

*«Εντολή σου» είπε «αυτός ο κόσμος  
και γραμμένος μες στα σπλάχνα σου είναι  
Διάβασε και προσπάθησε  
και πολέμησε» είπε  
«Ο καθείς και τα όπλα του» είπε ....  
Ο. Ελύτης*

**Masterclasses**  
**Τρίτη 17 - 3 - 2020**  
**(8.30πμ – 4.00 μμ)**  
**ΕΚΦΕ ΧΑΝΙΩΝ**

## ΥΛΗ

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΛΕΠΤΟΝΙΑ		ΚΟΥΑΡΚ	
ηλεκτρόνιο $e^-$ φορτίο -1	νεutrίνο ηλεκτρονίου $\nu_e$ φορτίο 0	άνω (up) $u$ φορτίο +2/3	κάτω(down) $d$ φορτίο - 1/3
μόνιο $\mu^-$ φορτίο -1	νεutrίνο μιονίου $\nu_\mu$ φορτίο 0	γοητευτικό(charm) $c$ φορτίο +2/3	παράξενο(strange) $s$ φορτίο - 1/3
ταυ $\tau^-$ φορτίο -1	νεutrίνο ταυ $\nu_\tau$ φορτίο 0	ψηλό (top) $t$ φορτίο +2/3	χαμηλό(bottom) $b$ φορτίο - 1/3

## ΑΝΤΙΥΛΗ

Για κάθε σωματίδιο υπάρχει το αντισωματίδιό του  
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΑΝΤΙΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

ΑΝΤΙ- ΛΕΠΤΟΝΙΑ		ΑΝΤΙ-ΚΟΥΑΡΚ	
ποζιτρόνιο $e^+$ φορτίο +1	αντι-νεutrίνο ηλεκτρονίου $\bar{\nu}_e$ φορτίο 0	άνω (up) $\bar{u}$ φορτίο -2/3	κάτω(down) $\bar{d}$ φορτίο + 1/3
μόνιο $\mu^+$ φορτίο +1	αντι-νεutrίνο μιονίου $\bar{\nu}_\mu$ φορτίο 0	γοητευτικό(charm) $\bar{c}$ φορτίο -2/3	παράξενο(strange) $\bar{s}$ φορτίο +1/3
ταυ $\tau^+$ φορτίο +1	αντι-νεutrίνο ταυ $\bar{\nu}_\tau$ φορτίο 0	ψηλό (top) $\bar{t}$ φορτίο -2/3	χαμηλό(bottom) $\bar{b}$ φορτίο + 1/3

## ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΦΟΡΕΙΣ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

			φορέας αλληλεπίδρασης		
αλληλεπίδραση	σχετική ισχύς	εμβέλεια	όνομα	μάζα ηρεμίας	φορτίο
ισχυρή	~ 1	περίπου $10^{-15}$ m	8 γλουόνια	0	0
ηλεκτρομαγνητική	~ $10^{-3}$	άπειρη	φωτόνιο	0	0
ασθενής	~ $10^{-5}$	περίπου $10^{-18}$ m	μποζόνια $W^+, W^-$ $Z^0$	80,41 GeV 91,187 GeV	+e, -e 0

βαρυτική	$\sim 10^{-38}$	άπειρη	βαρυτόνιο	0	0
----------	-----------------	--------	-----------	---	---

**Η σύγχρονη Φυσική εξηγεί όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων ως ανταλλαγή κάποιων άλλων σωματιδίων που τα θεωρεί φορείς των συγκεκριμένων αλληλεπιδράσεων.**

### Ηλεκτρομαγνητική Αλληλεπίδραση

Είναι υπεύθυνη για το "τίναγμα" που ασθανόμαστε όταν, περπατώντας πάνω σ' ένα χαλί, ακουμπάμε ένα σιδερένιο αντικείμενο. Είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία όλων των ηλεκτρικών μηχανών. Αλλά είναι ακόμα υπεύθυνη για τη συγκρότηση των ατόμων: τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου συγκρατούμενα από την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση. Ασκείται μεταξύ όλων των σωμάτων που έχουν ηλεκτρικό φορτίο. Τα σωματίδια φορείς της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης είναι τα **φωτόνια**. Έτσι, για παράδειγμα, οι φυσικοί εξηγούν την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ηλεκτρονίων ως ανταλλαγή ενός φωτονίου που εκπέμπεται από το ένα και απορροφάται από το άλλο.

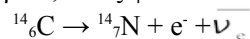
### Ισχυρή Πυρηνική Αλληλεπίδραση

Η ισχυρή πυρηνική δύναμη είναι υπεύθυνη για την συγκρότηση των πυρήνων των ατόμων. Τα σωματίδια φορείς της ισχυρής αλληλεπίδρασης λέγονται γκλουόνια (gluons), τα οποία ανταλλάσσονται μεταξύ των κουάρκς

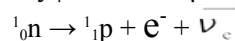
### Ασθενής Πυρηνική Αλληλεπίδραση

Τα σωματίδια φορείς της ασθενούς αλληλεπίδρασης είναι τα μποζόνια  $W^+$ ,  $W^-$  και  $Z^0$ , τα οποία μετασχηματίζουν τα κουάρκ και τα λεπτόνια.

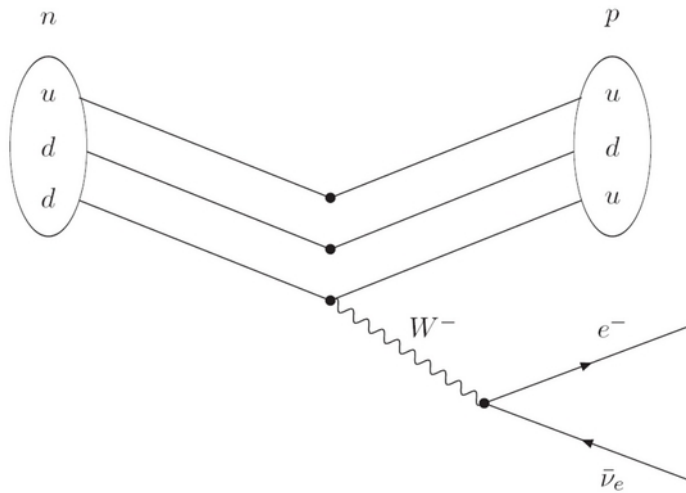
Για παράδειγμα, κατά τη ραδιενεργό διάσπασή του  $^{14}_6C$  σε πυρήνα  $^{14}_7N$  συγχρόνως εκπέμπεται ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινεutrino, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση.



Το γεγονός ότι κατά τη διάσπαση ενός πυρήνα μπορεί να εκπέμπεται ένα ηλεκτρόνιο δε σημαίνει ότι το ηλεκτρόνιο αυτό προϋπήρχε μέσα στο μητρικό πυρήνα. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι η εκπομπή ενός ηλεκτρονίου οφείλεται στη διάσπαση ενός νετρονίου του πυρήνα σε ένα πρωτόνιο, ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινεutrino, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση:



Η αλληλεπίδραση που είναι υπεύθυνη για τη μεταλλαγή αυτή είναι η ασθενής αλληλεπίδραση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



### Βαρυτική Αλληλεπίδραση

Η βαρυτική αλληλεπίδραση είναι υπεύθυνη για τη συγκρότηση των γαλαξιών, για την περιφορά της Γης και των άλλων πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Η επαναφορά μας στο έδαφος, όταν πηδάμε, οφείλεται στη βαρύτητα. Είναι η δύναμη που ασκείται μεταξύ όλων των σωμάτων και είναι πάντοτε ελκτική. Κατ' αναλογία πιστεύουμε σήμερα ότι το σωματίδιο φορέας της βαρυτικής αλληλεπίδρασης είναι το **βαρυτόνιο**.

**Τα 6 quarks, τα 6 λεπτόνια, τα αντισωματίδιά τους και τα σωματίδια φορείς των αλληλεπιδράσεων αποτελούν σήμερα τις θεμελιώδεις οντότητες με τις οποίες η σύγχρονη Φυσική αντιλαμβάνεται και περιγράφει τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις και την εξέλιξη του κόσμου από τις αρχέγονες στιγμές της γέννησής του μέχρι σήμερα.**

**ΟΜΩΣ τέσσερα μόνο σωματίδια σχηματίζουν την ύλη του σημερινού σύμπαντος:**

ηλεκτρόνιο	$e^-$
νετρίνο	$\nu_e$
άνω (up) κουάρκ	$u$
κάτω(down) κουάρκ	$d$

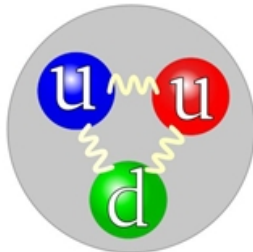
Το νετρίνο είχε προβλεφθεί από τον Πάολι (Wolfgang Pauli) από το 1930, αλλά μόνο το 1956 αποδείχθηκε και πειραματικά η ύπαρξή του. Είναι ένα ουδέτερο ηλεκτρικά σωματίδιο με εκπληκτικά μικρή μάζα.

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

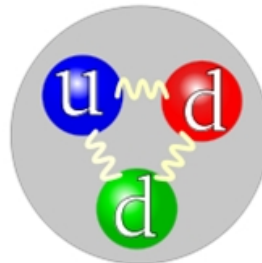
## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Α) Τα σωματίδια που συμμετέχουν σε ισχυρές αλληλεπιδράσεις λέγονται **αδρόνια**. Τα αδρόνια είναι σύνθετα σωματίδια που αποτελούνται από κουάρκ και κατατάσσονται σε:

α) βαρυόνια (π.χ. πρωτόνια, νετρόνια) που δημιουργούνται από συνδυασμό 3 κουάρκ



Δομή πρωτονίου



Δομή νετρονίου

β) μεσόνια (π.χ. καόνιο) που δημιουργούνται από συνδυασμό 1 κουάρκ και 1 αντικουάρκ

Β) Τα **λεπτόνια** είναι μια δεύτερη ανεξάρτητη κατηγορία σωματιδίων. Το χαρακτηριστικό των λεπτονίων είναι ότι δε συμμετέχουν σε ισχυρές αλληλεπιδράσεις, δεν αποτελούν συστατικό άλλων σωματιδίων και δε δομούνται από άλλα.

## Το Καθιερωμένο Πρότυπο

Το ακριβέστερο μοντέλο που έγινε ποτέ. Η διαφορά θεωρίας - πειράματος είναι λιγότερη από 0.00000001%!

Κουάρκς	πάνω	γοιτευτικό	υψηλό	Φορείς Των Δυνάμεων
	κάτω	παράξενο	χαμηλό	
	νετρίνο - e	νετρίνο - μ	νετρίνο - τ	
Λεπτόνια	ηλεκτρόνιο	μόνιο	ταύ	φωτόνια
				Z, W <sup>±</sup>
				γλουόνια
				βαρυτόνια
				Higgs

## Το σωματίδιο του 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 δίνει τη μάζα τους.
- Συνεπώς, το Higgs είναι μια θεμελιώδης πρόβλεψη της θεωρίας μας.

## Ταυτοποιώντας σωματίδια

Τα σωματίδια  $W$ ,  $Z$  παράγονται με διάφορους τρόπους κατά τις συγκρούσεις πρωτονίου-πρωτονίου στον LHC, όμως διασπώνται άμεσα μετά την παραγωγή τους.

Το σωματίδια  $W$ ,  $Z$  είναι βαριά σωματίδια με μάζες 80,41 GeV και 91,187 GeV αντίστοιχα και ζουν μόνο  $3 \times 10^{-25}$  δευτερόλεπτα.

Μπορούμε όμως να τα "δούμε" γνωρίζοντας τον τρόπο με τον οποίο διασπώνται.

### Μποζόνια $W^+$ , $W^-$

Τα δύο τρίτα των διασπάσεών τους οδηγούν σε παραγωγή ζεύγους κουάρκ και αντικουάρκ (διαφορετικού είδους).

Το ένα τρίτο των διασπάσεων οδηγεί σε ζευγάρι λεπτονίου και νετρίνο. Επομένως, τα τρία λεπτόνια (ηλεκτρόνιο, μιονίο και ταυ) παρουσιάζονται με ίσες πιθανότητες. Το ταυ διασπάται πριν προλάβει να ανιχνευθεί. Οι αντιδράσεις διάσπασης είναι οι παρακάτω:

$$W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad W^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e \quad W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

### Μποζόνιο $Z$

Το 10% των διασπάσεων του  $Z$  είναι σε ζευγάρι φορτισμένων λεπτονίων. Οι τρεις δυνατότητες είναι ηλεκτρόνιο-ποζιτρόνιο, μιονίο-αντιμιονίο και ταυ-αντιταύ.

Οι αντιδράσεις διάσπασης είναι οι παρακάτω:

$$Z \rightarrow e^- + e^+ \quad Z \rightarrow \mu^- + \mu^+ \quad Z \rightarrow \tau^- + \tau^+$$

Το 20% των διασπάσεων του  $Z$  είναι σε ζευγάρι ουδέτερων λεπτονίων, δηλαδή ζευγάρι νετρίνο-αντινετρίνο

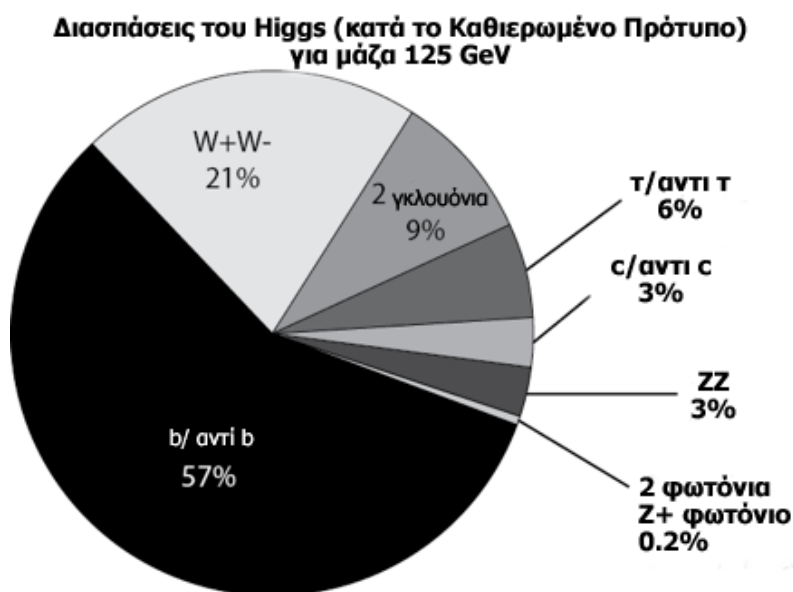
Στα 70% των περιπτώσεων, το  $Z$  διασπάται σε ζευγάρι κουάρκ-αντικουάρκ. Αυτά εμφανίζονται στον ανιχνευτή ως θύσανοι που τους αποκαλούμε πίδακες (jets)

## Μποζόνιο Higgs

Το μποζόνιο Higgs είναι το μοναδικό σωματίδιο του Καθιερωμένου Πρότυπου που δεν έχει πλήρως ταυτοποιηθεί. Παρ' όλα αυτά, τον Ιούλιο του 2012, ανακοινώθηκε η ανακάλυψη ενός νέου μποζονίου με μάζα στην περιοχή των 125 GeV, το οποίο φαίνεται να είναι συμβατό με το αναζητούμενο Higgs.

Ένα τόσο βαρύ σωματίδιο έχει πολύ μικρό χρόνο ζωής και επομένως η άμεση παρατήρησή του από έναν ανιχνευτή είναι αδύνατη.

Το παρακάτω διάγραμμα συνοψίζει την πιθανότητα που ένα σωματίδιο Higgs με μάζα 125 GeV διασπάται σε διάφορα γνωστά σωματίδια.



Το σωματίδιο Higgs παράγεται κατά την διάρκεια των συγκρούσεων υψηλής ενέργειας στον επιταχυντή LHC. Τα πειράματα ATLAS και CMS έχουν παρατηρήσει διασπάσεις του Higgs:

ι) σε 2 σωματίδια Z, που με τη σειρά τους διασπώνται σε δύο ζευγάρια φορτισμένων λεπτονίων, οπότε έχουμε σαν παρατηρήσιμες τελικές καταστάσεις τα εξής

$$H \rightarrow 2 e^- + 2 e^+$$

$$H \rightarrow 2 \mu^- + 2 \mu^+$$

$$H \rightarrow e^- + e^+ + \mu^- + \mu^+$$

ιι) σε δύο φωτόνια και

ιιι) σε δύο σωματίδια W που διασπώνται σε δύο φορτισμένα λεπτόνια και δύο νεutrίνο.

## Μονάδες ενέργειας

Στο SI 1 Joule (J)

Άλλες μονάδες ενέργειας

1 Wh (βατώρα)

$$(W=P \cdot t \text{ άρα } 1Wh = 1W \cdot 1h = 1W \cdot 3600s = 3600 J)$$

1eV (ηλεκτρονιοβόλτ)

$$(W=q \cdot V \text{ άρα } 1eV = 1e \cdot 1V = 1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 1V = 1,6 \cdot 10^{-19} J)$$

$$1MeV = 10^6 eV$$

$$1 GeV = 10^9 eV$$

$$1 TeV = 10^{12} eV$$

Η ενέργεια της σύγκρουσης πρωτονίου-πρωτονίου στον LHC σε πλήρη λειτουργία είναι 14 TeV.

$14 TeV = 14 \cdot 10^{12} eV = 14 \cdot 10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J = 22,4 \cdot 10^{-7} J$ , που αντιστοιχεί περίπου στην ενέργεια ενός ιπτάμενου κουνουπιού!

## Ισοδυναμία μάζας ενέργειας

Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας του Einstein, η μάζα ηρεμίας  $m_0$  οποιουδήποτε σώματος είναι ισοδύναμη με κάποια ποσότητα ενέργειας, όπως καθορίζεται από τη σχέση:

$$E = m_0 \cdot c^2, \text{ όπου } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \text{ η ταχύτητα του φωτός στο κενό.}$$

Σύμφωνα με τη σχέση αυτή, μπορούμε να μετράμε τη μάζα ενός σωματιδίου και σε μονάδες ενέργειας.

Σώμα μάζας  $m = 1 \text{ Kg}$  ισοδυναμεί με ενέργεια

$$E = m c^2 = 1 \text{ Kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ J} = 9 \cdot 10^{16} / 1,6 \cdot 10^{-19} eV = 5,6 \cdot 10^{35} eV$$

Μάζα ηρεμίας μερικών σωματιδίων σε μονάδες ενέργειας

Σωματίδιο	Μάζα ηρεμίας
κουάρκ u	260 MeV
κουάρκ d	260 MeV
πυρήνιο υδρογόνου	0,51 MeV
πυρήνιο α	107 MeV
πυρήνιο άνθρακα	1784 MeV
πυρήνιο οξυγόνου	80,41 GeV
πυρήνιο σιδήρου	91,187 GeV
πυρήνιο χρυσού	125 GeV
πρωτόνιο	938,2 MeV
νετρόνιο	939,6 MeV
ηλεκτρόνιο	< 30 eV

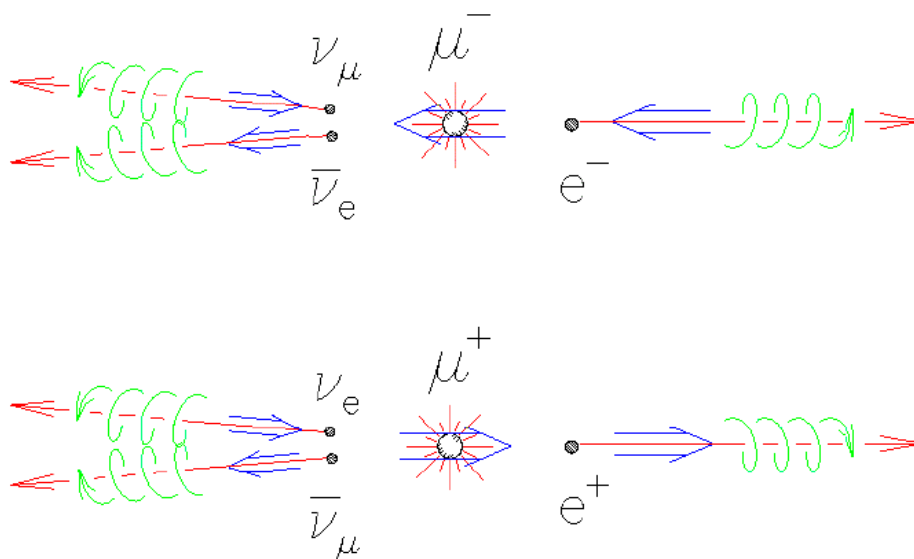


## Μιόνια : τα σωματίδια που επιβεβαίωσαν το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου που προβλέπει η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein.

Τα μιόνια ανακαλύφθηκαν το 1936 σε πειράματα κοσμικής ακτινοβολίας από τους Anderson και Neddermeyer. Τα μιόνια μπορούν να παραχθούν με την απορρόφηση κοσμικών ακτίνων στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Τα μιόνια έχουν ένα μέσο χρόνο ζωής  $2,2 \cdot 10^{-6}$  s (2,2  $\mu$ s) και μετά διασπώνται.

Αν υποθέσουμε ότι τα σωματίδια αυτά έχουν ταχύτητα που προσεγγίζει την ταχύτητα του φωτός, θα βρούμε ότι τα μιόνια θα διανύσουν μια απόσταση μόνο 660 m πριν να διασπαστούν. Συνεπώς, δεν μπορούν να φτάσουν στη Γη από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου παράγονται. Ωστόσο, πειράματα δείχνουν ότι ένας μεγάλος αριθμός μιονίων φθάνει στη Γη. Αυτό το γεγονός εξηγείται με το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου. Σε σχέση με έναν παρατηρητή στη Γη, λόγω του φαινομένου της διαστολής του χρόνου, τα μιόνια έχουν χρόνο ζωής ίσο με περίπου 16  $\mu$ s. Επομένως, η μέση απόσταση που διανύουν όταν η μέτρηση γίνεται από παρατηρητή που βρίσκεται πάνω στη Γη είναι 4800 m, και έτσι προλαβαίνουν να φθάσουν στη Γη και να ανιχνευθούν.



Συνεχίσετε το ταξίδι σας στη γνώση διασκεδάζοντας στην ιστοσελίδα

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

(Λογισμικό → [LHC@MasterClasses](#))

