

Εκεί...κάτω στον μικρόκοσμο

Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;

Αθανάσιος Δέδες

Τμήμα Φυσικής,
Τομέας Θεωρητικής Φυσικής,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Διαλέξεις Υποδοχής Πρωτοετών Φοιτητών

Τομέας II: Τομέας Θεωρητικής Φυσικής

- **Θεωρητική Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων:** μελετά τις ιδιότητες και τις αλληλεπιδράσεις των στοιχειωδών σωματιδίων (εφαρμογές σε πειράματα επιταχυντών, στην σκοτεινή ύλη, κ.λ.π)
- **Βαρύτητα και Κοσμολογία:** μελέτη των μαύρων οπών, εξέλιξη του σύμπαντος
- **Σύγχρονες Θεωρίες:** Υπερσυμμετρία, Ενοποιημένες Θεωρίες Βαθμίδος, Θεωρίες Υπερχορδών, Ενοποιημένες Θεωρίες Βαρύτητας, Ενεργές Θεωρίες.
- **Θεωρητική Φυσική Συμπυκνωμένης Ύλης:** μελετά την ηλεκτρονική δομή και τις ιδιότητες των ατόμων, μορίων, και στερεών.

Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Ε: Από τί αποτελείται η ύλη σε θεμελιώδες επίπεδο;

Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Ε: Από τί αποτελείται η ύλη σε θεμελιώδες επίπεδο;

Α: Από (πολύ, πολύ, πολύ, πολύ...) μικρά, άτμητα, **στοιχειώδη** σωματίδια...

Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Ε: Από τί αποτελείται η ύλη σε θεμελιώδες επίπεδο;

Α: Από (πολύ, πολύ, πολύ, πολύ...) μικρά, άτμητα, **στοιχειώδη** σωματίδια...

Ε: και πώς τα παράγουμε; ... και πώς τα ανιχνεύουμε;

Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

E: Από τί αποτελείται η ύλη σε θεμελιώδες επίπεδο;

A: Από (πολύ, πολύ, πολύ, πολύ...) μικρά, άτομα, **στοιχειώδη** σωματίδια...

E: και πώς τα παράγουμε; ... και πώς τα ανιχνεύουμε;

A: με

α) επιταχυντές (... όπως ο LHC),

β) κοσμικές ακτίνες,

γ) πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

E: Από τί αποτελείται η ύλη σε θεμελιώδες επίπεδο;

A: Από (πολύ, πολύ, πολύ, πολύ...) μικρά, άτμητα, **στοιχειώδη** σωματίδια...

E: και πώς τα παράγουμε; ... και πώς τα ανιχνεύουμε;

A: με

α) επιταχυντές (... όπως ο LHC),

β) κοσμικές ακτίνες,

γ) πυρηνικούς αντιδραστήρες.

E: ... και πώς μελετάμε την δυναμική τους;

Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

E: Από τί αποτελείται η ύλη σε θεμελιώδες επίπεδο;

A: Από (πολύ, πολύ, πολύ, πολύ...) μικρά, άτμητα, **στοιχειώδη** σωματίδια...

E: και πώς τα παράγουμε; ... και πώς τα ανιχνεύουμε;

A: με

α) επιταχυντές (... όπως ο LHC),

β) κοσμικές ακτίνες,

γ) πυρηνικούς αντιδραστήρες.

E: ... και πώς μελετάμε την δυναμική τους;

A: με μία μαθηματικά συνεπής θεωρία που ονομάζεται Κβαντική Θεωρία Πεδίου και με ... συμμετρίες.

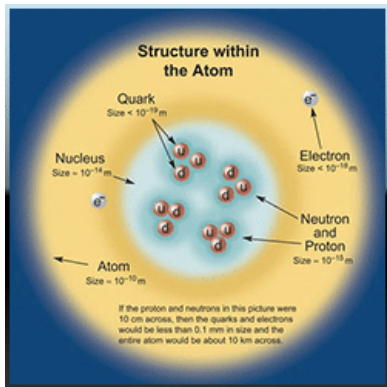
Οι Φυσικές Θεωρίες σήμερα...

← προς μικρόκοσμο...

→ προς ταχύτατο κόσμο...

Κλασική Μηχανική	Σχετικότητα
Κβαντική Μηχανική	Κβαντική Θεωρία Πεδίου

Η μοντέρνα όψη του ατόμου

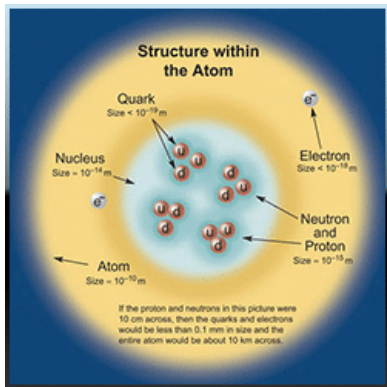


Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε σταθερή κίνηση γύρω από τον πυρήνα, τα νετρόνια και τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα και τα quarks μέσα στα πρωτόνια και νετρόνια!

Προσοχή :

99.999999999999% του όγκου του ατόμου είναι άδειος χώρος!

Η μοντέρνα όψη του ατόμου



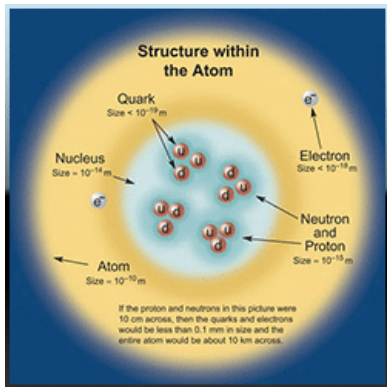
Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε σταθερή κίνηση γύρω από τον πυρήνα, τα νετρόνια και τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα και τα quarks μέσα στα πρωτόνια και νετρόνια!

Προσοχή :

99.999999999999% του όγκου του ατόμου είναι άδειος χώρος!

Ε: Είναι το άτομο θεμελιώδες;

Η μοντέρνα όψη του ατόμου



Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε σταθερή κίνηση γύρω από τον πυρήνα, τα νετρόνια και τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα και τα quarks μέσα στα πρωτόνια και νετρόνια!

Προσοχή :

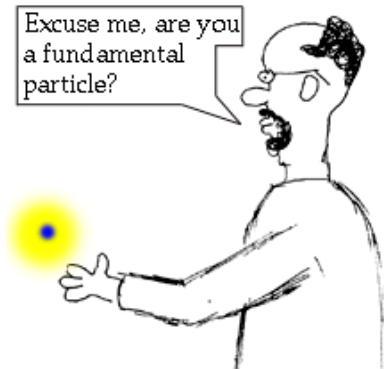
99.999999999999% του όγκου του ατόμου είναι άδειος χώρος!

Ε: Είναι το άτομο θεμελιώδες;

Α: ΟΧΙ (παρ' όλο που η λέξη 'άτομο' σημαίνει άτμητο..!)

Τί ψάχνουμε να βρούμε;

Οι φυσικοί ψάχνουν για καινούρια σωματίδια. Όταν τα βρίσκουν τα κατηγοριοποιούν. Οι θεωρητικοί φυσικοί τα 'βάζουμε' σε ένα φύλλο χαρτί και δουλεύουμε πάνω στις αλληλεπιδράσεις που αυτά έχουν με άλλα σωματίδια μέσα στο σύμπαν.



Το Καθιερωμένο Πρότυπο

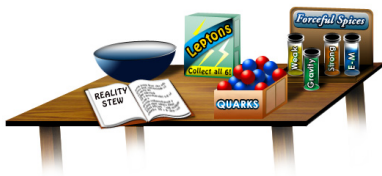
Οι φυσικοί έχουμε αναπτύξει μία θεωρία με την οποία μπορούμε να εξηγήσουμε όλα τα φαινόμενα που διέπουν τα στοιχειώδη σωματίδια (ίσως ακόμα πλήν αυτά της βαρύτητας). Αυτή η θεωρία ονομάζεται Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model).

6 κουάρκς και 6 αντι-κουάρκς

6 λεπτόνια και 6 αντι-λεπτόνια

Σωματίδια-Φορείς των δυνάμεων π.χ., φωτόνιο

Σωματίδιο Higgs



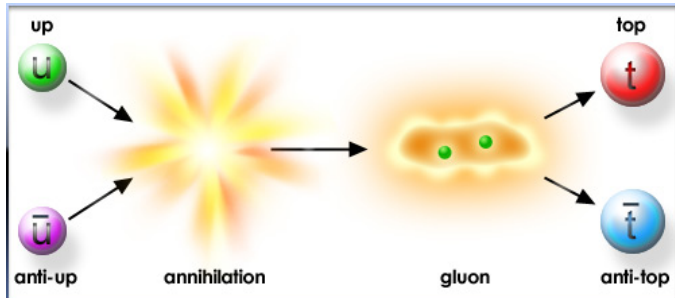
Το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model) (1969 - 2012)

σύμβολο μάζα φορτίο σπιν όνομα					
	$2.4 \text{ MeV}/c^2$ $2/3$ u άνω	$1.27 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ c χάρη	$173.5 \text{ GeV}/c^2$ $2/3$ t υψηλό	0 0 γ φωτόνιο	$125.3 \text{ GeV}/c^2$ 0 H μποζόνιο Higgs
ΚΟΥΑΡΚΣ	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ d κάτω	$95 \text{ MeV}/c^2$ $-1/3$ s παράδοξο	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-1/3$ b χαμηλό	0 0 g γλουόνιο	ΜΠΟΖΟΝΙΑ ΒΑΘΜΙΔΑΣ
ΛΕΠΤΟΝΙΑ	$<2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_e νετρίνιο ηλεκτρονίου	$<0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_μ νετρίνιο μιονίου	$<15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $1/2$ ν_τ νετρίνιο ταν	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z^0 μποζόνιο Z	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ e ηλεκτρόνιο	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $1/2$ μ μυόνιο	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $1/2$ τ ταν	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W^\pm μποζόνιο W	
	I	II	III		
	ΓΕΝΙΕΣ ΦΕΡΜΙΟΝΙΩΝ				

Ύλη και Αντι-ύλη

Για κάθε σωματίδιο ύλης (π.χ., για κάθε κουάρκ ή για κάθε λεπτόνιο) υπάρχει και ένα αντι-σωματίδιο. Τα αντι-σωματίδια φαίνονται ίδια με τα σωματίδια μόνο που έχουν αντίθετο φορτίο. Π.χ., το ηλεκτρόνιο είναι αρνητικά φορτισμένο ενώ το αντισωματίδιό του (ποζιτρόνιο) είναι θετικά φορτισμένο.

Όταν ύλη και αντι-ύλη έρχονται σε επαφή τότε εξαυλώνονται σε καθαρή ενέργεια! (θυμηθείτε $E = m c^2$!!)



Ύλη και Αντι-ύλη II

E: Αφού η ύλη και η αντιύλη υπάρχει σε ίσες ποσότητες στο σύμπαν τότε που είναι η αντι-ύλη;

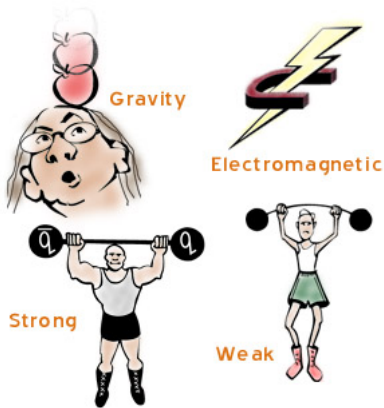
Ύλη και Αντι-ύλη II

E: Αφού η ύλη και η αντιύλη υπάρχει σε ίσες ποσότητες στο σύμπαν τότε που είναι η αντι-ύλη;

A: Υπάρχουν ιδέες αλλά στην ουσία δεν ξέρουμε την απάντηση...!

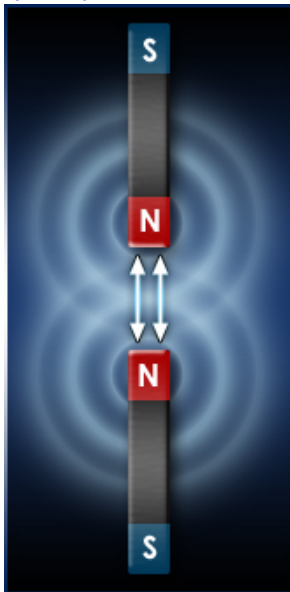
Οι 4 δυνάμεις της φύσης

Τώρα που έχουμε τα σωματίδια της ύλης πρέπει να ρωτήσουμε:
τί τα κρατάει ενωμένα μεταξύ τους; Όλες οι δυνάμεις
στην φύση απορρέουν από τις εξής τέσσερις:



Πώς αλληλεπιδρά η ύλη;

Η κβαντική θεωρία πεδίου μας διδάσκει ότι τα σωματίδια δέχονται δυνάμεις (ή αλλιώς αλληλεπιδρούν), εξαιτίας της ανταλλαγής σωματιδίων (φορέων δυνάμεων)



Οι αλληλεπιδράσεις και τα σωματίδια φορέων τους



	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and $W^+ W^-$	Quarks and Gluons

Κβαντική Θεωρία

Τα υπο-ατομικά σωματίδια υπακούουν σε πολύ διαφορετικούς νόμους από αυτούς που υπακούουν οι μπάλες του tennis ή του ποδοσφαίρου.



Ιδιότητες των σωματίων παίρνουν μόνο συγκεκριμένες τιμές (κβαντικές τιμές). Για παράδειγμα, τα σωματίδια έχουν φορτίο που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου (ή για τα κουάρκς πολλαπλάσιο του $\pm 2/3$ ή $\pm 1/3$).



Κβαντικοί αριθμοί: Ηλεκτρικό φορτίο, φορτίο 'χρώματος', φορτίο 'γεύσης', spin.

Απαγορευτική Αρχή του Pauli

Φερμιόνια = ημι-ακέραιο spin

Μποζόνια = ακέραιο spin

Απαγορευτική Αρχή του Pauli : Τα φερμιόνια ΔΕΝ μπορούν να βρίσκονται στην ίδια κβαντική κατάσταση. Αντίθετα τα μποζόνια μπορούν.

Αυτή η αρχή εξηγεί γιατί υπάρχει περιοδικός πίνακας των ατόμων!

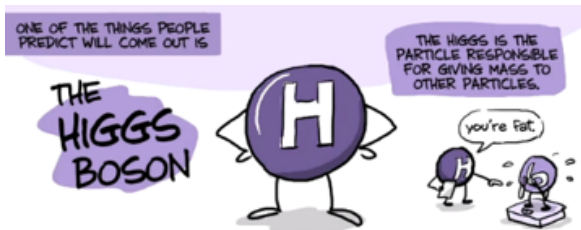
Φερμιόνια και Μποζόνια

Fermions		Bosons	
Leptons and Quarks	Spin = $\frac{1}{2}$	Spin = 1^*	Force Carrier Particles
Baryons (qqq)	Spin = $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}, \frac{5}{2} \dots$	Spin = 0, 1, 2...	Mesons (q \bar{q})

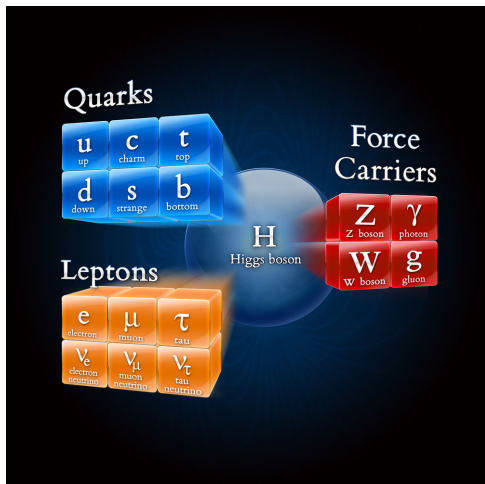
Το μποζόνιο Higgs

Το 1964, έξι θεωρητικοί φυσικοί απέδειξαν ότι ένα νέο κβαντικό πεδίο θα είχε ως αποτέλεσμα να δώσει μάζα σε όλα τα γνωστά σωματίδια που υπάρχουν στην φύση.

Σαν αποτέλεσμα του μηχανισμού αυτού **προέβλεψαν** ότι θα υπάρχει ένα νέο σωματίδιο, **το σωματίδιο Higgs**. Το σωματίδιο Higgs έχει $spin = 0$, δηλαδή είναι μποζόνιο. Ανακαλύφθηκε το 2012 στον μεγάλο αδρονικό επιταχυντή (LHC), στο CERN.



Το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model) (1969 - 2012)



Επίλογος

Έχουμε λοιπόν απαντήσει στο ερώτημα:

Ε: Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;

Επίλογος

Έχουμε λοιπόν απαντήσει στο ερώτημα:

Ε: Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;

Α: Εκεί κάτω στον μικρόκοσμο...υπάρχουν **6 κουάρκς και 6 λεπτόνια** μαζί με τα αντισωματίδιά τους. Κρατιούνται με ανταλλαγή φορέων δυνάμεων όπως το **φωτόνιο**, τα **gluon**, **ασθενή μποζόνια Z, W^\pm** . Χρειάζεται και το **σωματίδιο Higgs**.

Επίλογος

Έχουμε λοιπόν απαντήσει στο ερώτημα:

Ε: Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;

Α: Εκεί κάτω στον μικρόκοσμο...υπάρχουν **6 κουάρκς και 6 λεπτόνια** μαζί με τα αντισωματίδιά τους. Κρατιούνται με ανταλλαγή φορέων δυνάμεων όπως το **φωτόνιο**, τα **gluon**, **ασθενή μποζόνια** Z, W^{\pm} . Χρειάζεται και το **σωματίδιο Higgs**.

Παρ' όλο που το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι η ακριβέστερη θεωρία που έχουμε φτιάσει οι Φυσικοί τον τελευταίο αιώνα, αυτό δεν είναι απαλλαγμένο από προβλήματα...

Επίλογος

Έχουμε λοιπόν απαντήσει στο ερώτημα:




Ε: Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;

Α: Εκεί κάτω στον μικρόκοσμο...υπάρχουν **6 κουάρκς και 6 λεπτόνια** μαζί με τα αντισωματίδιά τους. Κρατιούνται με ανταλλαγή φορέων δυνάμεων όπως το **φωτόνιο**, τα **gluon**, **ασθενή μποζόνια** Z, W^{\pm} . Χρειάζεται και το **σωματίδιο Higgs**.

Παρ' όλο που το Καθιερωμένο Πρότυπο είναι η ακριβέστερη θεωρία που έχουμε φτιάσει οι Φυσικοί τον τελευταίο αιώνα, αυτό δεν είναι απαλλαγμένο από προβλήματα...

...όπως για παράδειγμα ότι προβλέπει νετρίνα χωρίς μάζα.

Βιβλιογραφία

-  Richard Feynman,
Κβαντική Ηλεκτροδυναμική (Q.E.D),
Κάτοπτρο 2007.
-  Steven Weinberg,
Discovery of subatomic particles,
Cambridge University Press; Second edition, 2003
-  Walter Lewin, Warren Goldstein
Για την αγάπη στην Φυσική,
Κάτοπτρο 2014