

Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Τίνα Νάντσου

Επιστημονικός Συνεργάτης Εργαστηρίου Φυσικής
Τμήματος Φυσικής Πανεπιστημίου Αθηνών



PI PERIMETER
INSTITUTE



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
NATIONAL UNIVERSITY

EGO EUROPEAN
GRAVITATIONAL
OBSERVATORY

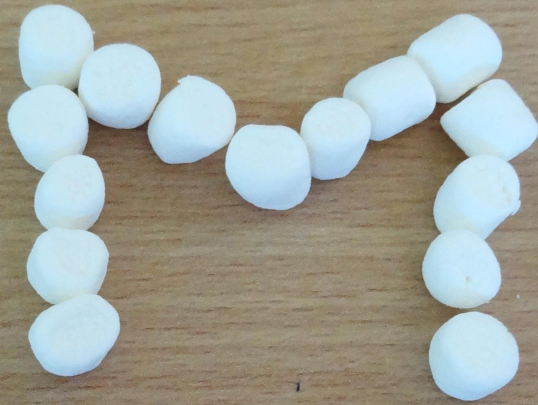


ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικών και Καποδιστριακών
Πανεπιστημίων Αθηνών
— ΛΕΥΚΗ ΤΡΟΧΙΑ —



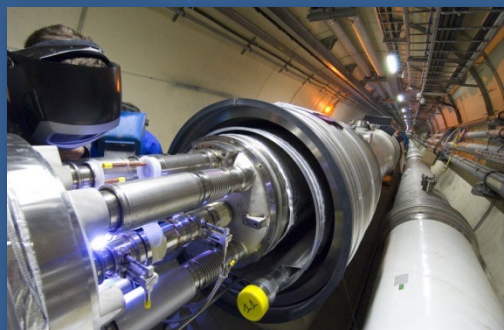
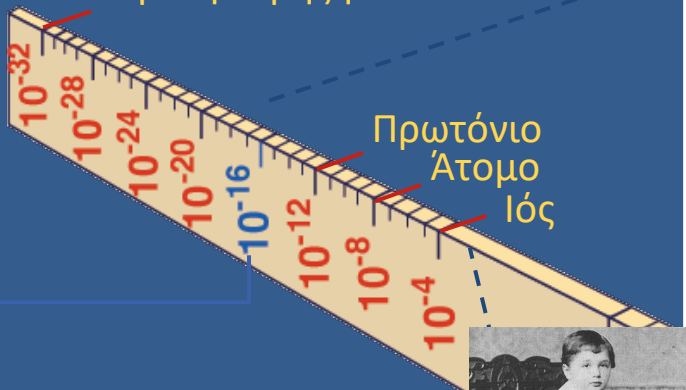
ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ
ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ







Μεγάλη Έκρηξη

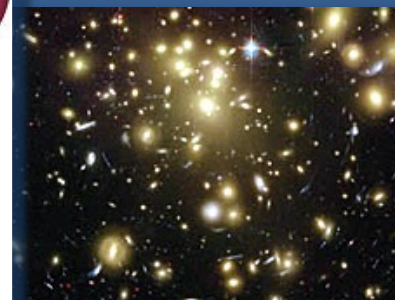
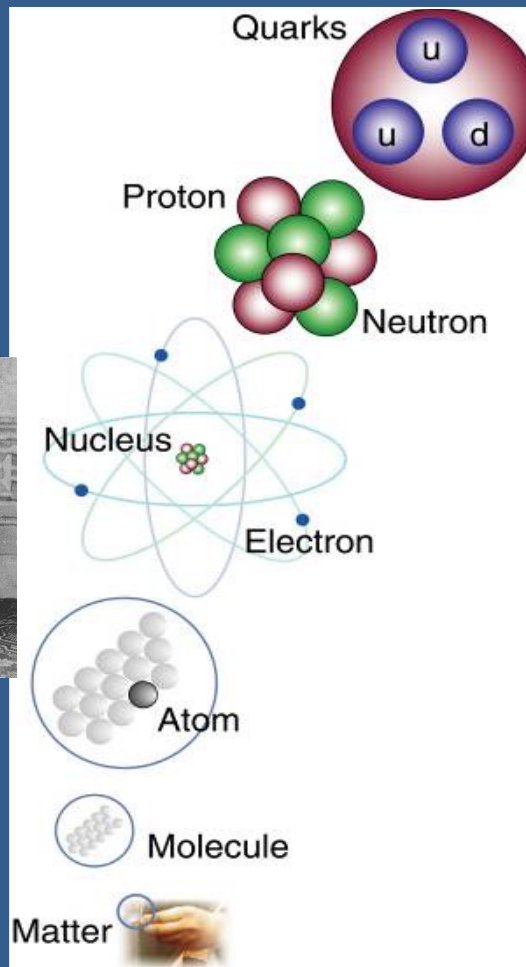
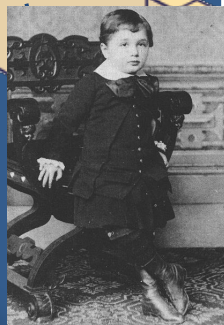


LHC

Super-Μικροσκόπιο

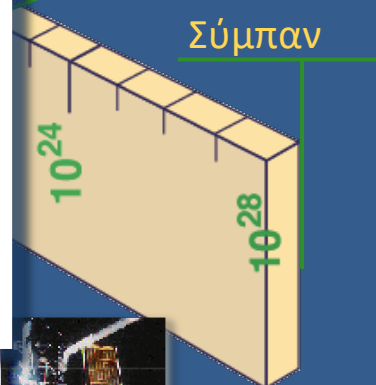


Οι νόμοι της φυσικής στις πρώτες στιγμές μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Συμβίωση μεταξύ σωματιδιακής φυσικής, αστροφυσικής, και κοσμολογίας.

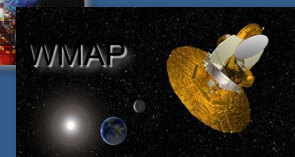


Γαλαξίες

Σύμπαν



Hubble



WMAP

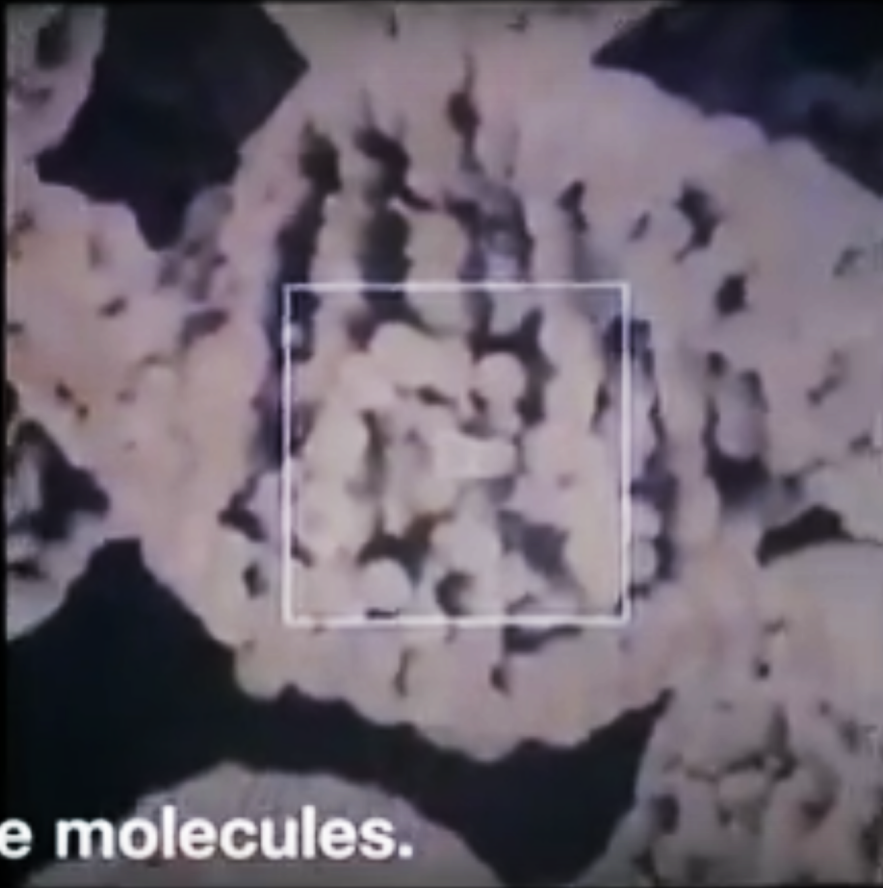
CERN

Η κλίμακα του Σύμπαντος

15/21 The building blocks of the Universe



100 ångstroms



10^{-8}
meters

and make molecules.

1:01 / 2:12



History of the Atom Timeline

Democritus 460 BC
and Dalton 1803 AD



Thomson
1897



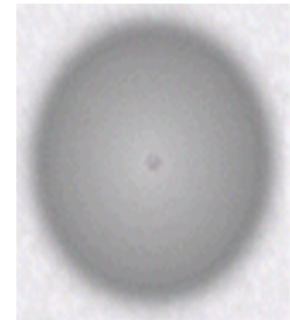
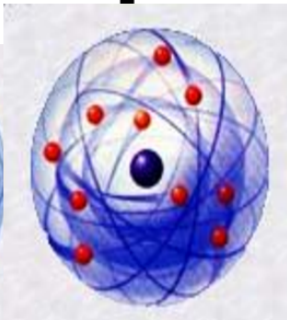
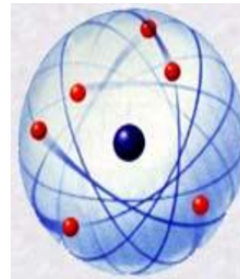
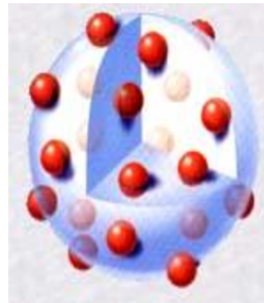
Rutherford
1912



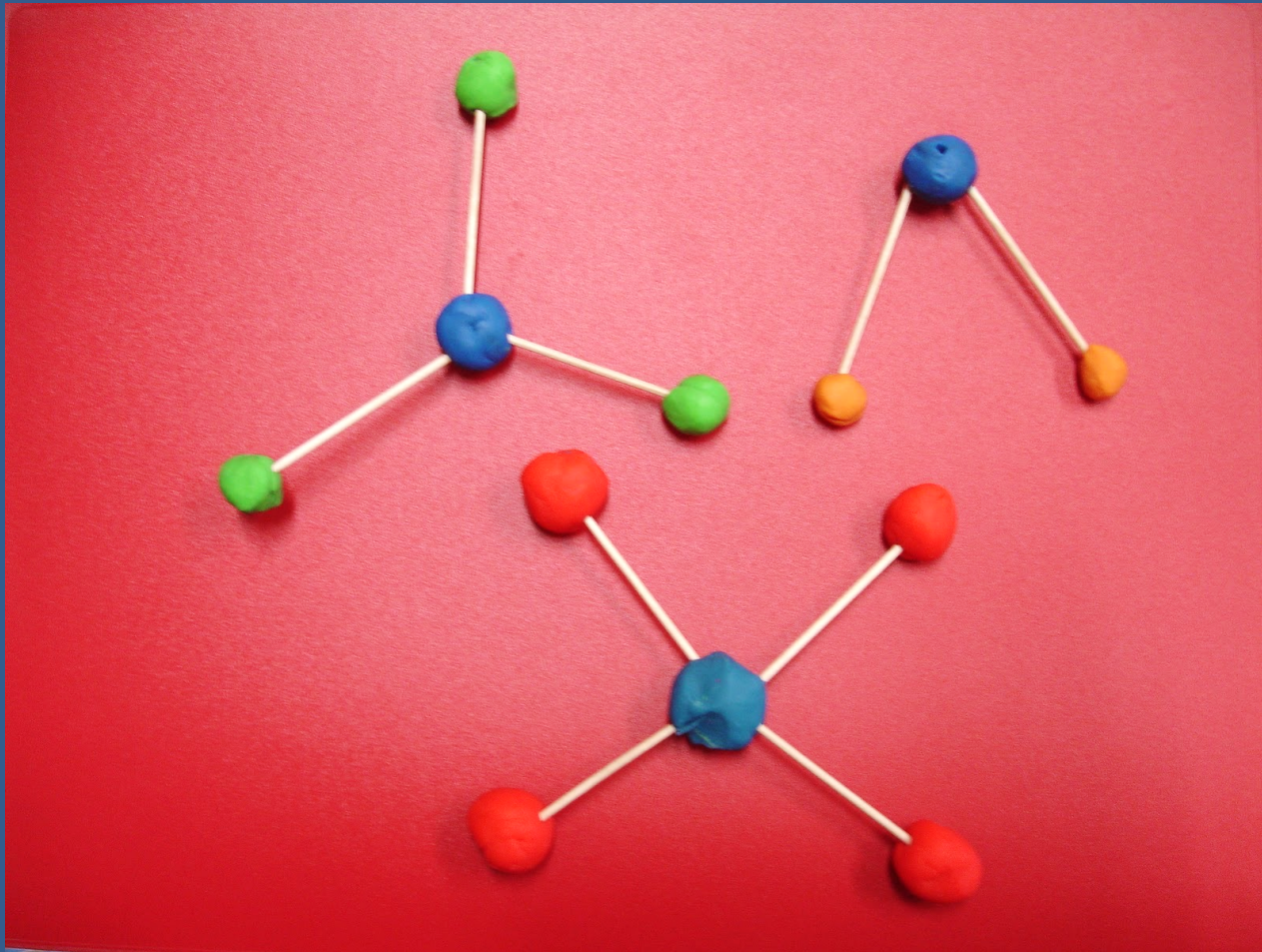
Bohr
1913



Modern
Quantum
Cloud Model
post 1930

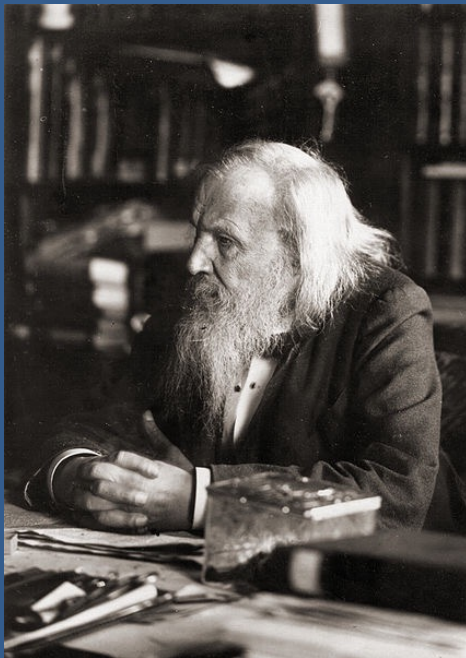


Πώς θα παρουσιάζαμε τα μόρια ;



Ο περιοδικός πίνακας του Μεντελέγιεφ

Дмі́трий Іва́нович Менделѐєв

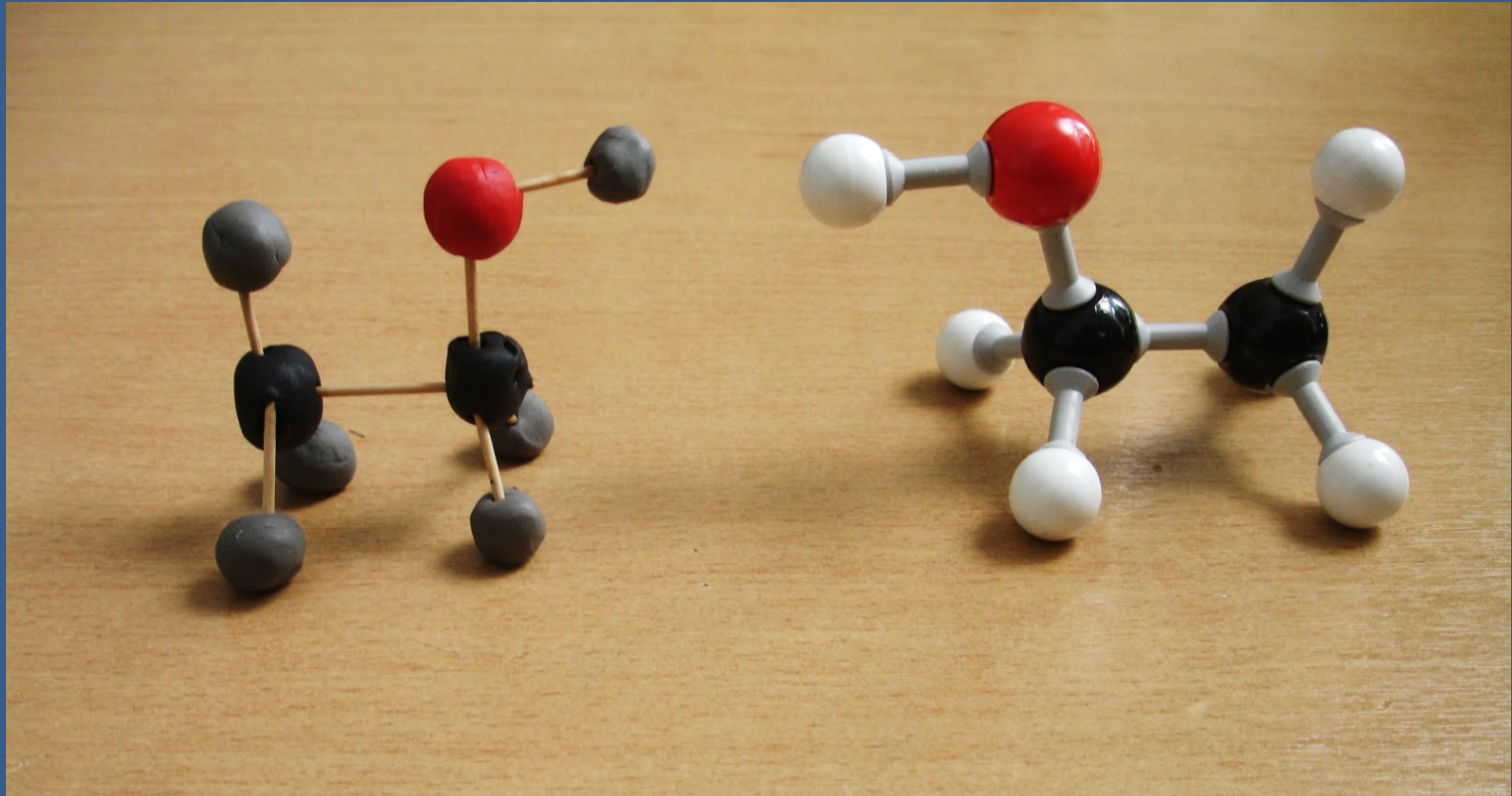


Reihen	Gruppe I. — R ⁰	Gruppe II. — R ⁰	Gruppe III. — R ⁰	Gruppe IV. RH ⁴ R ⁰	Gruppe V. RH ⁵ R ⁰	Gruppe VI. RH ⁶ R ⁰	Gruppe VII. RH R ⁰	Gruppe VIII. — R ⁰
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,5	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Co=140	—	—	—	
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Ti=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	

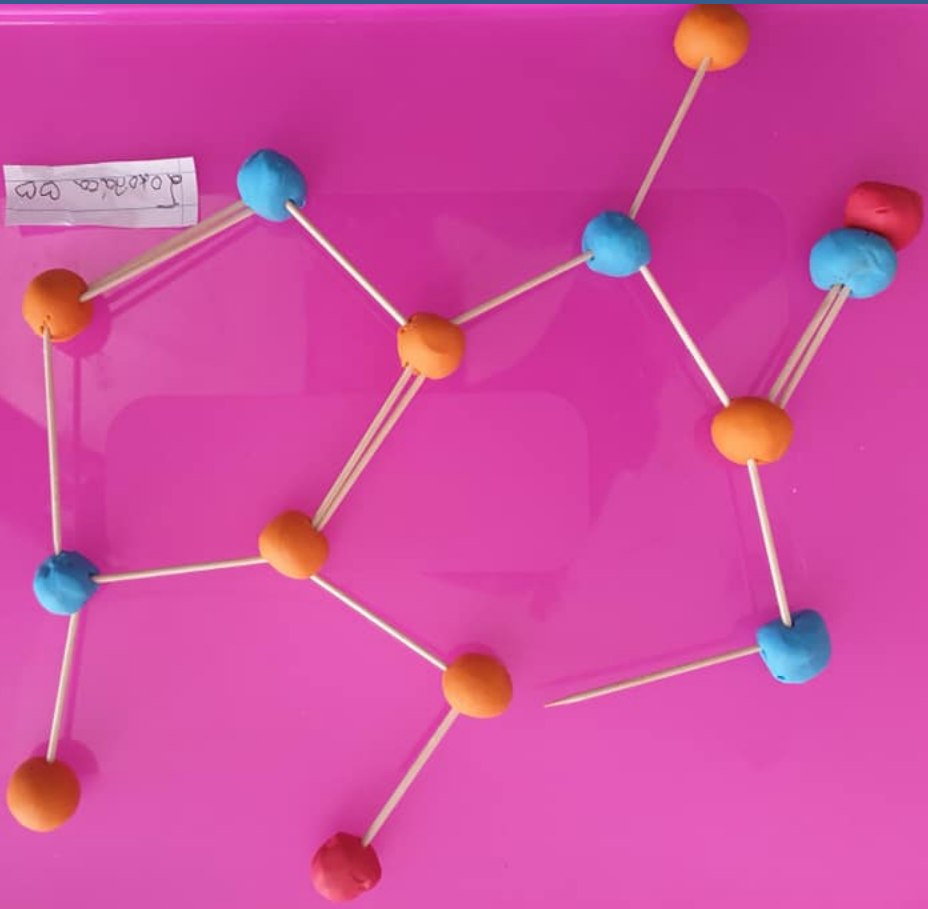
Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Πώς θα παρουσιάζαμε τα χημικά στοιχεία
και τις χημικές ενώσεις;

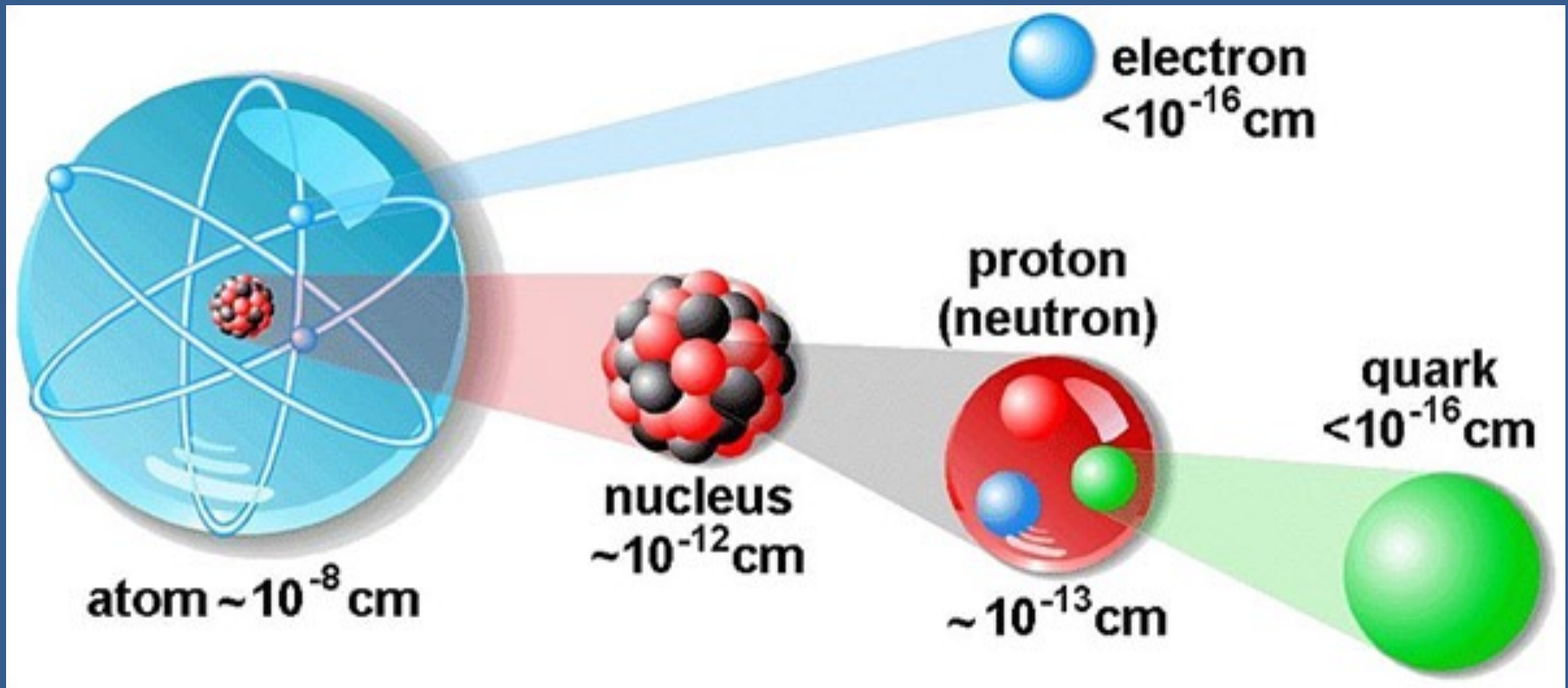


பொலியெண்



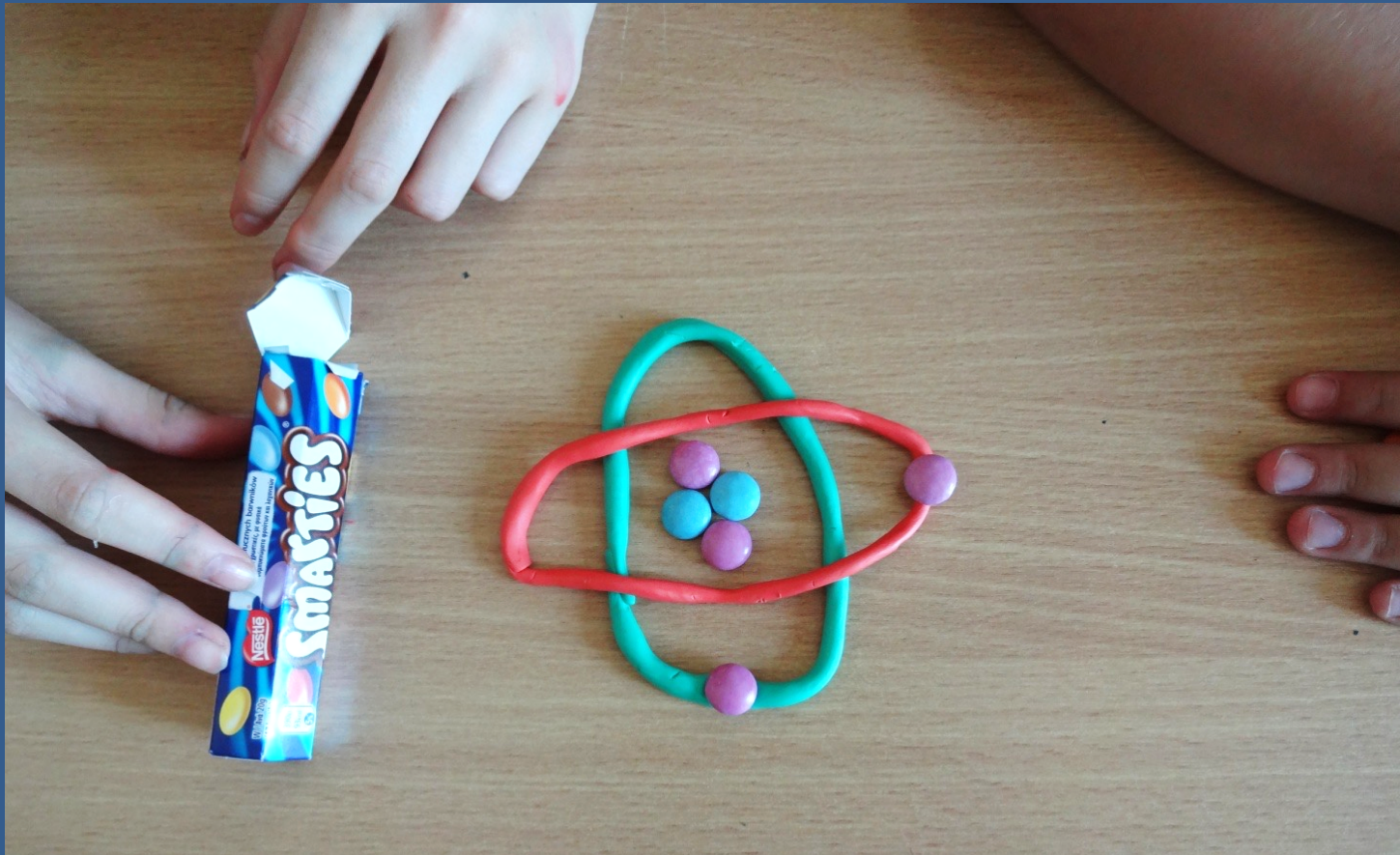
Τι είναι η ύλη;

Μια διαρκής αναζήτηση που ξεκίνησε από τον Δημόκριτο, τον Dalton, τον Rutherford και συνεχίζεται μέχρι σήμερα

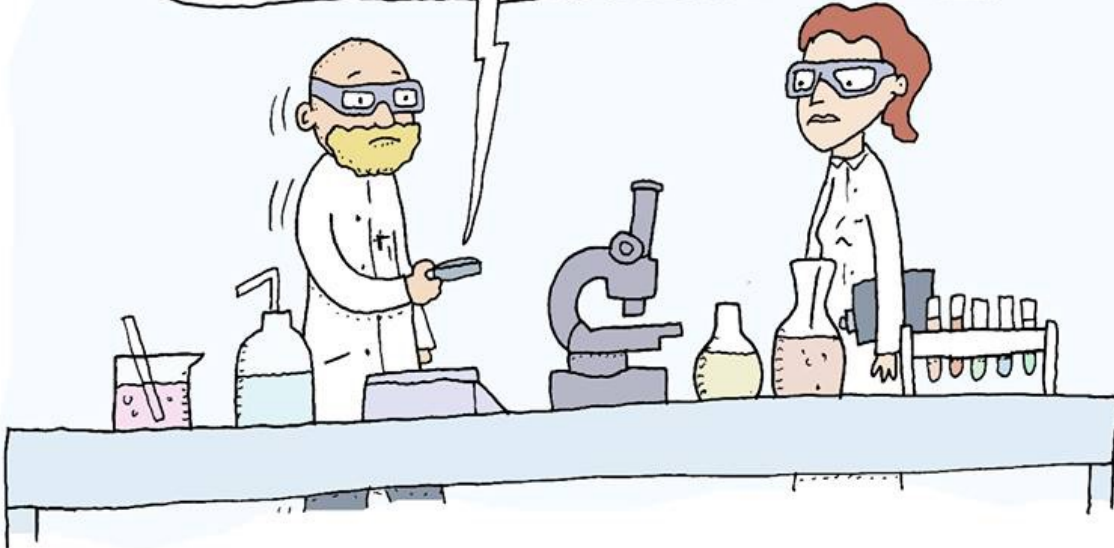


Το άτομο

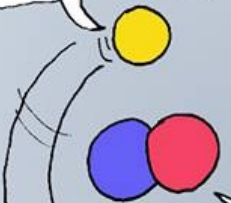
Φτιάξε το δικό σου μοντέλο του Rutherford



ΓΙΟΥΠΙΙΙΙ! ΕΚΔΡΟΜΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ!

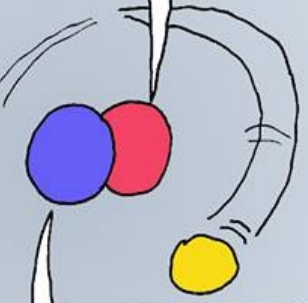


ΕΛΕΟΣ! ΟΛΑ ΘΕΤΙΚΑ ΤΑ ΒΡΙΣΚΕΙΣ ΠΡΟΤΟΝΙΟ!



ΟΧΙ, ΕΠΡΕΠΕ ΝΑ ΜΑΙ ΜΙΖΕΡΟΣ ΚΙ ΑΡΝΗΤΙΚΟΣ ΣΑΝ ΚΙ ΕΞΕΝΑ!

ΠΕΣ ΚΙ ΕΣΥ ΝΕΤΡΟΝΙΟ!

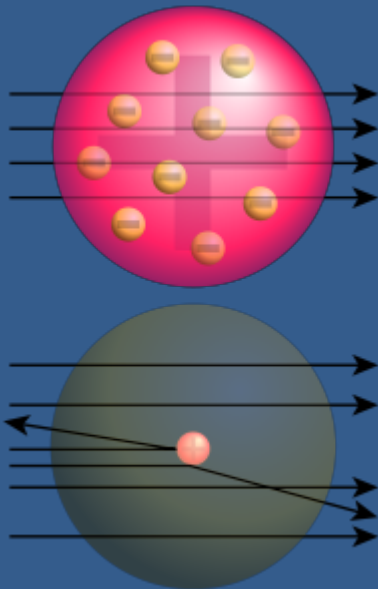


Α, ΜΗ ΜΕ ΑΝΑΚΑΤΕΥΕΤΕ ΕΜΕΝΑ!

Η παρατήρηση της τάξης – επαναληπτικότητας οδηγεί στην ιδέα ότι τα στοιχεία είναι φτιαγμένα από μικρότερα συστατικά

Πρωτόνια –νετρόνια –ηλεκτρόνια

Το Πείραμα του Rutherford -
βομβαρδισμός με σωματίδια α
σε φύλα χρυσού
ομοιότητα με το μικροσκόπιο

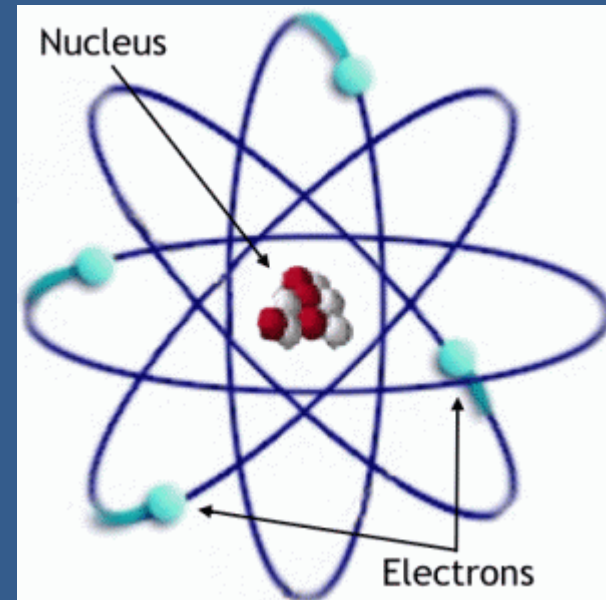


${}^9\text{Be}$

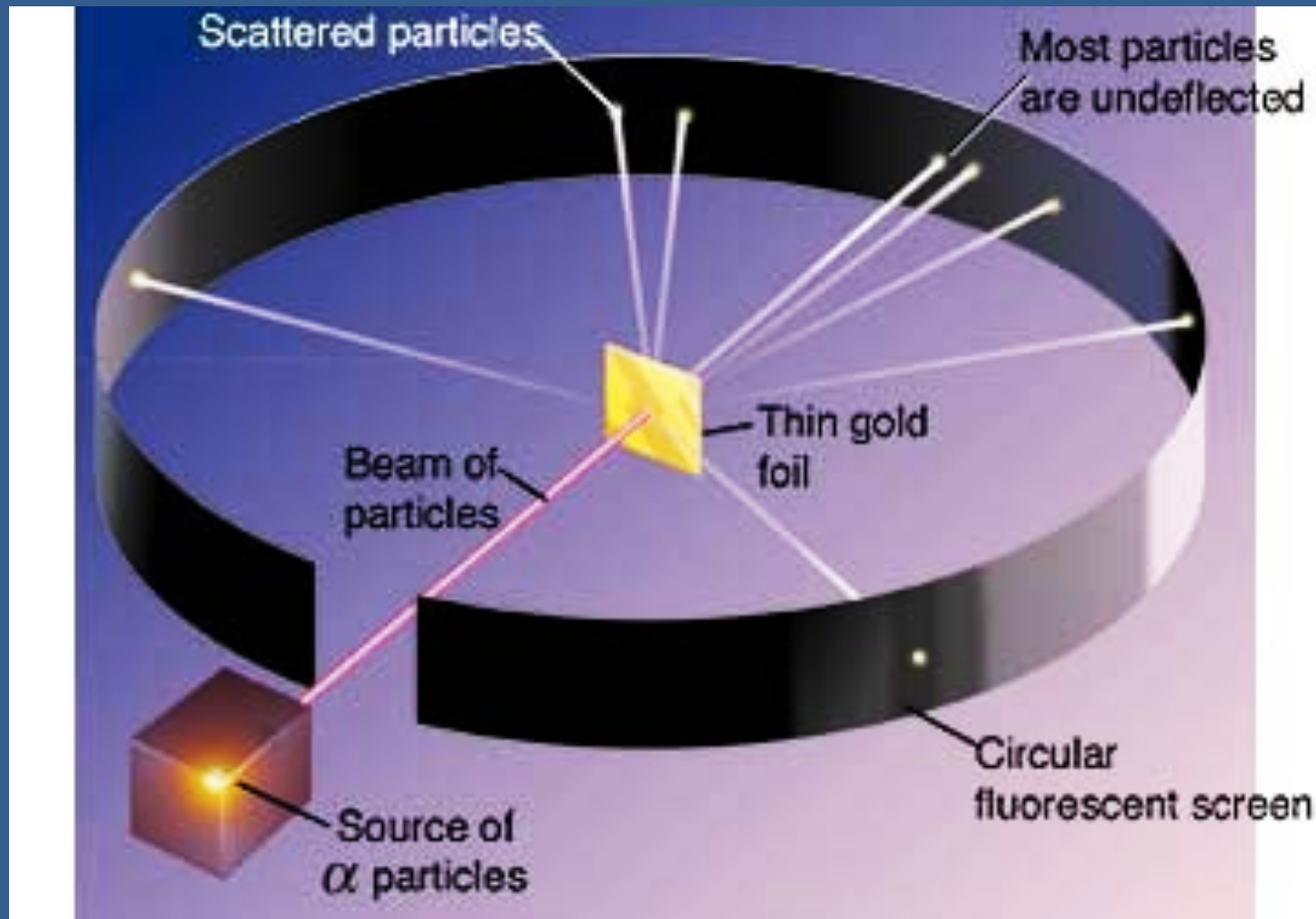
4 ηλεκτρόνια

4 πρωτόνια

5 νετρόνια

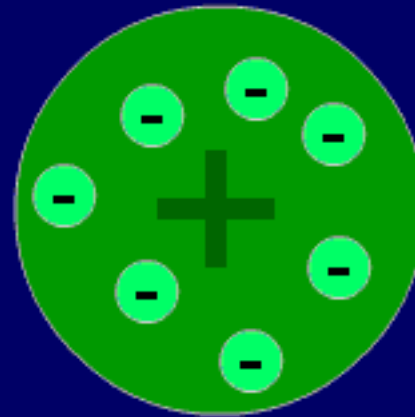


Μέσα στα 10 πιο σημαντικά πειράματα Φυσικής



Το πείραμα του Rutherford (Geiger–Marsden experiments)

The Rutherford Experiment



Expected Results

Πώς θα παρουσιάζαμε το πείραμα του Rutherford Geiger–Marsden experiments

;

Με τη χρήση δέσμης laser – πείραμα με laser,
μοντέλο σταφιδόψωμου Thomson,
ανάκλαση με καθρέφτες και ανίχνευση με κινητό





https://www.youtube.com/watch?v=3eXJoD_z9ec



<https://www.youtube.com/watch?v=Cw6dvCwfyuU>

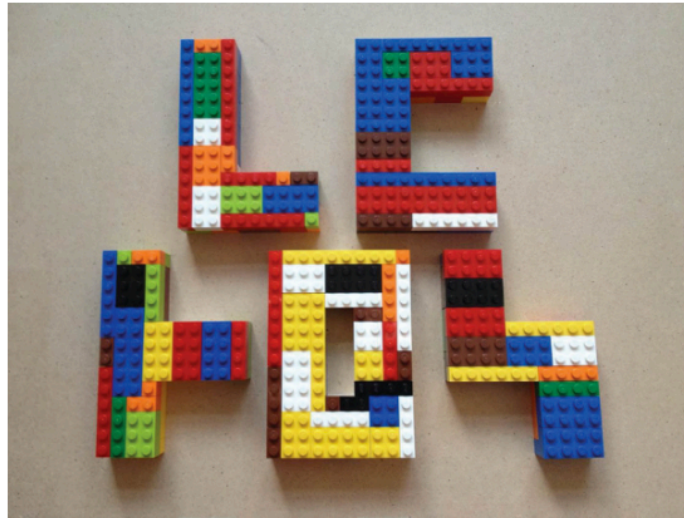
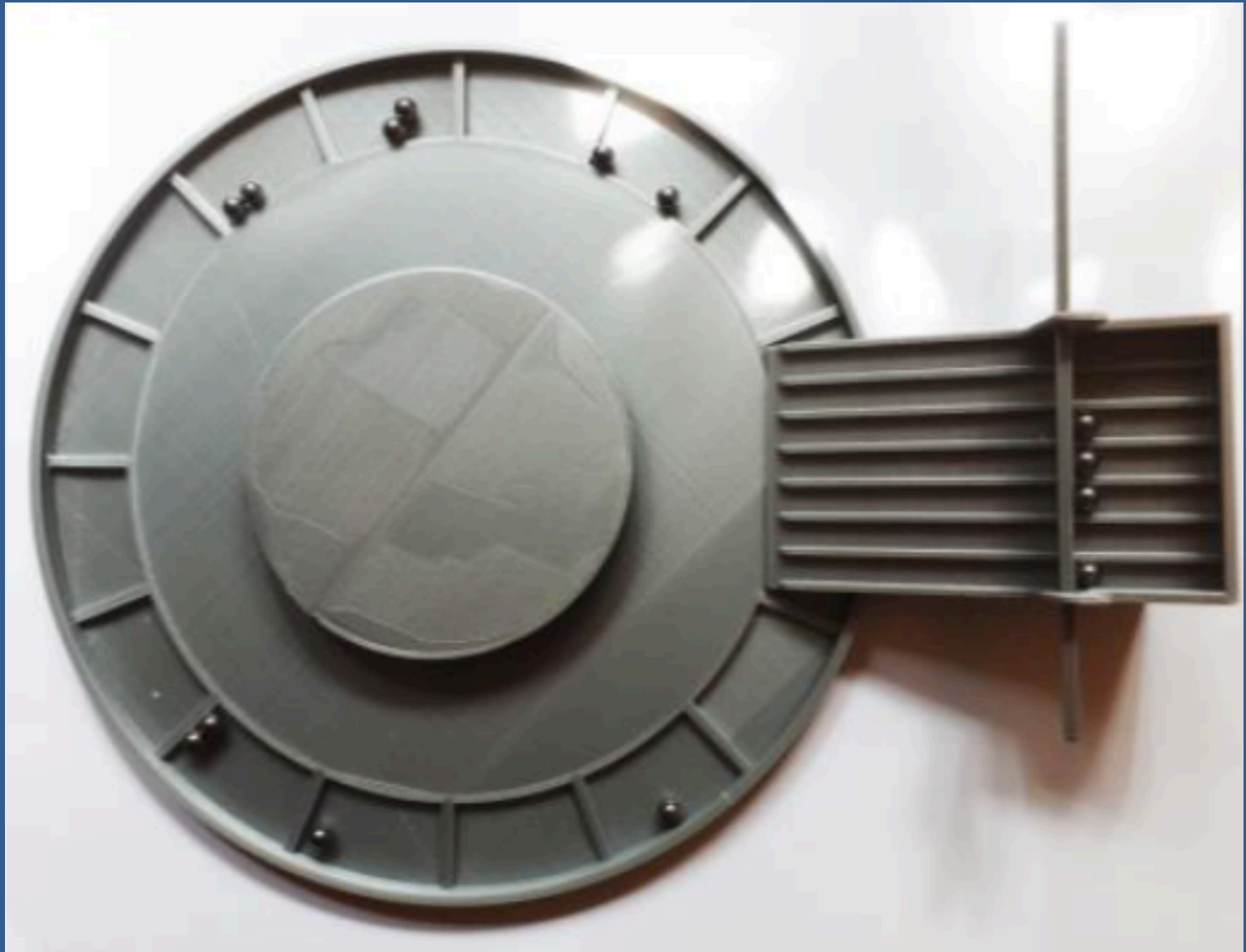


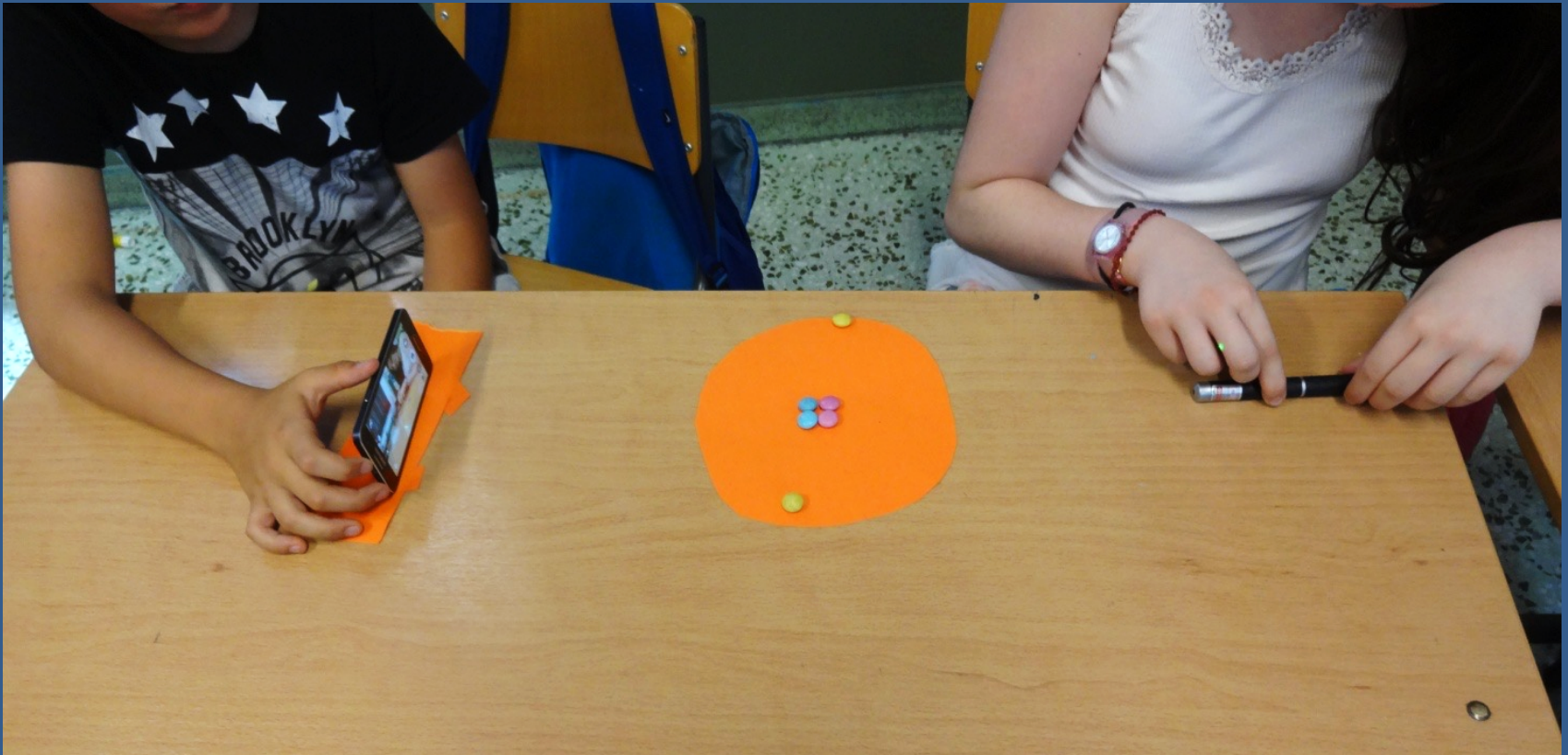
Figure 3. Classroom layout for hidden shape activity.



Μοντέλο σταφιδόψωμου Thomson



Μοντέλο Rutherford



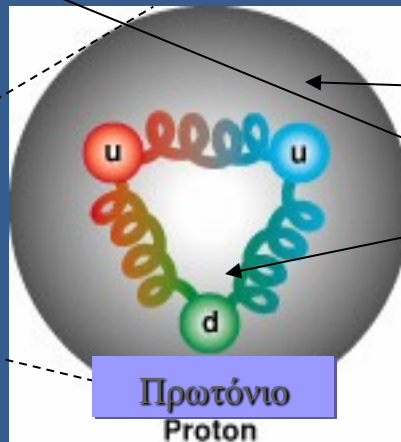
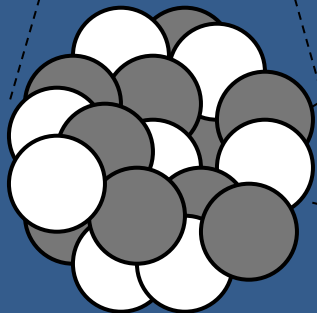
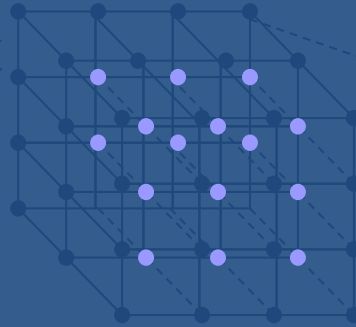
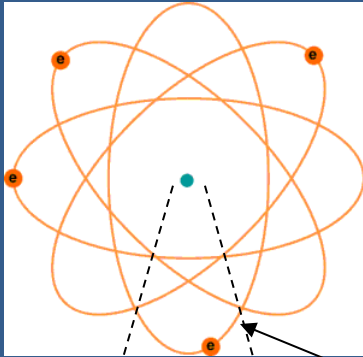


Διαστάσεις της Σωματιδιακής Φυσικής

Δομή της Ύλης

$\sim 10^{-10}$ m

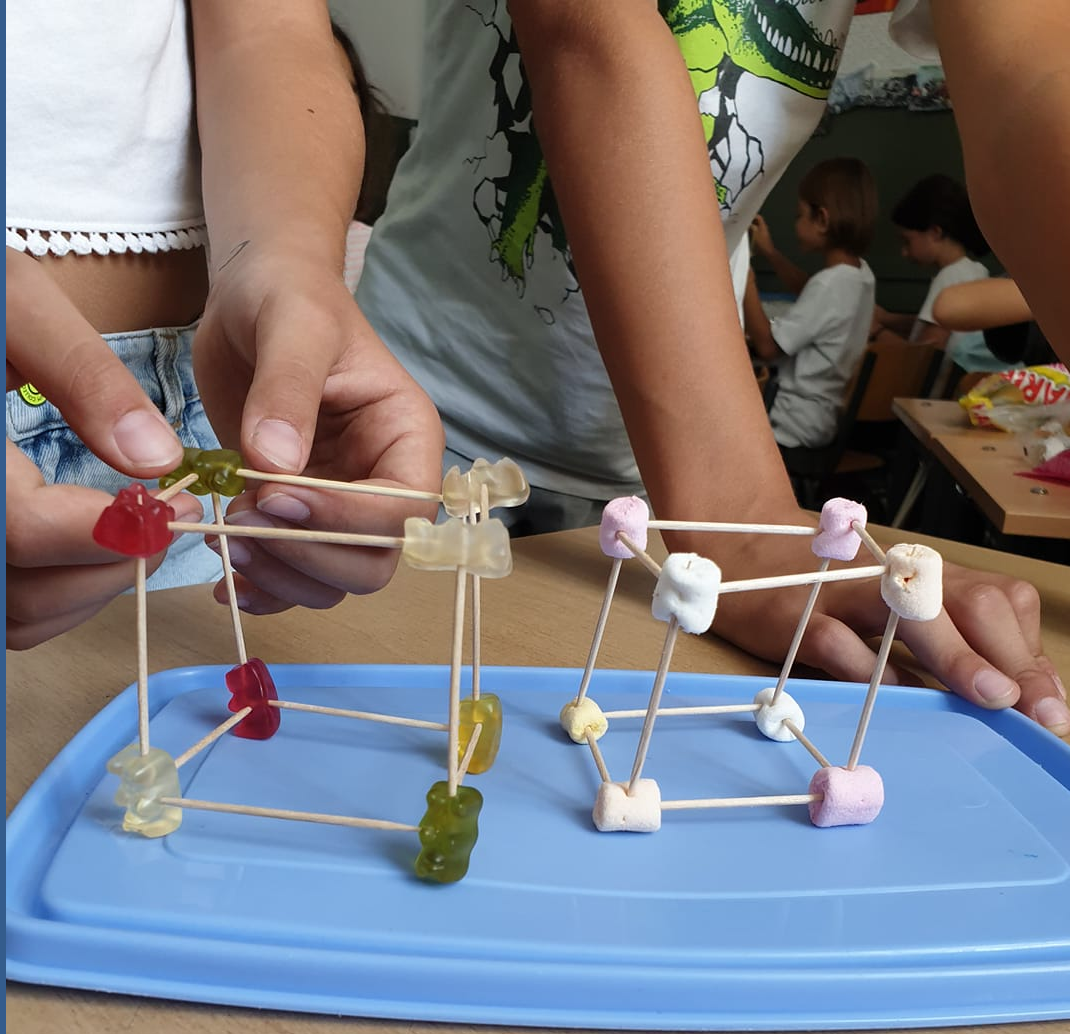
~ 1 m



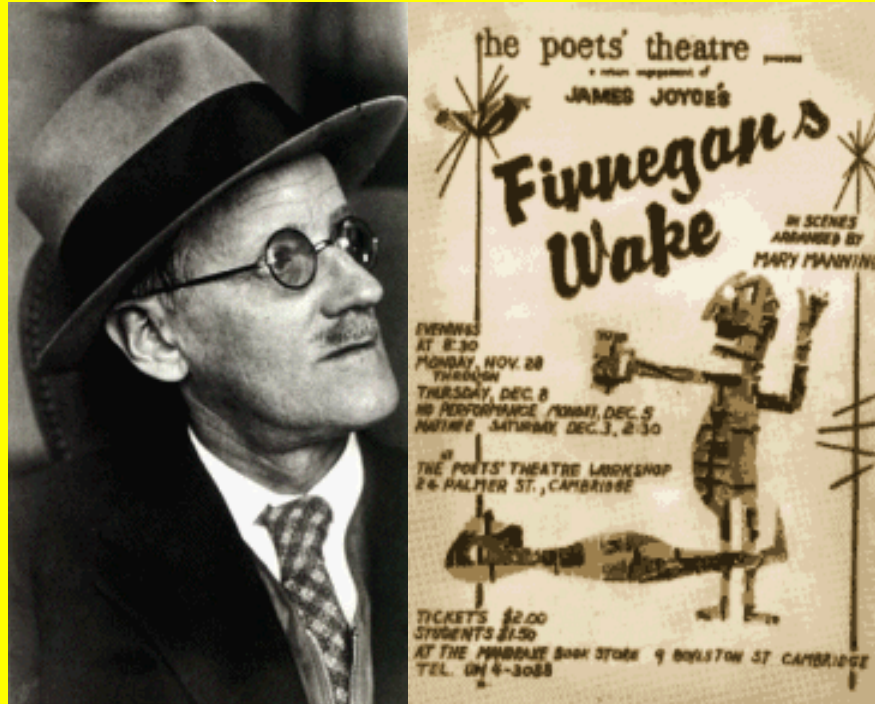
	Generation →		
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$
Leptons	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$

$\sim 10^{-14}$ m

$< 10^{-18}$ m



Γιατί τα λέμε Quark



James Joyce

**Three Quarks
for Muster Mark**



Murray Gell-Mann

Η ιστορία του ονόματος quark

Το 1963 ο Αμερικάνος φυσικός Μάρεϊ Γκελ-Μαν (Murray Gell-Mann) πρότεινε ότι τα πρωτόνια και τα νετρόνια, τα λεγόμενα νουκλεόνια, δεν αποτελούν τους στοιχειώδεις δομικούς λίθους της ύλης, αλλά συνίστανται από άλλα μικρότερα σωματίδια, τα οποία ονόμασε κουάρκ.

Η ονομασία αυτή προέρχεται από την πρόταση "Three quarks for Muster Mark", η οποία συναντάται στο μυθιστόρημα "Finnegans Wake" του Ιρλανδού συγγραφέα και ποιητή Τζέιμς Τζόυς.

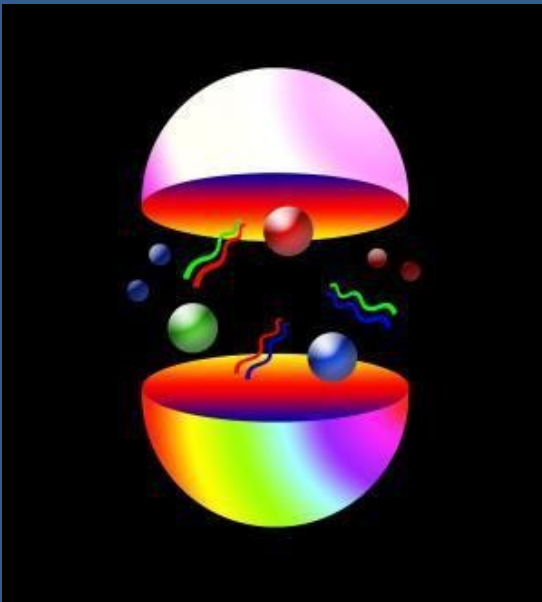
Το 1969 ο Γκελ-Μαν απέσπασε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την συνεισφορά του και τις ανακαλύψεις σχετικά με τη ταξινόμηση των στοιχειωδών σωματιδίων και τις αλληλεπιδράσεις τους.

Πρωτόνιο και Νετρόνιο

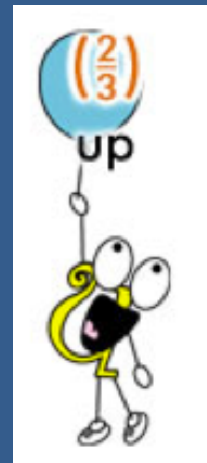
Ο πυρήνας του ατόμου σχηματίζεται από δυο ειδών σωματίδια: το πρωτόνιο, με θετικό φορτίο, ίσο με αυτό του ηλεκτρονίου το νετρόνιο, έχει σχεδόν την ίδια μάζα με το πρωτόνιο αλλά είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια αποτελούνται από 3 quarks

Για να δημιουργηθούν χρειάζονται 2 «γεύσεις» από quarks.



U



Down



$T\alpha$ Quarks

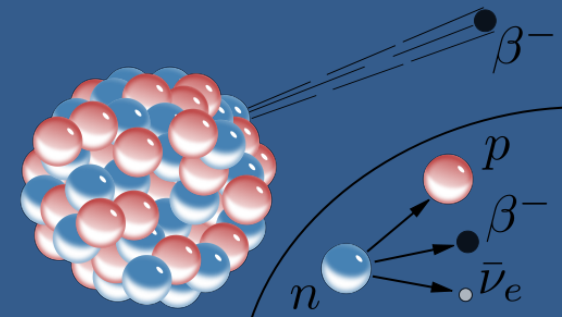


Η ζωή, η ύλη και το σύμπαν μπορεί να περιγραφεί από 4 στοιχειώδη σωματίδια

- Up quark, u
- Down quark, d
- Ηλεκτρόνιο, e^-
- Νεutrίνο, ν

πρωτόνια και νετρόνια
→ πυρήνες ατόμων


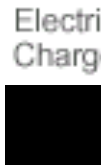

άτομα



β^- - διάσπαση

Τα ηλεκτρόνια και τα νεutrίνα τα ονομάζουμε
ΛΕΠΤΟΝΙΑ (ελλ. λεπτός)

Tα 6 Quarks

			Electric Charge
Bottom			
Strange			$2/3$
Down			
Top			
Charm			$2/3$
Up			

Καθιερωμένο Πρότυπο

Στα πειράματα που γίνονται (και, όπως πιστεύουμε, επίσης κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα της δημιουργίας του σύμπαντος), εμφανίζονται **και άλλα στοιχειώδη σωματίδια** που έχουν όμως εκπληκτικές ομοιότητες με τα τέσσερα που προαναφέραμε και που θα ονομάζουμε σαν 1η γενιά.

1^η γενιά
Συνήθης ύλη

Για κάθε σωματίο έχουμε και ένα αντισωματίο

Τα αντισωματίδια έχουν ίδια μάζα και αντίθετο φορτίο

Three Generations of Matter (Fermions)

2^η γενιά

3^η γενιά

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z ⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W [±] weak force

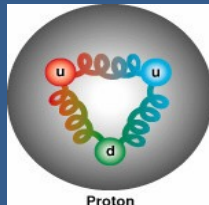
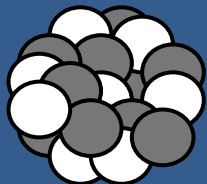
Quarks

Leptons

Bosons (Forces)

Οι Αλληλεπιδράσεις στη Φύση

Ισχυρές
Μεταδίδονται με τα γκλουόνια



Ασθενείς
Μεταδίδονται με τα W Z⁰



Συγκρατούν τα πρωτόνια και νετρόνια στον πυρήνα
Συγκρατούν τα quarks στα πρωτόνια και τα νετρόνια

Προκαλούν την διάσπαση των ραδιενεργών πυρήνων
Διαμορφώνουν την ένταση της ηλιακής ενέργειας

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ	ΛΕΠΤΟΝΙΑ	ΚΟΥ ΑΡΚ
<ul style="list-style-type: none"> ηλεκτρόνιο μυόνιο ταυ 	<ul style="list-style-type: none"> νεutrίνο ηλεκτρονίου νεutrίνο μυόνιο νεutrίνο ταυ 	<ul style="list-style-type: none"> άνω (up) κάτω (down) καριτωμένο (charm) μηλό (top) καμηλό (bottom)

Βαρυτικές Μεταδίδονται με τα γκραβιτόνια



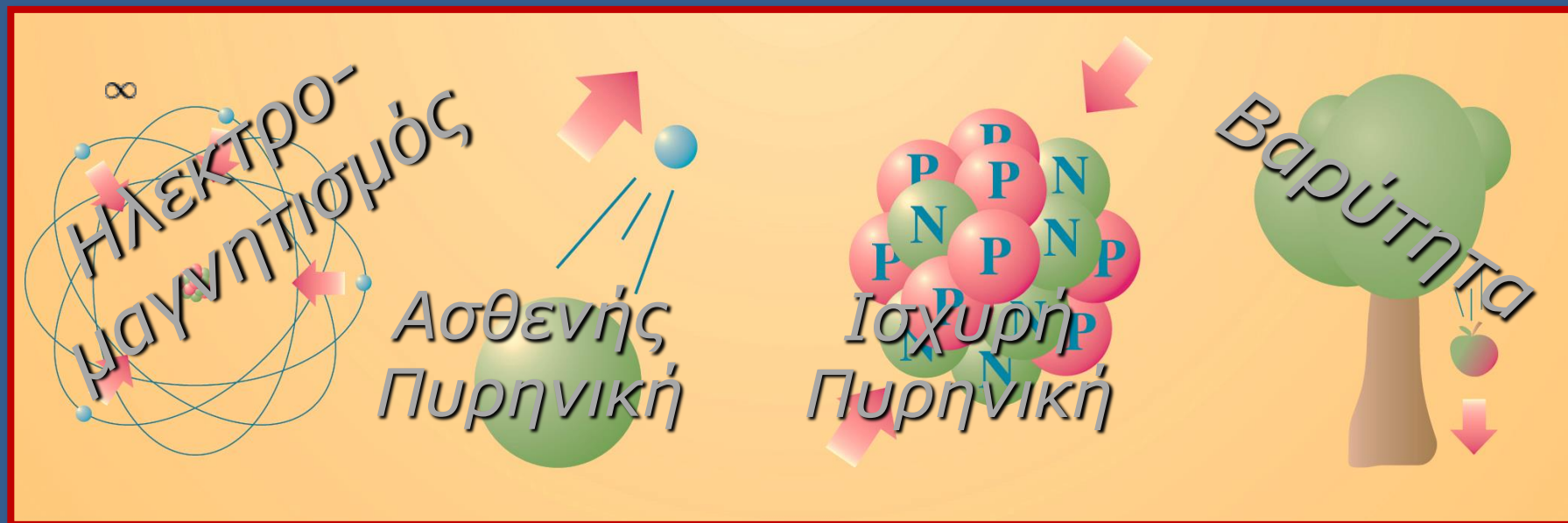
ΕΙΔΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ (ΚΒΑΝΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ)	ΠΑΡΟΥΣΙΑ
ΙΣΧΥΡΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	~ 1	8 ΓΚΛΟΥΟΝΙΑ (ΑΜΑΖΑ)	ΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΠΥΡΗΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-3}$	ΦΩΤΟΝΙΟ (ΑΜΑΖΟ)	ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΣΤΙΒΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ
ΑΣΘΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	$\sim 10^{-5}$	ΜΠΟΖΟΝΙΑ Z, W ⁺ , W ⁻ (ΒΑΡΙΑ)	ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟ ΔΙΑΣΠΑΣΗ Β
ΒΑΡΥΤΗΤΑ	$\sim 10^{-38}$	ΓΚΡΑΒΙΤΟΝΙΑ (:)	ΟΥΡΑΝΙΑ ΣΩΜΑΤΑ

Η ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΕΙΝΑΙ ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ

Συγκρατούν τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα
Ευθύνονται για τις χημικές αντιδράσεις
Ηλεκτρισμός, Φως, Ακτινοβολία ...

Αναγκάζουν τα αντικείμενα με μάζα να πέφτουν
Διατηρούν τη γη και τους πλανήτες γύρω από τον ήλιο

Οι Τέσσερις Θεμελιώδεις Αλληλεπιδράσεις (Δυνάμεις)



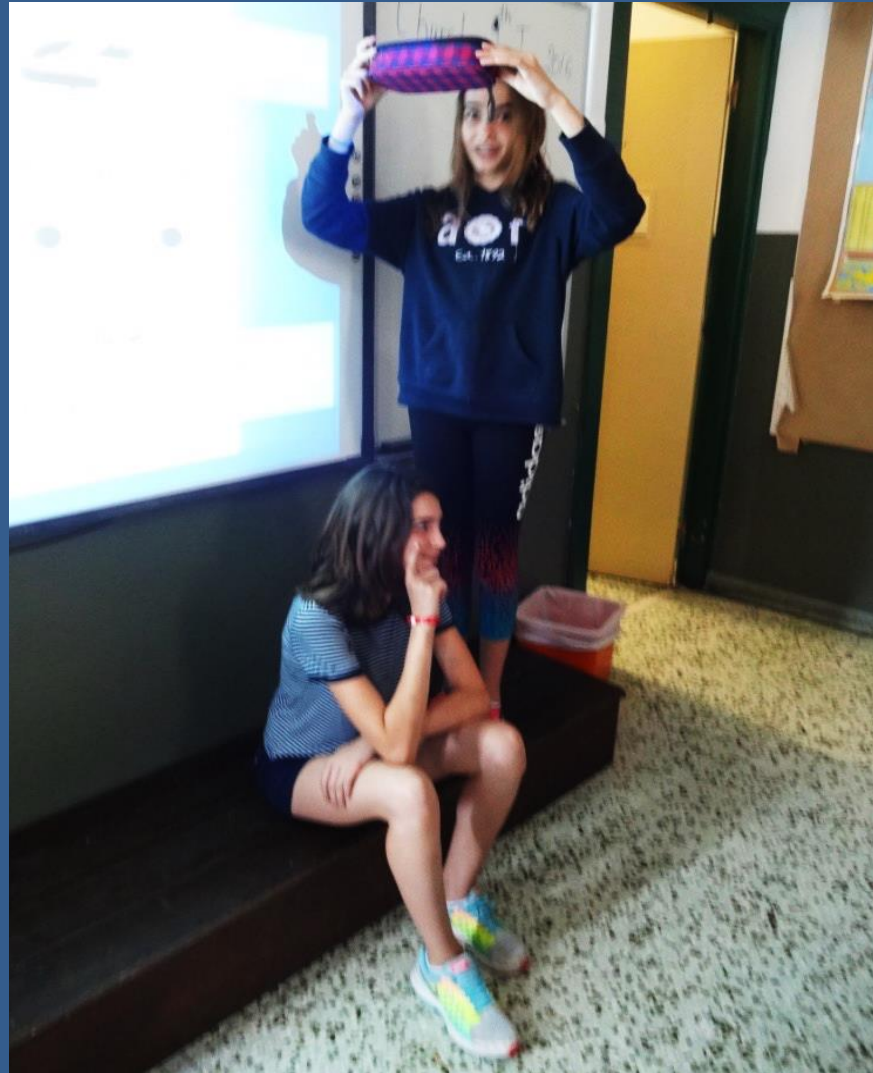
Δύναμη

Σχετική Ισχύς

Ισχυρή Πυρηνική	1
Ηλεκτρομαγνητική	1/137
Ασθενής Πυρηνική	10^{-6}
Βαρύτητα	6×10^{-38}

Η βαρυτική αλληλεπίδραση είναι 100 τρις-τρις-τρις φορές μικρότερη από την ηλεκτρομαγνητική!

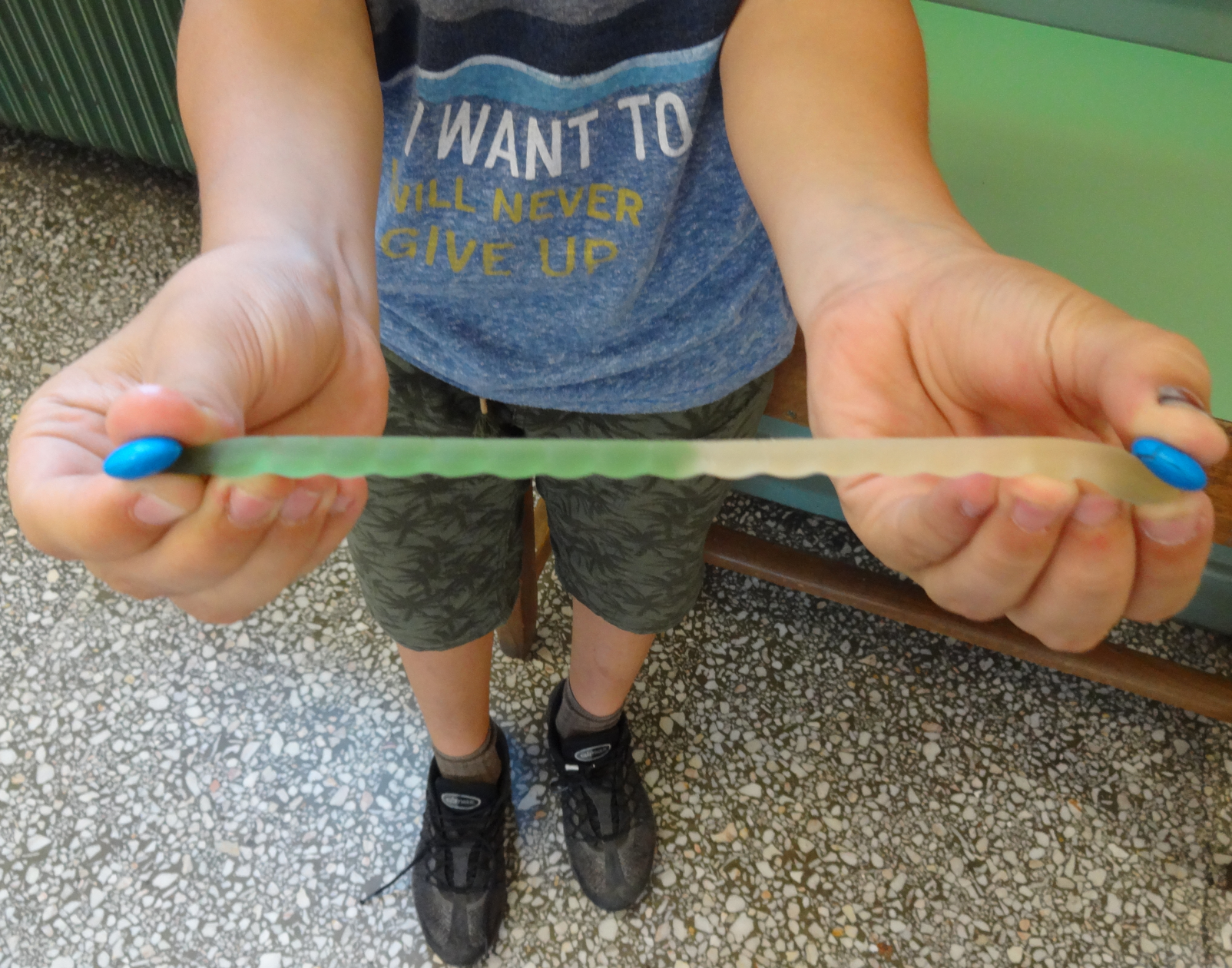
Βαρυτικές δυνάμεις



Ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις Φως / Ουράνιο τόξο



I WANT TO
WILL NEVER
GIVE UP



Ραδιενεργός ακτινοβολία με μετρητή Geiger – Muller



1. Πλησιάζουμε τον μετρητή ραδιενέργειας στο σώμα μας ξεκινώντας από τα πόδια. Μετράμε πόση ραδιενέργεια έχουν τα παπούτσια μας. Γιατί έχουν περισσότερη ραδιενέργεια ;

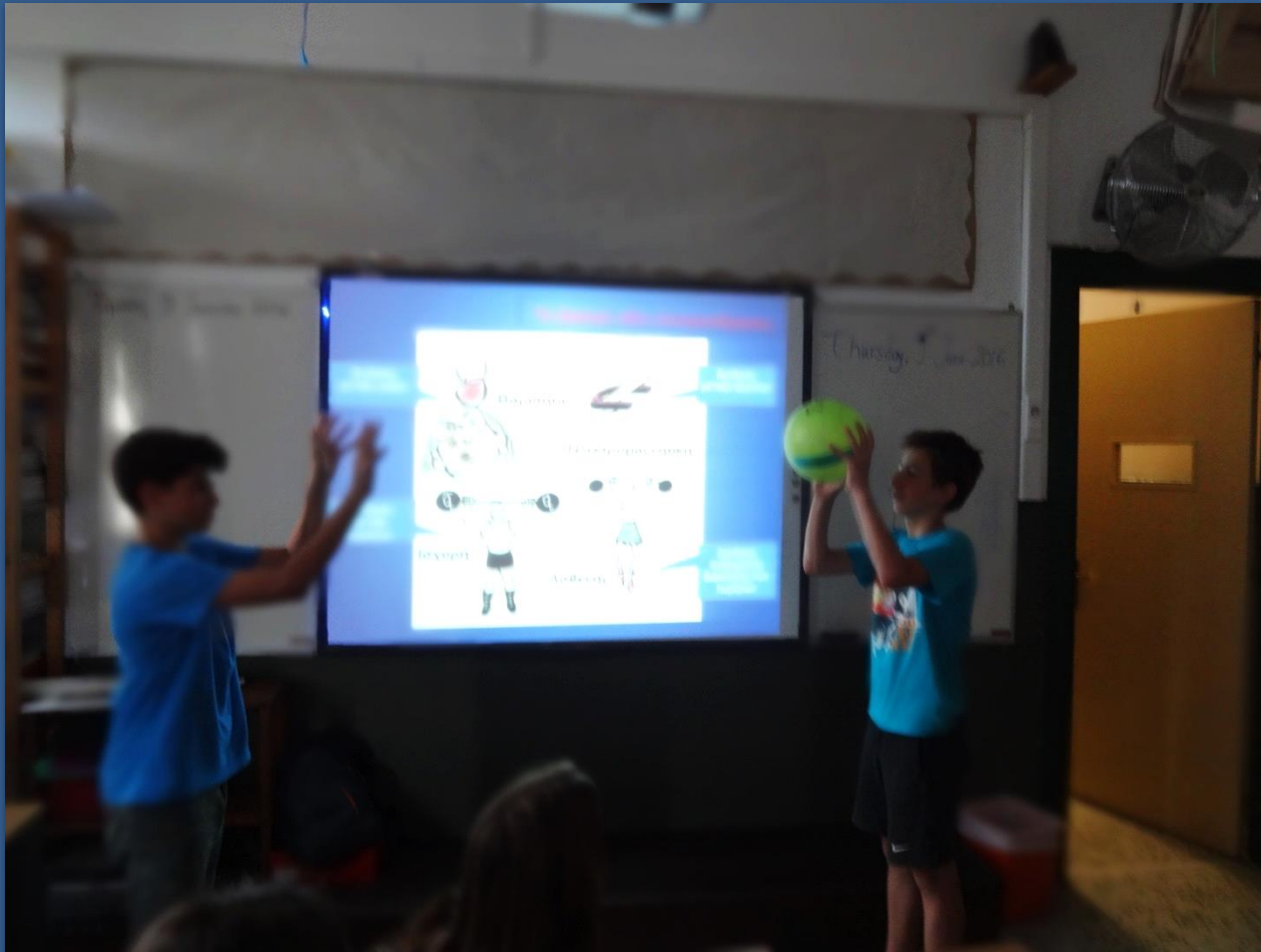
2. Πλησιάζουμε τον μετρητή σε ένα φωσφοριζέ ρολόι .Τι παρατηρούμε;
Οι μετρήσεις γίνονται σε $\mu\text{Sv/h}$.

Η ανταλλαγή σωματιδίων είναι υπεύθυνη για τη δύναμη

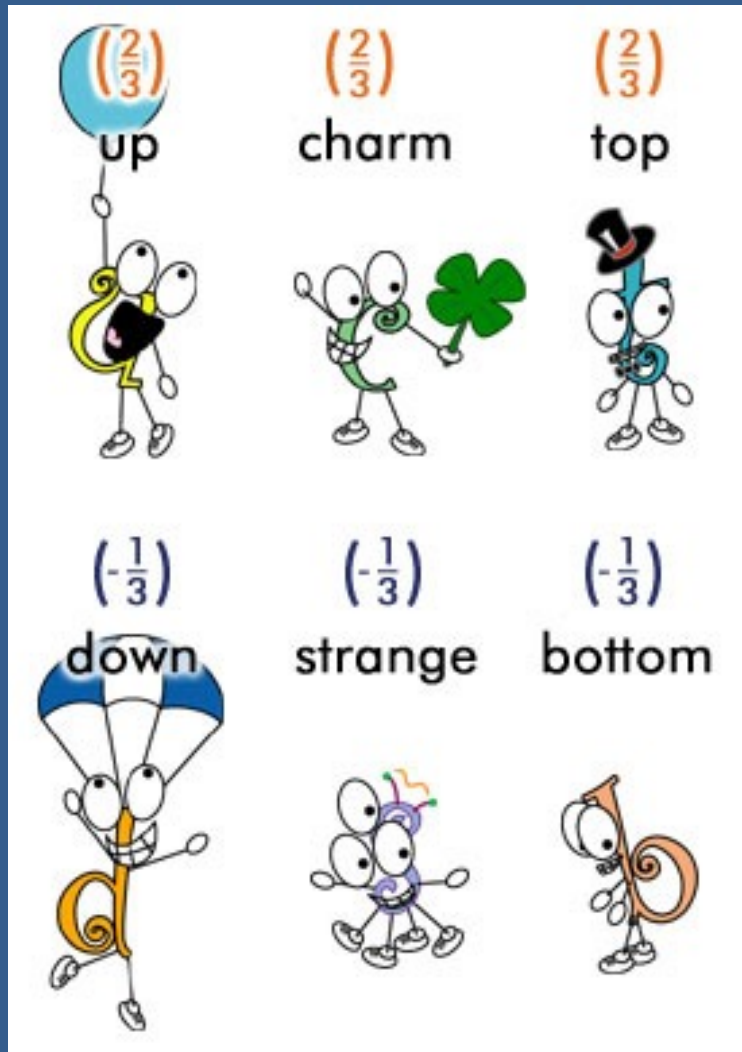
- Δείξτε τις 4 θεμελιώδεις δυνάμεις του Σύμπαντος με ανταλλαγή σωματιδίων μεταξύ σας.
- Το σωματίδιο μπορεί να είναι μία μπάλα πλαστελίνης.
Η ουσία είναι να δούμε ότι υπάρχει σωματίδιο φορέας της δύναμης



Το σωματίδιο φορέας της αλληλεπίδρασης

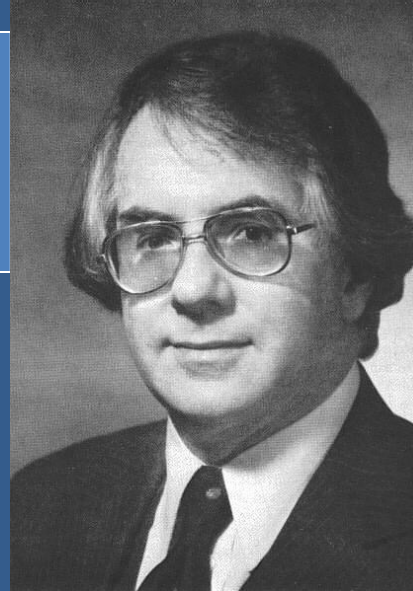


Οι δομικοί λίθοι της ύλης



Quarks	<i>u</i> up	<i>c</i> charm	<i>t</i> top
	<i>d</i> down	<i>s</i> strange	<i>b</i> bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	<i>e</i> electron	μ muon	τ tau
	I	II	III
The Generations of Matter			

Το Καθιερωμένο πρότυπο της φυσικής



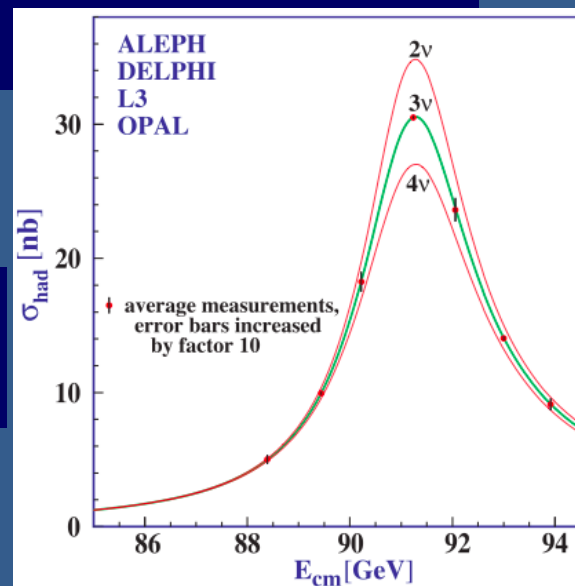
Προτάθηκε από τους
Glashow, Salam and
Weinberg



Ο έλεγχος έγινε από
πειράματα στο CERN



Απόλυτη συμφωνία θεωρίας
και πειραμάτων



Καθιερωμένο Πρότυπο

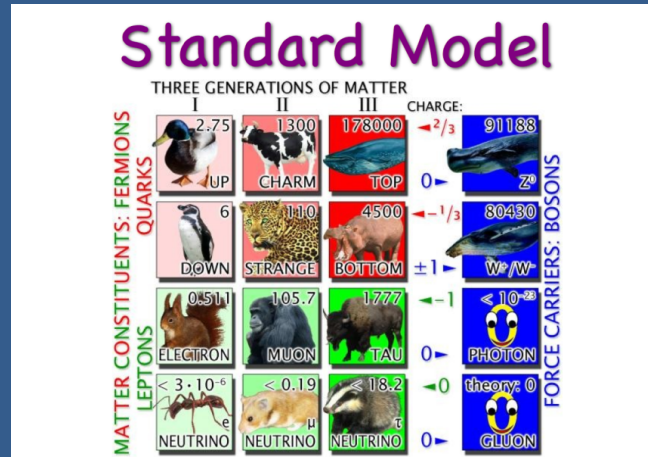
Standard Model

THREE GENERATIONS OF MATTER

	I	II	III	CHARGE:	
MATTER CONSTITUENTS: FERMIONS QUARKS	2.75 UP	1300 CHARM	178000 TOP	$-\frac{2}{3}$	91188 Z^0
	6 DOWN	110 STRANGE	4500 BOTTOM	$-\frac{1}{3}$	80430 W^+/W^-
	0.511 ELECTRON	105.7 MUON	1777 TAU	-1	$< 10^{-28}$ PHOTON
	$< 3 \cdot 10^{-6}$ NEUTRINO e	< 0.19 NEUTRINO μ	< 18.2 NEUTRINO τ	0	theory: 0 GLUON
				0	
				0	

FORCE CARRIERS: BOSONS

Καθιερωμένο Πρότυπο



Η ονομασία που χρησιμοποιούν οι φυσικοί για τη θεωρία των θεμελιωδών σωματιδίων και των αλληλεπιδράσεών τους.

Χτίστηκε «πετραδάκι-πετραδάκι» τα προηγούμενα 50-60 χρόνια βασιζόμενη στα πειραματικά δεδομένα διαφόρων πειραμάτων και είναι αποδεκτή από όλους τους φυσικούς ως σωστή.

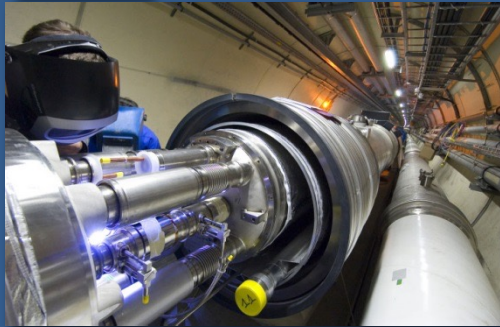
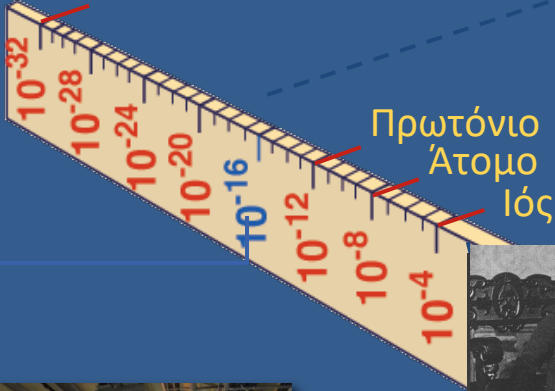
To Standard Model (το κοσμικό DNA)

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + h.c. \\ & + \chi_i^\dagger Y_{ij} \chi_j \phi + h.c. \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$

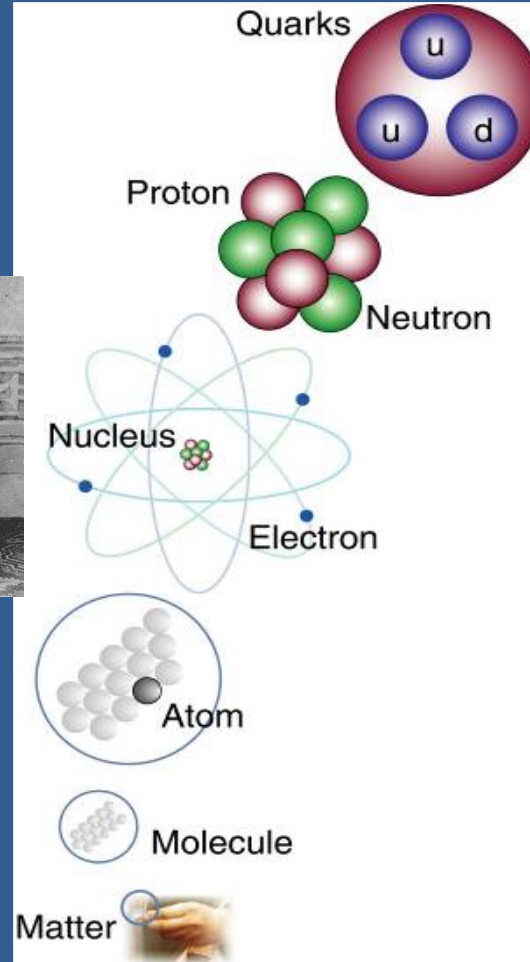
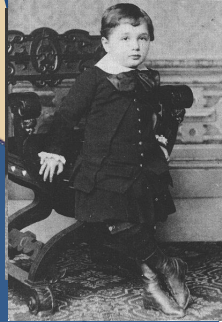
Να το καθιερωμένο πρότυπο στο CERN



Μεγάλη Έκρηξη

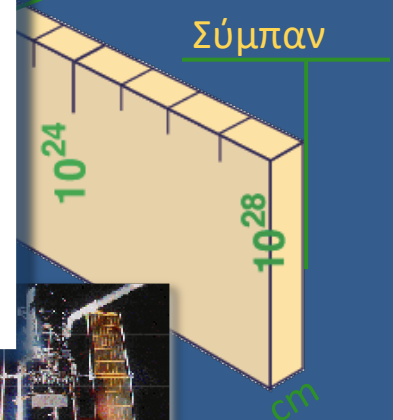


LHC



Γαλαξίες

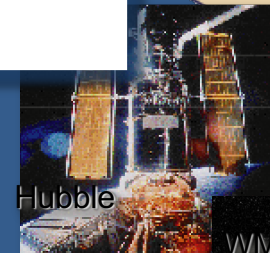
Σύμπαν



Super-Μικροσκόπιο



Οι νόμοι της φυσικής στις πρώτες στιγμές μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Συμβίωση μεταξύ σωματιδιακής φυσικής, αστροφυσικής, και κοσμολογίας.



Hubble



WMAP

Πώς θα δείχναμε την κλίμακα στα παιδιά;

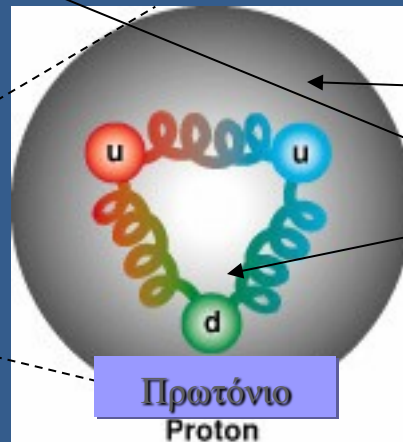
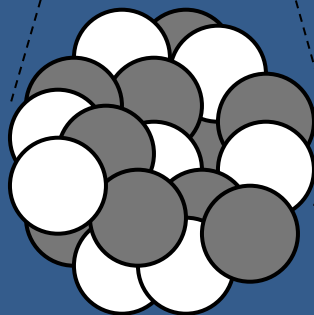
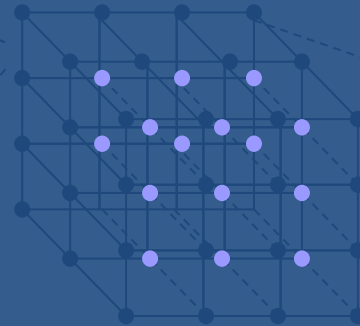
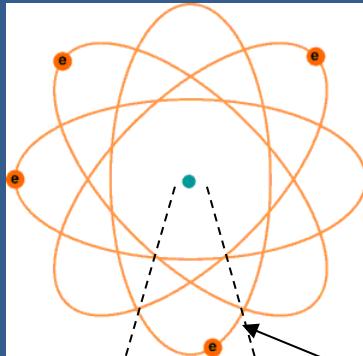


Διαστάσεις της Σωματιδιακής Φυσικής

Δομή της Ύλης

$\sim 10^{-10}$ m

~ 1 m



	Generation →		
Quarks	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$
Leptons	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$

$\sim 10^{-14}$ m

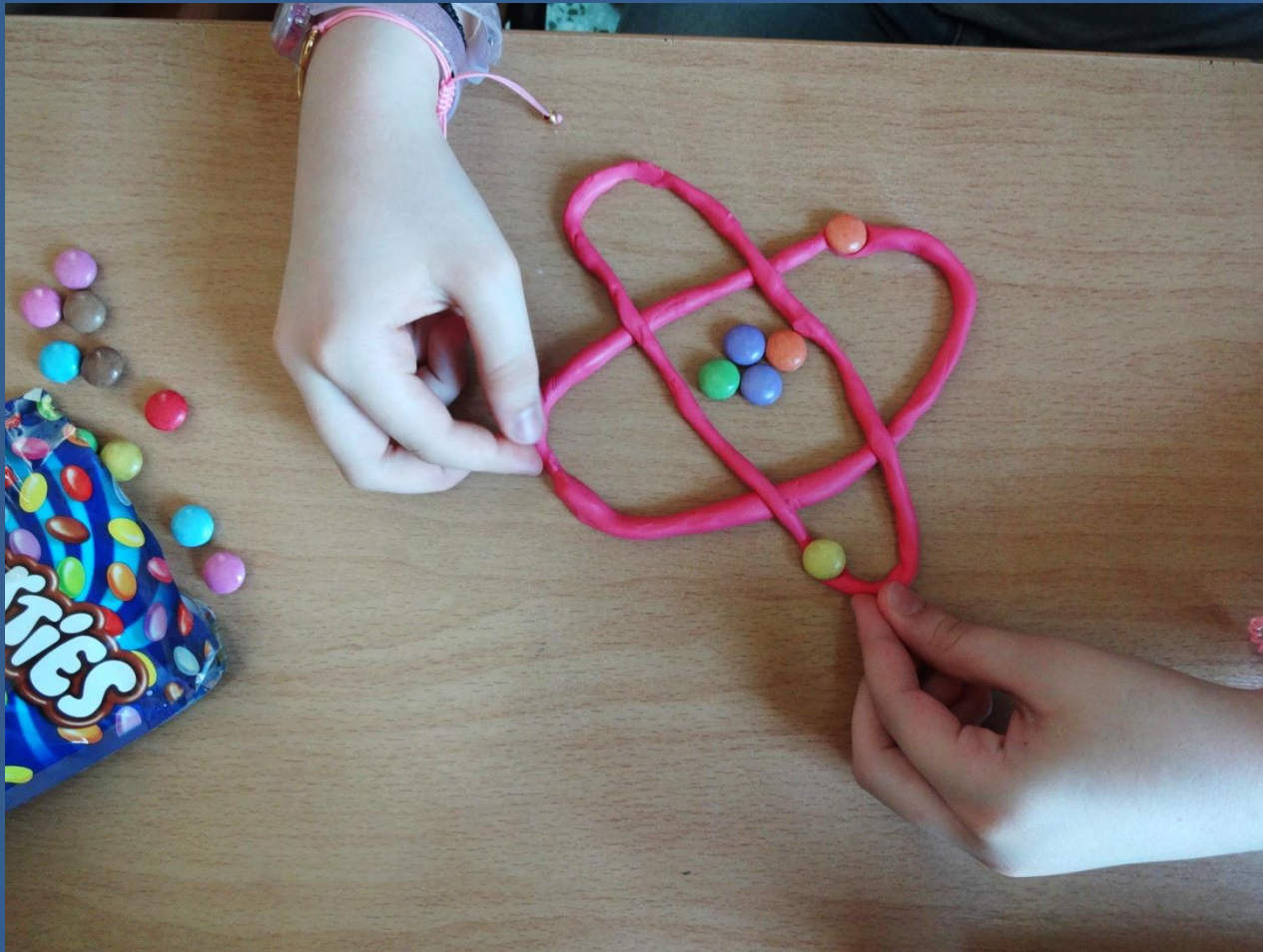
$< 10^{-18}$ m

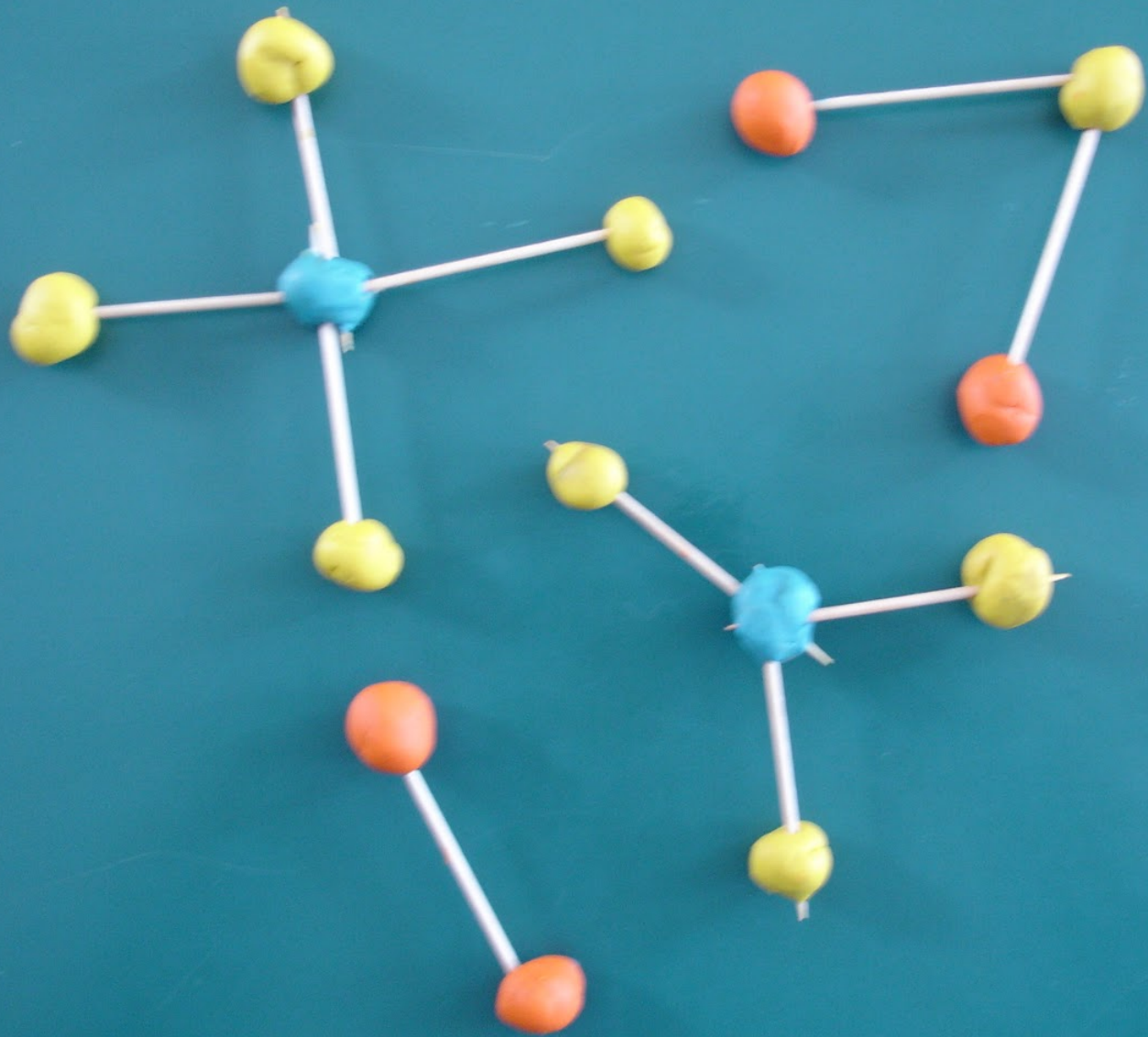
Δείξτε με απλά μοντέλα τις διαστάσεις της Σωματιδιακής Φυσικής

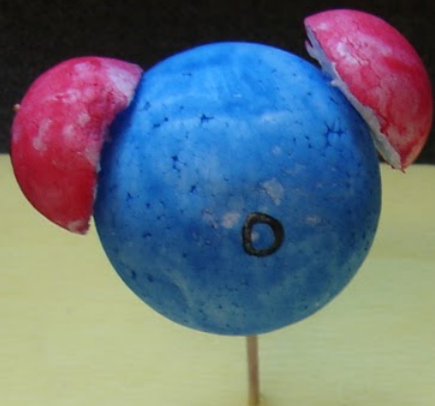
- A. Κρυσταλλική δομή με μακαρόνια
- B. Μοντέλο Thomson
- Γ. Δομή πυρήνα με smarties
- Δ. Δομή νουκλεονίων με smarties



Μοντέλα με smarties







ΜΟΡΙΟ ΝΕΡΟΥ
 H_2O



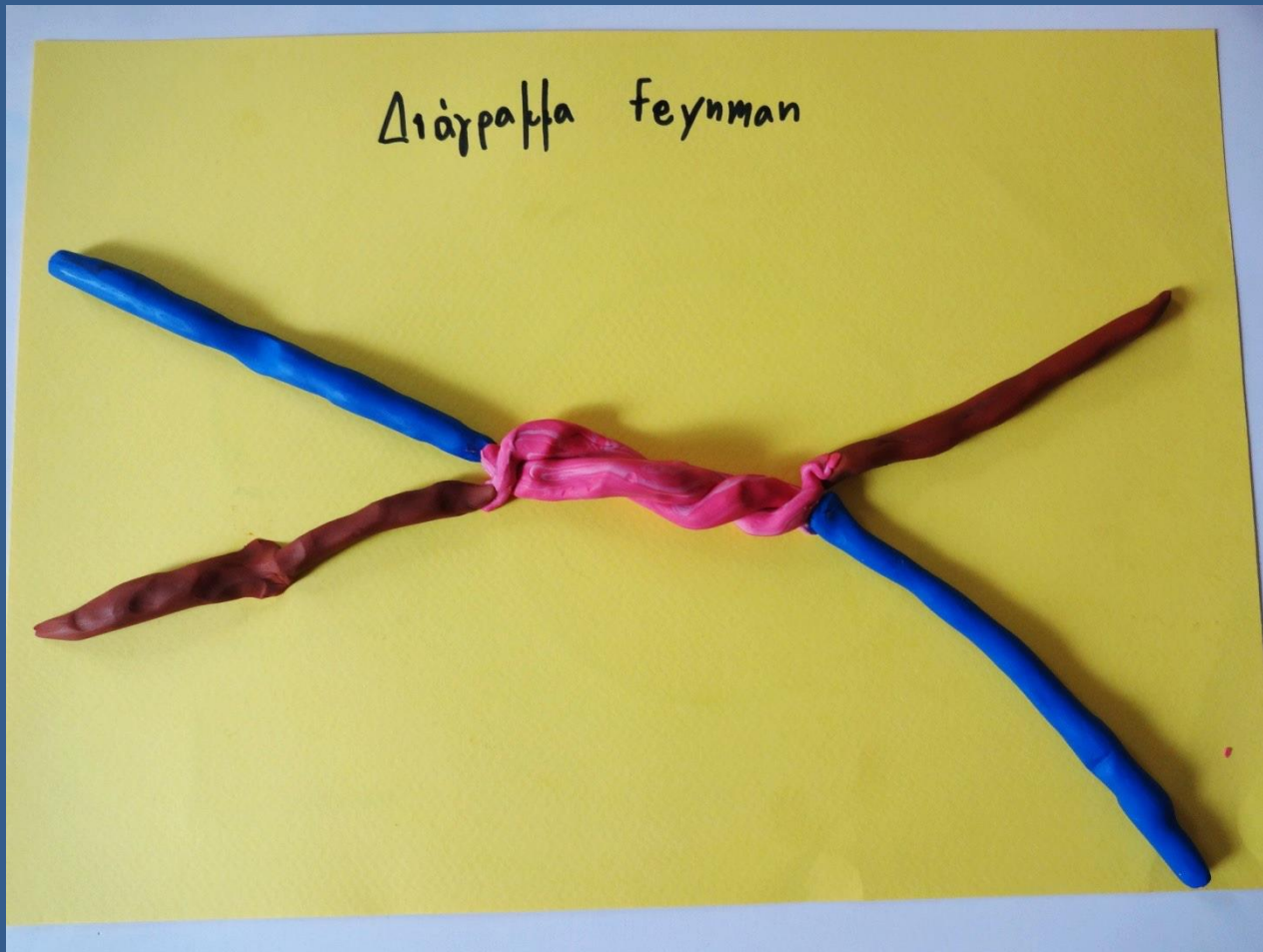
ΜΟΡΙΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ
ΑΝΘΡΑΚΑ
 CO_2



ΜΟΡΙΟ ΜΕΘΑΝΙΟΥ
 CH_4



Διάγραμμα Feynman



Κρυσταλλική δομή στερεών



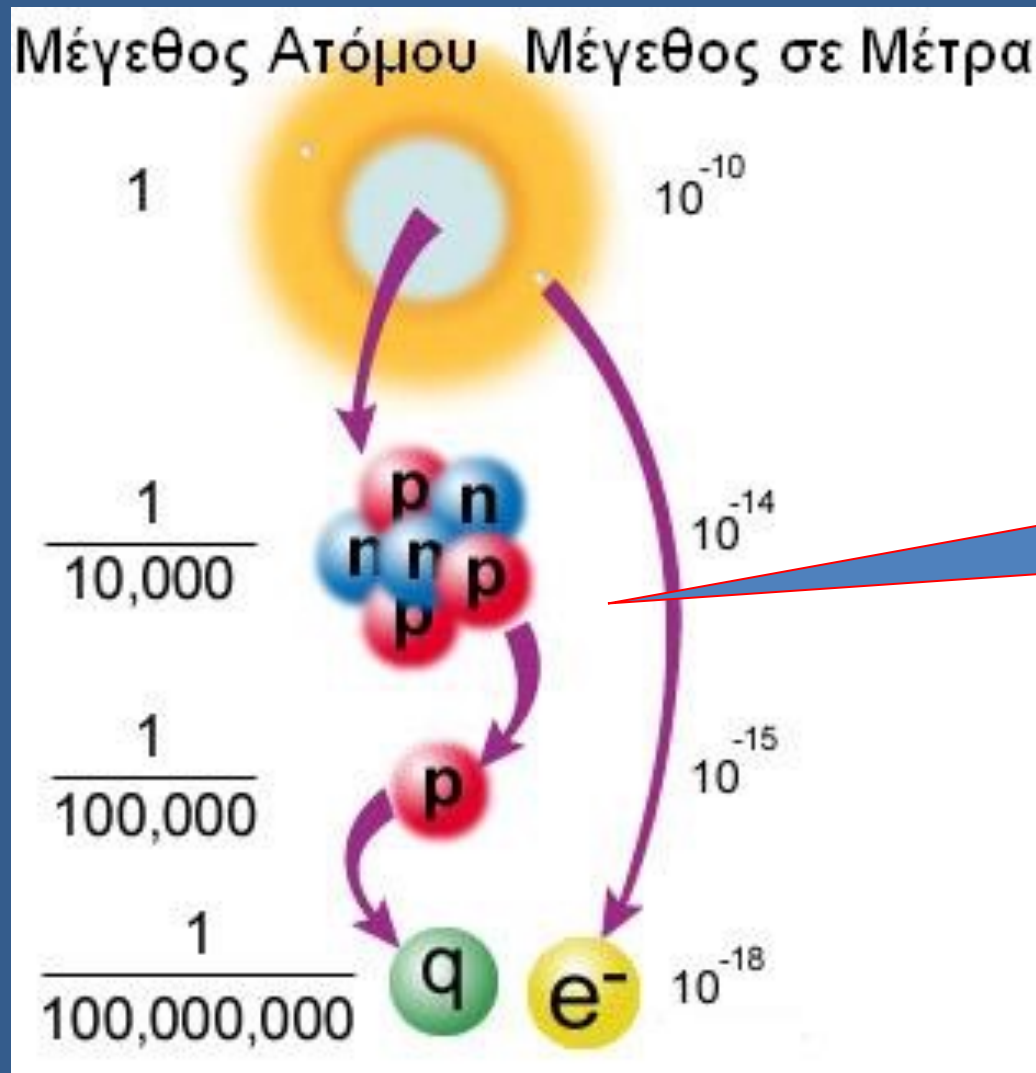
Σύγκρουση σωματιδίων και δημιουργία νέων



Ο πυρήνας του ατόμου



Διαστάσεις της Σωματιδιακής Φυσικής

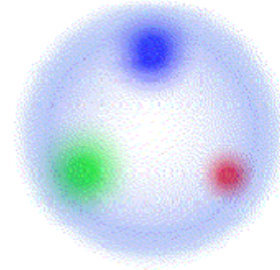


Στοιχεία
Περιοδικού
Συστήματος

Οι Δομικοί Λίθοι της Ύλης

Quarks (Gell-Mann) 1964





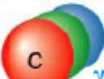







ΧΡΩΜΑΤΑ



Πρωτόνιο

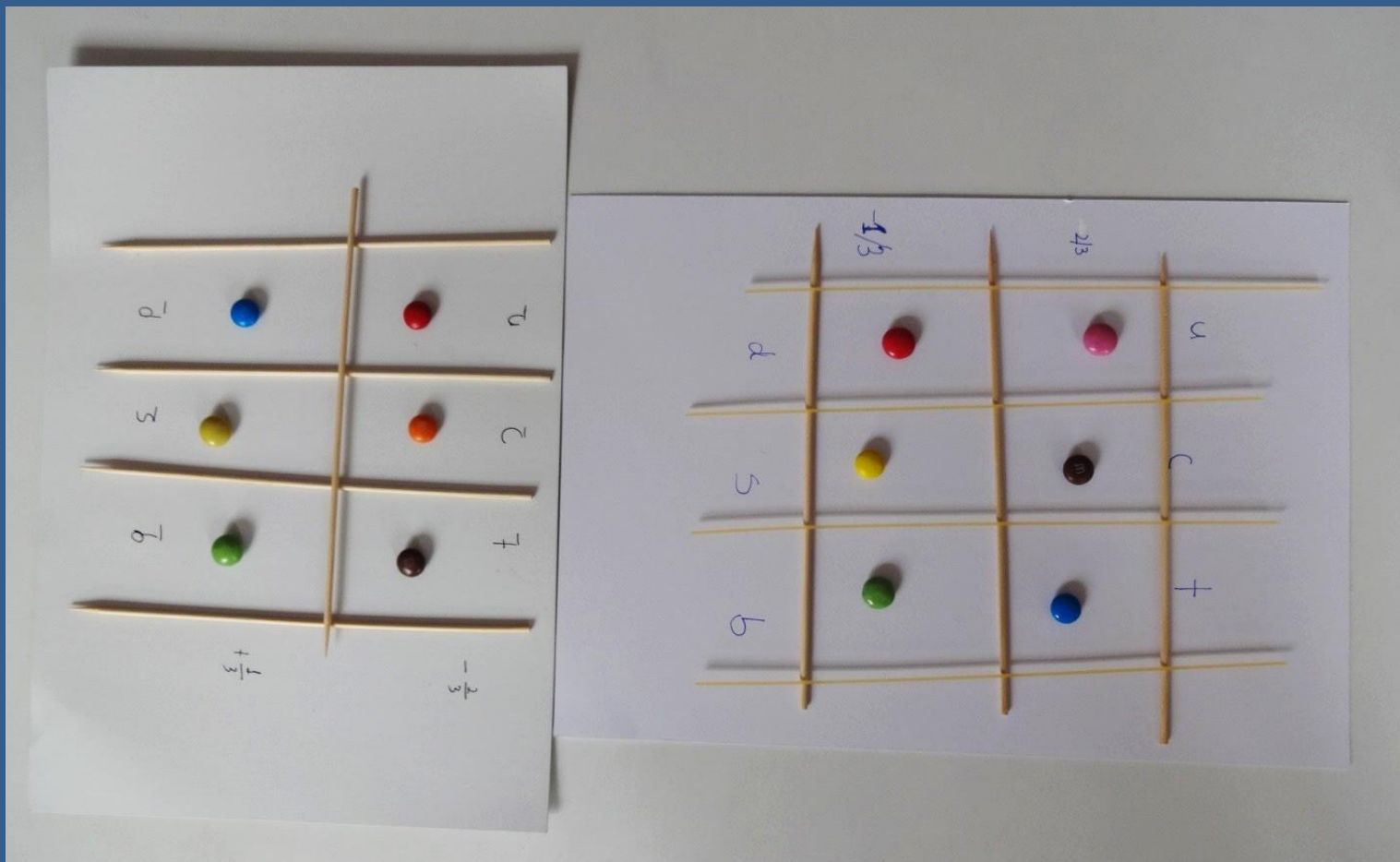
Το σύγχρονο περιοδικό σύστημα των θεμελιωδών λίθων της ύλης

ΓΕΥΣΕΙΣ

	Quarks		Λεπτόνια	
3η γενιά	 t υψηλό	 b χαμηλό	 τ ταυ	 ν_τ νετρίνο ταυ
2η γενιά	 c γοητευτικό	 s παράξενο	 μ μίονιο	 ν_μ νετρίνο μιονίου
1η γενιά	 u άνω	 d κάτω	 e ηλεκτρόνιο	 ν_e νετρίνο ηλεκτρονίου

συν τα σωματίδια της αντιύλης

Καθιερωμένο Μοντέλο με καραμέλες

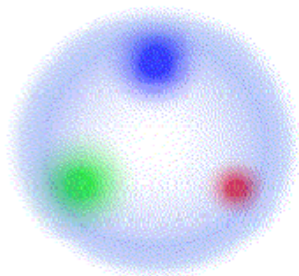


**Νόμωι γαρ χροϊή, νόμωι γλυκύ, νόμωι πικρόν,
‘ετεῖνι δ’ άτομα και κενόν**

Συμβατικά υπάρχει το χρώμα, συμβατικά το γλυκό
και το πικρό, ενώ στην πραγματικότητα υπάρχουν
μόνο τα άτομα και το κενό.

ΓΕΥΣΕΙΣ

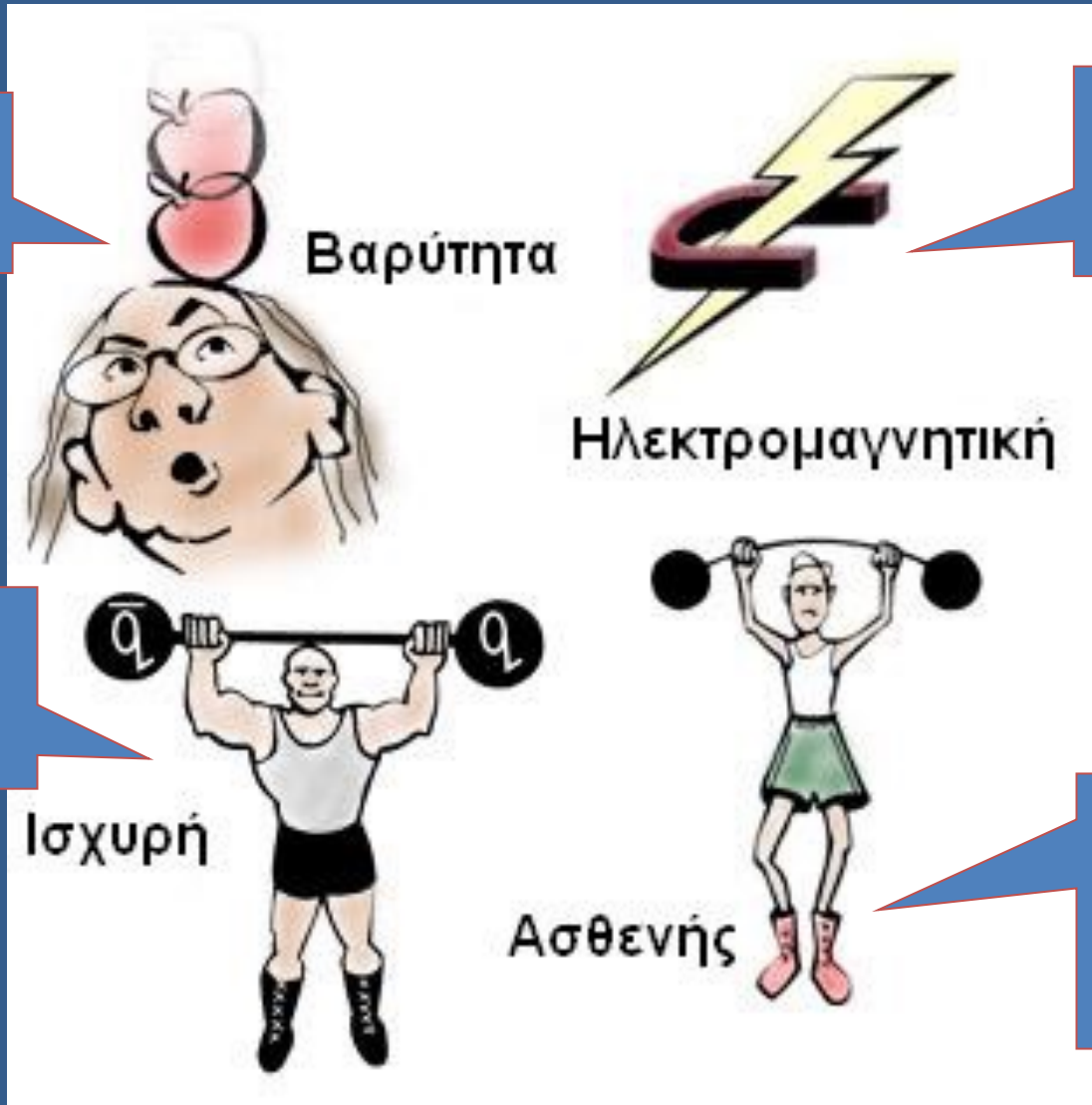
ΧΡΩΜΑΤΑ



Δημόκριτος 400 π.Χ.

Τα βασικά είδη αλληλεπίδρασης

Δυνάμεις
μεταξύ
μαζών



Δυνάμεις
μεταξύ
φορτίων

Δυνάμεις
μεταξύ
πυρήνων

Δυνάμεις
αθόρμητης
διάσπασης
των πυρήνων

Ο φορέας της δύναμης είναι σωματίδιο

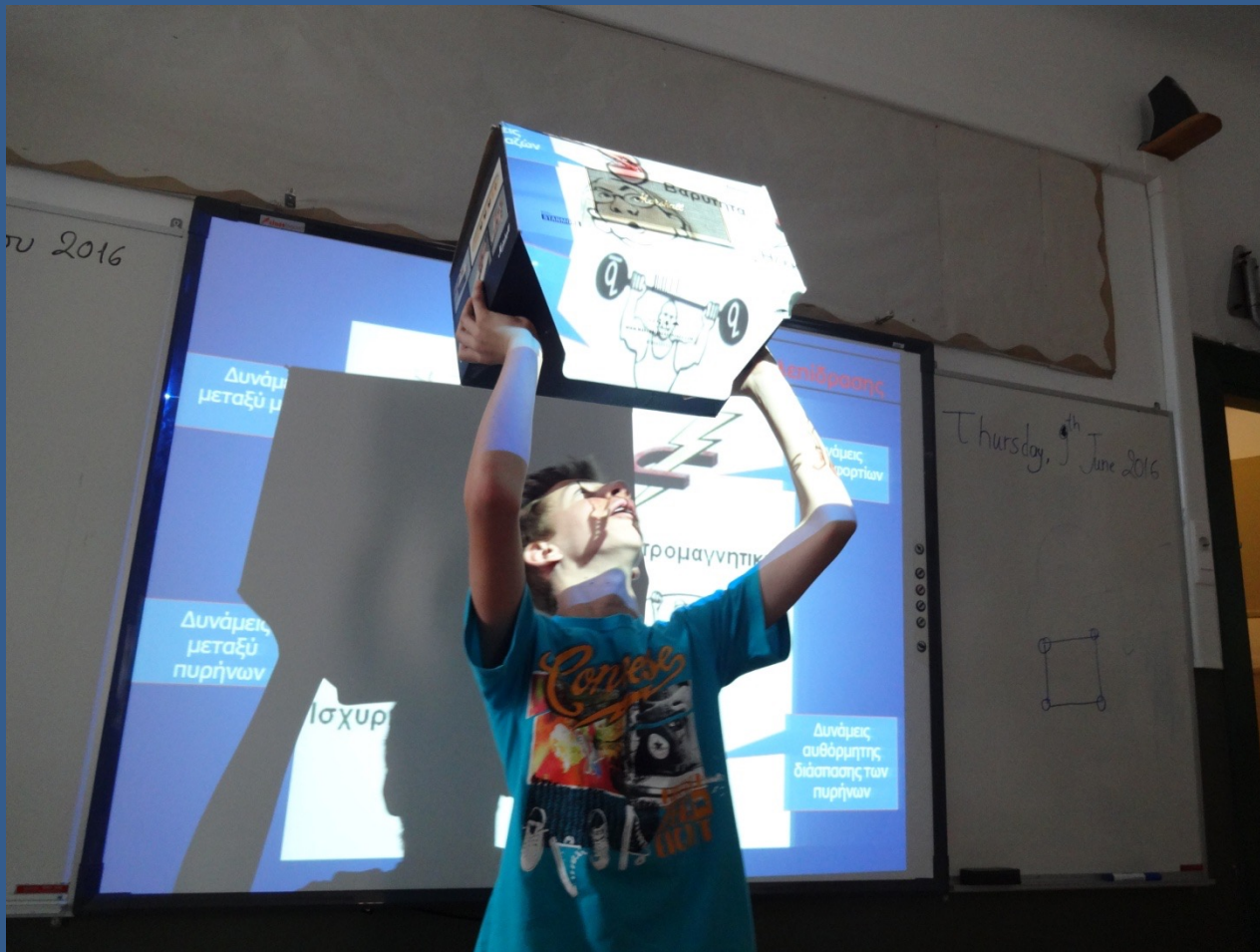


Τα βασικά είδη αλληλεπίδρασης



	Βαρύτητα	Ασθενής Ηλεκτρομαγνητική	Ισχυρή
Φορέας	Γκραβιτόνιο	$W^+ W^- Z^0$	Φωτόνιο
Δρα επάνω σε	Όλα τα Σώματα	Quarks και Λεπτόνια	Quarks και Γκλουόνια
Σχετική Ένταση	10^{-38}	10^{-5}	10^{-3}
			1

Ποια δύναμη είναι πιο μεγάλη;



6 φυσικοί πρότειναν ...



Robert Brout



Francois Englert



Richard Hagen



Peter Higgs

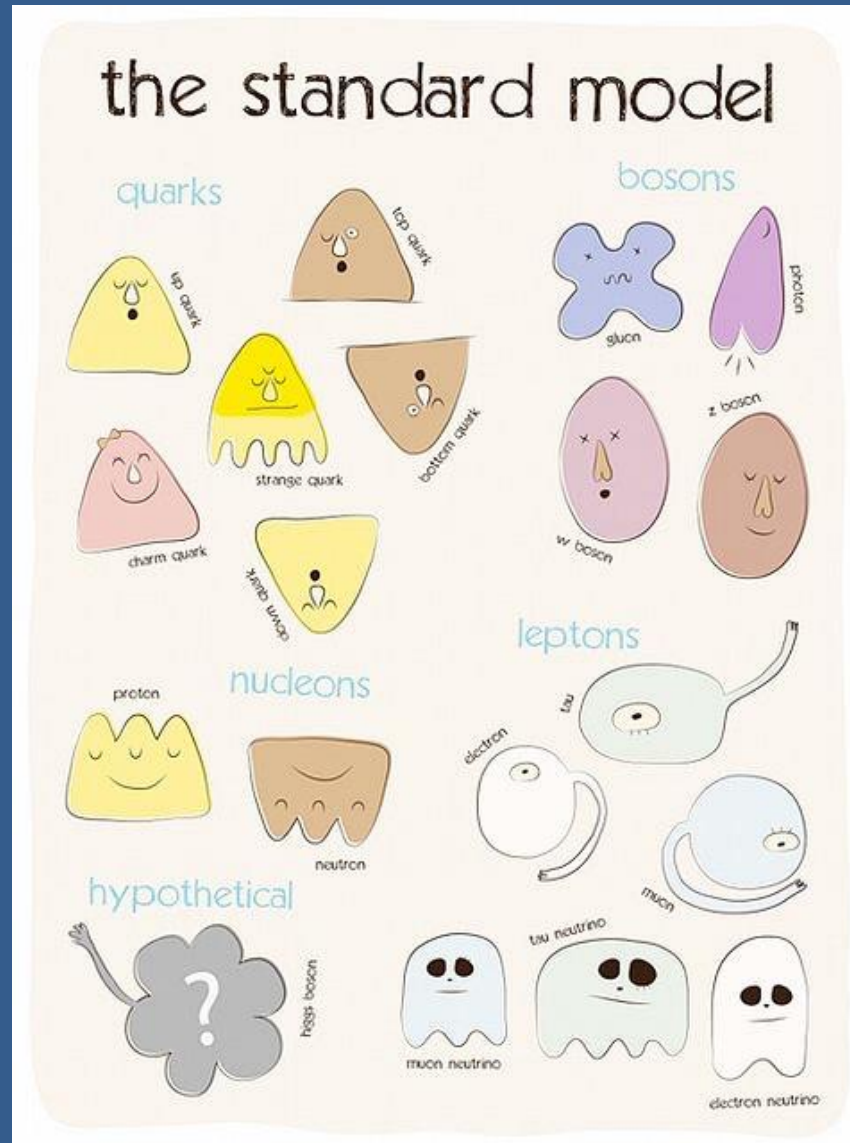


Gerald Guralnik

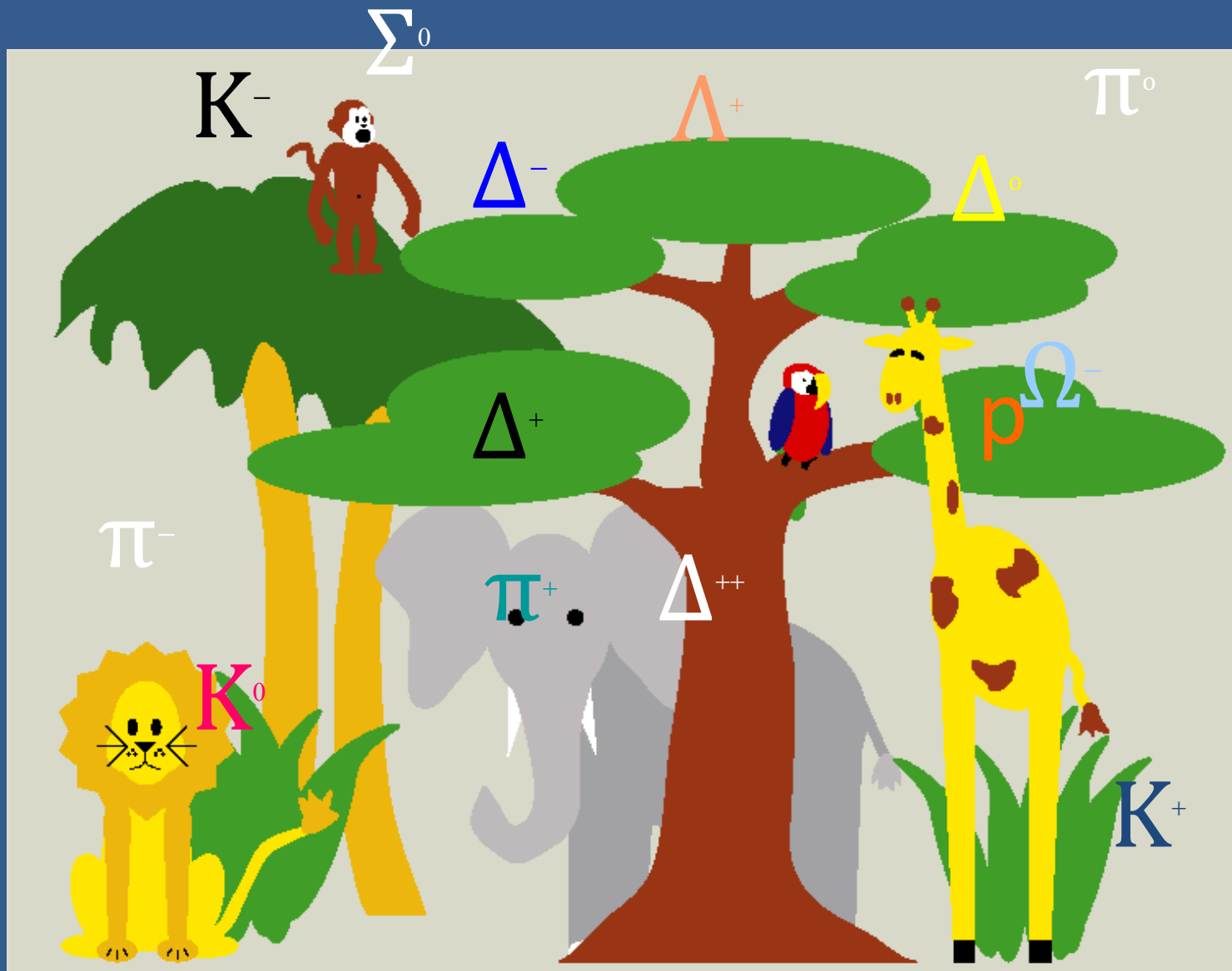


Tom Kibble

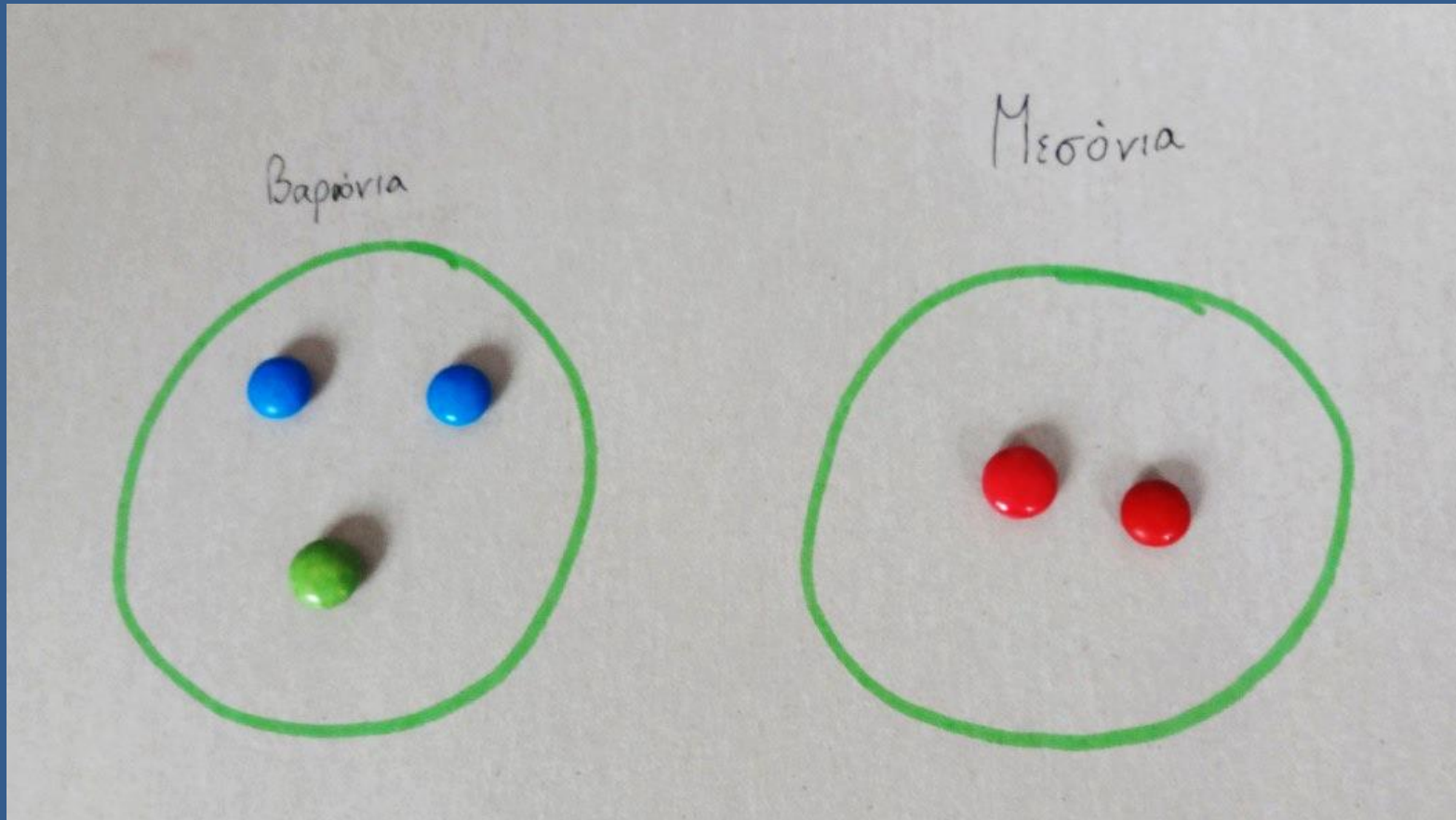
Τι πιστεύουμε σήμερα για τη μάζα;



Ο ζωολογικός κήπος των σωματιδίων



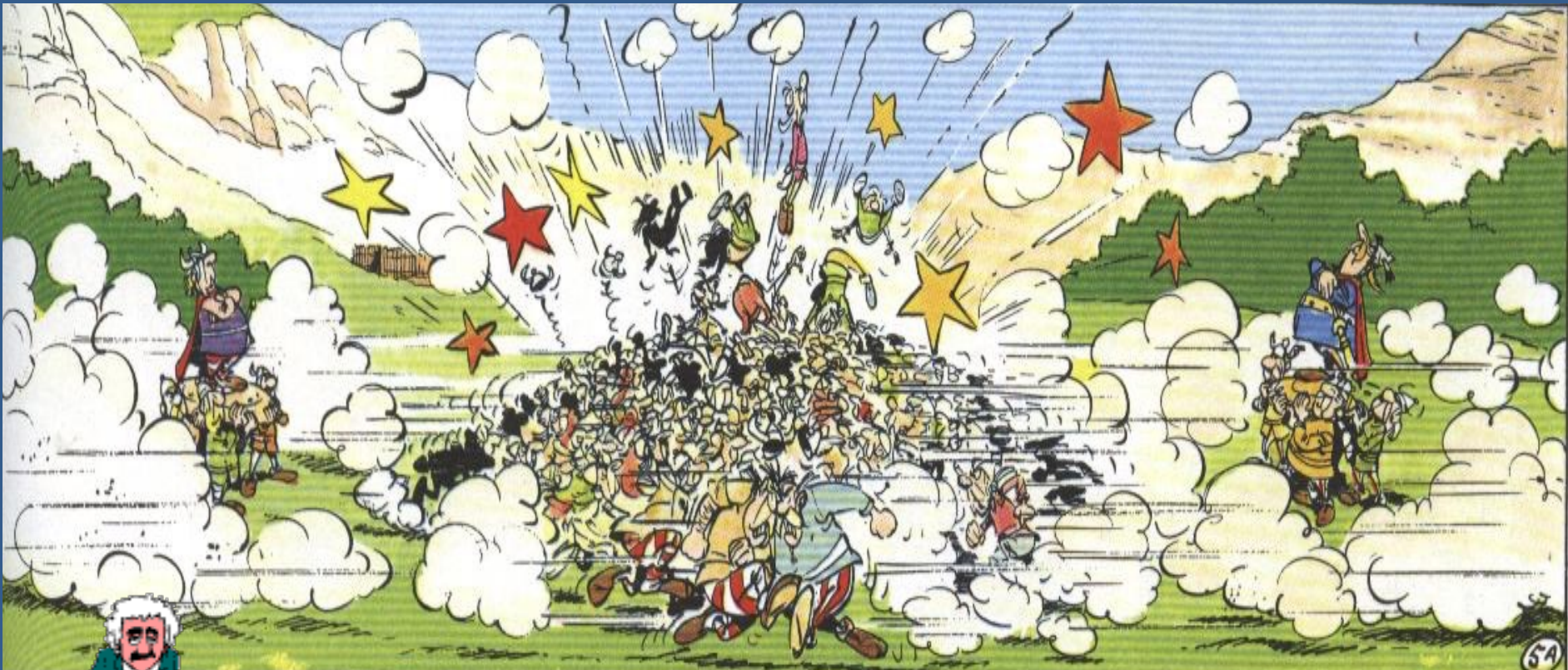
Βαρυόνια μεσόνια



Το Higgs: Τι το σπουδαίο έχει;

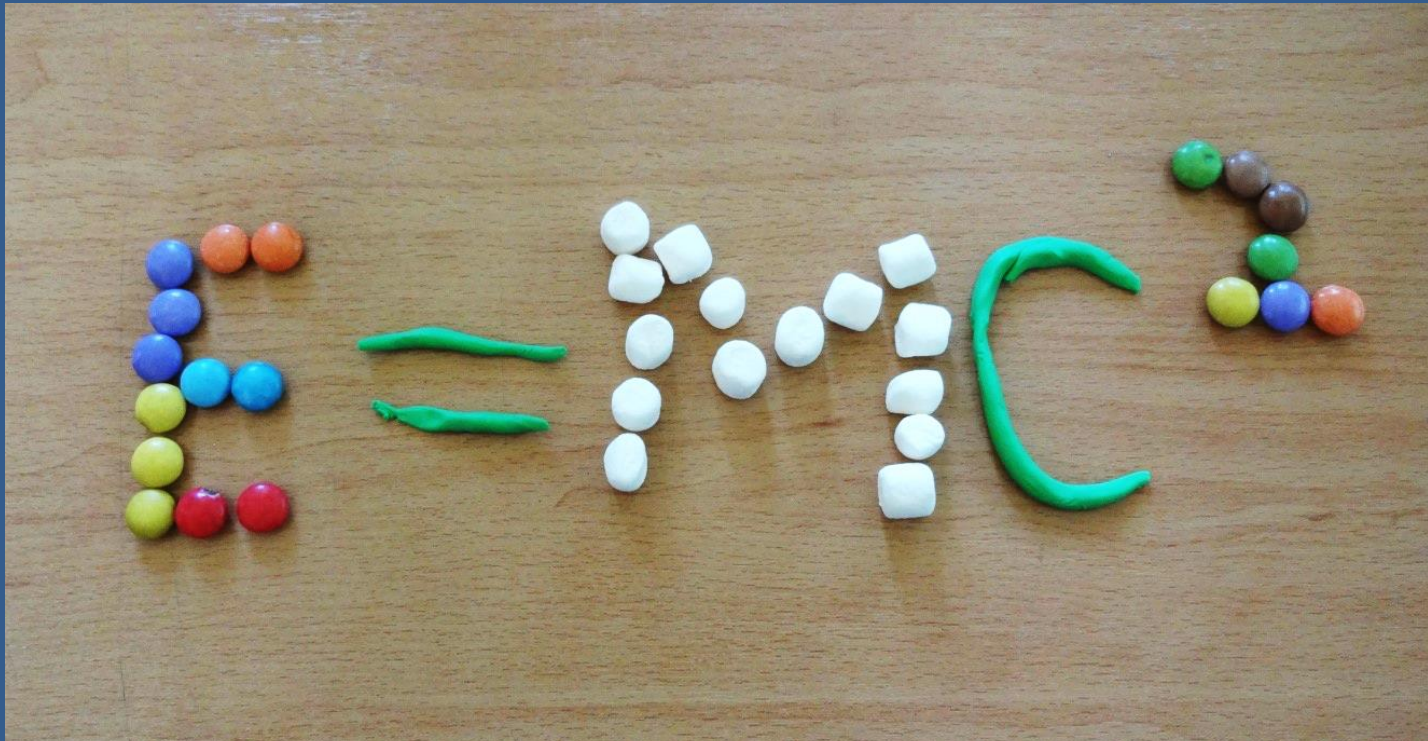
- Κατά το Καθιερωμένο Πρότυπο, τα θεμελιώδη σωματίδια, αρχικά, δεν έχουν μάζα.
- Κινούνται, όμως, μέσα σε μια θάλασσα σωματιδίων Higgs.
- Οι αλληλεπιδράσεις τους με το Higgs δίνουν τη μάζα τους.
- Συνεπώς, το Higgs είναι μια θεμελιώδης πρόβλεψη της θεωρίας μας.

Να και μία σύγκρουση....



OXI !!

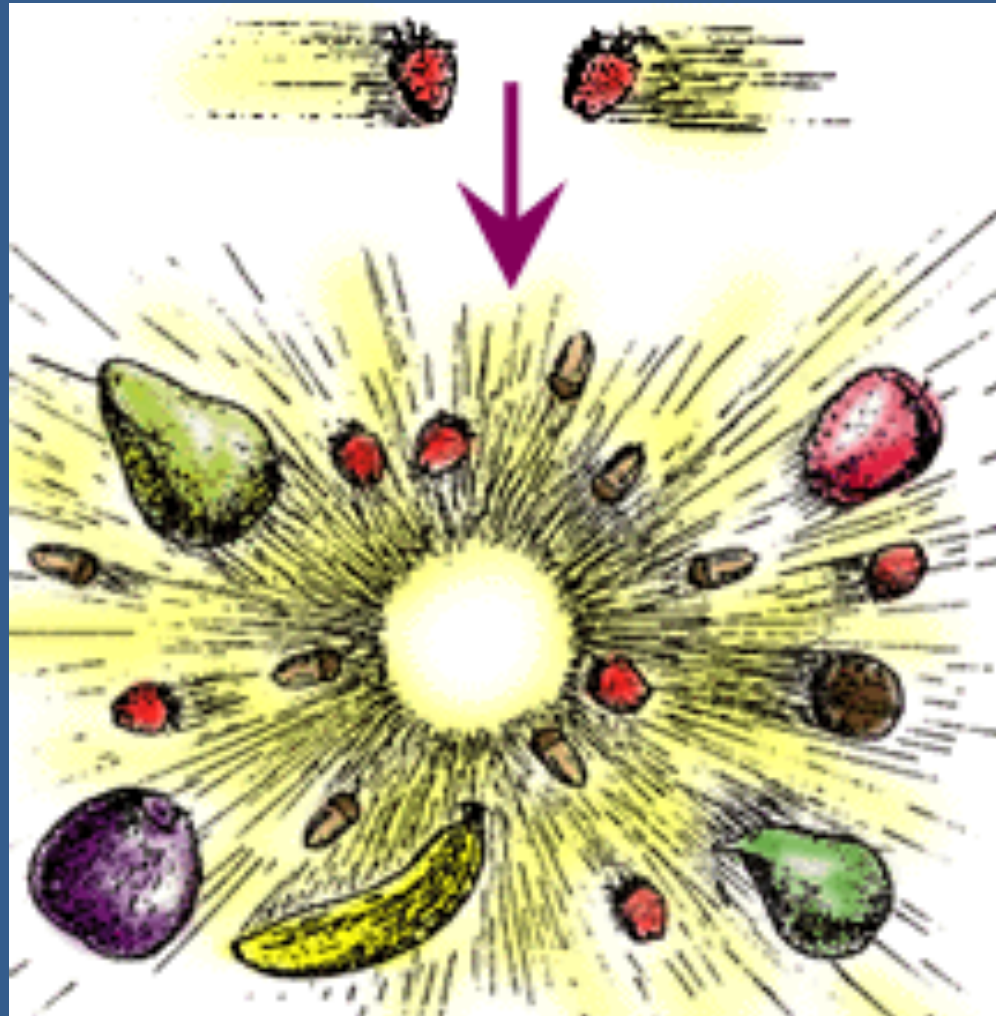
Ο μόνος τύπος που θα δούμε



Να όμως και η σύγκρουση πρωτονίων..

Σχέση του
Einstein

$$E = mc^2$$



Πώς θα δείχναμε την σύγκρουση στον LHC



Το ρυζζλε των σωματιδίων...

Συμπληρώθηκε με την εύρεση του
μποζονίου Higgs

Γιατί έχουμε βάρος;

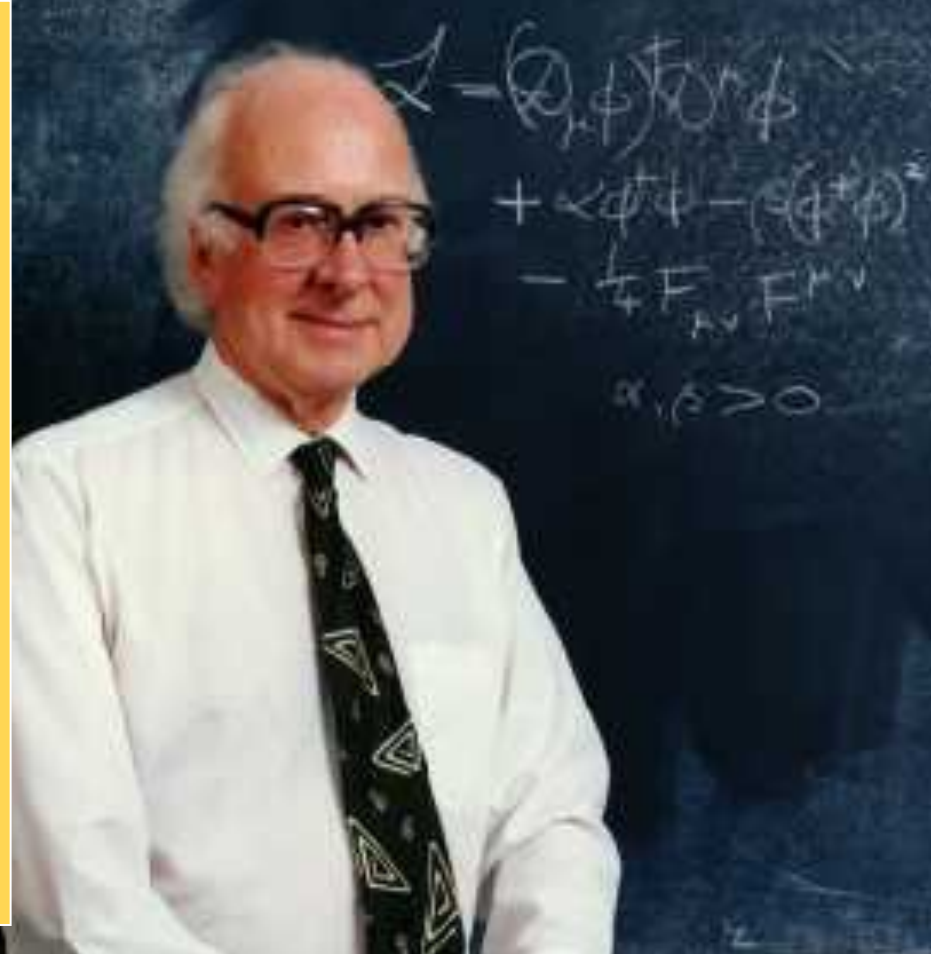
Νεύτωνας:

Το βάρος είναι ανάλογο της μάζας

Einstein:

Η ενέργεια έχει σχέση με τη μάζα

Κανένας όμως δεν εξηγεί το πώς!



**Η μάζα εξαρτάται από το πεδίο Higgs
Brout-Englert Higgs 1964**


Το Higgs: τι το σπουδαίο έχει;



Η αλληλεπίδραση/τριβή με το πεδίο Higgs δίνει τη μάζα σε όλα τα θεμελιώδη σωματίδια

Ο μηχανισμός Higgs και το μποζόνιο Higgs

- Ακριβώς μετά τη Μεγάλη Έκρηξη τα σωματίδια δεν είχαν μάζα.
- Καθώς το σύμπαν άρχισε να ψύχεται και μετά από μιά κρίσιμη τιμή θερμοκρασίας τα σωματίδια αλ/σαν με ένα πεδίο, το πεδίο Higgs το οποίο βρίσκεται σε όλο το σύμπαν
- Εξαιτίας αυτής της αμοιβαίας αλληλεπίδρασης ,τα σωματίδια, οι φορείς της ηλεκτρασθενούς αλληλεπίδρασης και το μποζόνιο Higgs απέκτησαν μάζα.
- Όσο πιο πολύ αλληλεπίδρασαν τόσο πιο βαριά έγιναν.



The Higgs field is like our
field of snow.

Σκεφτείτε ότι κάνετε σκι...



Ο σκιέρ κινείται γρήγορα :
Όπως τα σωματίδια χωρίς μάζα
π.χ. φωτόνια δηλαδή το φως
Αν κινείσαι όμως με πέδιλα,
Κινείσαι πιο αργά:
όπως τα σωματίδια με μικρή μάζα
Π.χ. τα ηλεκτρόνια



Το LHC ψάχνει για τις
Χιονονιφάδες δηλ.
το μποζόνιο Higgs

Ο ορειβάτης βουλιάζει στο
Χιόνι, κινείται πολύ αργά
Όπως τα βαρύτερα σωματίδια



Το πεδίο Higgs γίνεται αλεύρι

- Πείραμα με το αλεύρι και τα σωματίδια
- Μεγάλη αδράνεια μεγάλη μάζα

Το πεδίο Higgs γίνεται αλεύρι



Φανταστείτε ένα πάρτυ φυσικών...

Higgs field, an analogy



▶ ◀ 🔊 0:07 / 0:49

📺 ⚙️ 📏

Χωρίς το σωματίδιο Higgs...

... δεν θα υπήρχαν τα άτομα

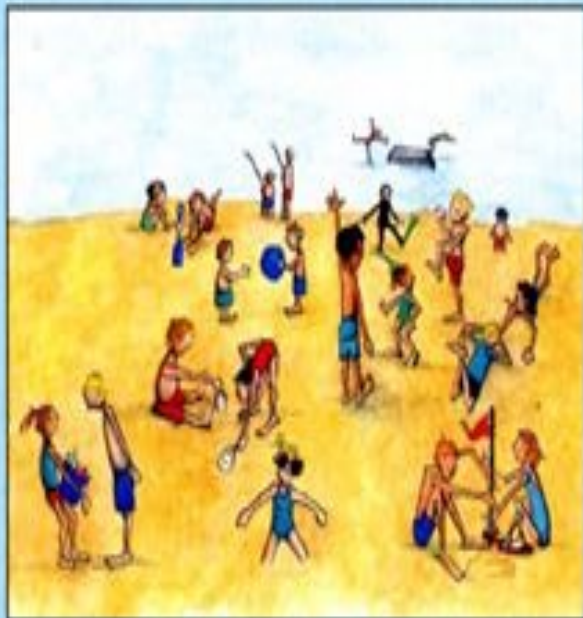
– Τα ηλεκτρόνια θα την κοπάνησαν με την ταχύτητα του φωτός

– Η ζωή θα ήταν αδύνατη: όλα θα ήταν ραδιενεργά!

Η ύπαρξή του είναι μεγάλη υπόθεση!

Είναι σαν να ψάχνεις ένα παγωτό στην παραλία...

ΠΩΣ ΠΑΡΑΓΕΙ ΜΑΖΑ ΤΟ ΠΕΔΙΟ HIGGS



Ο «κενός» χώρος, τον οποίο πληροί το πεδίο Higgs, μοιάζει με μια παραλία που βρίσκεται από παιδιά.



Ένα σωματίδιο που διασπείρει αυτή την περιοχή του χώρου μοιάζει με έναν πλανόδιο παγωτατζή που φτάνει στην παραλία...



...και αλληλεπιδρά με τον συγκεντρωμένο παιδόκοσμο ο οποίος τον επιβραδύνει —σαν να έχει αποκτήσει «μάζα».

Πώς θα το δείχναμε αυτό στα παιδιά;

- Δραστηριότητα στον χώρο
- Ένας κρατά γλυκά και όλοι τρέχουν πάνω του , δεν μπορεί να κινηθεί
- Ένας κρατά διαγωνίσματα θεωρητικής φυσικής, όλοι εξαφανίζονται άρα κινείται με μεγάλη ευκολία





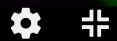
Το CERN τι σχέση έχει;

Searching for the Higgs particle in ATLAS and CMS detectors

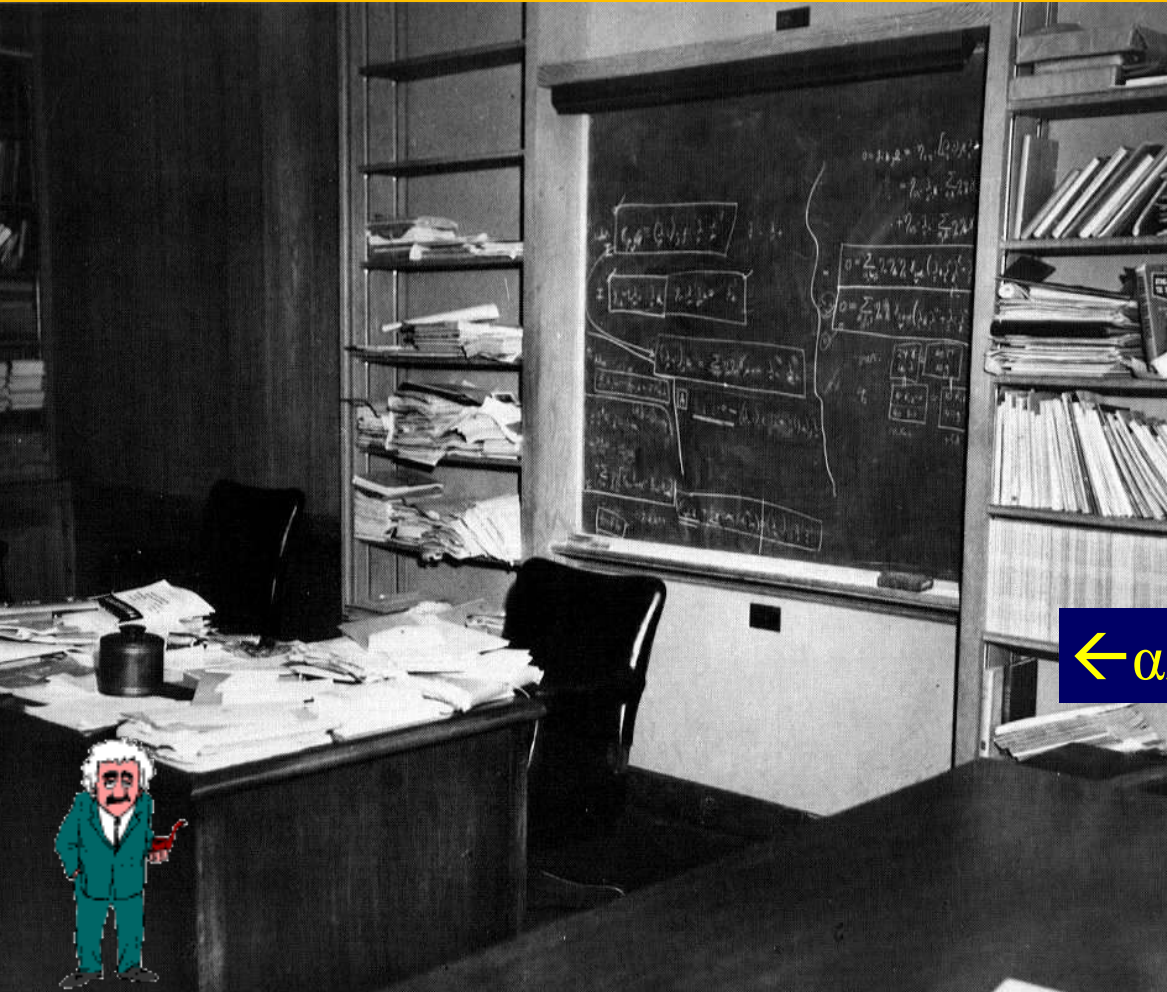


Around each of these four cross sections

▶ ▶| 🔊 0:18 / 1:34



Το όνειρο του Einstein ήταν να ενοποιήσει τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις



← αλλά ποτέ δεν τα κατάφερε...

Ενοποίηση με επιπλέον διαστάσεις στο σύμπαν;

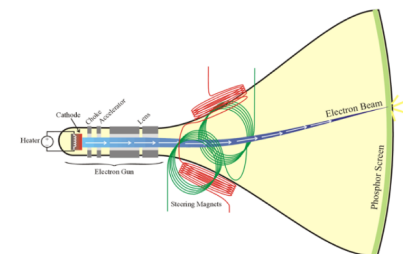
Η ιστορία της επιστήμης μας θύμιζε

Στο τέλος του 19ου αιώνα η βασική έρευνα είχε μόλις ανακαλύψει το ηλεκτρόνιο.

Στην εποχή μας δεν μπορεί κανείς να διανοηθεί τη ζωή χωρίς τα ηλεκτρόνια. Αυτά φέρνουν τον ηλεκτρισμό στα σπίτια μας, μεταφέρουν τη φωνή μας μέσα από τα τηλεφωνικά σύρματα και σχηματίζουν τις εικόνες που βλέπουμε στις οθόνες των τηλεοράσεων.

Ποιος ξέρει, λοιπόν, τι οφέλη θα φέρει η σημερινή βασική έρευνα στο ανθρώπινο γένος στα επόμενα 100 χρόνια.....

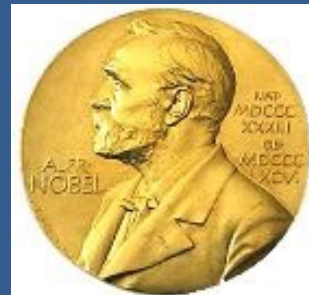
J.J. Thomson



discovered electron in 1897

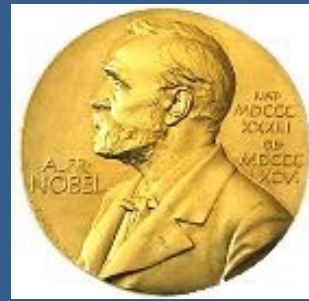
Η ιστορία της φυσικής στοιχειωδών σωματιδίων

- ~50% Nobel για την φυσική στοιχειωδών σωματιδίων...
- 1921 A. Einstein – φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μαζί με M.Planck (nobel 1918) & Compton (nobel 1927)
- 1922 Neils Bohr – δομή του ατόμου, κβάντωση ενεργειακών επιπέδων μαζί με τους Franck & Hertz (nobel 1925) πείραμα
- 1929 Louis-Victor de Broglie – κυματική ιδιότητα των ηλεκτρονίων. Πείραμα Davisson & Thomson (nobel 1937)
- 1932 Werner Heisenberg 1933 Erwin Schroedinger & Paul Dirac : Κβαντική Θεωρία
- 1936 Carl Anderson – ανακάλυψη ποζιτρονίου. Προβλέφθηκε από την εξίσωση Dirac. Ανακάλυψη αντιπρωτονίου Segrè & Chamberlain (nobel 1959)
- 1935 James Chadwick – ανακάλυψη νετρονίου
- 1939 Ernest Lawrence - Κύκλοτρο



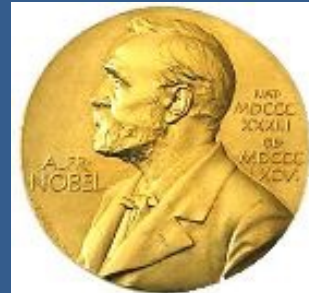
Ιστορία ΦΣΣ – (2)

- **1945** Wolfgang Pauli – απαγορευτική αρχή. Ο Pauli προέβλεψε και την ύπαρξη του νετρίνο.
- **1948** P.M.S. Blackett ανάπτυξη του θαλάμου νεφών. Επίσης Donald Glaser ανάπτυξη θαλάμου φυσαλίδων (nobel 1960) & Georges Charpak ανάπτυξη των πολυσυρματικών αναλογικών θαλάμων (nobel 1992)
- **1949** Hideki Yukawa – μεσόνια. Το π-μεσόνιο του Yukawa ανακαλύφθηκε από τον Powell (nobel 1950)
- **1955** Willis Lamb & Polykarp Kusch – Μέτρηση της λεπτής υφής του υδρογόνου και της μαγνητικής ροπής του ηλεκτρονίου
- **1957** Chen Ning Yang & Tsung-Dao Lee – παραβίαση της parity σε ασθενείς αλληλεπιδράσεις.
- **1961** Robert Hofstadter – σκέδαση ηλεκτρονίων από πυρήνες. Gell-Mann – έδειξε ότι η υφή των αδρονίων είναι υπεύθυνη για το μεγάλο αριθμό μεσονίων και βαρυονίων (nobel 1969). Δομή του νουκλεονίου από “partons” – Friedman, Kendall & Taylor (nobel 1990).
- **1965** Feynman, Schwinger & Tomonaga – QED



Ιστορία ΦΣΣ – (3)

- 1976 Burton Richter & Sam Ting – ανακάλυψη του J/ψ
- 1980 James Cronin & Val Fitch – Παραβίαση της CP στα K
- 1979 Glashow Salam & Weinberg – Ενοποίηση ηλεκτρασθενών. ανακάλυψη των Z^0 και $W^{+/-}$ - Rubbia & van der Meer (nobel 1984). Ηλεκτρασθενής θεωρία – QFT 't Hooft & Veltman (nobel 1999).
- 1982 Ken Wilson – Critical phenomena. Σύνδεση μεταξύ θεωριών πεδίου.
- 1995 Fred Reines – ανακάλυψη του νετρίνο. Ανίχνευση του μ-νετρίνο – lederman, Schwartz & Steinberger (nobel 1988). Ταλαντώσεις νετρίνο – Ray Davis & Masatoshi Koshiba (nobel 2002).
- 2004 David Gross, David Politzer & Frank Wilczek – QCD
- 2008 Ypochiro Nambu, Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa - discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics
- 2013 Higgs Eglert Σωματίδιο Higgs





Βιβλιογραφία

Αρχεία των Δρ.Τσεσμελή, Δρ.Γαζή, Δρ .Storr

<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=269114>

LHC στο CERN: Η μεγαλύτερη μηχανή του κόσμου, Αναστασόπουλος Πασχάλης

http://www.physics.ntua.gr/GREECE_AND_CERN/index.html

<http://hep.physics.uoc.gr/DOC/OUTREACH/MICROCOSM/DETECTORS/whaticern.html>

<http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/index.html>

http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/LHC/lhc_atlas.swf

<http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/BEAMLINe/beamline.html>

Ανδρέας Βαλαδάκης Φυσικός βίντεο

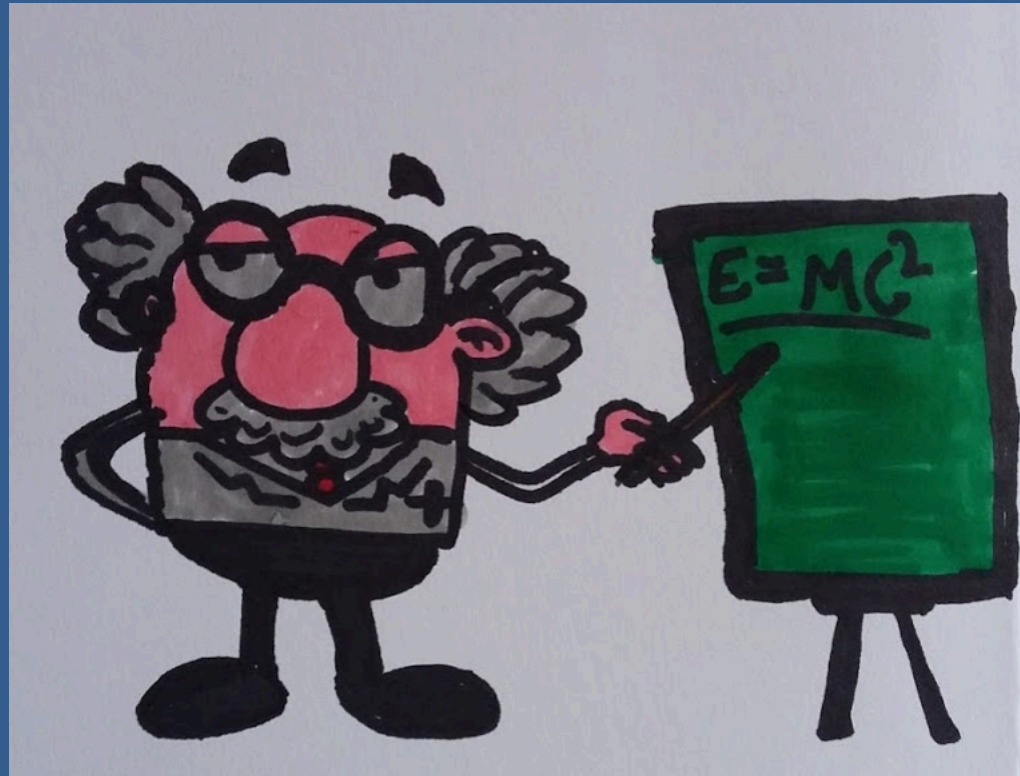
<https://www.youtube.com/user/PHYSICSALL?feature=watch>

Μαρία Ράπτη Φυσικός

ΕΚΦΕ Δημόκριτος παρουσίαση CERN

Διονύσιος Σιμόπουλος παρουσίαση βαρυτικών κυμάτων

Ευχαριστώ πολύ την πειραματική φυσικό Ανδρομάχη Τσίρου (CERN) και τον καθηγητή Γεώργιο Καλκάνη (ΕΚΠΑ) για την πολύτιμη βοήθεια και τις διορθώσεις.



PI PERIMETER
INSTITUTE



EGO EUROPEAN
GRAVITATIONAL
OBSERVATORY



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικών και Καποδιστριακών
Πανεπιστημίων Αθηνών
ΛΕΥΚΩΝ ΤΟ 1837



ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ
ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ

