

«Ταξίδι» στην Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Κύκλοι Μαθημάτων Σύγχρονης Φυσικής
Πρασιανάκης Γιώργος – Καραδημητρίου Μιχάλης

Δυνάμεις του 10 !

Ένα ταξίδι από το μικρό στο
μεγάλο και πάλι πίσω!

Καλό ταξίδι!

10^0

1 μέτρο

Απόσταση
μεταξύ των
κλαδιών
ενός
δέντρου.



10¹

10 μέτρα

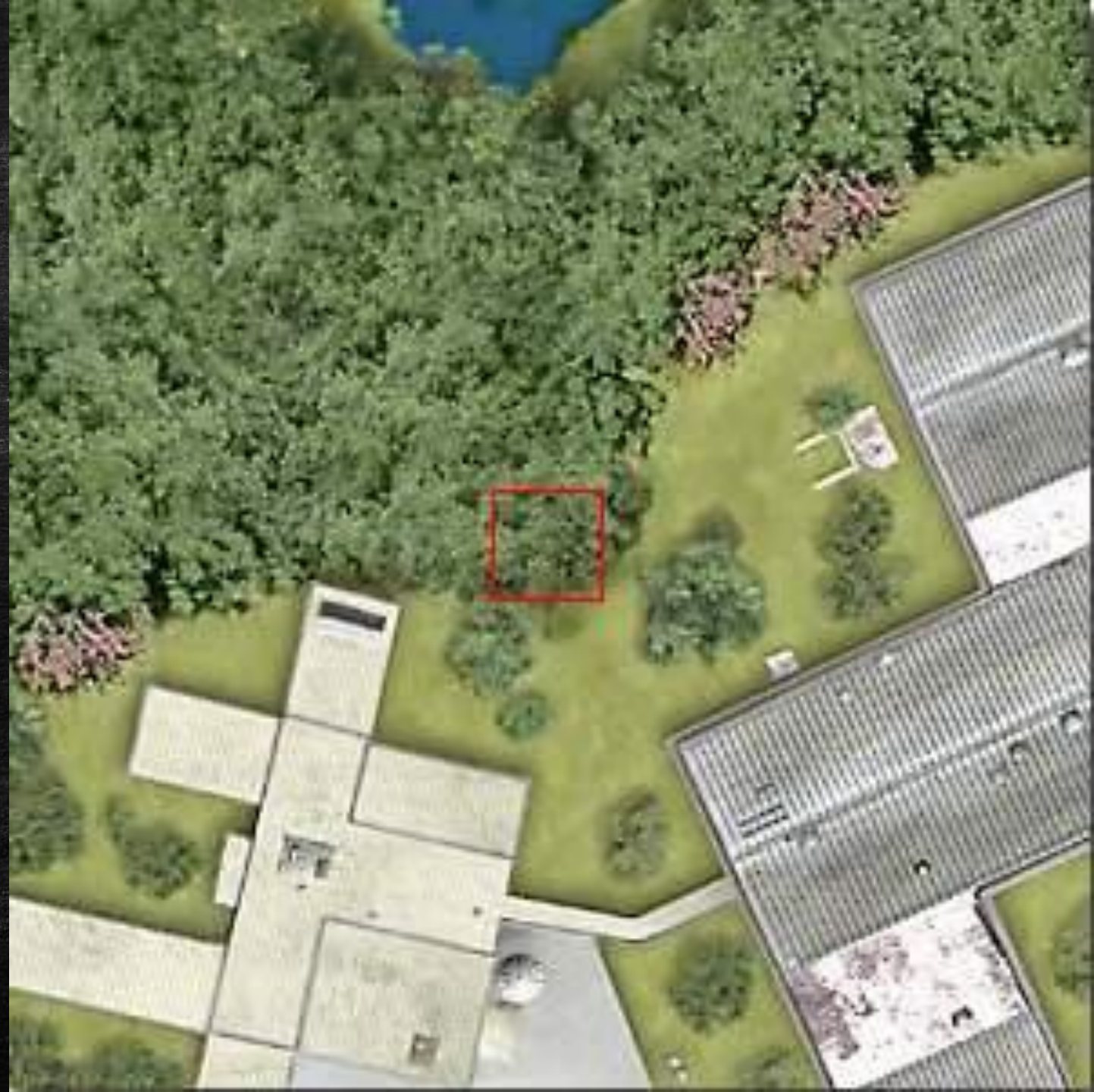
Ξεκινάμε το
ταξίδι μας προς
τα πάνω.
Βλέπουμε το
φύλλωμα των
δέντρων.



10²

100 μέτρα

Από αυτήν την
απόσταση
μπορούμε να
δούμε τα όρια
του δάσους.



10^3

1 km

Μεταφερόμαστε
από τα μέτρα
στα χιλιόμετρα.

Από εδώ είναι
δυνατή η
πτώση με
αλεξίπτωτο...



10⁴

10 km

Μπορούμε να
παρατηρήσουμε
την πόλη αλλά
δεν μπορούμε να
διακρίνουμε τα
σπίτια.



10^5

100 km

Από αυτό το
ύψος
μπορούμε να
δούμε την
πολιτεία της
Florida –
Η.Π.Α.



10^6

1,000 km

Τυπική εικόνα
από ένα
δορυφόρο.



10^7

10,000 km

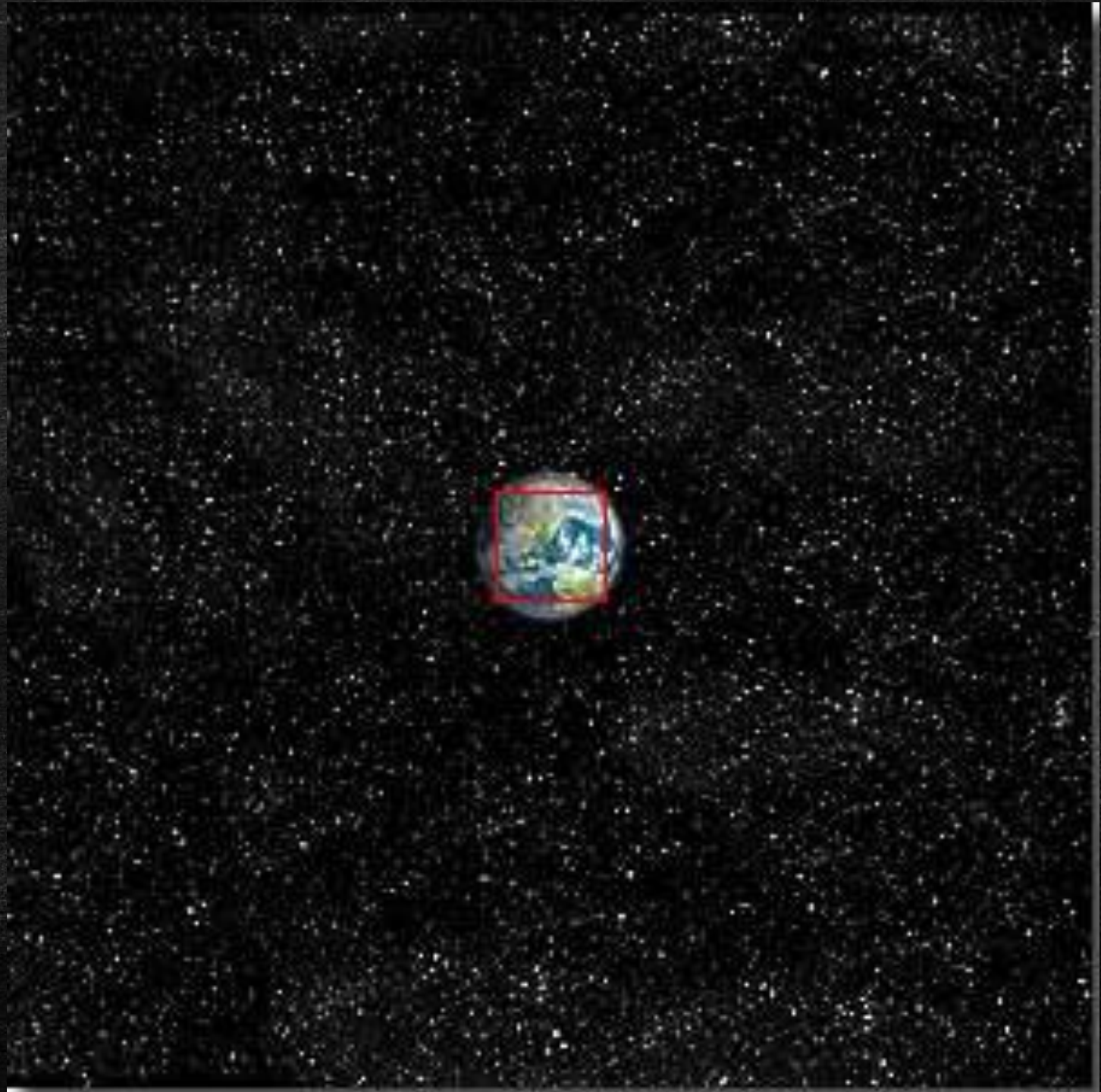
Το βόρειο
ημισφαίριο της
Γης και μέρος της
Νότιας Αμερικής.



10^8

100,000 km

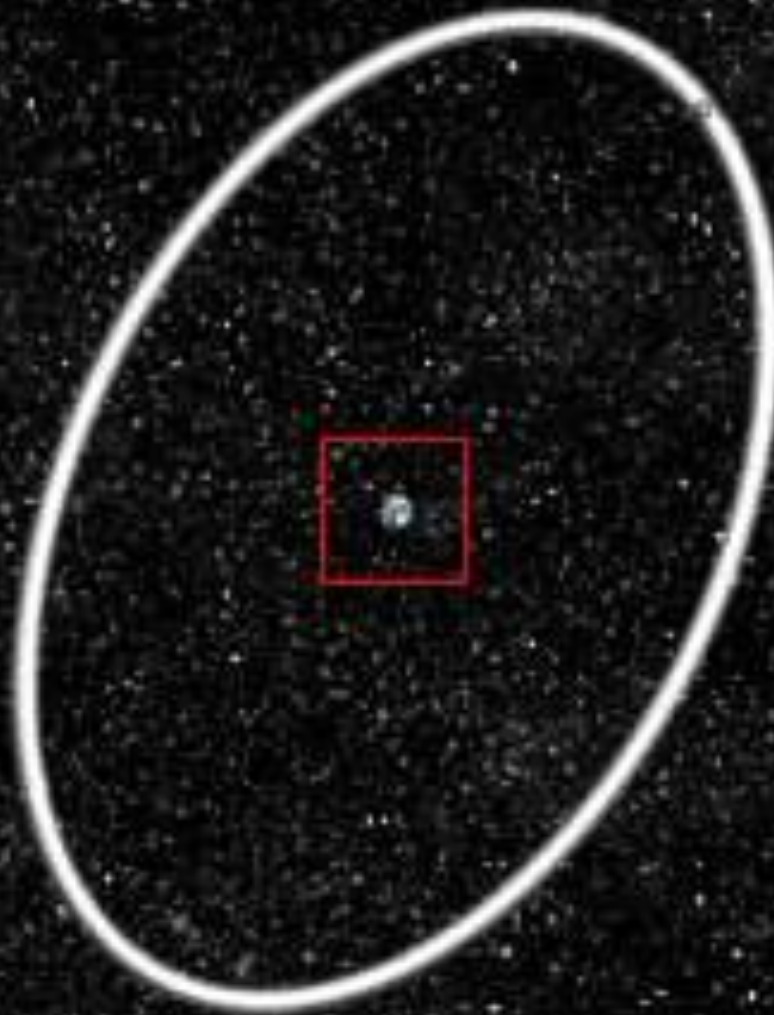
Η Γη αρχίζει
και φαίνεται
μικρή....



10^9

1 εκατομμύριο km

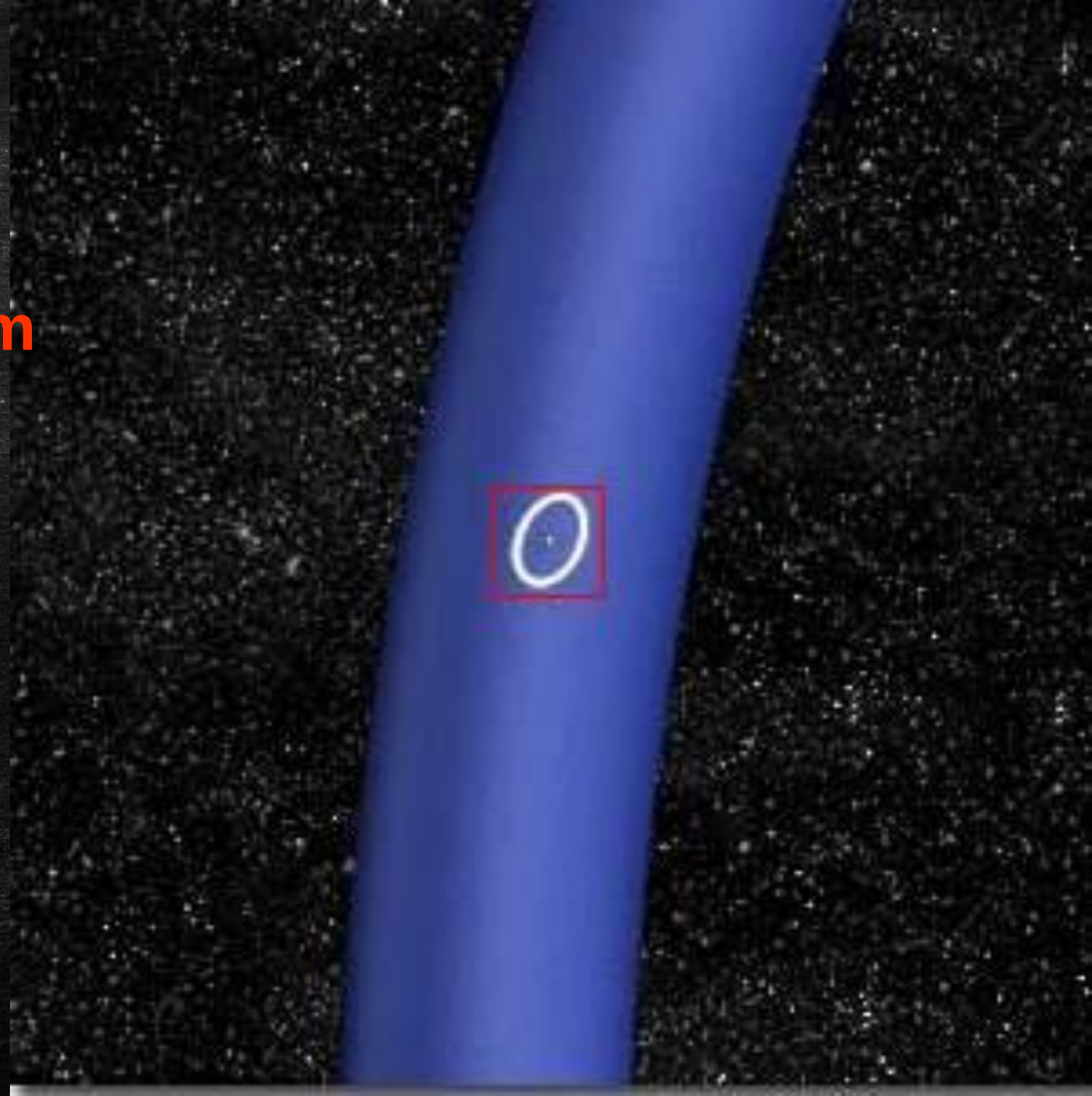
Η Γη και η
τροχιά της
σελήνης....



10^{10}

10 εκατομμύρια km

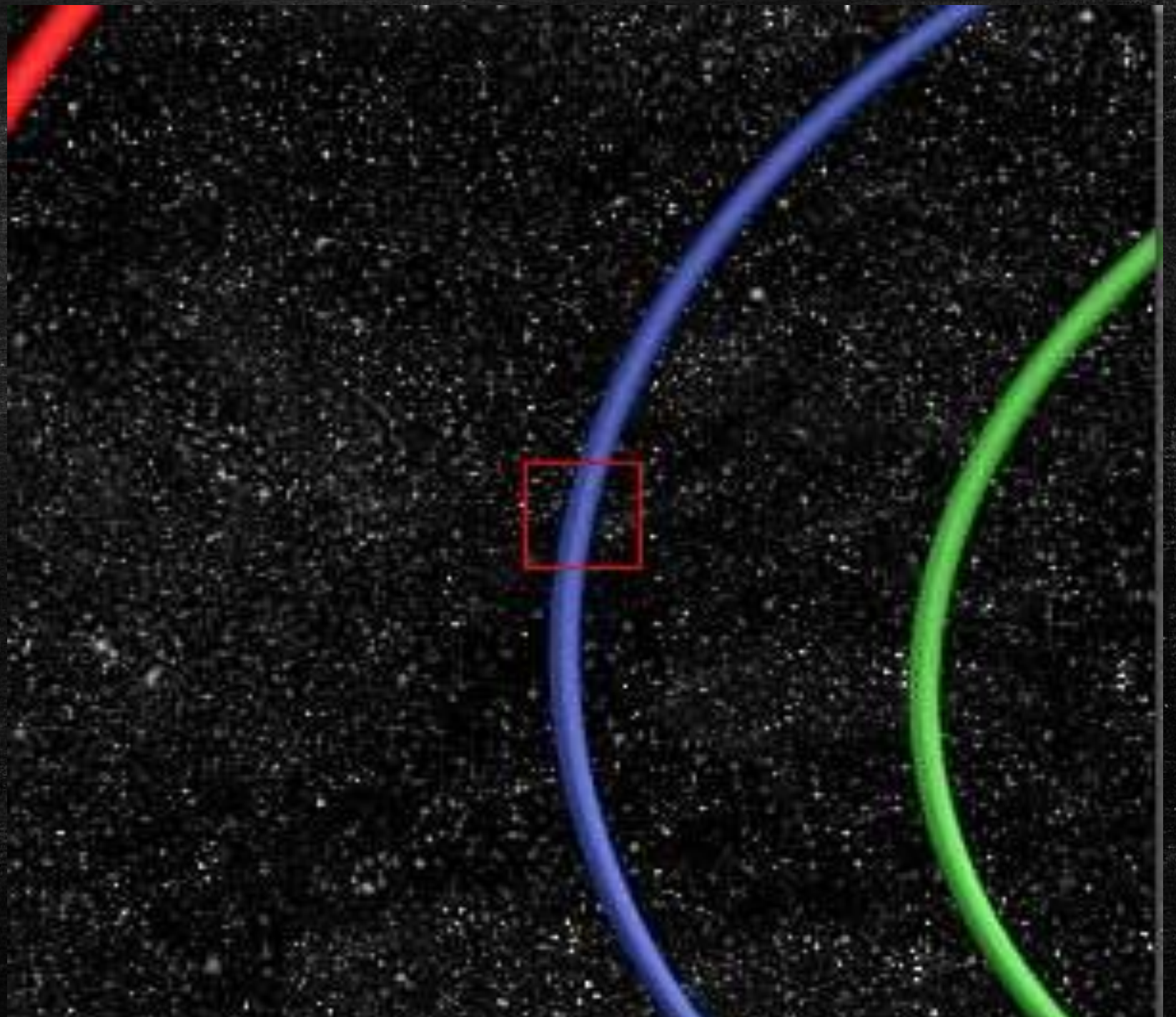
Μέρος της
τροχιάς της
Γης.



10^{11}

100 εκατομμύρια km

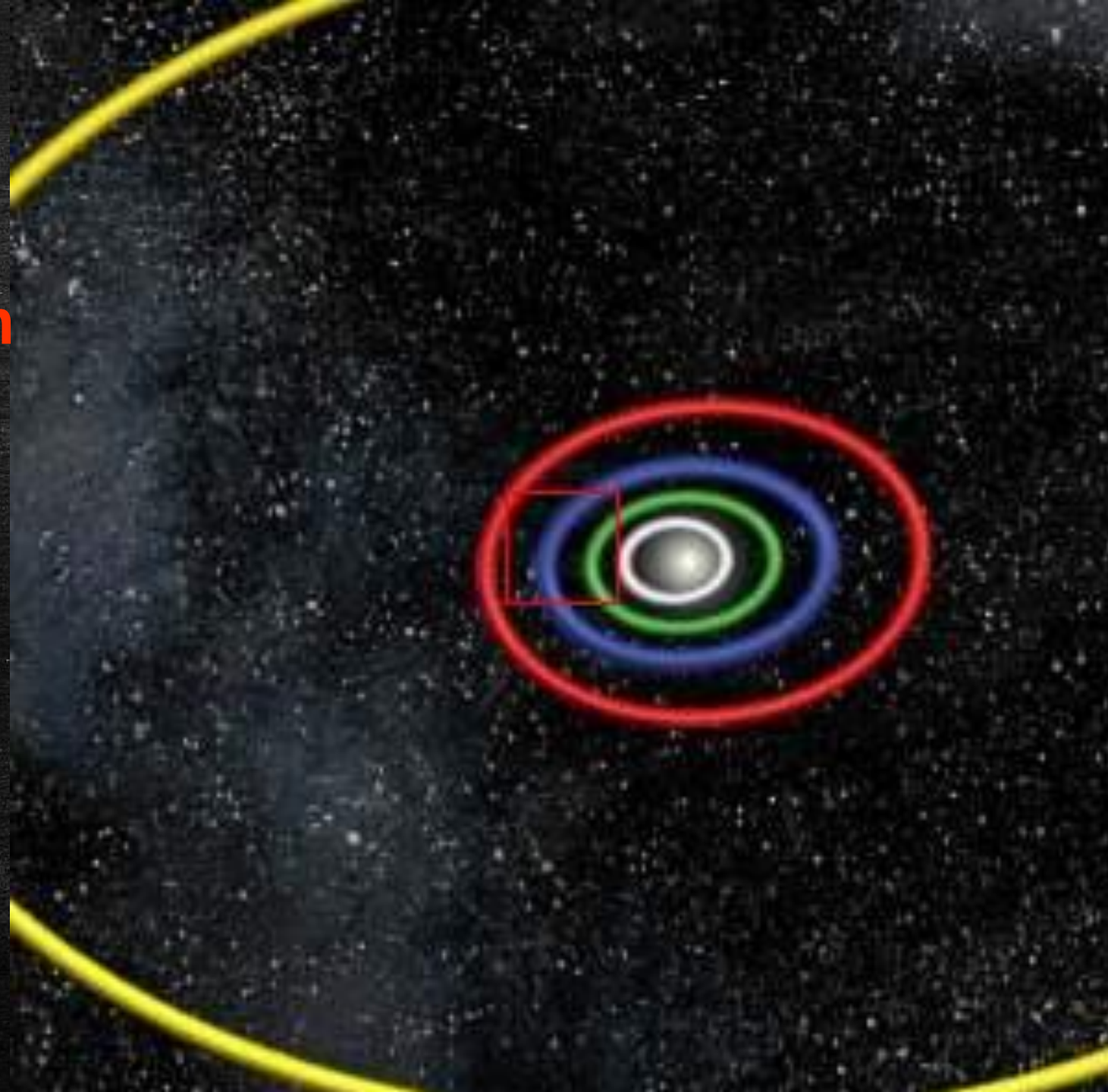
Οι τροχιές της
Αφροδίτης και
της Γης.



10^{12}

1 δισεκατομμύριο km

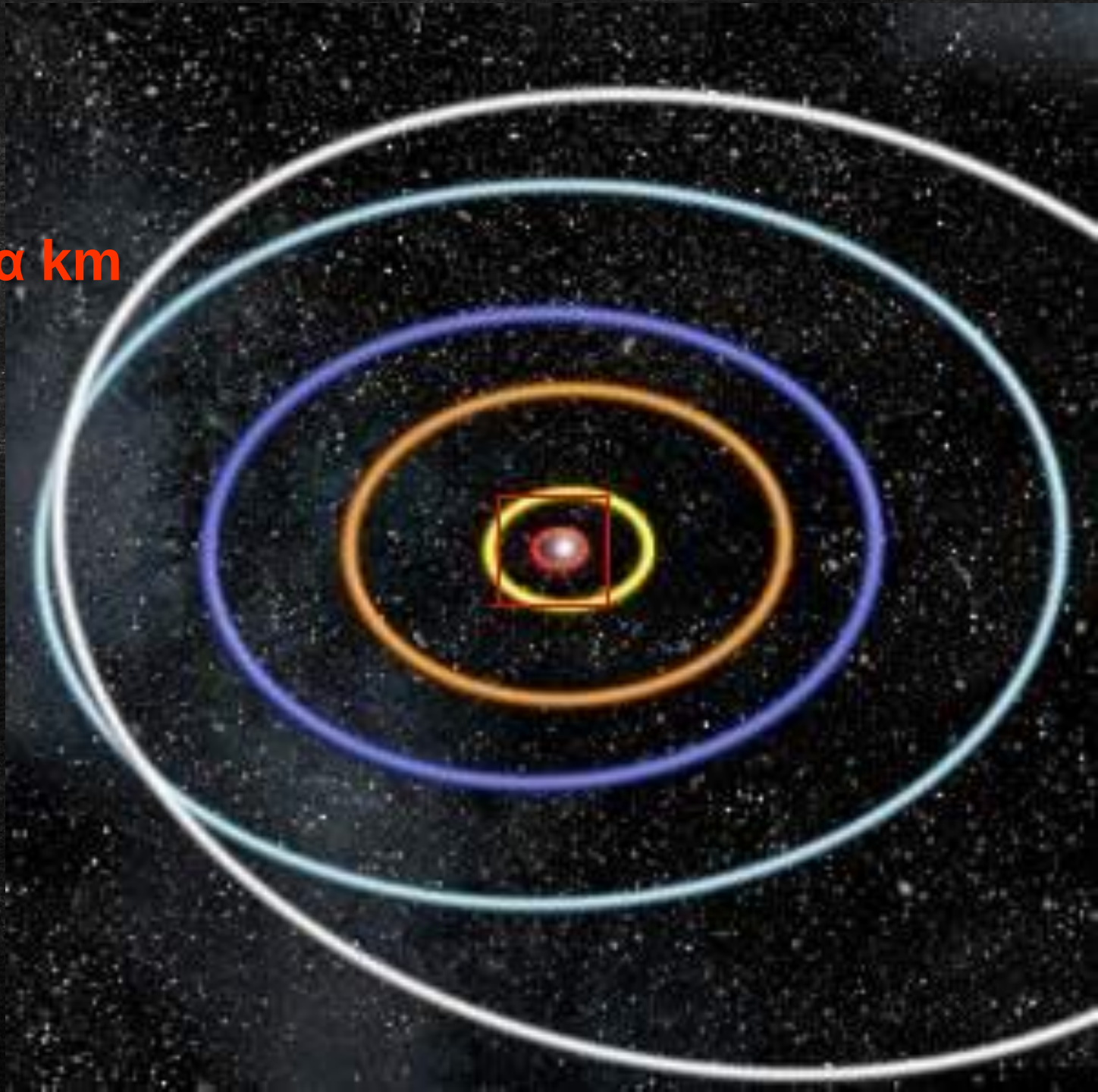
Τροχιές του
Ερμή, της
Αφροδίτης, της
Γης, του Άρη
και του Δία.



10^{13}

10 δισεκατομμύρια km

Σε αυτό το ύψος
μπορούμε να
παρατηρήσουμε
το Ηλιακό μας
σύστημα και τις
τροχιές των
πλανητών.



10^{14}

100 δισεκατομμύρια km

Το Ηλιακό μας
σύστημα ξεκινά
να φαίνεται
μικρό...



10^{15}

1 τρισεκατομμύριο km

Ο Ήλιος πλέον
είναι ένα μικρό
αστέρι στη μέση
χιλιάδων άλλων
αστεριών.



10^{16}

1 έτος φωτός

Απόσταση που διανύει
το φως σε ένα χρόνο

Σε απόσταση
ενός έτους
φωτός ο Ήλιος
είναι πολύ
μικρός.



10^{17}

10 έτη φωτός

Εδώ δεν
βλέπουμε
απολύτως
τίποτα στο
άπειρο...



10^{18}

100 έτη φως

“Τίποτα”

Μόνο αστέρια

και

νεφελώματα



10^{19}

1,000 έτη φωτός

Σε αυτή την
απόσταση
ξεκινάμε το
ταξίδι μας στο
εσωτερικό του
Γαλαξία μας
(Milky Way)



10^{20}

10,000 έτη φωτός

Συνεχίζουμε το
ταξίδι μας στο
εσωτερικό του
Γαλαξία μας.



10^{21}

100,000 έτη φωτός

Φτάνουμε
στην
περιφέρεια
του Γαλαξία
μας.



10^{22}

1 εκατομμύριο έτη φωτός

Σε αυτή την
τρομακτική
απόσταση
μπορούμε να
δούμε όλο το
Γαλαξία μας
καθώς και
άλλους
Γαλαξίες.



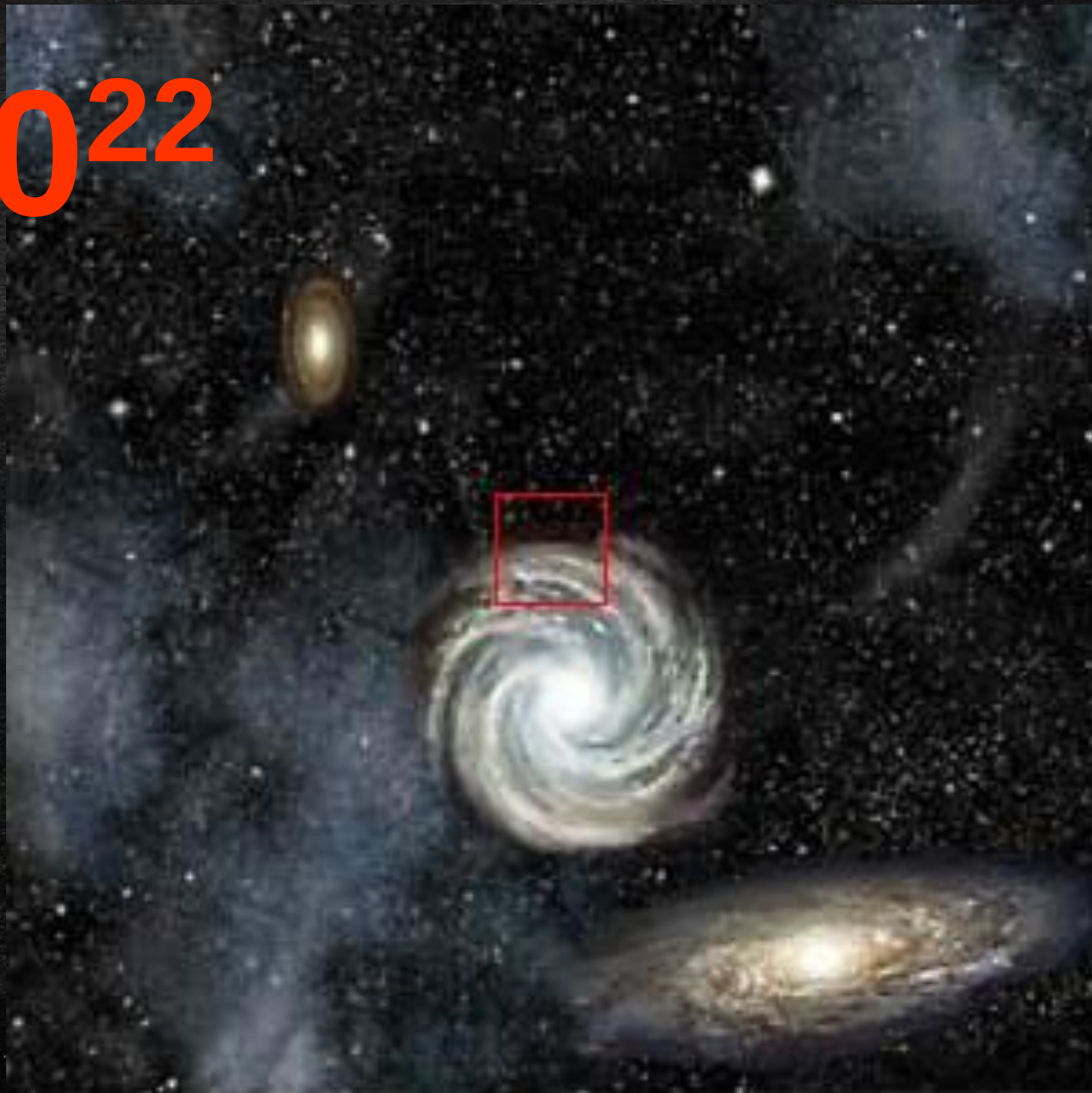
10^{23} - 10 εκατομμύρια έτη φωτός

Από αυτή την απόσταση κάθε φωτεινό σημείο είναι ένας Γαλαξίας με αχανές διάστημα ανάμεσα τους. Οι ίδιοι Φυσικοί νόμοι διέπουν όλα τα σώματα στο Σύμπαν.

Θα μπορούσαμε να συνεχίσουμε το φανταστικό μας ταξίδι αλλά τώρα θα επιστρέψουμε σπίτι μας γρήγορα.



10^{22}



10^{21}



10^{20}



10^{19}



10^{18}



10^{17}



10^{16}



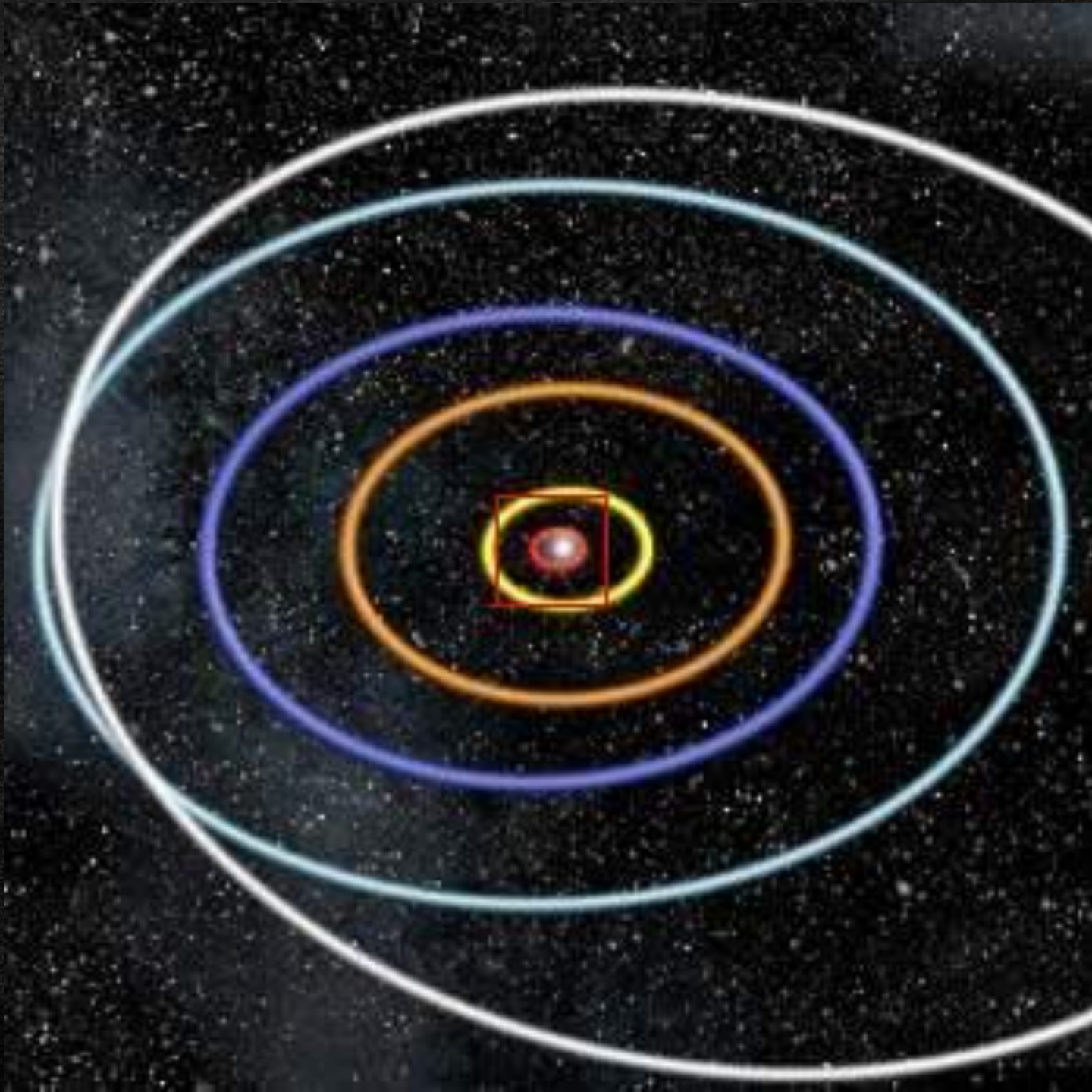
10^{15}



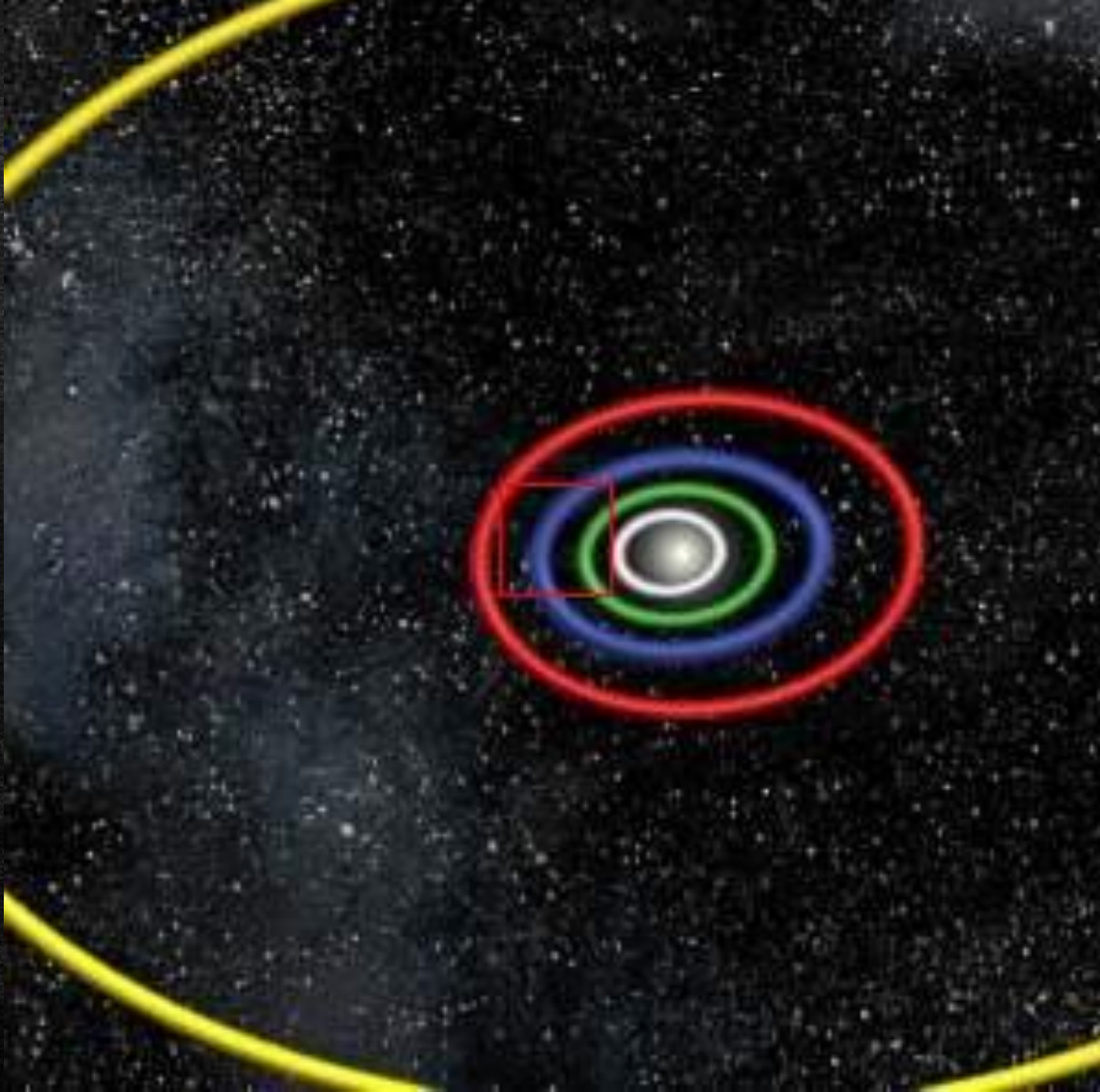
10^{14}

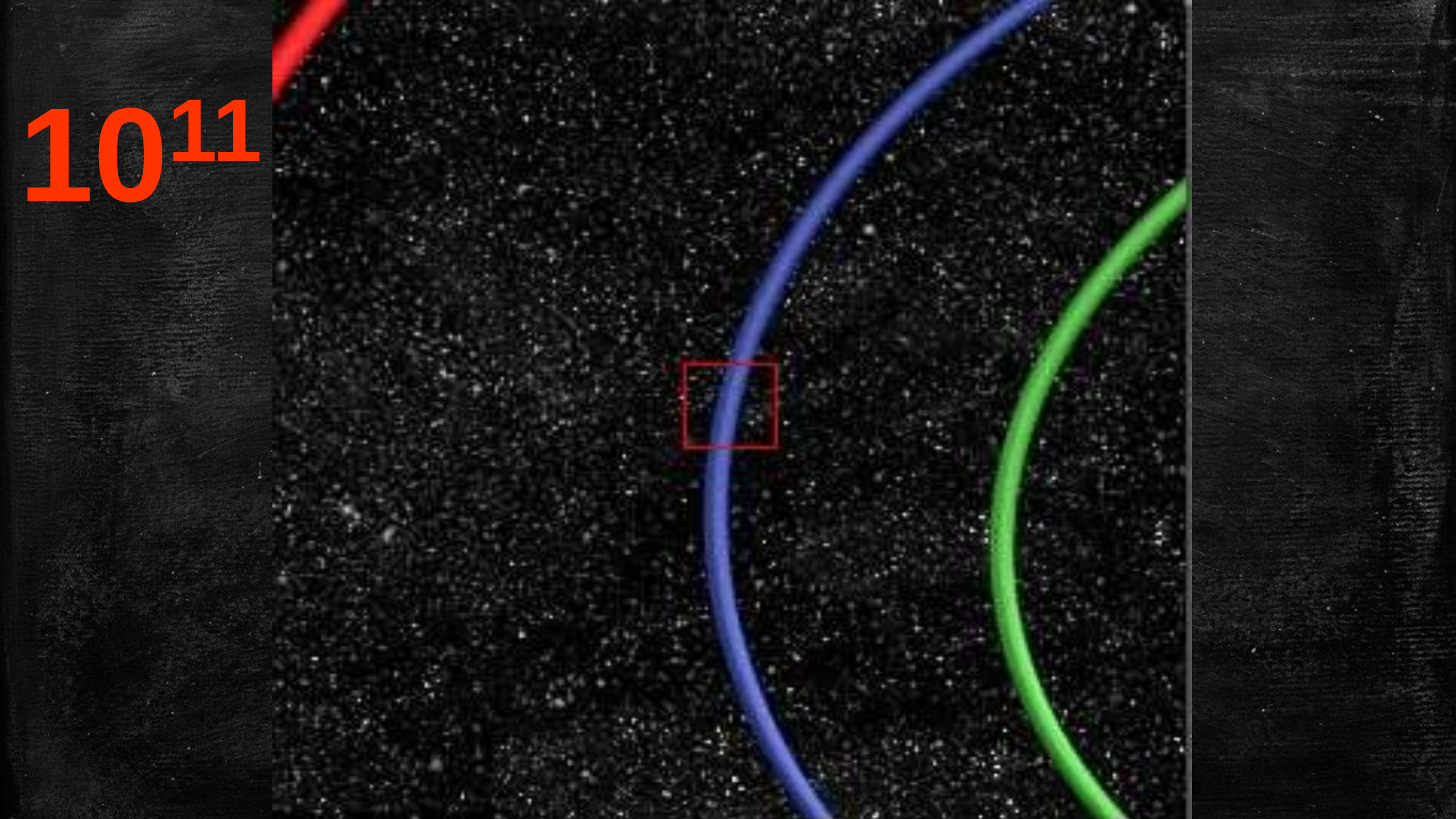


10^{13}



10^{12}



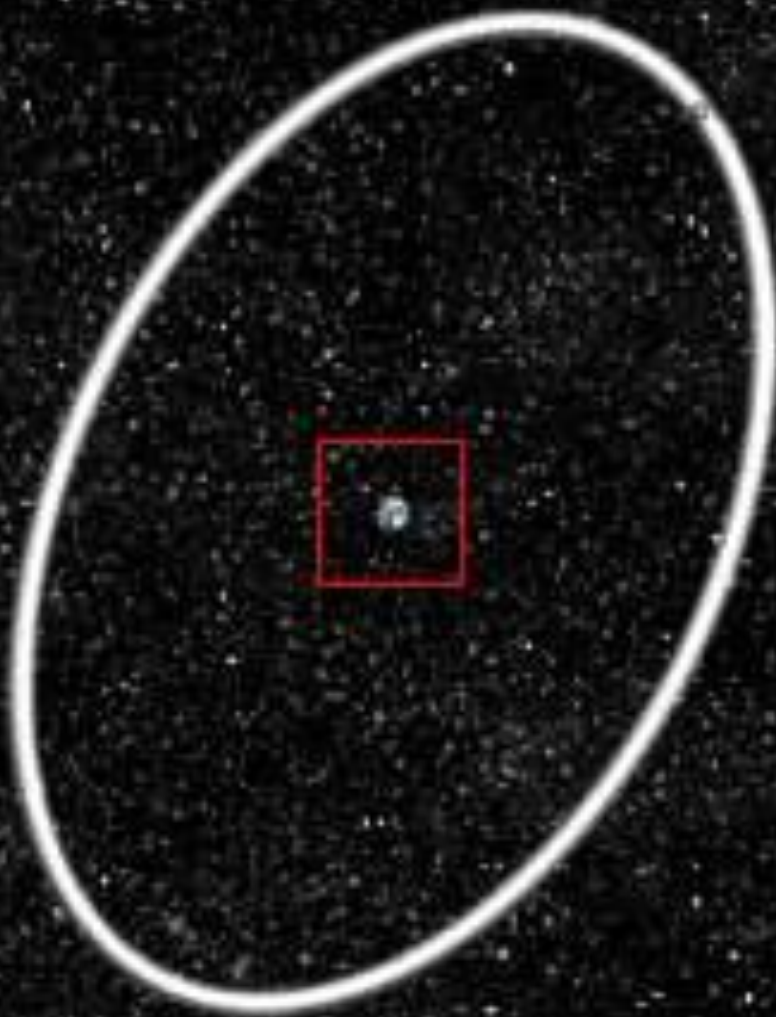


10^{11}

10^{10}



10^9



10^8



10^7



10^6



10^5



10⁴



10^3



10²

Στο «προς τα πάνω
ταξίδι μας φτάσαμε
μέχρι την 23 δύναμη
του 10.



10¹

Τώρα πρόκειται να
σκάψουμε βαθιά στην
ύλη σε ένα
αντίστροφο ταξίδι.



10^0

Επιστροφή στην
αφετηρία.



10⁻¹

10 εκατοστά

Μπορούμε να
διακρίνουμε τα
φύλλα.



10^{-2}

1 εκατοστό

Από αυτήν την
απόσταση είναι
δυνατό να
διακρίνουμε την
δομή του
φύλλου.



10^{-3}

1 Χιλιοστό

Αρχίζουν να
φαίνονται οι
κυτταρικές
δομές.

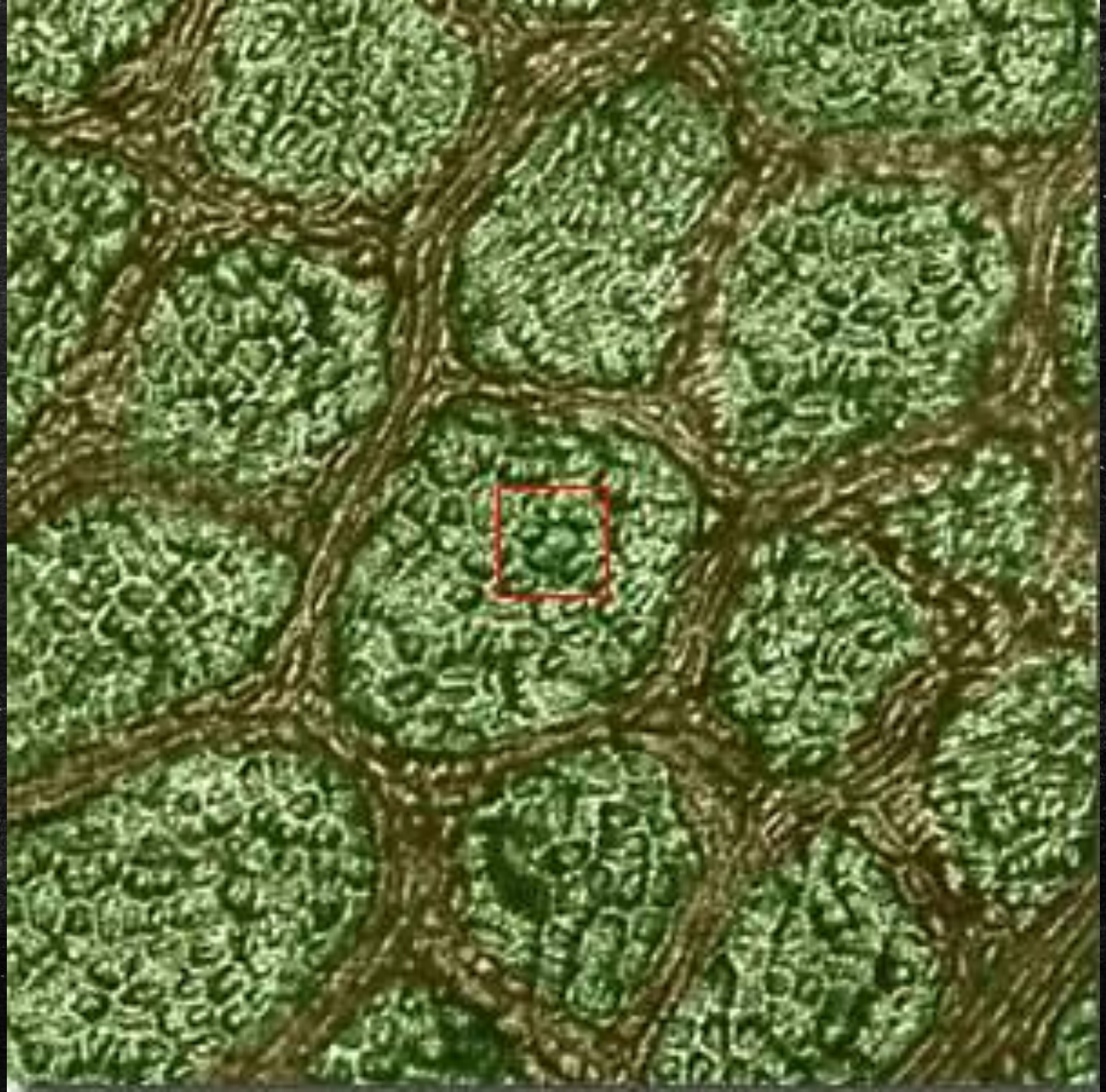


10^{-4}

100 μικρόμετρα

Διακρίνονται
τα κύτταρα.

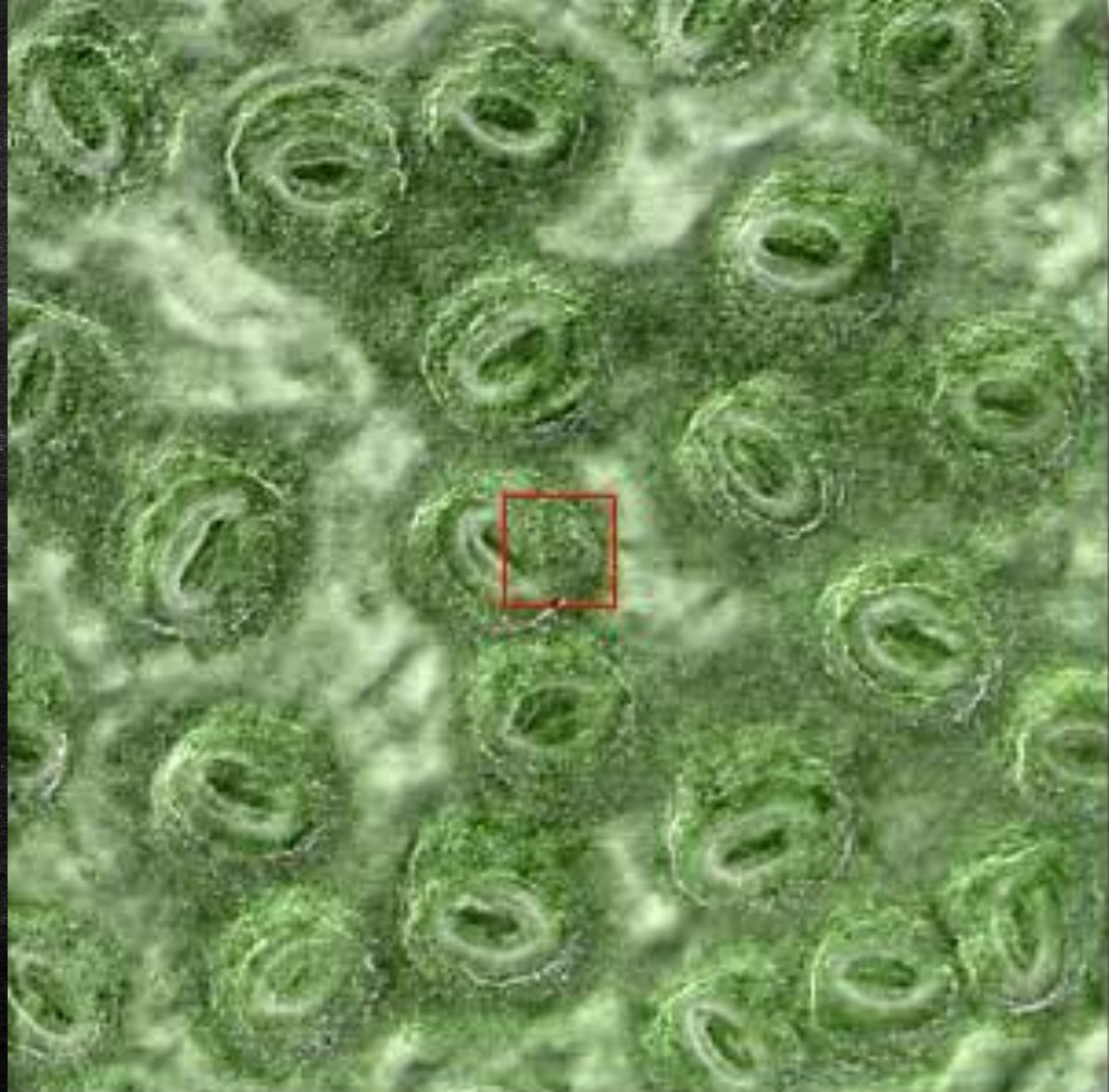
Μπορούμε
να δούμε την
ένωση
μεταξύ τους.



10⁻⁵

10 μικρόμετρα

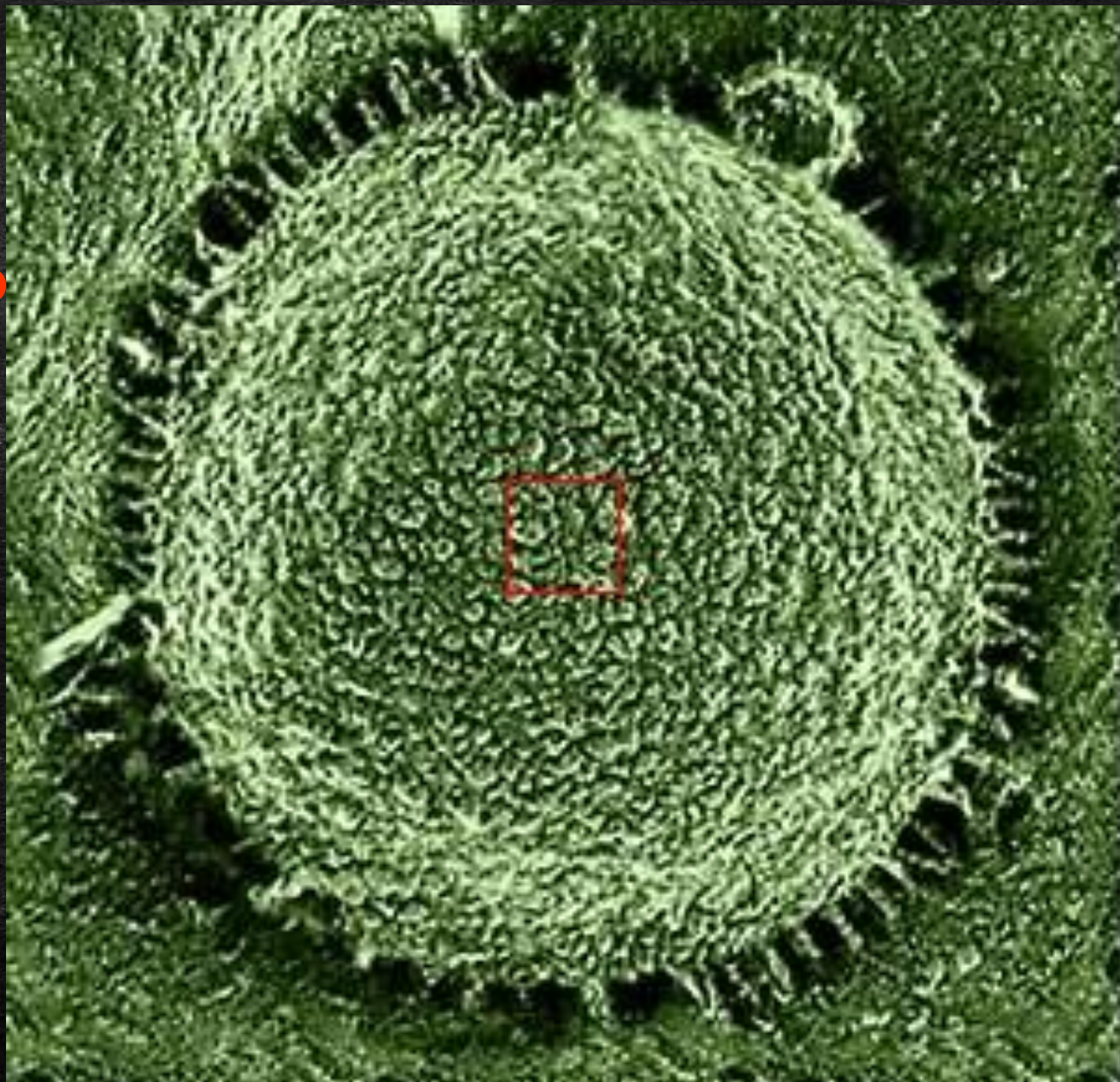
Ξεκινάμε το
ταξίδι μας
μέσα στο
κύτταρο.



10^{-6}

1 μικρόμετρο

**Πυρήνας
κυττάρου.**



10^{-7}

1.000

Angstroms

Αλλαγή στη
μονάδα μέτρησης
για να
προσαρμοστούμε
στο μικροσκοπικό
μέγεθος.

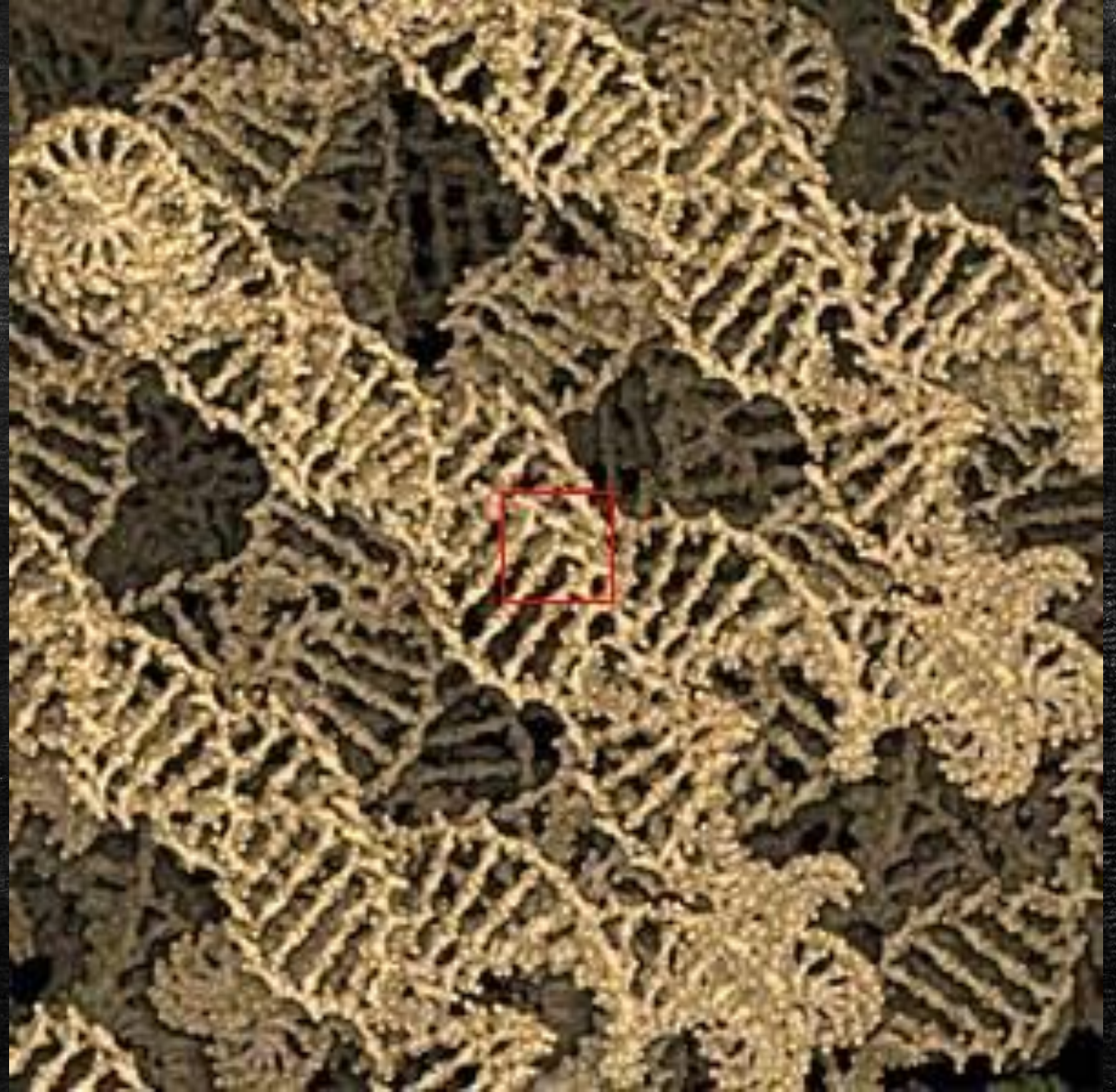
Στην εικόνα
φαίνονται τα
χρωμοσώματα.



10^{-8}

100 Angstroms

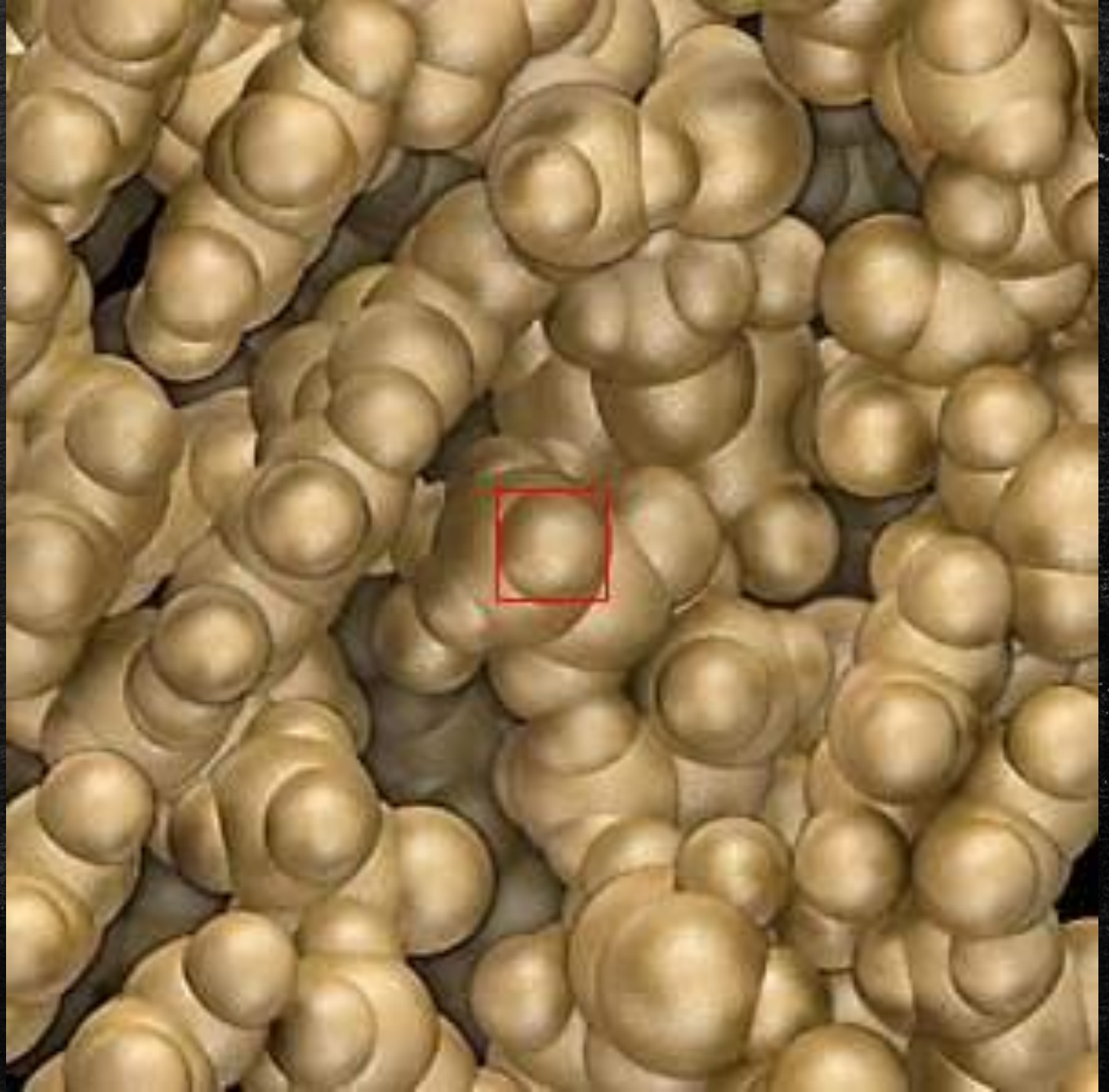
Σε αυτό το
μίκρο – Σύμπαν
φαίνεται η
αλυσίδα του
DNA.



10^{-9}

10 Angstroms

Οι χρωμοσωμικοί
λίθοι μπορούν να
μελετηθούν σε
αυτήν την
απόσταση.



10⁻¹⁰

1 Angstrom

Αυτό που φαίνεται
σαν σύννεφο
ηλεκτρονίων είναι
στην
πραγματικότητα
άτομα άνθρακα τα
οποία σχηματίζουν
τον κόσμο μας.

Παρατηρήστε την
ομοιότητα μεταξύ
μικρόκοσμου και
μακρόκοσμου.



10⁻¹¹

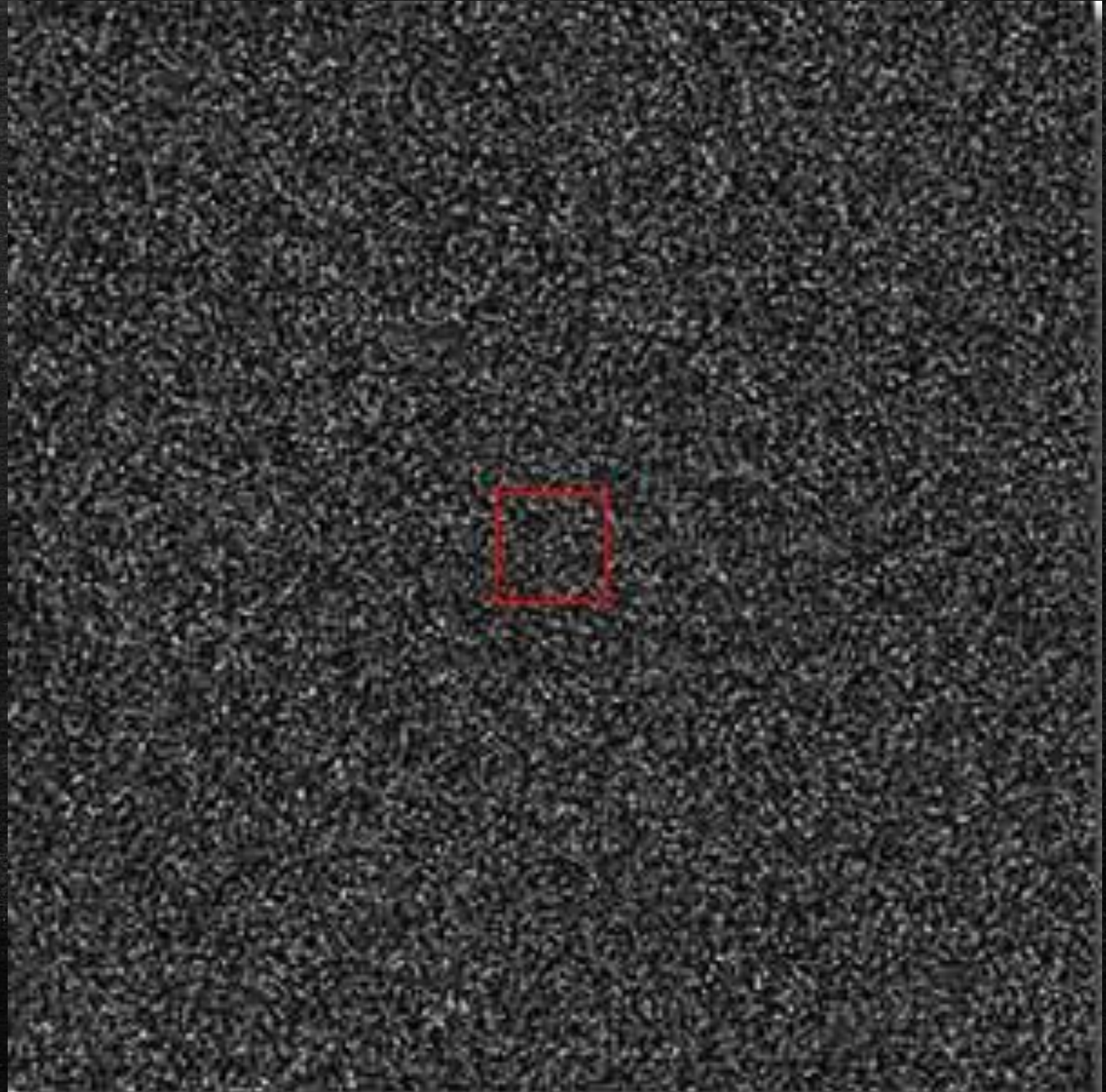
10 picometres

Σε αυτόν τον
μικροσκοπικό κόσμο
μπορούμε να
«παρατηρήσουμε»*
τα ηλεκτρόνια να
περιστρέφονται
γύρω από τα άτομα.

*η αρχή της αβεβαιότητας
μας λέει ότι δεν μπορούμε.

«Κβαντική επανάσταση»

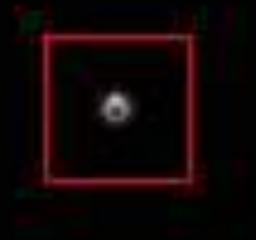
Δρ. Μιχάλης Καραδημητρίου



10^{-12}

1 Picometre

Ένας αχανής άδειος
χώρος μεταξύ του πυρήνα
και των ηλεκτρονίων.



10^{-13}

100 Femtometres

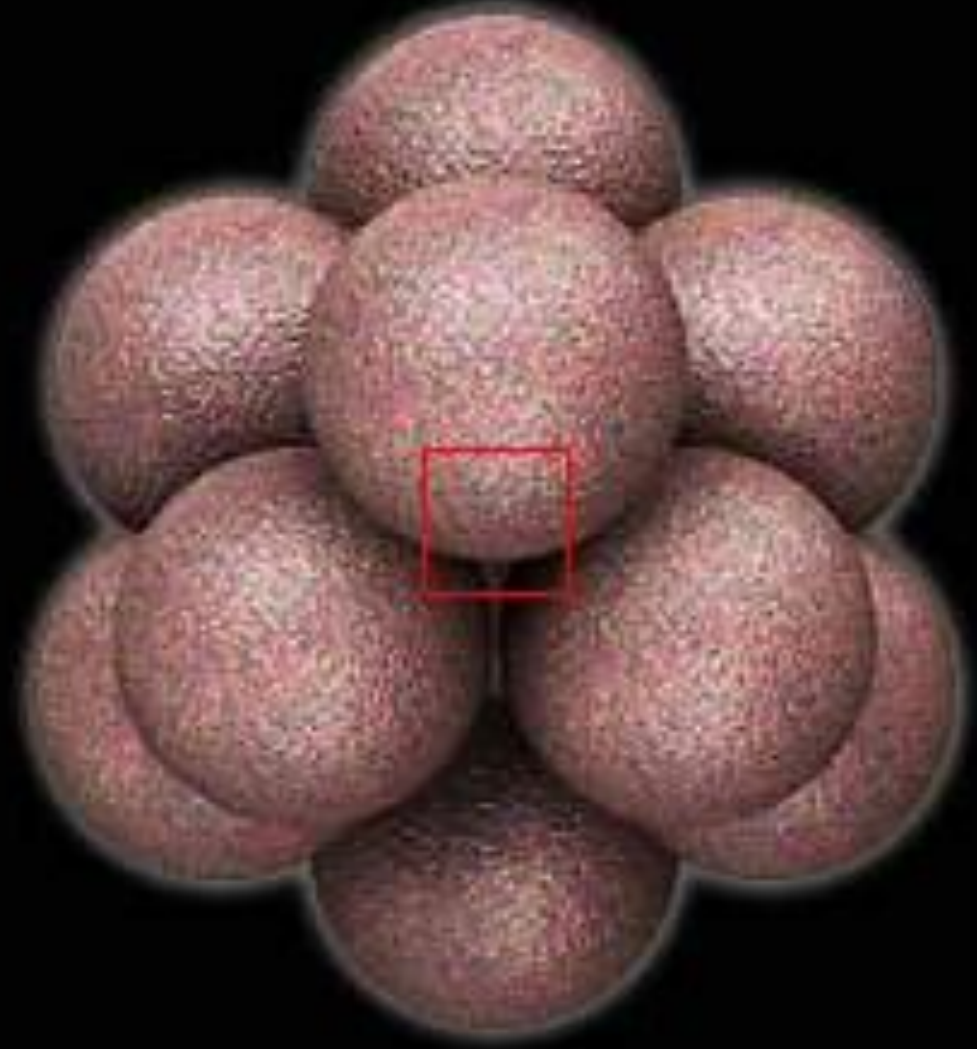
Σε αυτόν τον απίστευτα
μικροσκοπικό χώρο
παρατηρούμε τον
πυρήνα του ατόμου.



10^{-14}

10 Femtometres

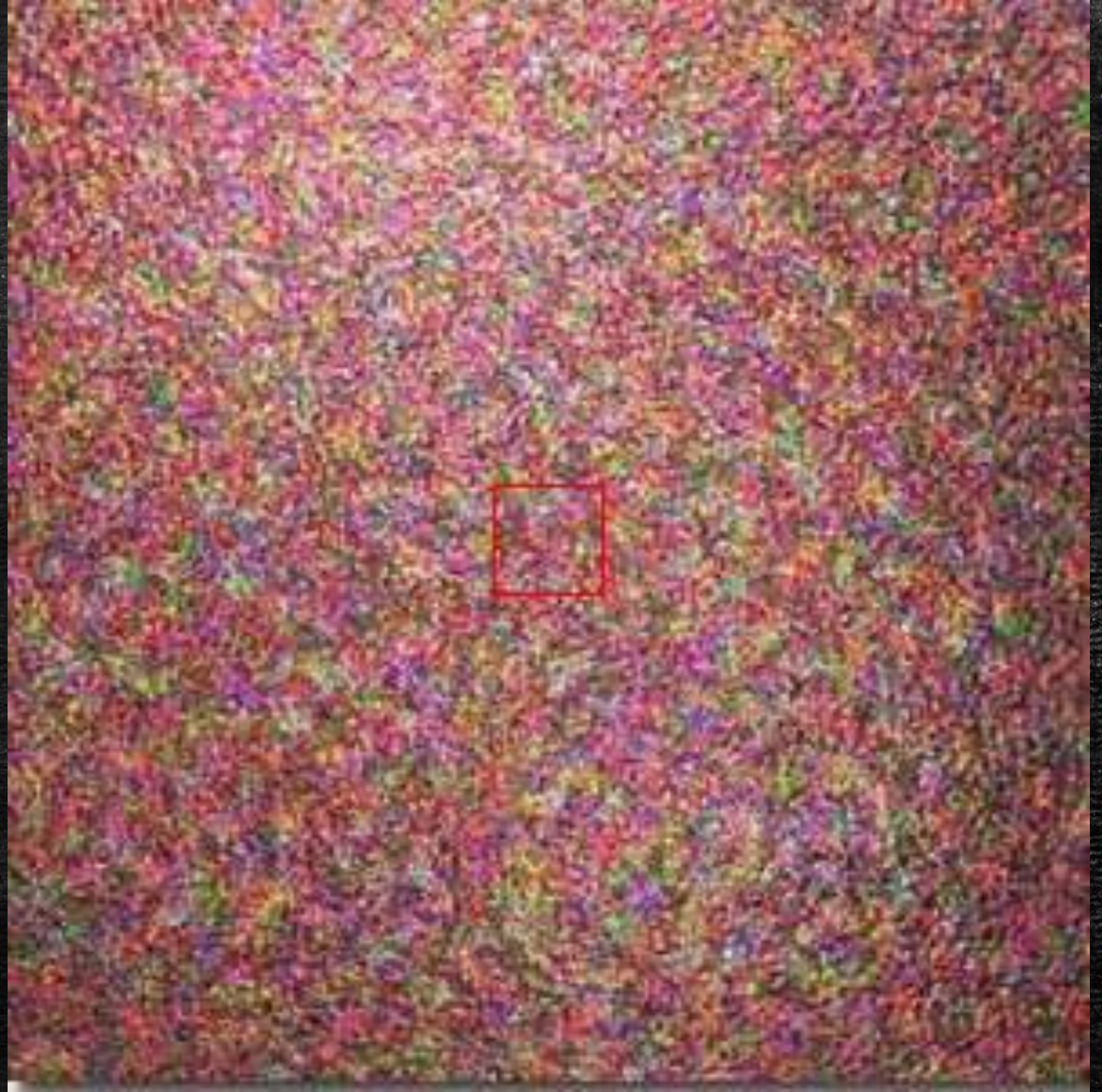
Ο πυρήνας ενός
ατόμου άνθρακα.



10⁻¹⁵

1 Femtometre

Εδώ βρισκόμαστε στη
σφαίρα της
επιστημονικής
φαντασίας πρόσωπο με
πρόσωπο με ένα
πρωτόνιο.



10^{-16}

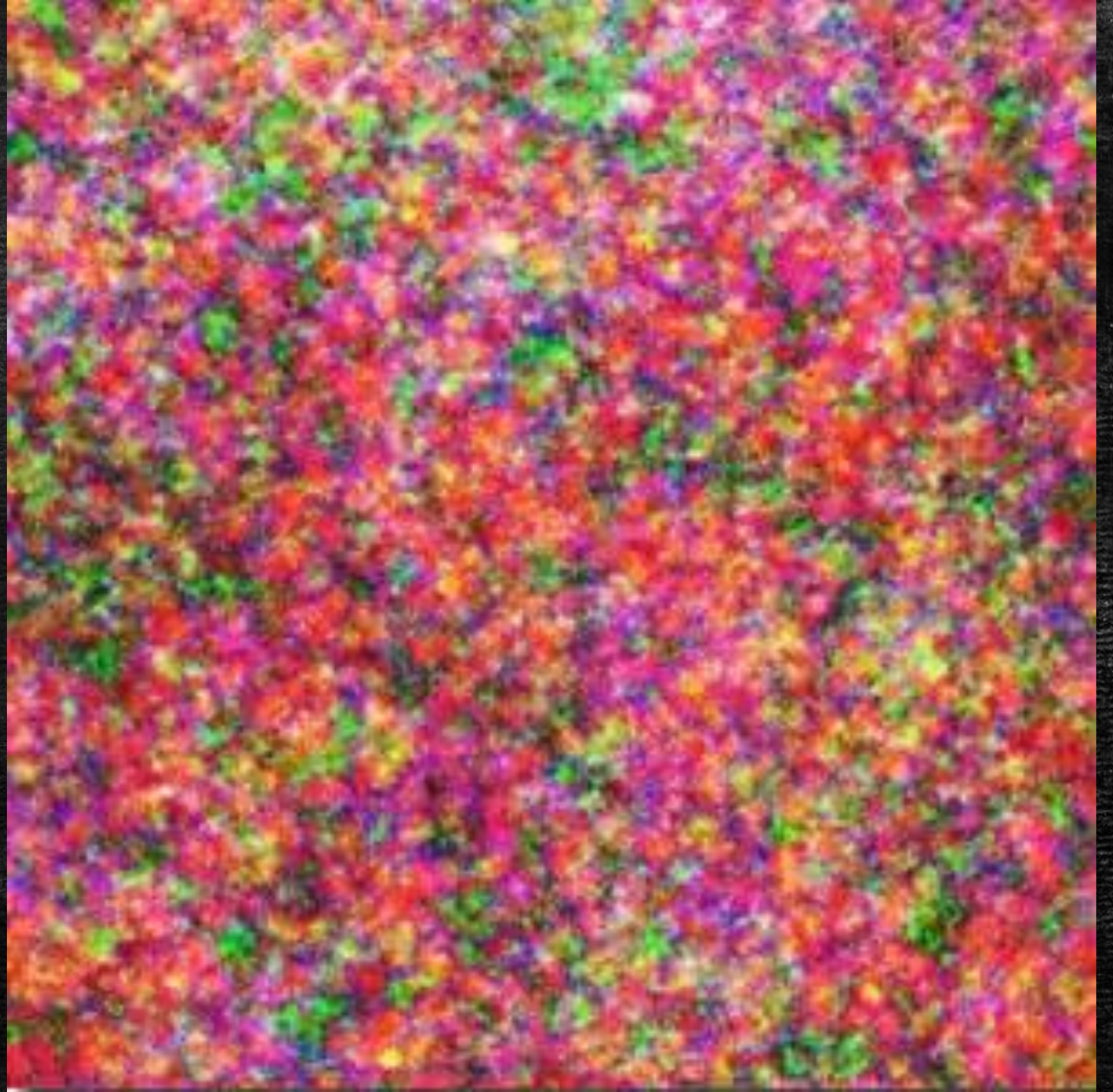
100 Atometres

Εξετάζοντας τα σωματίδια
'quark'

Με τις υπάρχουσες γνώσεις
μας δεν μπορούμε να πάμε
πιο μέσα.

Βρισκόμαστε στα όρια της
υπάρχουσας επιστημονικής
γνώσης. Αυτό είναι το όριο
της ύλης.

Της Ενέργειας ?????



Κάποιες ημερομηνίες...

Δημόκριτος (400 π.χ.)

“νόμῳ γλυκύ, νόμῳ πικρόν, νόμῳ θερμόν, νόμῳ ψυχρόν, νόμῳ χροίή, ἔτεῃ δὲ ἄτομα καὶ κενόν”

«κατά σύμβαση υπάρχει το γλυκό, κατά σύμβαση το πικρό, κατά σύμβαση το θερμό, κατά σύμβαση το ψυχρό, κατά σύμβαση το χρώμα, στην πραγματικότητα όμως υπάρχουν τα άτομα και το κενό.»

✓ Thomson (1897 μ.χ.): Ανακάλυψη του Ηλεκτρονίου

✓ Rutherford (1920 μ.χ.) : Ανακάλυψη Πρωτονίου

✓ Chadwick (1932 μ.χ.): Ανακάλυψη Νετρονίου

...κάπου εκεί γινόταν και η «Κβαντική Επανάσταση» !!



Αλληλεπιδράσεις + Σωματίδια = Κόσμος !

Τα «σωματίδια» συγκροτούν τη πρώτη ύλη (τούβλα) για την κατασκευή του κόσμου μας, αλλά χωρίς αλληλεπιδράσεις (κόλλα) δεν θα είχαμε αυτό το υπέροχο οικοδόμημα δηλαδή τον κόσμο μας!

«Πολλά σωματίδια ?? » + «Πολλές αλληλεπιδράσεις ??»

Πόσα ?

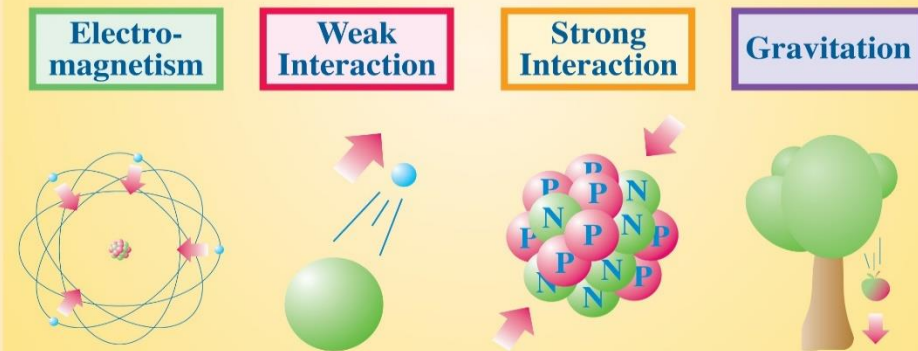
Πόσες?

Ο κόσμος το 1932 !

«1932» – Τα «Στοιχειώδη» Σωματ^{*}ία

Σωματίο		Μάζα (MeV/c ²)	Spin
Πρωτόνιο	p	938.3	1/2
Νετρόνιο	n	939.6	1/2
Ηλεκτρόνιο	e	0.511	1/2
Νετρίνιο	ν	0	1/2
Φωτόνιο	γ	0	1
Αντισωματ [*] ία			

The Four Fundamental Forces of Nature



Αντιδράσεις Σωματιδίων

ΕΠΙΤΡΕΠΤΕΣ: $e^+ e^- \rightarrow p \bar{p}$, $\nu n \rightarrow e p$

$e^+ e^- \rightarrow \nu \bar{\nu}$, $\bar{\nu} p \rightarrow e n$

.....

ΑΠΑΓΟΡΕΥΜΕΝΕΣ: $\nu p \rightarrow e^+ n$, $p p \rightarrow e^+ e^+$

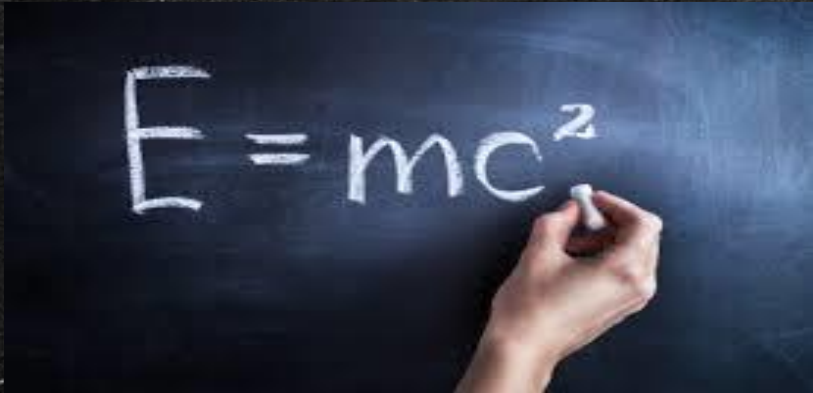
$p \rightarrow e^+ \gamma$, $e \rightarrow \nu \gamma$, $e \rightarrow \gamma \gamma \gamma$

.....

Μελέτη πυρήνων: p και n ταυτόσημα ως προς την πυρηνική δύναμη. Νουκλεόνιο.

Τάξη στο...χάος;;

«1932» - Κανόνες Επιλογής



Ισοδυναμία μάζας - ενέργειας

(A. Einstein - 1905)

Κάθε σωματίδιο έχει μια ενέργεια ηρεμίας που είναι ανάλογη της μάζας του...

Ο Κβαντικός αριθμός του spin κατατάσσει τα στοιχειώδη σωματίδια σε φερμιόνια (ημιακέραιο spin) και μποζόνια (ακέραιο spin)

(Διατηρούμενα μεγέθη πέραν από τα E, P, J)

είδος	σωμάτιο		Μάζα (MeV/c ²)	spin	Q	B	L
αδρόνια	πρωτόνιο	p	938.3	1/2	1	1	0
	νετρόνιο	n	939.6	1/2	0	1	0
λεπτόνια	ηλεκτρόνιο	e	0.511	1/2	-1	0	1
	νεutrino	ν	0	1/2	0	0	1
	φωτόνιο	γ	0	1	0	0	0
αντισωματίδια							

Και τα χρόνια περνούσαν...1960 !

Πειράματα έφερναν στο φως και άλλα «στοιχειώδη» σωματίδια
~ 300 νέα σωματίδια

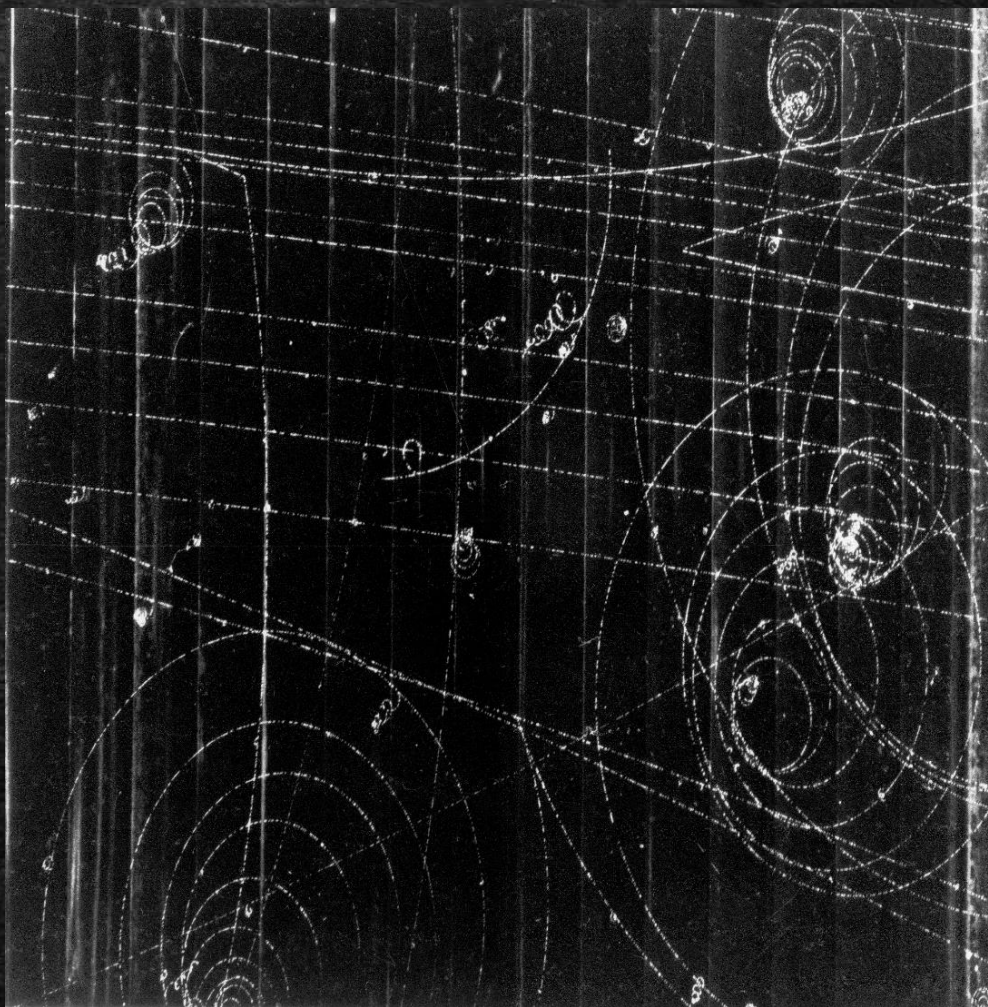
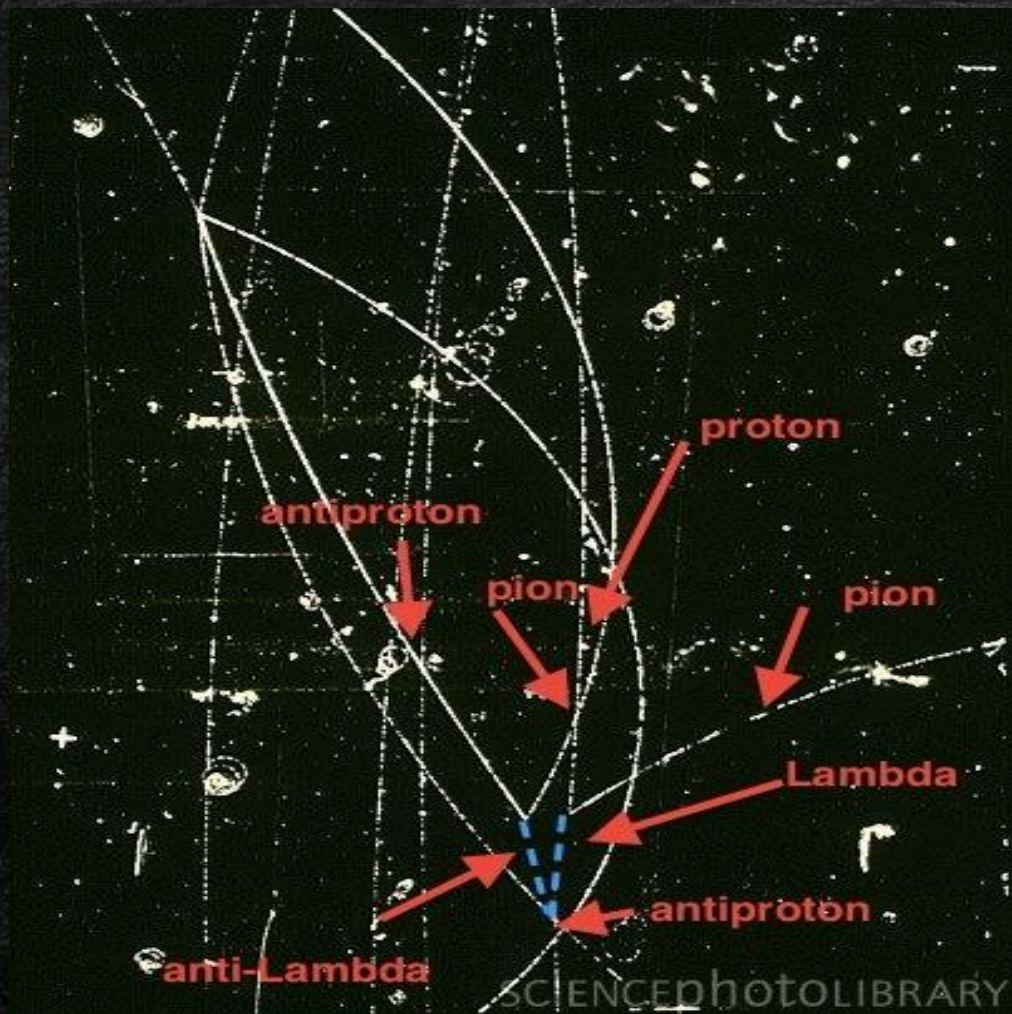
Λεπτόνια: $e, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$

Αδρόνια (Μεσόνια - Βαρυόνια) : $\Lambda^0, \Sigma^\pm, \Delta^\pm, \Omega^-, \Xi^\pm, K^0, \rho^{\pm,0}, \varphi^0, \omega^0,$
 $\pi^{0,\pm} \dots$

Μέχρι που εξαντλήθηκε το ελληνικό αλφάβητο...

Μάλλον κάτι πρέπει να γίνει!

Ανίχνευση σωματιδίων σε θάλαμο φυσαλίδων



Τα Quarks (1963) μια τάξη στο χάος...

Πείραμα: 1969 SLAC η πρώτη επιβεβαίωση συστατικών στο πρωτόνιο
(αντίστοιχο πείραμα με εκείνο του Rutherford)

Quarks

Name

up

charm

top

Symbol

u

c

t

Charge

$+\frac{2}{3}e$

$+\frac{2}{3}e$

$+\frac{2}{3}e$

down

strange

bottom

d

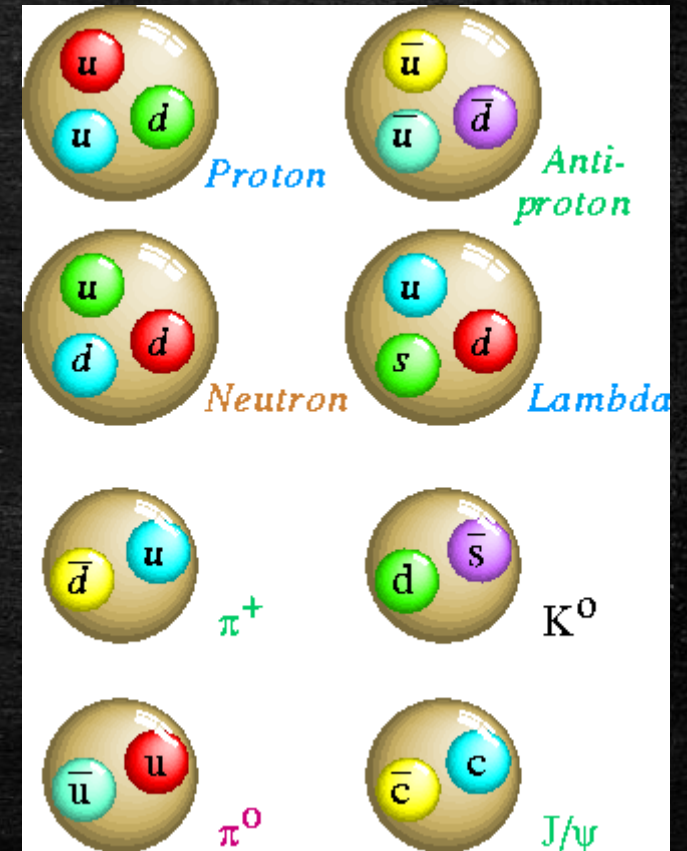
s

b

$-\frac{1}{3}e$

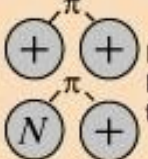
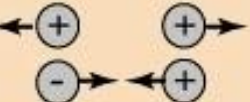
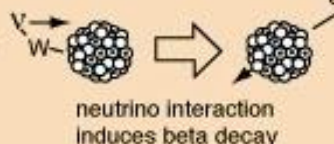
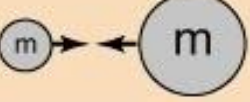
$-\frac{1}{3}e$

$-\frac{1}{3}e$



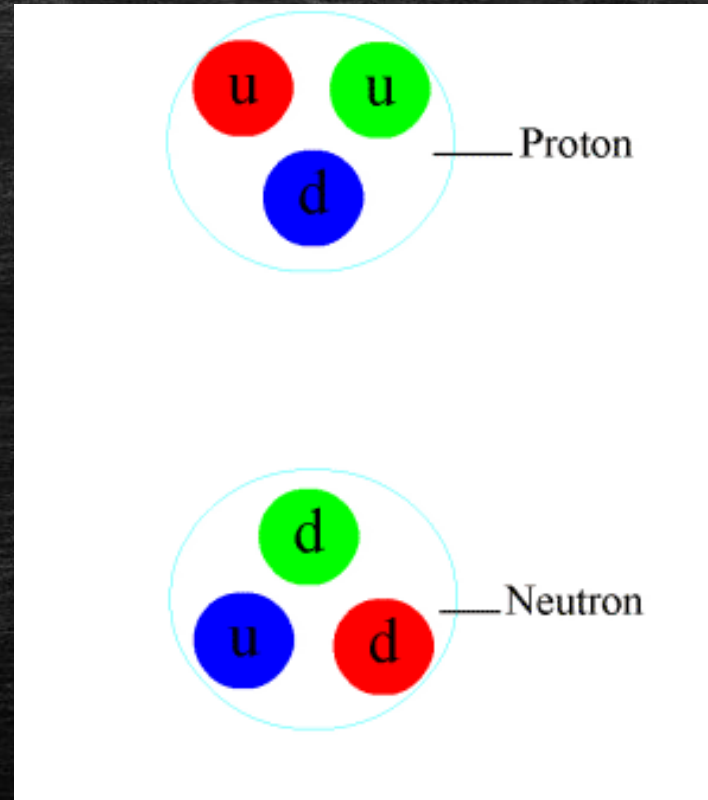
Αλληλεπιδράσεις & φορείς

Όλες οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων της ύλης «μεταφέρονται» με την βοήθεια των σωματιδίων φορέων τους (μποζόνια)

Fundamental Forces				
Strong		Strength 1	Range (m) 10^{-15} (diameter of a medium sized nucleus)	Particle gluons, π (nucleons)
Electro-magnetic		Strength $\frac{1}{137}$	Range (m) Infinite	Particle photon mass = 0 spin = 1
Weak		Strength 10^{-6}	Range (m) 10^{-18} (0.1% of the diameter of a proton)	Particle Intermediate vector bosons W^+ , W^- , Z_0 , mass > 80 GeV spin = 1
Gravity		Strength 6×10^{-39}	Range (m) Infinite	Particle graviton ? mass = 0 spin = 2

Ισχυρή Πυρηνική αλληλεπίδραση

- ✓ Κρατάει ενωμένο το πυρηνικό «τσαμπί» αναγκάζοντας τα Quarks να φτιάχνουν ισχυρές δέσμιες καταστάσεις.
- ✓ Η εμβέλεια της περιορίζεται στο μέγεθος ενός μέσου πυρήνα.
- ✓ 137 φορές ισχυρότερη από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη!
- ✓ 10^{38} φορές ισχυρότερη από την βαρυτική δύναμη.
- ✓ Φορέας το «Γλοιόνιο»
- *Γλοιός - κόλλα στα Αρχαία Ελληνικά



Ο χορός των «χρωμάτων»

Σύμφωνα με την QCD υπάρχει ένας ακόμα κβαντικός αριθμός, το «**χρώμα**» χαρακτηριστικός για τα Quarks και τα Γλοιόνια

➤ **Κόκκινο (R)**

➤ **Πράσινο (G)**

➤ **Μπλε (B)**

Δεν υπάρχουν άχρωμες καταστάσεις, δεν υπάρχουν ελεύθερα Quarks στην φύση

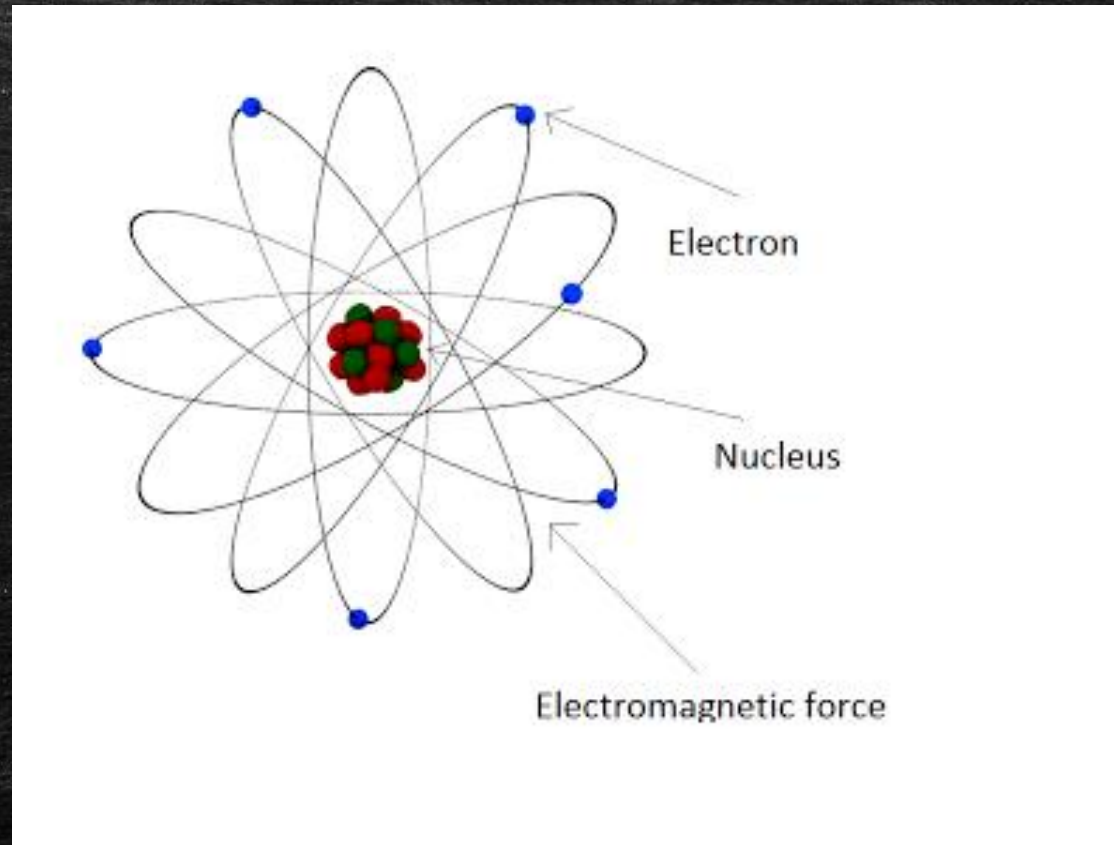
«Αν και το ηλεκτρικό σου φορτίο με απωθεί, με τρελαίνει το χρώμα σου!»



Και όμως έλκονται!

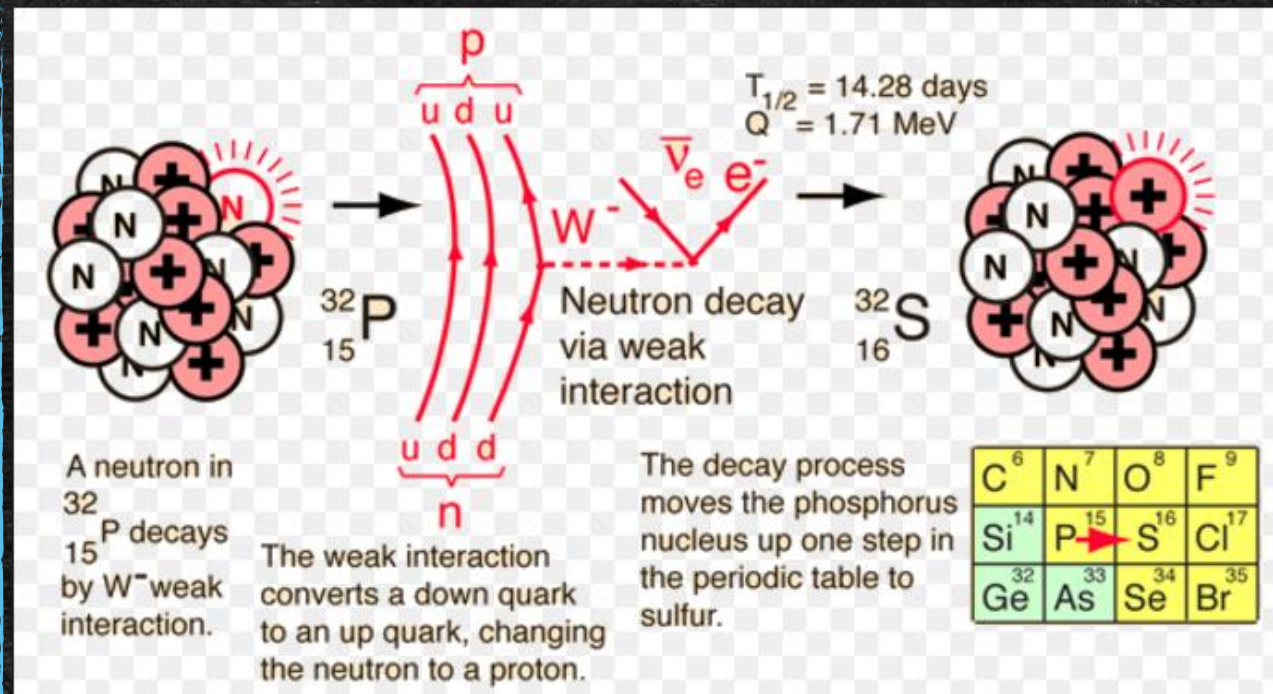
Ηλεκτρομαγνητική Αλληλεπίδραση

- ✓ Υπεύθυνη για την δημιουργία του ατόμου, καθώς ασκείται ανάμεσα στον θετικό φορτισμένο πυρήνα και τα αρνητικά ηλεκτρόνια.
- ✓ Γενικότερα δρα ανάμεσα σε φορτισμένα σωματίδια.
- ✓ Η εμβέλεια της είναι άπειρη
- ✓ Φορέας της το «φωτόνιο»
- ✓ Κυρίαρχη δύναμη από την κλίμακα του ατόμου μέχρι τα ουράνια σώματα.



Ασθενής Πυρηνική Αλληλεπίδραση

- ✓ Υπεύθυνη για την «μεταστοιχείωση» των πυρήνων (ραδιενέργεια)
- ✓ Φορείς τα «W, Z μποζόνια»



Βαρυτική Αλληλεπίδραση

- ✓ Η ασθενέστερη αλληλεπίδραση, σημαντική σε αστρικές κλίμακες. Δρα πάνω σε κάθε σώμα με μάζα, ενέργεια ή ορμή. Υπεύθυνη για την κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο, την δημιουργία αστρικών συμπλεγμάτων, γαλαξιών κλπ.
- ✓ Έχει άπειρη εμβέλεια
- ✓ Είναι πάντα ελκτική για αυτό και τίποτα δεν μπορεί να την «ακυρώσει».
- ✓ Φορέας το «Βαρυτόνιο»*
- ✓ *Δεν έχει ανακαλυφθεί ακόμα... έρχεται σύντομα!!



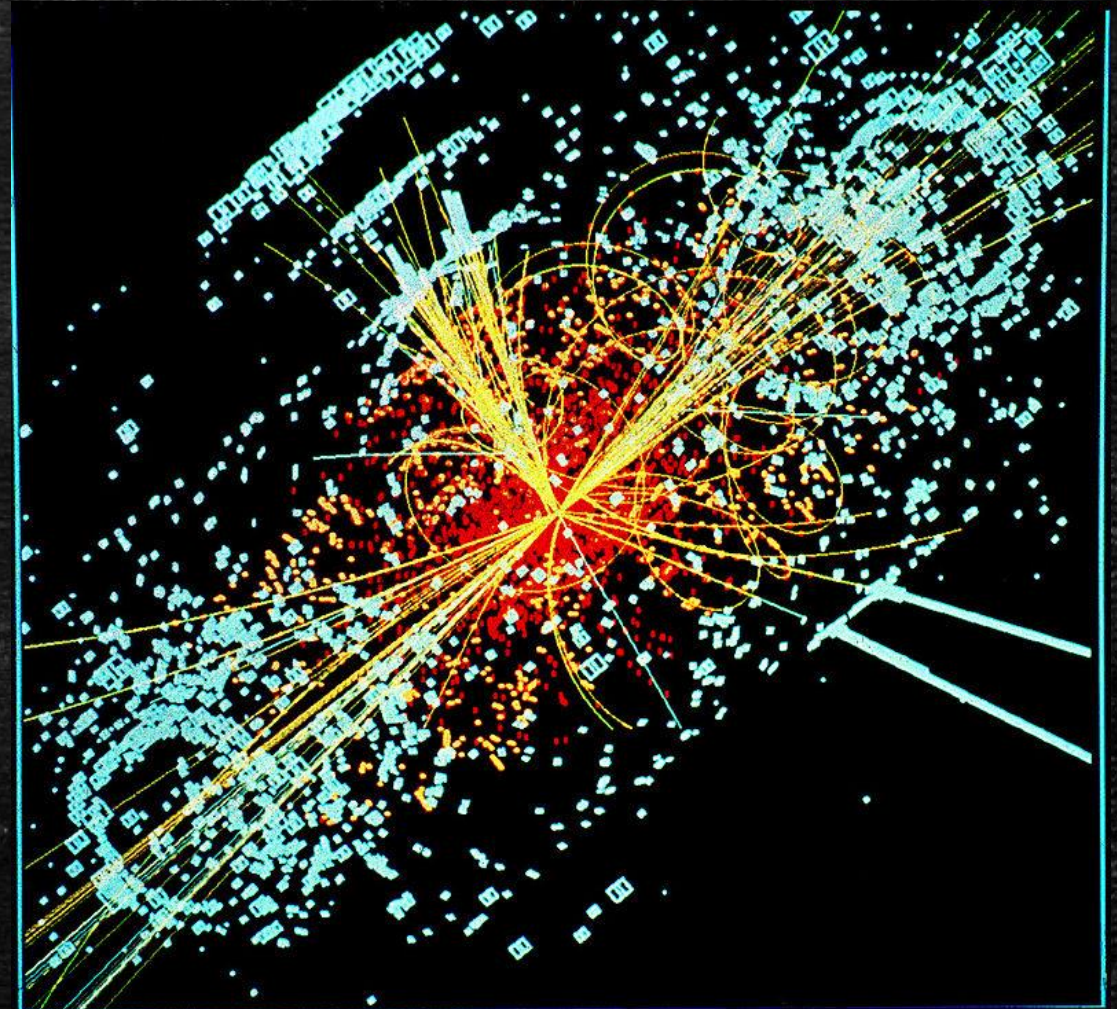
Το καθιερωμένο πρότυπο (??)

STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES

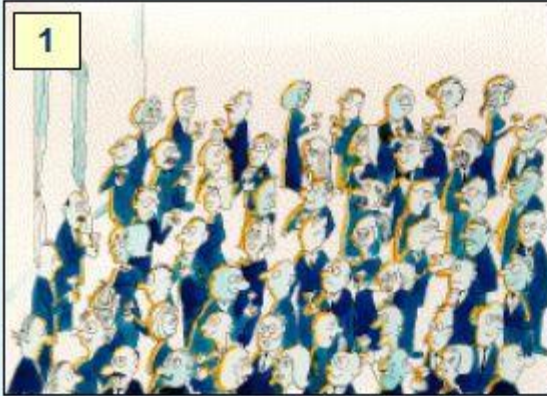


Σωματίδιο Higgs - «The God particle»

- ✓ Σωματίδιο που προβλέπει η θεωρία (1960) και μάλλον επαληθεύει το πείραμα (ATLAS - CMS, 4-7-2012)
- ✓ Το βαρύτερο μποζόνιο ($\sim 125 \text{ GeV}$)
- ✓ Ένα «παράξενο» σωματίδιο που διαφέρει από τα σωματίδια φορείς, όσο και τα σωματίδια ύλης (quarks και λεπτόνια), αλλά αλληλεπιδρά μαζί τους, δίνοντας του μάζα.
- ✓ Αν το σωματίδιο δεν υπήρχε η ύλη δεν θα είχε μάζα!

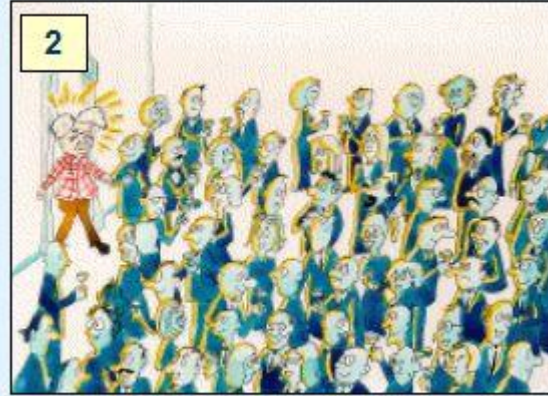


1



Imagine you're at a Hollywood party. The crowd is evenly distributed around the room, chatting. The room is like space filled with the Higgs Field.

2



When the big star arrives, the people nearest the door gather around her.

3

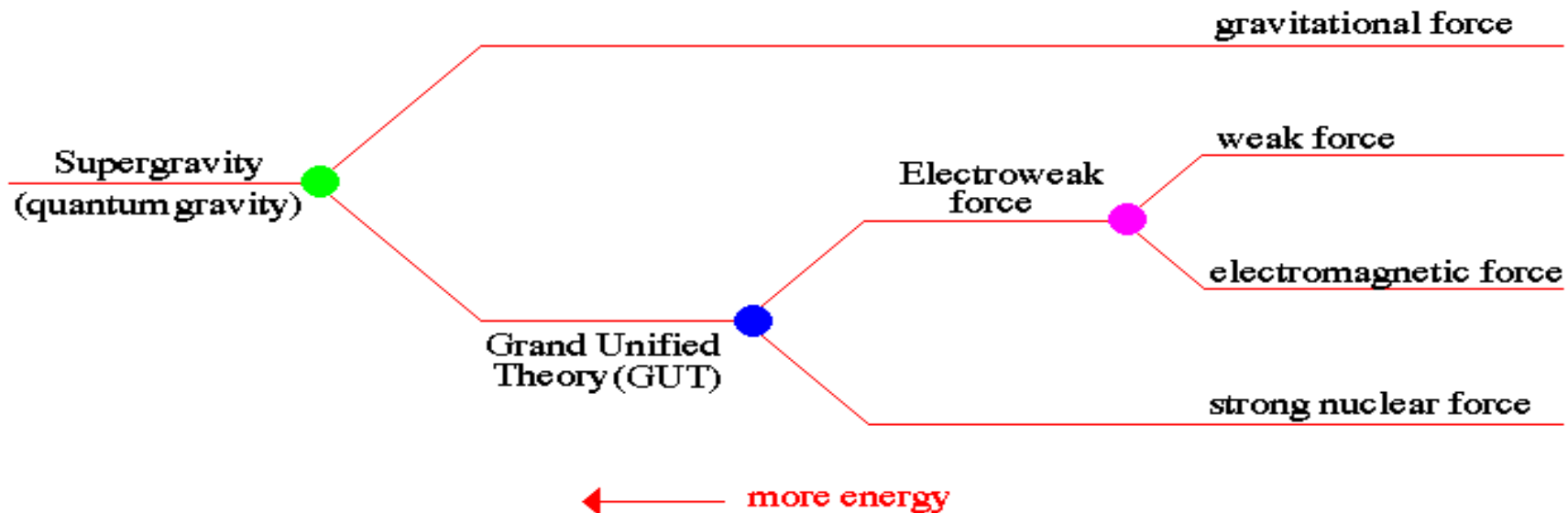


As she moves through the party, she attracts the people closest to her. This increases her resistance to movement. In other words, she acquires mass, just like a particle moving through the Higgs field.

Η θεωρία των πάντων!

Unification

all the forces of Nature should be capable of being described by a single theory. But only at high energies should the behavior of the forces combine, this is called unification



before the unification point, the forces are indistinguishable and have symmetry. After the unification point, the forces act differently and the symmetry is broken.

Το δικό μας μικροσκόπιο...

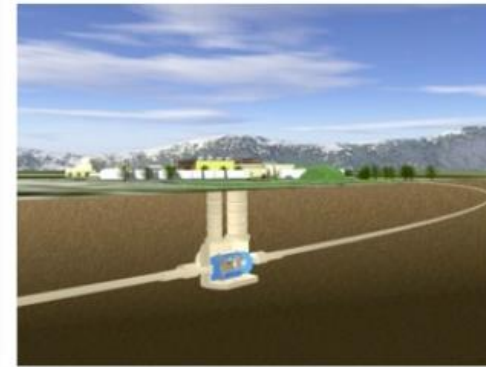


Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών

- ✓ Το μεγαλύτερο «μηχάνημα» στον κόσμο (Ακτίνα 27 km)
- ✓ Η πιο γρήγορη πίστα αγώνων στον πλανήτη. (τα αδρόνια επιταχύνονται σε ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός)
- ✓ Ο πιο «άδειος» χώρος στο σύμπαν
- ✓ Ο χώρος που γεννήθηκε το διαδίκτυο
(World Wide Web)



Particle accelerator



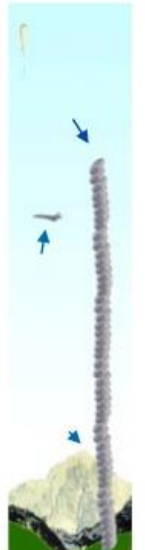
Experiments



collisions



events



Data
Analysis

Επύλογος...

Η προσπάθεια για την κατανόηση του σύμπαντος αποτελεί ένα από τα ελάχιστα πράγματα που εξυψώνουν την ανθρώπινη φύση λίγο ψηλότερα από το επίπεδο της φάρσας και της δίνουν λίγη από τη μεγαλοπρέπεια της τραγωδίας ...

Steven Weinberg

Nobel Φυσικής-1979