ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 9 (2020)

Η Πολυπλοκότητα της Αντιύλης

Μιχαήλ-Ευάγγελος Οικονομίδης, Απόστολος Μένης, Αχιλλέας Μπάρτσας, Ιωάννης Μαυρής, Ιωάννης Νιφόρος

doi: 10.12681/osj.24433

Copyright © 2020, Μιχαήλ-Ευάγγελος Οικονομίδης, Απόστολος Μένης, Αχιλλέας Μπάρτσας, Ιωάννης Μαυρής, Ιωάννης Νιφόρος

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

Οικονομίδης Μ.-Ε., Μένης Α., Μπάρτσας Α., Μαυρής Ι., & Νιφόρος Ι. (2020). Η Πολυπλοκότητα της Αντιύλης. *Open Schools Journal for Open Science*, *3*(9). https://doi.org/10.12681/osj.24433

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 24/01/2026 19:53:48

Open Schools Journal
for Open Science

Η Πολυπλοκότητα της Αντιύλης

Μιχαήλ-Ευάγγελος Οικονομίδης[1], Απόστολος Μένης[1], Αχιλλέας Μπάρτσας[1], Ιωάννης Μαυρής[1], Ιωάννης Νιφόρος[1]

[1]Β΄ Λυκείου, Πρότυπο Γενικό Λύκειο Ιωνιδείου Σχολής Πειραιά, Αθήνα, Ελλάδα

Λέξεις Κλειδιά

Αντιύλη, Φυσική, Ασυμμετρία, CERN, Επιστήμη, Σωματίδια

Περίληψη

Στο άρθρο αυτό επιχειρούμε να αναλύσουμε το επιστημονικό υπόβαθρο της αντι-ύλης. . Θα εξηγήσουμε πως πρωτοδημιουργήθηκε η αντι-ύλη και θα αναφέρουμε τις πρώτες θεωρίες που αναπτύχθηκαν στις αρχές του 20ου αιώνα, αναλύοντας τα βασικά στοιχεία και τα αντι-στοιχεία τους καθώς επίσης και τις διαφορές τους. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί η σημασία που δίνεται στην αντίδραση ύλης-αντιύλης και σε όλα τα παρεπόμενα αποτελέσματα, καθώς είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα γεγονότα στο σύμπαν. Επικεντρωθήκαμε λοιπόν στο εξής πρόβλημα, πως γίνεται η αντι-ύλη να βρίσκεται σε τόσο μικρότερες ποσότητες από την κανονική ύλη. Αυτό αποκαλείται ασυμμετρία ύλης-αντιύλης (Τα βαρυόνια είναι υποατομικά σωματίδια τα οποία δημιουργούνται με συνδυασμούς τριών κουάρκ. Μαζί με τα μεσόνια απαρτίζουν την οικογένεια των αδρονίων, δηλαδή σωματίδια που κατασκευάζονται από κουάρκ.). Στο άρθρο αυτό θα αναλύσουμε επίσης τον τρόπο παραγωγής και αποθήκευσης της αντιύλης,καθώς και το επιστημονικό της υπόβαθρο.

Εύρεση της Αντιύλης

Το 1929 ο Άγγλος φυσικός P.A. O Dirac (1902-1984) προσπάθησε να βρει την εξίσωση της κίνησης ενός ηλεκτρονίου. Κατέληξε σε δύο ακριβώς συμμετρικές λύσεις. Αυτό το γεγονός ερμηνεύτηκε ως η ύπαρξη ενός άγνωστου (μέχρι τότε) σωματιδίου. Αυτό το σωματίδιο έχει την ίδια μάζα και ιδιότητες με ένα ηλεκτρόνιο, αλλά θα έχει το αντίθετο φορτίο (θετικό αντί αρνητικό) [2]. Το νέο σωματίδιο ονομάστηκε από τους επιστήμονες ως ποζιτρόνιο (ένα θετικό φορτισμένο ηλεκτρόνιο).

Το 1956 ο επιστήμονας E. Segre ανακάλυψε το αντινετρίνο. Η διαφορά μεταξύ του αντι-νετρίνου και του νετρίνου ήταν το γεγονός ότι αυτά τα δύο έχουν αντίθετη πλευρά της μαγνητικής τάσης. Από τότε θεωρείται σωστό μεταξύ των φυσικών ήταν ότι κάθε σωματίδιο στο σύμπαν είχε ένα αντισωματίδιο. Έτσι η ύλη και η αντιύλη είχαν έναν ειδικό δεσμό που ενισχύει την άποψη πως το σύμπαν έχει μια βαθύτερη και ανεξήγητη συμμετρία.

Από την αρχή ήταν ευρέως γνωστό ότι η ύλη και η αντιύλη δεν μπορούν να είναι μαζί ως ένα, αφού όταν ένα σωματίδιο αλληλεπιδράσει με το αντι-σωματίδιο του παρατηρούμε την απώλεια μάζας και την εκτροπή ακτινοβολίας Γ (γ). Μια σύγκρουση μεταξύ ενός πρωτονίου και του αντισωματιδίου του απελευθερώνει ενέργεια ίση με 1.800.000.000.000.000 eV [4]. Τον Σεπτέμβριο του 1995, Ελβετοί επιστήμονες στο CERN κατάφεραν να δημιουργήσουν το αντιυδρογόνο, μέχρι τότε δεν μπορούσαν να βρεθούν σωματίδια αντιύλης στη Γη, αφού δεν μπορούν να υπάρχουν όπως εξηγήσαμε προηγουμένως. Το πείραμα στο CERN φαίνεται ότι δημιούργησε άτομα ποζιτρονίου για μόλις μερικά εκατοστά του δευτερολέπτου.

Παρ 'όλα αυτά, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα με την ύπαρξη αντιύλης. Μερικά από αυτά θα θέλαμε να τα συμπεριλάβουμε στο άρθρο μας.

1. Δεδομένου ότι έχουμε ήδη ανακαλύψει μια λίστα αντι-σωματιδίων, είναι δυνατόν να υπάρχουν αντι-φορείς των δυνάμεων, όπως ένα αντιβαρυτόνιο;
2. Είναι δυνατόν να βρεθούν τα αντι-μποζόνια Higgs ως φορείς της αντι-μάζας; Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, είναι δυνατόν να υπάρχει αντι-μάζα;
3. Ποια είναι η σχέση μεταξύ αντιύλης και πιθανής ανακάλυψης της αντιβαρύτητας αλλά και της λεγόμενης αντι-μάζας;

Όπως αναφέραμε παραπάνω, ένα ποζιτρόνιο μπορεί να συγκρουστεί με ένα ηλεκτρόνιο και να παράγει φως και ενέργεια. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, το αντίθετο είναι επίσης εφικτό. Τα φωτόνια, οι φορείς του φωτός, μπορούν να συγκρουστούν και να παράγουν ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο. Αν όμως αυτό ισχύει, υπάρχει ένα πρόβλημα. Η δημιουργία ενός τέτοιου ζεύγους σωματιδίων (ύλης και αντιύλης) απαιτεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Κάτι τέτοιο συνέβαινε στο πρώιμο σύμπαν και έτσι δημιουργήθηκαν πολύ βαριά σωματίδια όπως κουάρκ και αντικουάρκ, μιόνια και αντιμιόνια κ.ο.κ.

Πρέπει, ωστόσο, να τονίσουμε το γεγονός ότι η εύρεση της αντιύλης είναι εξαιρετικά δύσκολη. Τα χαρακτηριστικά της αντιύλης είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά της ύλης. Ένα αστέρι φτιαγμένο από αντιύλη θα εξέπεμπε φως με την ίδια διαδικασία με τον ήλιο μας και η εξέλιξή του θα ήταν επίσης η ίδια. Ακόμα και η ίδια η βαρύτητα δε θα διέφερε. Μια Γη από αντιύλη θα περιστρεφόταν γύρω από έναν αντι-Ήλιο, όπως η Γη μας περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο [3].

Εάν λάβουμε υπόψη όλα τα παραπάνω, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν ολόκληροι γαλαξίες, ήλιοι, πλανήτες ακόμα και ζωή φτιαγμένοι από αντιύλη.

Η ασυμμετρία ύλης-αντιύλης:

Οι νόμοι της Φυσικής προβλέπουν πως για κάθε σωματίδιο «συμβατικής» ύλης, υπάρχει ένα αντίστοιχο αντι-σωμάτιο. Επί παραδείγματι, για κάθε αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο, υπάρχει ένα θετικά φορτισμένο ποζιτρόνιο. Εάν ένα αντισωματίδιο «συναντήσει» το αντίστοιχο σωματίδιο ύλης, τότε θα το εξαϋλώσει, εκλύοντας ενέργεια με τη μορφή του φωτός. Το πρόβλημα ενσκήπτει όταν αναλογιστούμε ότι το Καθιερωμένο Μοντέλο προβλέπει ότι η Μεγάλη Έκρηξη παρήγαγε παρόμοιες ποσότητες βαρυονικών σωματιδίων σε μορφή ύλης και αντιύλης· βαρυονική ύλη και αντιβαρυονική ύλη κατ’ αντιστοιχία. Το σύμπαν από τη Μεγάλη Έκρηξη και μετά άρχισε να παγώνει, τα σωματίδια αντέδρασαν με τα αντισωματίδιά τους και στο «τέλος» έμεινε σημαντικά περισσότερη ποσότητα ύλης από αντιύλη. Αυτή είναι και η εν λόγω ασυμμετρία ύλης – αντιύλης.[9]

Η ασυμμετρία ύλης-αντιύλης στο σύμπαν αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της σωματιδιακής φυσικής και κοσμολογίας. Θεωρείται ένα από τα πιο πειστικά στοιχεία για την ύπαρξη καινούργιων φαινομένων στο σύμπαν — φαινομένων που δεν έχουν παρατηρηθεί άμεσα ακόμη.

Το Καθιερωμένο Μοντέλο προβλέπει μεν μία πολύ μικρή ασυμμετρία αλλά δεν μπορεί να δικαιολογήσει την υπερεπάρκεια της βαρυονικής ύλης στο σύμπαν σήμερα. Η παραβίαση αυτή της συμμετρίας υπαινίσσεται ότι οι νόμοι της Φυσικής δεν είναι ακριβώς οι ίδιοι για την ύλη και την αντιύλη. Το φαινόμενο της απόκλισης στους φυσικούς νόμους μεταξύ ύλης και αντιύλης είναι γνωστό ως το φαινόμενο της παραβίασης CP (παραβίαση της συμμετρίας φορτίου και ισοτιμίας). Με πρόσφατη έρευνα που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Nature, επιβεβαιώνεται η παραβίαση CP στα μεσόνια (αδρόνια, για την θεωρητική πρόβλεψη των οποίων ο φυσικός Hideki Yukawa τιμήθηκε με βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1949). Για να δικαιολογηθεί όμως η ποσότητα της ύλης που υπάρχει στο σύμπαν σήμερα, πρέπει να επιβεβαιώσουμε την παραβίαση CP και στα βαρυόνια επίσης.

Η έρευνα για την επιβεβαίωση της παραβίασης CP στα βαρυόνια διενεργείται για πάνω από πενήντα χρόνια και οι ερευνητές που εργάζονται με τον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων (LHC – Large Hadron Collider) στο CERN της Γενεύης, φαίνεται να έχουν βρει τις αποδείξεις που χρειάζονται. Η ερευνητική ομάδα χρησιμοποιώντας τον ανιχνευτή LHCb, παρήγαγε τεράστιες ποσότητες ενός συγκεκριμένου βαρυονίου, του Λb0 βαρυόνιου, και του αντίστοιχού του αντισωματίου, το Λb0υ αντιβαρυόνιου. Παρατηρήθηκε εν συνεχεία πώς καθένα από αυτά τα σωμάτια διασπάστηκε σε πρωτόνιο ή αντιπρωτόνιο και σε φορτισμένα σωματίδια, τα πιόνια (pions). Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι εξαιρετικά σπάνιο και δεν είχε ποτέ παρατηρηθεί στο παρελθόν. Το καθαρό δείγμα από την παραγωγή τόσο μεγάλης ποσότητας βαρυονίων ήταν περίπου έξι χιλιάδες διασπάσεις. [9]

Το γεγονός ότι αυτά τα σωματίδια διασπώνται σε επιμέρους «συστατικά», είναι ιδιαιτέρως σημαντικό καθότι η όποια σημαντική διαφορά (ασυμμετρία) ανάμεσα στις ποσότητες των βαρυονίων και των αντιβαρυονίων θα είναι και το αποτέλεσμα της παραβίασης CP. Το πείραμα λοιπόν, έδειξε σημαντικά ποσοστά ασυμμετρίας σε αυτές τις ποσότητες, με το μεγαλύτερο να φτάνει ακόμα και το 20%.

Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά, παρ' όλα αυτά η Στατιστική Σημαντικότητα, να μπορούμε δηλαδή να πούμε με σχετική βεβαιότητα ότι το παρατηρηθέν αποτέλεσμα δεν έχει προέλθει τυχαία, περιορίζεται σε τυπική απόκλιση 3,3 ενώ χρειάζεται τυπική απόκλιση 5 για να ορίσουμε και να αναγνωρίσουμε μια επιστημονική ανακάλυψη. Καθώς τα αποτελέσματα έχουν πλήρως επιβεβαιωθεί για τα μεσόνια, θα ήταν πραγματικά περίεργο να μην

επιβεβαιώνονταν και για τα βαρυόνια. Είναι μόνο θέμα χρόνου τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας να επικυρωθούν ή όχι, αναλόγως της Στατιστικής Σημαντικότητας που αυτή θα λάβει στην πορεία. [9]

Βασικοί όροι για την έρευνα της αντιύλης:

Ένας σημαντικός όρος για την κατανόηση της παραγωγής και επιβράδυνσης των σωματιδίων της αντιύλης αποτελεί το eV.

Το eV είναι μονάδα μέτρησης ενέργειας και ισούται με την ενέργεια την οποία χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο για να κινηθεί από ένα σημείο ηλεκτρικού πεδίου σε άλλο όπου η διαφορά δυναμικού είναι ίση με ένα 1V (Volt).

Με όρους συμβολίζεται:

Wa→b=qVa-Vb or Wa→b=e1V=1eV

e=φορτίο ηλεκτρονίου=1.6×10-19 Coulombs(C)

Wa→b= Ενέργεια η οποία χρειάζεται ώστε να μετακινηθεί ένα ηλεκτρόνιο από την θέση a στην θέση b μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο.

Va=Δυναμικό στην θέση

Vb=Δυναμικό στην θέση b

Va-Vb=Διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις θέσεις a και b.

Από τις εξισώσεις, ένα eV ισούτε με:1.6×10-19C×1V=1.6×10-19(joule)=1eV

Μετά τις συγκρούσεις τα αντισωματίδια έχουν υψηλά επίπεδα ενέργειας και ταχύτητας(κοντά στην ταχύτητα του φωτός) και δεν είναι χρήσιμα για πειράματα ή δημιουργεία αντισωματιδίων.Για τον λόγο αυτό πρέπει να επιβραδυνθούν στο 10% της ταχύτητας του φωτός και σε επίπεδα ενέργειας από $5.3\mathrm{eV}$ έως ιδανικά $0.1\mathrm{eV}$.Η διαδικασία πραγματοποιείται από μεγάλους υπεραγώγιμους μαγνήτες. Σημ αντική είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος των πειραμάτων(στο εσωτερικό του επιβραδυντή) η οποία είναι κοντά στους 4 βαθμούς Kelvin ή -269 βαθμούς Celsius[13].Έτσι οι μαγνήτες μπορούν να δουλέψουν

στην πλήρη ισχύ τους. Οι μαγνήτες αυτοί κρατούν τα αντισωματίδια στην ίδια τροχιά χρησιμοποιώντας την δύναμη Lorentz[12], η οποία αποτελεί την δύναμη αλληλεπίδρασης ενός φορτισμένου σωματιδίου και του μαγνητικού πεδίου γύρο του. Δρά ως κεντρομόλος δύναμη η οποία συγκρατεί την δέσμη αντισωματιδίων στην κυκλική τροχιά της. Περιγράφεται από την εξίσωση: F=quB. Τα μεγέθη στην εξίσωση είναι διανυσματικά.

F=κεντρομόλος δύναμη (N)

q=φορτίο αντισωματιδίων (Coulombs)

u=ταχύτητα της δέσμης σωματιδίων (m/s)

B= ένταση μαγνητικού πεδίου (Tesla).

Αντίστοιχα πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα μαγνητών το οποίο ελέγχει την πυκνότητα της δέσμης αντισωματατιδίων. Ένα ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα σε δύο πλάκες με αντίθετα φορτία επιβραδύνει τα αντισωματίδια χρησιμοποιώντας δυνάμεις αντίθετες στην κατεύθυνση της δέσμης.(η κατεύθυνση της δύναμης εξαρτάται από το φορτίο των σωματιδίων, για παράδειγμα ένα ποζιτρόνιο πρέπει να συναντήσει μία θετικά φορτισμένη πλάκα και έπειτα μία

αρνητικά φορτισμένη πλάκα κλπ) Η δέσμη πρέπει να πραγματοποιήσει κάποιες στροφές πρωτού φτάσει τα απαιτούμενα επίπεδα και ταχύτητας ώστε να εισαχθεί στα επόμενα πειράματα.

Μέθοδοι παραγωγής

Για την παραγωγή και χρήση αντιπρωτονίων σε πειράματα αντιύλης απαιτείται ένα περίπλοκο σύστημα το οποίο επεξεργάζεται ύλη και αντιύλη με σκοπό την δημιουργία και αποστολή ακτινών αντιπρωτονίων χαμηλής ενέργειας στις τοποθεσίες των πειραμάτων. Το πιο γνωστό σύστημα βρίσκεται στο CERN, αν και υπάρχουν παρόμοια και σε άλλα ερευνητικά κέντρα.

Στο CERN μια ακτίνα πρωτονίων που προέρχεται από το Proton Synchrotron (τον επιταχυντή πρωτονίων του CERN) χτυπάει έναν μεταλλικό κύβο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας πληθώρας σωματιδίων ύλης και αντιύλης, συμπεριλαμβανομένων και πολλών αντιπρωτονίων. Αυτά, όμως, τα σωματίδια διαφέρουν σημαντικά τόσο στην φορά

κίνησής τους όσο και στα επίπεδα ενέργειας τους ενώ μεγάλο κομμάτι τους έχει πάρα πολλή ενέργεια, παράγοντες που τα καθιστούν ακατάλληλα για χρήση σε πειράματα.

Γι' αυτό τον λόγο χρειάζεται ο επιβραδυντής αντιπρωτονίων (Antiproton Decelerator), ένας δακτύλιος από κεκλιμένους μαγνήτες που κρατάει τα σωματίδια στην επιθυμητή πορεία, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την ταχύτητά τους μέσω ισχυρών μαγνητικών πεδίων.Οι αποκλίνουσες πορείες των σωματιδίων (λόγω των ομώνυμων φορτίων τους) και οι ενεργειακές διαφορές τους εξομαλύνονται μέσω μιας διαδικασίας που λέγεται ψύξη(“cooling”). Μετά από πολλούς κύκλους επιβράδυνσης και ψύξης, τα σωματίδια είναι έτοιμα να χρησιμοποιηθούν σε πειράματα αντιύλης. Πρέπει να σημειωθεί πως τα σωματίδια πρέπει να επικεντρωθούν σε κοινή φορά πριν εισέλθουν στον επιβραδυντή, ενώ λίγα από αυτά έχουν επίπεδα ενέργειας κατάλληλα για να εισέλθουν.[8]

Τα ποζιτρόνια παράγονται με την χρήση ενός φαινομένου που ονομάζεται pair production, κατά το οποίο ένας παλμός ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας περνά μέσα από την ύλη, έχοντας ως αποτέλεσμα την δημιουργία δύο αντίθετων σωματιδίων, όπως ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο.

Για να συμβεί όμως αυτό το φαινόμενο χρειάζεται ένας παλμός με ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση με την μάζα δύο ηλεκτρονίων. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση E = mc2 του Albert Einstein (όπου το c ισούται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό) καταλήγουμε πως η ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την ύπαρξη αυτού του φαινομένου είναι 1.02 MeV. Τυχόν περισσευούμενη ενέργεια στη μορφή φωτονίων μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του ζεύγους ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου που δημιουργείται.

Ένα παρόμοιο φαινόμενο που ονομάζεται internal pair production μπορεί να συμβεί εάν ένας ασταθής πυρήνας έχει τουλάχιστον 1.02 MeV ενέργειας, κατά το οποίο ένα ζευγάρι ηλεκτρονίου και ποζιτρονιου δημιουργούνται μέσα στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του ίδιου του πυρήνα.[6] [7]

Αποθήκευση της αντιύλης

Το 1995, ανακοινώθηκε η δημιουργία των πρώτων ατόμων αντι-υδρογόνου από φυσικούς του CERN, μέσω σύγκρουσης αντι-πρωτονίων και βαριών στοιχείων. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις το αντι-πρωτόνιο ενωνόταν με το ποζιτρόνιο και δημιουργούσε ένα άτομο αντι-υδρογόνου.

Το 2002 ήταν η πρώτη φορά που δημιουργήθηκαν μεγάλες ποσότητες αντι-υδρογόνου, όμως δε μπορούσαν να μελετηθούν λόγω της αδυναμίας αποθήκευσης της, διότι με το που ερχόταν σε επαφή με κανονική ύλη καταστρεφόταν.

Για να το αποθηκεύσουν, δημιούργησαν μια παγίδα η οποία εσωτερικά είχε συνθήκες σχεδόν απόλυτου κενού. Για να μην έρθει σε επαφή με τον τοίχο κάποιο άτομο αντι-υδρογόνου εφαρμόστηκαν ταλαντούμενα ηλεκτρικά πεδία σε ηλεκτρόδια δακτυλικού σχήματος ώστε να κρατήσουν ηλεκτρικά φορτισμένα σώματα στο κέντρο της παγίδας, μειώνοντας έτσι την υψηλή κινητική ενέργεια των ατόμων αντι-υδρογόνου (Paul Press 17/11/2010). Όμως, επειδή είναι αδύνατο μέχρι στιγμής να δημιουργηθεί το απόλυτο κενό, ο υψηλότερος χρόνος αποθήκευσης του αντι-υδρογόνου είναι τα 16 λεπτά.

Συμπέρασμα

Για να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα η μελέτη της αντι-ύλης είναι αναγκαία η βελτίωση των μηχανημάτων σε όλα τα μέρη της διαδικασίας. Έτσι, θα είμαστε σε θέση να παράγουμε και να αποθηκεύουμε μεγαλύτερα ποσά αντι-υδρογόνου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Με αυτό τον τρόπο οι γνώσεις μας σε αυτόν τον τομέα θα αναπτυχθούν ραγδαία.

Βιογραφίες Αρθρογράφων

Μιχαήλ- Ευάγγελος Οικονομίδης

Μαθητής της Ιωνιδείου Σχολής Πειραιά. Του αρέσουν τα μαθηματικά και η φυσική. Στον ελεύθερο χρόνο του χρόνο παίζει μπάσκετ και ηλεκτρική κιθάρα.

Απόστολος Μένης

Μαθητής της Ιωνιδείου Σχολής. Του αρέσει η φυσική και η αστρονομία. Στον ελεύθερο του χρόνο διαβάζει βιβλία και ασχολείται με διάφορα αθλήματα.

Αχιλλέας Μπάρτσας

Μαθητής της Ιωνιδείου Σχολής. Του αρέσει η φυσική, η κοσμολογία, τα μαθηματικά και γενικότερα οι επιστήμες. Κάνει πυγμαχία, παίζει βιολί και διαβάζει διαφόρων ειδών βιβλία.

Open Schools Journal
for Open Science

Ιωάννης Νιφόρος

Μαθητής της Ιωνιδείου Σχολής. Τα αγαπημένα μαθήματα του είναι τα μαθηματικά και η φυσική. Στον ελεύθερό του χρόνο κάνει ξιφασκία.

Ιωάννης Μαυρής

Μαθητής της Ιωνιδείου Σχολής. Του αρέσει η φυσική και η βιολογία και προσδοκά να γίνει γιατρός. Παίζει σκάκι, του αρέσει η κολύμβηση και κάνει ξιφασκία.

Βιβλιογραφία

[1] Goldberg Dave , Blomquist Jeff (2013), *Οδηγός χρήσης του σύμπαντος.*

[2] Γραμματικάκης Γιώργος (2012), *Ένας αστρολάβος του ουρανού και της ζωής.*

[3] Joel Fajans (2010), *Antimatter Atoms Successfully Stored for the First Time.*

[4] https://newscenter.lbl.gov/2010/11/17/antimatter-atoms/, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[5] *Storing antihydrogen Because antimatter annihilates in a flash of energy when it interacts with regular matter, storing it presents a challenge.*

[6] Επίσημη ιστοσελίδα του CERN: https://home.cern/science/physics/antimatter/storing-antihydrogen, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[7] *Pair production*, Article by the editors of Encyclopedia Britannica, Ιστοσελίδα: https://www.britannica.com/science/pair-production, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

Positron, Article by the editors of Encyclopedia Britannica

[8] Ιστοσελίδα: https://www.britannica.com/science/positron, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020 , *The Antiproton Decelerator Not all accelerators increase a particle's speed. The AD slows down antiprotons so they can be used to study antimatter.*

[9] Επίσημη ιστοσελίδα του CERN: https://home.cern/science/accelerators/antiproton-decelerator, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[10] Brian Albert Robson (2018), *The Matter-Antimatter Asymmetry Problem,* Ιστοσελίδα: https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=82173,Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[11] Ingmari C. Tietje (2018), *Low-energy antimatter experiments at the antiproton decelerator at CERN: Testing CPT invariance and the WEP.,* Ιστοσελίδα: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1071/1/012021/pdf, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[12] Gijs de Rijk, (2019), *Superconducting Magnets.,* Ιστοσελίδα: https://indico.cern.ch/event/808940/contributions/3553556/attachments/1905832/3149254/CAS_Vysoke-Tatry_SC-magnets.pdf, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[13] Herman H. J. ten Kate(1999), *Superconducting Magnet System for the ATLAS Detector at CERN.,* Ιστοσελίδα: https://cds.cern.ch/record/409763/files/cer-000336903.pdf, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020

[14] Adir Moysés Luiz(2011), *SUPERCONDUCTIVITY – THEORY AND APPLICATIONS.,* Ιστοσελίδα:http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Superconductivity_-_Theory_and_Applications.pdf, Ανακτήθηκε Φεβρουάριος 28, 2020