική συνέπεια.
- Το Στάνταρτ Μοντέλο (ΣΜ) που περιγράφει τις ηλεκτρομαγνητικές, ασθενείς και ισχυρές αλληλεπιδράσεις, είναι μια ΘΒ βασισμένη στην μαθηματική ομάδα. $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$.
- Η ιδέα ότι όλες οι δυνάμεις στην φύση (συμπεριλαμβανομένης και της βαρύτητας) περιγράφονται από θεωρίες βαθμίδος, έχει καταστεί κοινή πεποίθηση σήμερα !

Το Στάνταρτ Μοντέλο:

Τα κβάντα των δυνάμεων και της ύλης, και οι τριάδες τους εμφανίζονται στην Εικόνα 5. Τα σωματίδια της ύλης είναι τα **κουάρκς** (κίτρινα) και τα **λεπτόνια** (κόκκινα). Όλα είναι «φερμιόνια» με σπιν=½ και εμφανίζονται κατά τριάδες! Ιδιαίτερα, το κάθε **κουάρκ** της εικόνας εμφανίζεται σε **τρία** «χρώματα».

Τα κβάντα των **τριών** βασικών δυνάμεων είναι τα γ , g , Z , W^\pm , με σπιν=1. Η δομή των δυνάμεων αυτών χαρακτηρίζεται από την συμμετρία $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$, που είναι γινόμενο τριών απλών ομάδων. Και όλες ενεργούν μέσα σ' έναν χώρο με τρεις γεωμετρικές διαστάσεις, και μια Φύση με τρεις ανεξάρτητες μονάδες... Κανείς δεν ξέρει γιατί αυτή η συνεχής επανεμφάνιση του «**τρία**».

Η βαρύτης και η Γενική Σχετικότητα (ΓΣ) που την περιγράφει ξεχωρίζει από τις άλλες δυνάμεις, και κβάντουμ της, το βαρυτόνιο: G έχει σπιν=2.



Εικόνα 5: Τα κβάντα των δυνάμεων και της ύλης στο Στάνταρτ μοντέλο.

Τα H_u, H_d περιγράφουν τα πεδία και τα σωματρία Higgs² και έχουν σπιν=0. Όλα τα κβάντα των δυνάμεων και το Higgs είναι μποζόνια. Τα κουαρκς και τα λεπτόνια είναι φερμιόνια. Τα «μποζόνια» είναι πολύ λιγότερα από τα «φερμιόνια» στο Στάνταρτ μοντέλο.

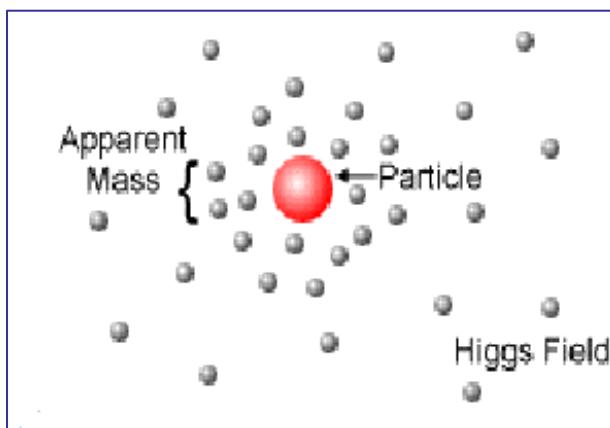
² Στο σύνηθες Στάνταρτ μοντέλο $H_u = H_d$, και υπάρχει ένα μόνον Higgs.

Το πεδίο Higgs.



Εικόνα 6: Η λίμνη Πλαστήρα

- Αν ολόκληρο το Σύμπαν παρομοιασθεί με μια ήρεμη λιμνούλα, τότε **το πεδίο Higgs αντιστοιχεί με το νερό της λίμνης**. Όπως το «νερό» γεμίζει την λίμνη, έτσι και το πεδίο Higgs κατακλύζει το Σύμπαν και «δυσκολεύει» την κίνηση των σωματίων μέσα σ' αυτό... Την δυσκολία αυτή την λέμε «μάζα». Κάθε σωματίο συναντά διαφορετική «δυσκολία», και συνεπώς αποκτά διαφορετική μάζα.... Μερικά, όπως το φωτόνιο, δεν δυσκολεύονται καθόλου.... και συνεπώς δεν αποκτούν μάζα.
- Στις πρώτες στιγμές της Δημιουργίας ($\lesssim 10^{-11}$ sec μετά την Αρχή), οι τεράστιες πυκνότητες (και θερμοκρασίες) δεν άφηναν να μαζευτεί νερό στην λιμνούλα. Την εποχή εκείνη η λιμνούλα ήταν άδεια και το πεδίο Higgs μηδενικό. Τίποτε δεν δυσκόλευε την κίνηση των σωματίων.... και κανένα δεν είχε μάζα. Όλα έμοιαζαν με τα φωτόνια και το Φως...
- Η μάζα των στοιχειωδών σωματίων δημιουργήθηκε αργότερα ($\gtrsim 10^{-11}$ sec μετά την Αρχή), όταν έπεσε η πυκνότης και η θερμοκρασία κατέβηκε κάτω στους $\sim 10^{16}$ K, δίδοντας στο πεδίο Higgs μη μηδενική τιμές.

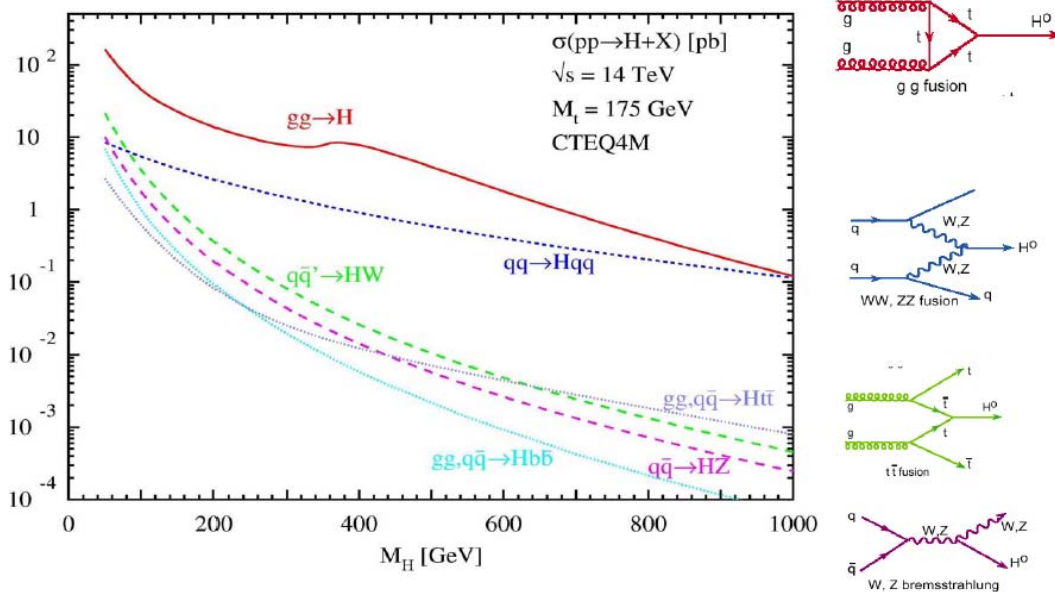


Εικόνα 7: Το Σύμπαν κατακλύζεται σήμερα από το πεδίο Higgs, όπως μια λίμνη από το νερό της. Οι κουκίδες παριστούν το πεδίο Higgs. Όσο πιο πυκνές είναι, τόσο πιο πολύ δυσκολεύουν την κίνηση του σωματίου. Και όσο πιο πολύ την δυσκολεύουν κάποιον, τόσο μεγαλύτερη μάζα του δίδουν...

Η μάζα των W , Z , e , μ , τ , και των νεutrino πρέπει να προέρχεται εξ ολοκλήρου από το πεδίο Higgs. Τα ελαφρά κουάρκ (u, d, s) όμως παίρνουν ένα μικρό μέρος μόνο της σημερινής τους μάζας τους από το Higgs. Το μεγαλύτερο μέρος το πήραν αρκετά αργότερα από την QCD, όταν η θερμοκρασία έπεσε στους $\sim 10^{12}$ K

Τι είναι το σωματίο Higgs;

Είναι τα μικρά «κυματάκια» που δημιουργούνται στην λίμνη όταν με κάποιο τρόπο ταρακουνήσουμε το νερό της. → Οι κβαντικές δηλαδή διεγέρσεις του πεδίου Higgs είναι το σωματίο Higgs. Τέτοια «κυματάκια», πρέπει να μπορούν να παραχθούν στο LHC. Η κβάντωση θα κάνει τα κυματάκια σωματία, που θα διασπασθούν σχεδόν αμέσως, μετατρέπομενα σε ανιχνεύσιμα σωματία: π.χ. $H \rightarrow \gamma\gamma$.

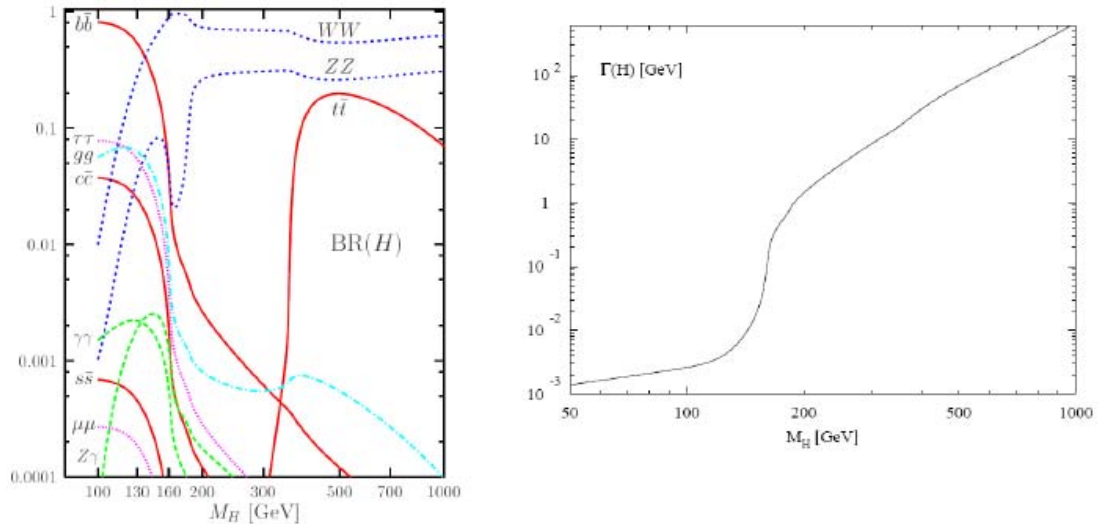


Εικόνα 8: Διάφοροι τρόποι παραγωγής του Higgs από αλληλοαναιρέση γλουονίων $gg \rightarrow H$, ή κουάρκ-αντικουάρκ $q\bar{q} \rightarrow H$.

Στην Εικόνα 9 παρίστανται οι διάφοροι τρόποι διασπάσεως το Higgs, και η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του, ως συνάρτηση της μάζας του. Όλες οι ενδείξεις οδηγούν σε

$$M_H \lesssim 120 \text{ GeV} \sim 120 m_{\text{πρωτονίου}} ,$$

Πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, (αν όλα πάνε καλά και το Higgs πράγματι υπάρχει) θα χρειασθούν ~ 3 χρόνια για να μπορέσει το LHC να το ανακαλύψει.



Εικόνα 9: Αριστερά οι πιθανότητες διαφόρων τρόπων διασπάσεως του H ως συνάρτηση της μάζας του, και δεξιά η απροσδιοριστία στην μάζα του που συνδέεται με την διάρκεια ζωής του με τη σχέση $\tau_H = 1/\Gamma(H)$.

Η Υπερσυμμετρία

Το ΣΜ συμφωνεί με όλα τα υπάρχοντα πειραματικά δεδομένα, εκτός από κάτι μικροδιαφορές κυρίως στο a_μ του μ^- .

Όμως το ΣΜ δεν περιέχει ΣΥ. Οι δυνάμεις του, οι υπεύθυνες για την μάζα των σωματίων Higgs, είναι ανεπίτρεπτα σκληρές. Και δεν ενοποιούνται σε πολύ μικρές αποστάσεις

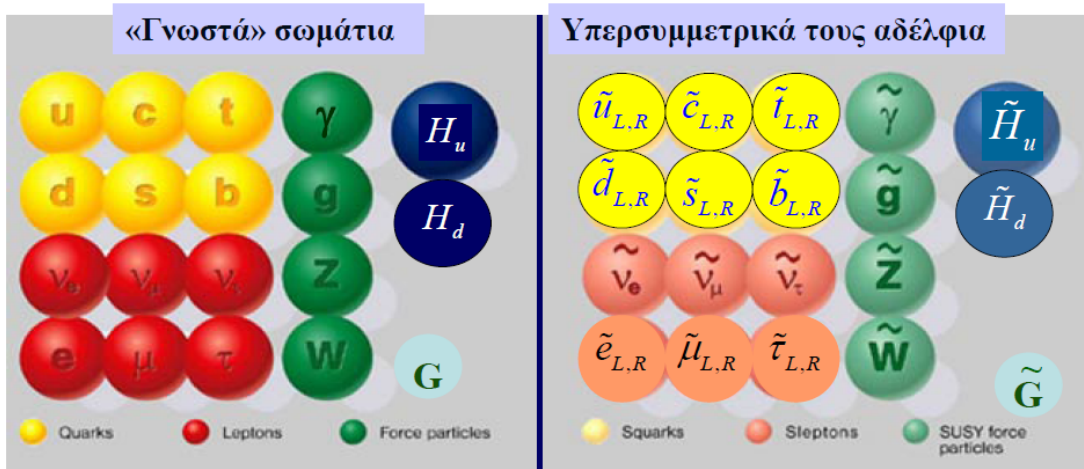
Αυτά γιατρεύονται στην Υπερσυμμετρία. Μια «μοναδική» γενίκευση της χωροχρονικής συμμετρίας που περιλαμβάνει και μετασχηματισμούς

σωμάτια Bose \leftrightarrow σωμάτια Fermi,

που συσχετίζει σωμάτια με διαφορετικό σπιν.

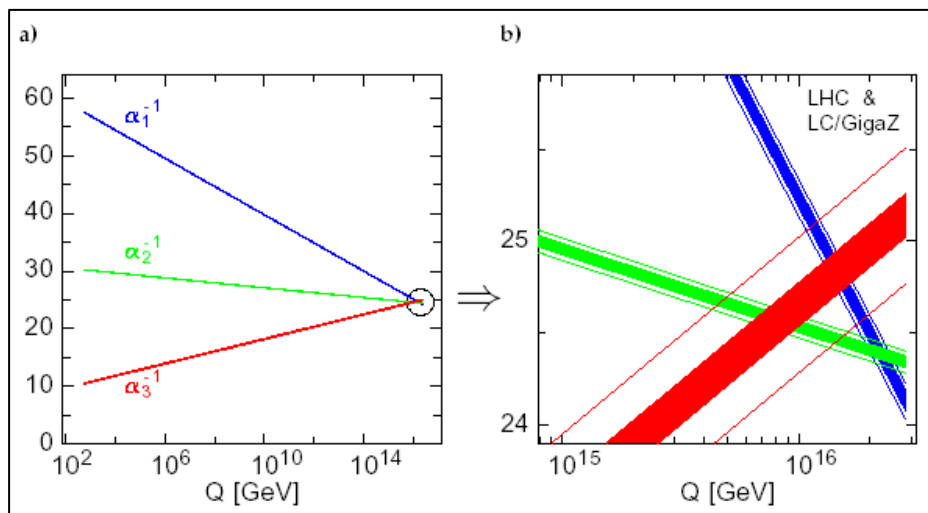
- Έτσι, η ύλη καθίσταται κομμάτι του χωροχρόνου, απαλύνοντας ακόμη περισσότερο τις δυνάμεις...
- Όμως, οι δυνάμεις που καθορίζουν την ενέργεια του κενού, παραμένουν εξαιρετικά σκληρές. Οι συνέπειες τους όμως περιορίζονται απολύτως στην τιμή της ενεργείας αυτής..

Όπως φαίνεται στην Εικ.10, κάθε «γνωστό» έχει ένα ή δυο «υπερσυμμετρικά αδέρφια», με πανομοιότυπα φορτία, «χρώμα» και ισοσπίν, αλλά διαφορετικά μάζα και σπιν, που διαφέρει κατά 1/2. Οργανώνονται και αυτά κατά τριάδες. Οι «μποζονικοί» βαθμοί ελευθερίας στην Υπερσυμμετρία, είναι όσοι και οι «φερμιονικοί». Κανένα από τα προβλεπόμενα νέα σωμάτια δεν έχει βρεθεί ως τώρα.... Ελπίζουμε στο LHC !



Εικόνα 10: Αριστερά τα σωματίδια του στάνταρτ μοντέλου, και δεξιά τα υπερσυμμετρικά τους αδέρφια, με τους αυτά φορτία και όλους τους κβαντικούς αριθμούς, εκτός από το σπιν και την μάζα.

Τι άλλο κάνει η Υπερσυμμετρία;



Εικόνα 11. Το Q συνδέεται με την απόσταση d ως $Q=1/d$. Οι δυνάμεις ενοποιούνται σε $Q \approx 10^{16}\text{GeV} \rightarrow d \approx 2 \cdot 10^{-30} \text{ cm}$

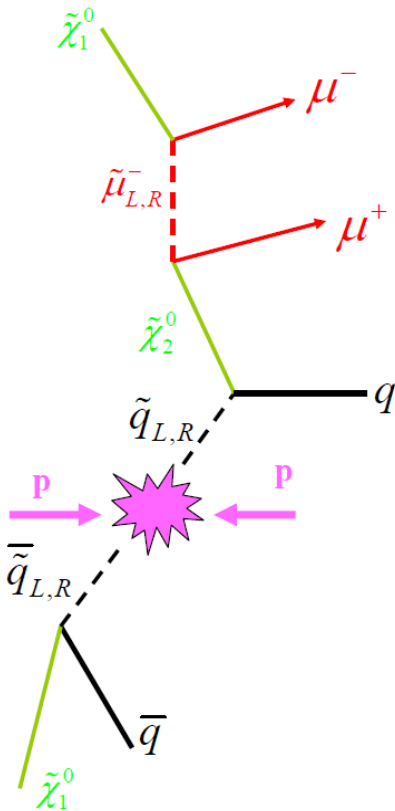
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 11, Αν οι μάζες των υπερσυμμετρικών σωματίων είναι ελαφρότερες από 1000 GeV, τότε οι εντάσεις των τριών δυνάμεων σε αποστάσεις $d \approx 2 \cdot 10^{-30} \text{ cm}$, παίρνουν πανομοιότυπες τιμές. Σε τέτοιες αποστάσεις, οι ισχυρές, οι ασθενείς και ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις γίνονται διαφορετικές εκφράσεις μιας μόνον δύναμης.

Η υπερσυμμετρία περιέχει υποψηφίους για ΣΥ.

Γραμμικοί συνδυασμοί των υπερσυμμετρικών αδελφών του φωτονίου γ , του Z και των ουδέτερων συνιστωσών των του Higgs, ονομαζόμενες $\tilde{\gamma}$, \tilde{Z} , \tilde{H}_u^0 , \tilde{H}_d^0 (εικόνα 10), αναμένονται να εμφανισθούν σαν ουδέτερα ασθενώς αλληλεπιδρώντα σωμάτια $\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_3^0, \tilde{\chi}_4^0$.

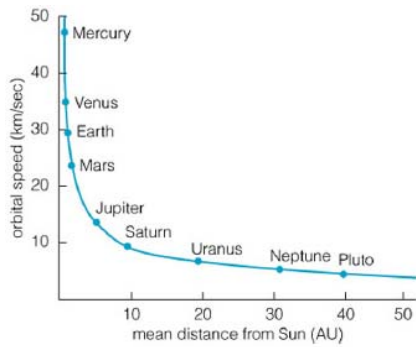
Το ελαφρότερο νουτραλίνο $\tilde{\chi}_1^0$ είναι ο επικρατέστερος σήμερα υποψήφιος για την ΣΥ. Διότι είναι σταθερό και ουδέτερο, και αισθάνεται μόνον την βαρύτητα και τις ασθενείς δυνάμεις. Μια άλλη δυνατότητα για την ΣΥ αποτελεί το βαρυτίνο \tilde{G} .

Το $\tilde{\chi}_1^0$ είναι άρατο από τους ανιχνευτές του LHC.. Τυχόν παραγωγή του θα εμφανίζεται συνεπώς σαν παραβίαση της ενέργειας.

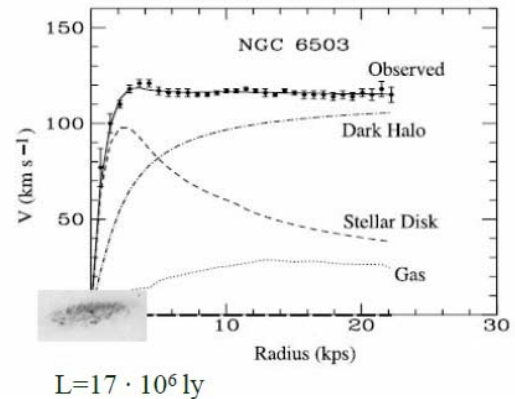
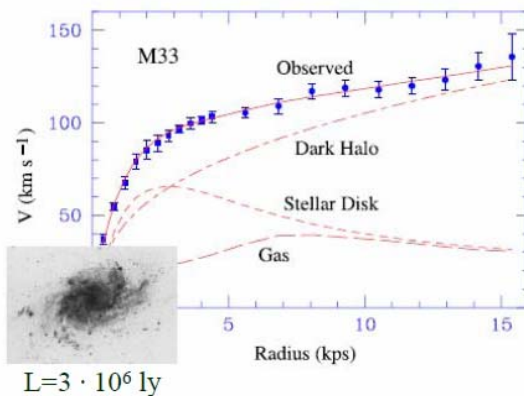


Εικόνα 12: Επειδή τα $\tilde{\chi}_1^0$ είναι άρατα από τους ανιχνευτές του LHC, η παραγωγή του σε μια διαδικασία όπως του παραπλεύρως σχήματος, θα εμφανίζεται σαν παραβίαση της διατήρησης της ενέργειας. Οι παρατηρούμενες ενέργειες σε δύο αντίθετες πλευρές, κάθετα προς τις προσπίπτουσες δέμες πρωτονίων, θα εμφανίζονται διαφορετικές!

Αστρονομικές αποδείξεις για την ύπαρξη Σκοτεινής Ύλης



$$V_{\text{περιστροφής}} = \sqrt{\frac{G_N M(R)}{R}}$$

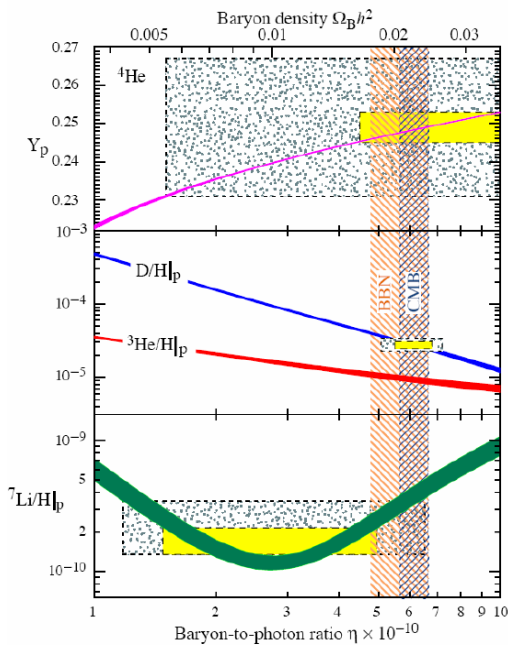


Εικόνα 13

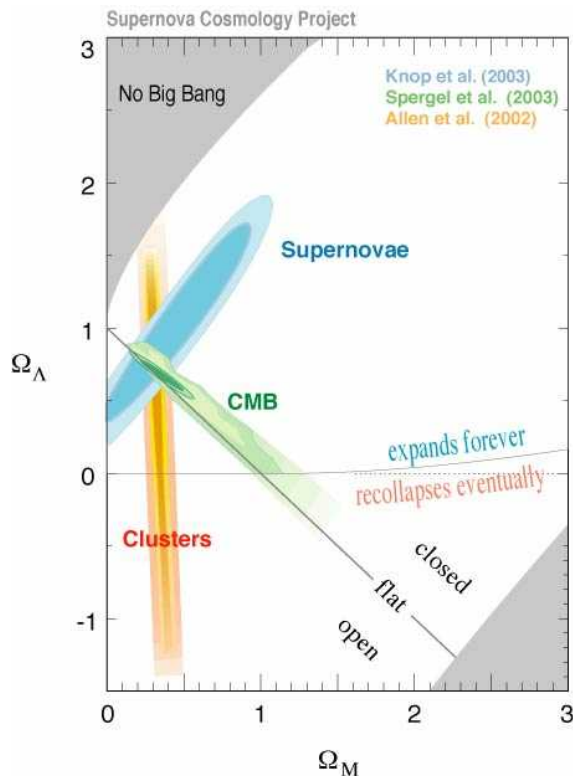
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, δεν υπάρχουν σημαντικές ποσότητες ΣΥ στο ηλιακό μας σύστημα. Η ΣΥ συγκεντρώνεται γύρω από την αλώ των γαλαξιών και εκτείνεται σε τεράστιες αποστάσεις γεμίζοντας των διαγαλαξιακό χώρο (Εικόνα 14). Η Σκοτεινή Ύλη είναι ~5.5 φορές περισσότερη της συνήθους ύλης



Εικόνα 14: 1E 0657-56 Bullet cluster: Δύο σμήνη γαλαξιών, σε απόσταση $D \approx 3.4$ Gly, που συγκρούστηκαν 150 Mly νωρίτερα. Τα κόκκινα περιγράφουν τεράστιες αέριες μάζες Συνήθους Ύλης, ενώ τα γαλαξία περιγράφουν Σκοτεινή Ύλη που γίνεται «ορατή», εξ αιτίας των βαρυτικών ειδώλων που προκαλεί. Η μάζα των γαλαξιών που βλέπουμε στο οπτικό φως (κίτρινο), είναι αμελητέα σε σύγκριση με τις παραπάνω αέριες μάζες. Τα κέντρα μάζης της συνήθους και της ΣΥ, που συνήθως συμπίπτουν (εικ. 13), στην παρούσα περίπτωση είναι διαφορετικά, (Αύγουστος 2006).



Εικόνα 15: Αλλά και απορρόφηση του φωτός μακρινών κβάζαρ από νέφη H στον διαγαλαξιακό χώρο, επέτρεψε για πρώτη φορά την εύρεση του λόγου δευτερίου προς υδρογόνο $D/H \approx 3 \cdot 10^{-5}$, που κατά τρόπο ανεξάρτητο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό της συνήθους ύλης του Σύμπαντος είναι $\Omega_B \approx 0.04$. Συνεπώς, μόνον 4% της ενεργείας του Σύμπαντος βρίσκεται υπό την μορφή συνήθους ύλης! Παρόμοια και από την CMB κατανομή.



Εικόνα 16: Τρεις διαφορετικές κατηγορίες μετρήσεων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα ποσοστά της σκοτεινής ύλης, συνήθους ύλης και σκοτεινής ενέργειας στο Σύμπαν είναι αντίστοιχα: $\Omega_{\Sigma Y} = 0.22$, $\Omega_B = 0.04$, $\Omega_\Lambda \equiv \Omega_{vac} = 0.74$.

Σκοτεινή Ενέργεια

- Στην Γενική Σχετικότητα η βαρύτης δρα πάνω στην ενέργεια και ορμή. Όχι μόνο στην μάζα. Σε ένα υλικό μέσο ή πεδίο όμως, τον ρόλο της ορμής τον παίζει η πίεση.
- Η πίεση συνδέεται με την πυκνότητα ενέργειας με την σχέση $p = w\varepsilon$. Αν συμβαίνει να είναι $w < -1/3$, τότε η πίεση γίνεται αρνητική και προκαλείται μια απωστική συνιστώσα της βαρύτητας.
- Πως θα μπορούσε να συμβεί αυτό;
Ο «κενός» διαγαλαξιακός χώρος δεν είναι κάτι άδειο. Έχει «δομή», και στην πιο απλή του περίπτωση θα μπορούσε η δομή αυτή να περιγραφεί από ένα ομογενές πεδίο $\phi(t)$, που μεταβάλλεται γενικά με τον χρόνο και κατακλύζει το Σύμπαν. Τότε, η πυκνότης ενεργείας και η πίεση που προκαλεί θα ήταν

$$\varepsilon_{vac} = \frac{\dot{\phi}^2}{2} + V(\phi) \quad , \quad p_{vac} = \frac{\dot{\phi}^2}{2} - V(\phi)$$

$$p_{vac} = w_{vac} \varepsilon_{vac} \quad ,$$

όπου η τελεία παριστά παραγωγή ως προς τον χρόνο, και το $V(\varphi)$ είναι συνήθως πολυώνυμο ως προς φ ...

Αν, επί πλέον, το φ είναι σχεδόν ανεξάρτητο και του χώρου και του χρόνου, τότε: $w_{vac} \approx -1$ και $p_{vac} \approx -\varepsilon_{vac} \approx$ σταθερά...

Αντιθέτως, η πυκνότης ενεργείας και η πίεση της Συνήθους και της Σκοτεινής Ύλης, συνεχώς φθίνουν, καθώς ο χρόνος κυλά. Τελικά δηλαδή αναμένεται ότι όλη η ενέργεια του Σύμπαντος θα είναι υπό μορφή ΣΕ.

Τα φ μοιάζουν Higgs, αλλά αλληλεπιδρούν πολύ ασθενώς δεν τα περιμένουμε να παραχθούν στο LHC

Οι σύγχρονες παρατηρήσεις δίδουν $\varepsilon_{vac} \approx (0.002 eV)^4$. Η διαστατική ανάλυση θα περίμενε μια τιμή περίπου 10^{120} φορές μεγαλύτερη!... Είναι η μοναδική περίπτωση που η διαστατική ανάλυση δεν δουλεύει σωστά! Ασφαλώς, εξ' αιτίας της μεγάλης εδώ σκληρότητας των δυνάμεων....

Η παρατηρούμενη τιμή ε_{vac} είναι αξιοπρόσεκτη. Βρίσκεται στα όρια. Αν ήταν λίγο μεγαλύτερη, τότε το Σύμπαν θα διαστελλόταν τόσο γρήγορα, ώστε δεν θα προλάβαινε να σχηματίσει αστέρια και γαλαξίες. ... **Το Σύμπαν είναι γεμάτο τέτοιες συμπτώσεις.**

Συμπεράσματα και ερωτηματικά

- Ό,τι μετράμε στο Σύμπαν συμφωνεί με το σενάριο που σας παρουσίασα. Είναι το στάνταρτ σενάριο της σημερινής μας επιστήμης....
- Κβαντικές διεγέρσεις (αντίστοιχα στοιχειώδη σωματίδια) από βαθμωτά πεδία δεν έχουμε δει! Θα δούμε το Higgs στο LHC; Αν «ναι», θα χρειασθούν \sim τρία χρόνια κανονικής του λειτουργίας, για να ανακαλύψει π.χ. το Higgs.
- Τι είναι τα σωματίδια της ΣΥ; Αν είναι $\tilde{\chi}_1^0$, θα μπορέσει να τα δει το LHC... Αν είναι βαρυτόνια \tilde{G} , το LHC ενδεχομένως παρατηρήσει το αμέσως βαρύτερο υπερσυμμετρικό σωματίδιο, αν είναι \tilde{t}_1 ή \tilde{b}_1 .
- Τι είναι η ΣΕ; Πεδία με $p_{vac} \approx -\varepsilon_{vac}$ σύμφυτα με τον χώρο; 'Το LHC μάλλον δεν θα βοηθήσει στη ανακάλυψή τους...
- Η παρατηρούμενη τιμή ε_{vac} βρίσκεται στα όρια, για να μπορέσει το Σύμπαν να βαστάξει ζωή. **Η φύση είναι γεμάτη τέτοιες «συμπτώσεις».** Κάτι αν πήγαινε «στραβά», το Σύμπαν θα είχε καταστραφεί, πολύ πριν προλάβει να μας φιλοξενήσει.