

Εκεί...κάτω στον μικρόκοσμο

Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;

Αθανάσιος Δέδες

Τμήμα Φυσικής,  
Τομέας Θεωρητικής Φυσικής,  
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα, 3 Οκτωβρίου 2016

## 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

**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;

## 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.

## 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...

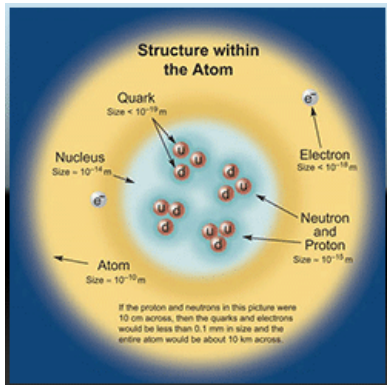
← — πρὸς μικρόκοσμο...

—→ πρὸς ταχύτατο κόσμο...

Κλασική Μηχανική	Σχετικότητα
Κβαντική Μηχανική	Κβαντική Θεωρία Πεδίου



## Η μοντέρνα όψη του ατόμου

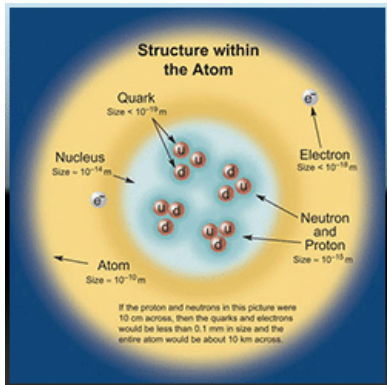


Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε σταθερή κίνηση γύρω από τον πυρήνα, τα νετρόνια και τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα και τα quarks μέσα στα πρωτόνια και νετρόνια!

**Προσοχή :**

99.999999999999% του όγκου του πυρήνα είναι άδειος χώρος!

## Η μοντέρνα όψη του ατόμου



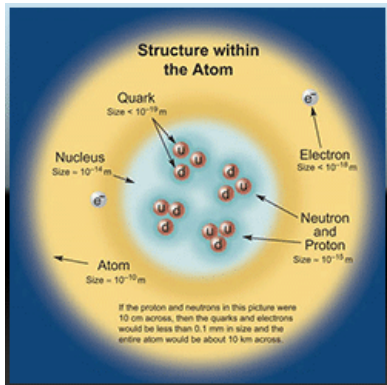
Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε σταθερή κίνηση γύρω από τον πυρήνα, τα νετρόνια και τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα και τα quarks μέσα στα πρωτόνια και νετρόνια!

**Προσοχή :**

99.999999999999% του όγκου του πυρήνα 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 :**

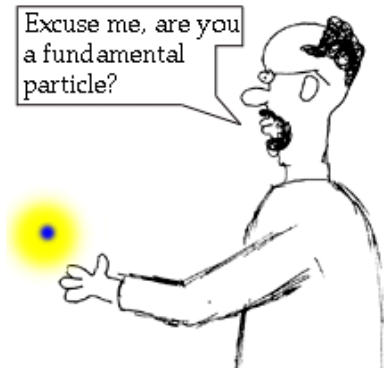
99.999999999999% του όγκου του πυρήνα είναι άδειος χώρος!

**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 (εεε...καλά, πλην 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



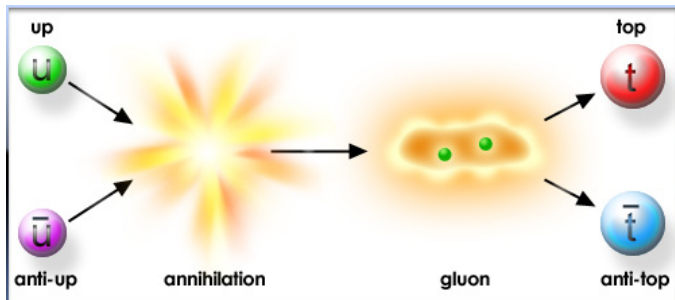
# Το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model) (1969 - 2012)

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

## 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;



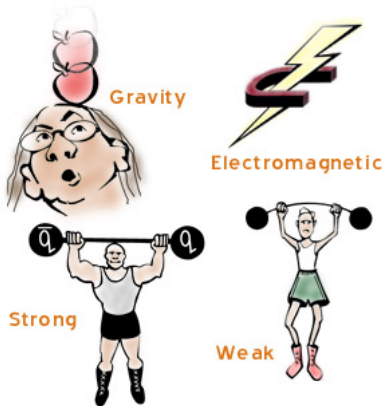
## Ύλη και Αντι-ύλη II

**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...!

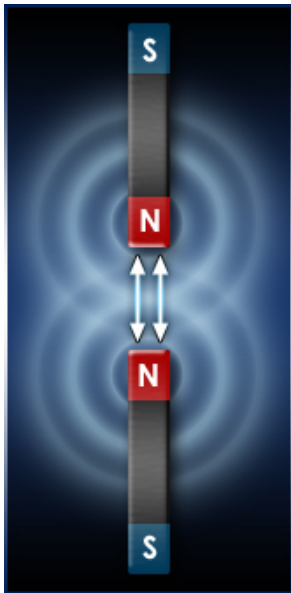
## Οι 4 δυνάμεις της φύσης

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!

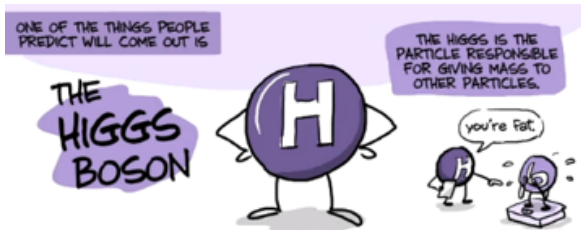
## Φερμιόνια και Μποζόνια

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

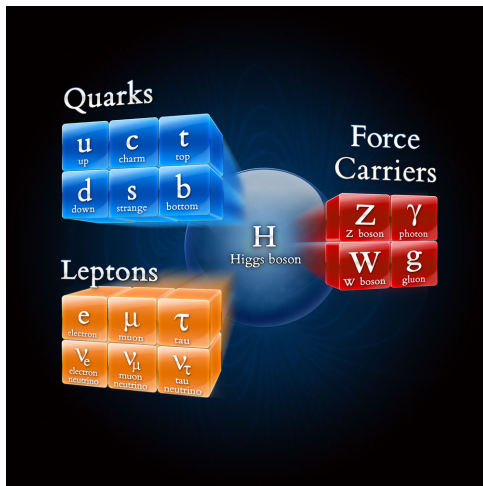
Το 1964, έξι θεωρητικοί φυσικοί απέδειξαν ότι ένα νέο κβαντικό πεδίο θα είχε ως αποτέλεσμα να δώσει μάζα σε όλα τα γνωστά σωματίδια που υπάρχουν στην φύση.

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, ασθενείς 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, ασθενείς μποζόνια  $Z, W^{\pm}$ . Χρειάζεται και το **σωματίδιο Higgs**.

α...ξέχασα!! υπάρχει και η βαρύτητα..

## 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, ασθενείς μποζόνια  $Z, W^{\pm}$ . Χρειάζεται και το **σωματίδιο Higgs**.

α...ξέχασα!! υπάρχει και η βαρύτητα..

...και άλλα (κυρίως θεωρητικά) προβλήματα του καθιερωμένου προτύπου που πρέπει να λυθούν.

## Επίλογος

Έχουμε λοιπόν απαντήσει στο ερώτημα:

**E:** Από τί αποτελείται ο κόσμος και τί τον κρατάει ενωμένο;



**A:** 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, ασθενείς μποζόνια  $Z, W^\pm$ . Χρειάζεται και το **σωματίδιο Higgs**.

α...ξέχασα!! υπάρχει και η βαρύτητα..

...και άλλα (κυρίως θεωρητικά) προβλήματα του καθιερωμένου προτύπου που πρέπει να λυθούν.

...και ποτέ δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την περίπτωση που ο επιταχυντής LHC βρει κάτι νέο, παράξενο και αναπάντεχο...

# Βιβλιογραφία

-  Richard Feynman,  
Κβαντική Ηλεκτροδυναμική (Q.E.D),  
Κάτοπτρο 2007.
-  Steven Weinberg,  
Discovery of subatomic particles,  
Cambridge University Press; Second edition, 2003