Μαθήματα Κοσμολογίας με Απλά Υλικά

Τίνα Νάντσου
Παιδαγωγική Υπεύθυνη Προγράμματος Playing with Protons Greece

Απλά πειράματα και δράσεις στην κοσμολογία

Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης και την σύνδεσή της με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Κεντρικά ερωτήματα

α. Ποια είναι η επιστημονική γνώση για τη Μεγάλη Έκρηξη;
β. Τί είναι είναι ο Νόμος του Hubble;
γ. Τί είναι η κοσμική ακτινοβολία;

Εναλλακτικές Ιδέες μαθητών/τριών για τη δημιουργία του Σύμπαντος

Η φύση των ουράνιων σωμάτων, οι αποστάσεις και οι διαστάσεις του Σύμπαντος είναι πολύ δύσκολο να γίνουν αντιληπτές στις μικρές ηλικίες. Τα παιδιά έχουν προσωπικές πεποιθήσεις για τη δημιουργία του κόσμου, πίστη στη μοναδικότητα της Γης και του Ήλιου καθώς και στην αιώνια ύπαρξη τους. Μεγάλο ρόλο στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών διαδραματίζει η Θρησκεία, οι ταινίες επιστημονικής φαντασίας, τα κινούμενα σχέδια και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια που παραβιάζουν συστηματικά τους νόμους της Φυσικής. Τέλος, καθαριστικό ρόλο παίζει η έλλειψη ενημέρωσης για τις τρέχουσες επιστημονικές εξελίξεις και η παροχή ξεπερασμένης γνώσης από το σχολείο.

Εναλλακτικές Ιδέες μαθητών/τριών για το Διάστημα

α. Το διάστημα είναι κενό.
β. Οι μαύρες τρύπες είναι μεγάλες.
γ. Οι τροχιές των πλανητών είναι κύκλοι.
δ. Το φως πάντοτε διαδίδεται ευθύγραμμα.

Σκοποί και Στόχοι

Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε μαζί με τα παιδιά τις βασικές αρχές της σύγχρονης κοσμολογίας χωρίς να χρησιμοποιήσουμε μαθηματικά ερμηνευτικά μοντέλα.

Διδακτική Μεθοδολογία

Η προτεινόμενη διδακτική μεθοδολογία είναι η εποικοδομητική προσέγγιση που περιλαμβάνει πέντε φάσεις:

α. Η φάση του προσανατολισμού
β. Η φάση της ανάδειξης των ιδεών των μαθητών/τριών
γ. Η φάση της αναδόμησης των ιδεών των μαθητών/τριών
δ. Η φάση της εφαρμογής
ε. Η φάση της ανασκόπησης

Αρχικά, ο/η εκπαιδευτικός ζητά από τους μαθητές/τριες να δουλέψουν ατομικά και μετά να συγκροτήσουν μικρές ομάδες για να συζητήσουν, προβλέψουν τις διάφορες παραμέτρους της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης. Έπειτα, καταγράφουν τις απόψεις τους. Ο/η εκπαιδευτικός τις συγκεντρώνει, τις κατηγοριοποιεί κι έτσι αναδεικνύονται τα σημαντικότερα μοντέλα των εναλλακτικών ιδεών των παιδιών. Οι μαθητές/τριες ενθαρρύνονται να ελέγξουν τις ιδέες τους με σκοπό να τις επεκτείνουν, να αναπτύξουν νέες ιδέες ή να αντικαταστήσουν τις προϋπάρχουσες με άλλες. Σκοπός του εκπαιδευτικού είναι οι αλλαγές αυτές στις ιδέες των μαθητών/τριών να γίνουν αυθόρμητα και να προσεγγίζουν το επιστημονικό πρότυπο.

Στη συνέχεια καλούμε τους μαθητές/τριες να εκτελέσουν το υποθετικό πείραμα της προηγούμενης φάσης και να αιτιολογήσουν τα πιθανά αποτελέσματα. Εάν επαληθευθούν οι προβλέψεις τους μετά από το πείραμα, τότε έχουμε επαλήθευση της προϋπάρχουσας γνώσης. Εάν όχι, τότε έχουμε γνωστική σύγκρουση. Αφού προκύψει η γνωστική σύγκρουση, τότε και μόνο τότε θα τους οδηγήσουμε στην επιστημονική γνώση όσον αφορά στην σύγχρονη Κοσμολογία και τις βασικές αρχές της. Οι βασικές έννοιες στις οποίες θα εισαχθούν οι μαθητές/τριες είναι αυτές της επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος, του Νόμου του Hubble, των μοντέλων εξέλιξης του Σύμπαντος, σύμφωνα με την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Μετά την υλοποίηση των παρακάτω πειραμάτων και δράσεων οι μαθητές/τριες με τη βοήθεια του/της εκπαιδευτικού θα πρέπει να αναγνωρίσουν τη σημασία όσων ανακάλυψαν και να συγκρίνουν τις αρχικές ιδέες τους με τις νέες απόψεις. Έτσι θα συνειδητοποιήσουν την διαφορά της προηγούμενης με την τωρινή κατάσταση, καθώς και την πορεία που ακολούθησαν μέχρι να φτάσουν στην αλλαγή ιδεών (μεταγνώση).

Πειράματα και προσομοιώσεις

Τα πειράματα και οι προσομοιώσεις που παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα είναι:
α. Τι είναι η Μεγάλη Έκρηξη; (προσομοίωση)
β. Ο Νόμος του Hubble με μπαλόνι (προσομοίωση)

γ. Μοντέλα Εξέλιξης του Σύμπαντος (προσομοίωση)
δ. Το κοσμικό χωνί (προσομοίωση)
ε. Το ηλεκτροσκόπιο και η Κοσμική Ακτινοβολία (πείραμα)

Σκόπιμα έχουν επιλεγεί πολύ απλά πειράματα με φτηνά και εύκολα στην εύρεσή τους υλικά. Στόχος είναι να γίνει το πείραμα από κάθε μαθητή/τρια μέσα στην τάξη.

Η σύγχρονη Αστροφυσική και Κοσμολογία στηρίζεται στη θεωρία της βαρύτητας του Einstein, δηλαδή στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης αποτελεί λύση των εξισώσεων της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας.

Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα

Φυσική Ε΄Δημοτικού: Δυνάμεις
Φυσική Ε' Δημοτικού: Ηλεκτρισμός, ηλεκτρικά κυκλώματα

Σύνδεση με το CERN

Η μελέτη της βαρύτητας και της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην Αστρονομία και την Αστροφυσική. Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης προκύπτει από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας. Στο CERN αναπαράγονται συνθήκες όμοιες με αυτές που επικρατούσαν στα πρώτα στάδια εξέλιξης του Σύμπαντος.

1ο, 2ο & 3ο Πείραμα
Τί είναι η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang); Ο Νόμος του Hubble και τα μοντέλα εξέλιξης του Σύμπαντος

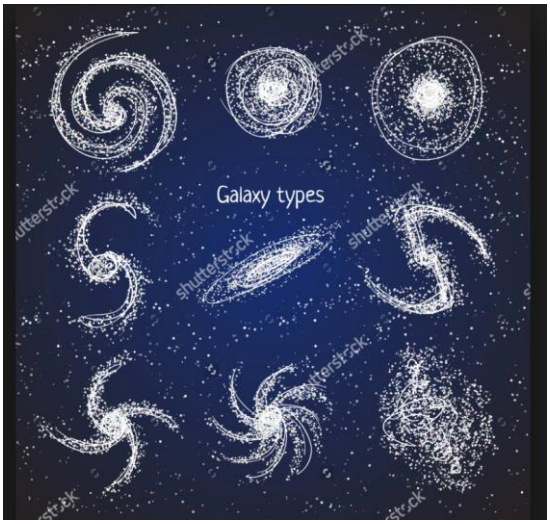
Η απομάκρυνση των γαλαξιών σε ένα χώρο δύο διαστάσεων.

Υλικά

Μπαλόνια
Αυτοκόλλητα
Μαρκαδόροι

Βήματα υλοποίησης

1. Ζωγραφίζουμε πάνω στα αυτοκόλλητα γαλαξίες διαφόρων σχημάτων. Καλύτερα να μην ζωγραφίσουμε πάνω στο μπαλόνι γιατί δεν πρέπει να μεταβάλλεται το σχήμα των γαλαξιών.



2. Σε ένα μισοφουσκωμένο μπαλόνι κολλάμε πάνω τους γαλαξίες.

3. Φουσκώνουμε όλο το μπαλόνι και εστιάζουμε την προσοχή μας σε ένα γαλαξία. Τί παρατηρούμε;

_____
_____
_____
_____

4. **Ας φανταστούμε όντα δύο διαστάσεων που βρίσκονται πάνω στο μπαλόνι. Ας φανταστούμε 2 μυρμήγκια.**

α. Πώς θα αντιλαμβάνονταν την απομάκρυνση των γαλαξιών;

_____
_____
_____
_____

β. Τί θα γίνει αν χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά μπαλόνια;

_____
_____
_____
_____

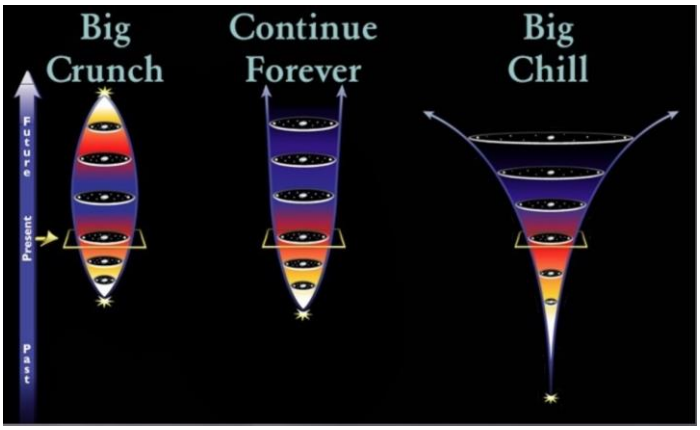
5. Τι συμπέρασμα βγάζουμε για το μπαλόνι από την κίνηση των γαλαξιών;

_____
_____
_____
_____

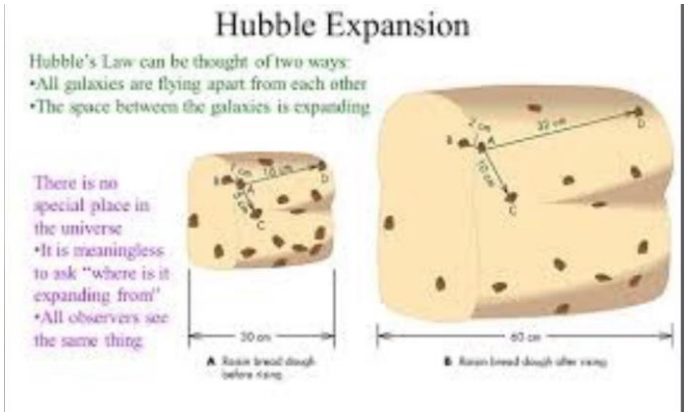
6. Τι συμπέρασμα έβγαλε ο Hubble όταν παρατήρησε ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς;

_____
_____
_____
_____

7. **Φουσκώνοντας και ξεφουσκώνοντας το μπαλόνι υποθέστε ποια είναι τα πιθανά σενάρια εξέλιξης τους Σύμπαντος και σχεδιάστε τα.**



Εφαρμογή στις 3 διαστάσεις:



Πώς μπορούμε να υπολογίσουμε απλά τον νόμο του Hubble;

- Μετράμε την απόσταση ανάμεσα σε 2 σταφίδες.
- Μετά από 2 λεπτά υπολογίζουμε τη νέα απόσταση.
- Υπολογίζουμε την ταχύτητα με την οποία απομακρύνονται οι σταφίδες.

Και λίγη περισσότερη θεωρία…

- Η κοσμολογία έχει, όπως και η σωματιδιακή φυσική, το «Καθιερωμένο Πρότυπό» της.
- Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε από τις αρχές του 20ου αιώνα μετά την ανάπτυξη της Γενικής θεωρίας τις Σχετικότητας (1915).
- Η θεωρία του Big Bang δεν είναι μια ακόμη θεωρία που προσπαθεί να εξηγήσει το σύμπαν και την εξέλιξη του, είναι «Η θεωρία».
- Είναι ενδιαφέρον ότι η θεωρία του Big Bang δεν ήταν πάντα «της μόδας».
- Όταν ο Einstein διατύπωσε τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας, είδε ότι το Σύμπαν δεν μπορεί να είναι στατικό, όπως ήταν η επικρατούσα θεωρία εκείνη την εποχή.
- Έβαλε, λοιπόν, «με το χέρι» μια ακόμη παράμετρο στην θεωρία του, η οποία έκανε το Σύμπαν «με το ζόρι» στατικό.
- Αργότερα παραδέχτηκε ότι αυτό ήταν το μεγαλύτερο λάθος της καριέρας του.
- Η θεωρία του Big Bang δεν ασχολείται -ούτε την ενδιαφέρει- τι συνέβη πριν την Μεγάλη Έκρηξη ή τι την προκάλεσε. Ασχολείται μόνο με το τι συνέβη *μετά* τη Μεγάλη Έκρηξη.
- Η θεωρία άρχισε να καθιερώνεται μετά της μετρήσεις του Hubble και εδραιώθηκε μετά την ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου.
- Η θεωρία έχει αποδειχθεί πειραματικά.
- Στην επιστήμη υπάρχει μόνο παρατήρηση, και το πείραμα που επιβεβαιώνει ή όχι την θεωρία.
- Τα ισχυρότερα επιχειρήματα υπέρ της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης είναι:
    - Οι παρατηρήσεις των αστρονόμων που αποδεικνύουν τη διαστολή του σύμπαντος. Ο Edwin Hubble ήταν ο πρωτοπόρος.

- Η ανίχνευση της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου, η οποία για πρώτη φορά πραγματοποιήθηκε από τους Penzias και Wilson.
- Ένα τρίτο ισχυρό επιχείρημα, που δεν αναφέρεται συχνά, είναι το γεγονός ότι η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης αναπαράγει με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρούμενες αφθονίες των ελαφρών στοιχείων ^{4}He, ^{2}H, ^{3}He και ^{7}Li.

Λέξεις κλειδιά

Νόμος Hubble: Η ταχύτητα απομάκρυνσης ενός γαλαξία από εμάς είναι ανάλογη της απόστασής του.

Ο νόμος του Hubble εκφράζεται από την εξής σχέση:

$$v=H_0 r$$

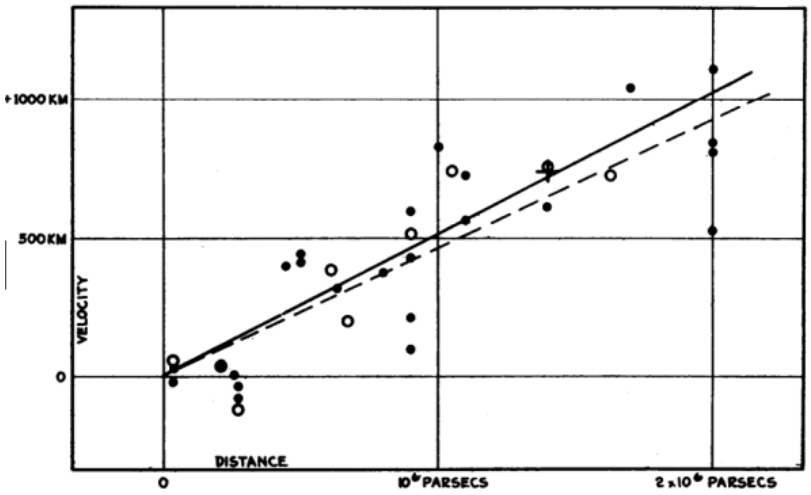


FIGURE 1
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

όπου

- v: η ταχύτητα διαστολής του σύμπαντος
- H_0: η **σταθερά του Hubble** (Hubble's constant), με τιμή μεταξύ 50-100 km/sec ανά Mpc
- r: η απόσταση του παρατηρητή από τον γαλαξία.

Χαρακτηριστικά & σύνδεση με το Αναλυτικό Πρόγραμμα

Διάρκεια πειράματος: 15 λεπτά
Βαθμός δυσκολίας: 1/5
Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα: Φυσική Ε' Δημοτικού: Μηχανική, Ταχύτητα

Πηγές

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά
https://tinanantsou.blogspot.gr

4ο Πείραμα (Κατασκευή)
Το κοσμικό χωνί

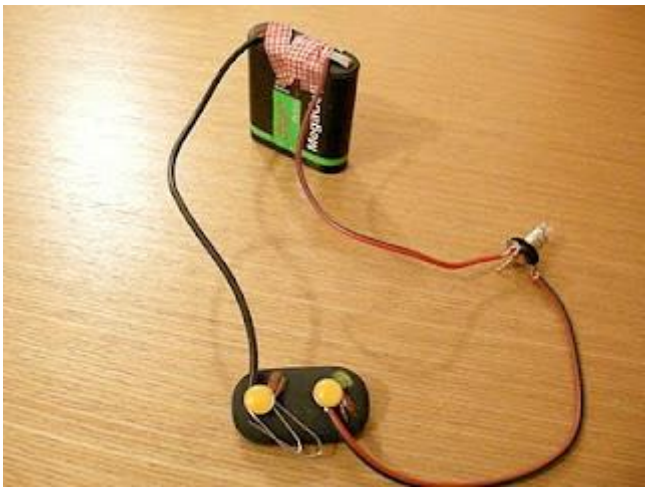
Στόχος μας είναι να γίνει απεικόνιση της εξέλιξης του Σύμπαντος, σύμφωνα με τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

Υλικά

Χαρτόνι (μαύρο)
Μαρκαδόροι (πολύχρωμοι)
Ψαλίδι
1 μπαταρία 4,5 Volt
Λαμπάκι (με τη βάση του)
Καλώδιο
Μονωτική ταινία (μαύρη)
Κόλλα
Γόμα
Συνδετήρες
Πινέζες

Βήματα υλοποίησης

1. Φτιάχνουμε ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα με την μπαταρία και το λαμπάκι, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



2. Φτιάχνουμε ένα χωνί με το μαύρο χαρτόνι.

3. Σχεδιάζουμε πάνω στο χαρτόνι τις φάσεις εξέλιξης του Σύμπαντος, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.

4. Τοποθετούμε το ηλεκτρικό κύκλωμα στη μύτη του κώνου και το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης είναι έτοιμο!

Λέξεις κλειδιά

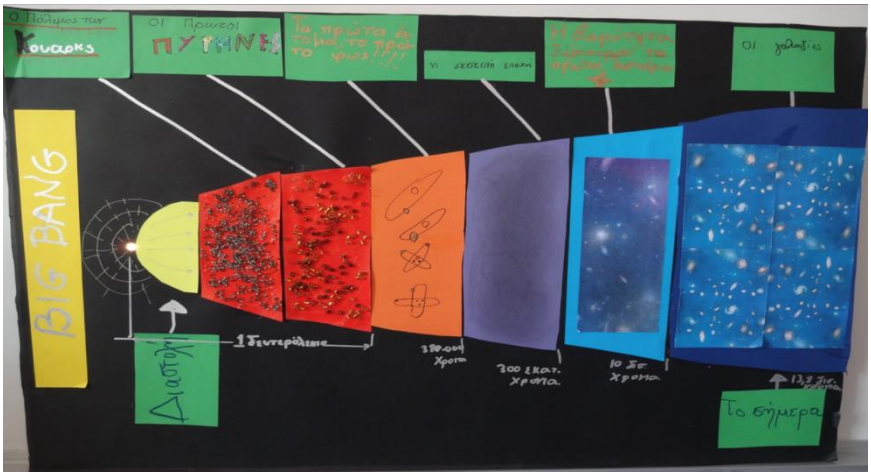
Κοσμολογία: Κλάδος της Φυσικής που μελετάει την εξέλιξη του Σύμπαντος.
Big Bang: Το καθιερωμένο κοσμολογικό πρότυπο. Προκύπτει από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Albert Einstein.

Χαρακτηριστικά & σύνδεση με το Αναλυτικό Πρόγραμμα

Διάρκεια πειράματος: 30 λεπτά
Βαθμός δυσκολίας: 1/5
Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα: Φυσική Ε' Δημοτικού: Ηλεκτρισμός, ηλεκτρικά κυκλώματα

Πηγές

Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά
https://tinanantsou.blogspot.gr/p/e.html



5ο Πείραμα
Το ηλεκτροσκόπιο και η κοσμική ακτινοβολία

Υλικά

1 γυάλινο μπουκάλι
Σύρμα
Αλουμινόχαρτο
1 μπαλόνι
Χαρτόνι

Βήματα υλοποίησης

1. Κόβουμε δύο λωρίδες αλουμινόχαρτου ίδιων διαστάσεων, ώστε να χωρούν άνετα μέσα από το στόμιο του μπουκαλιού.

2. Κάνουμε τρύπες και περνάμε ένα σύρμα μήκους όσο το ύψος του μπουκαλιού μας.

3. Κάνουμε μία τρύπα στο καπάκι του μπουκαλιού ή σε ένα χαρτόνι και περνάμε μέσα το σύρμα με τα αλουμινόχαρτα όπως φαίνεται στην φωτογραφία.

4. Στερεώνουμε το χαρτόνι έτσι ώστε τα αλουμινόχαρτα να κρέμονται στο εσωτερικό του μπουκαλιού και να μην ακουμπούν στα τοιχώματά του.

5. Τρίβουμε ένα μπαλόνι στα μαλλιά μας και το πλησιάζουμε στο άκρο του σύρματος που είναι εκτός του μπουκαλιού μας. Τί παρατηρούμε;

_____
_____
_____
_____

6. Γιατί απωθούνται τα φύλλα αλουμινόχαρτου;

_____
_____
_____
_____

Σημεία Προσοχής

α. Τα αλουμινόχαρτα δεν πρέπει να ακουμπούν στο εσωτερικό του μπουκαλιού.
β. Καλύτερα να μην έχει υγρασία την ημέρα που θα γίνει το πείραμα.
γ. Τα μαλλιά πρέπει να είναι φρεσκολουσμένα!

Και λίγη περισσότερη ιστορία της επιστήμης...

Ηλεκτροσκόπια

Ένα φαινόμενο που είχε παρατηρηθεί από τους φυσικούς του 18ου αιώνα ήταν η αυθόρμητη εκφόρτιση των **ηλεκτροσκοπίων**, παρά την ενίσχυση της μόνωσής τους. Αναζήτηση για μια ερμηνεία του φαινομένου οδήγησε στην ανακάλυψη των κοσμικών ακτίνων.
Ο φυσικός **Victor Hess** πραγματοποίησε πειράματα με ηλεκτροσκόπιο χρησιμοποιώντας αερόστατο. Σε μετρήσεις που έκανε το 1911 σε υψόμετρο 1.100 μέτρων δεν παρατήρησε καμία ουσιαστική αλλαγή στην ποσότητα της ακτινοβολίας σε σχέση με το έδαφος.
Στις 7 Αυγούστου του 1912 ο Hess έκανε μετρήσεις σε ύψος 5300 μέτρων κατά την διάρκεια μιας σχεδόν ολικής έκλειψης του ηλίου. Επειδή ο ιονισμός της ατμόσφαιρας δεν μειώθηκε κατά τη διάρκεια της έκλειψης, υποστήριξε ότι η πηγή της ακτινοβολίας δεν ήταν ο ήλιος αλλά το απώτερο διάστημα. Ψηλά στην ατμόσφαιρα της Γης ο Hess είχε ανακαλύψει μια φυσική πηγή σωματιδίων υψηλής ενέργειας: τις κοσμικές ακτίνες. Και γι' αυτό βραβεύθηκε με το **Νόμπελ Φυσικής το 1936**.

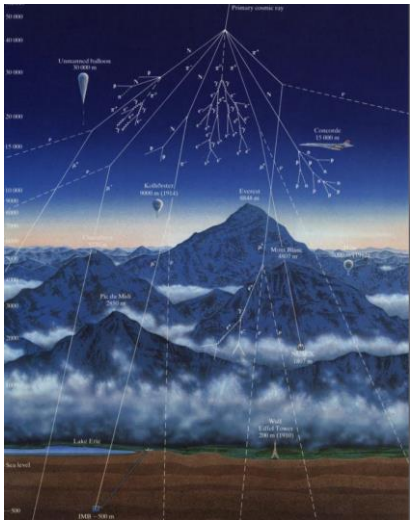
Κοσμικές ακτίνες

Οι κοσμικές ακτίνες ή κοσμική ακτινοβολία είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών, τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην ατμόσφαιρα της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα. Μία από τις κύριες πηγές, ίσως και μοναδική, των κοσμικών ακτίνων είναι οι υπερκαινοφανείς αστέρες, οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την έκκληση τεραστίων ποσοτήτων ενεργειών.
Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, δηλαδή, θετικά ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια, με αναλογία 87% πρωτόνια, 12% σωμάτια άλφα

(πυρήνες ηλίου) και λίγους βαρύτερους πυρήνες (οι σχετικές περιεκτικότητες είναι συγκρίσιμες με τις ηλιακές). Ωστόσο, ένα μικρό ποσοστό των κοσμικών ακτίνων είναι φωτόνια) πολύ υψηλών ενεργειών.
Εκτός από τα τρία θεμελιώδη σωμάτια της ύλης, τα υπόλοιπα ανακαλύφθηκαν από τη μελέτη της κοσμικής ακτινοβολίας μέχρι την κατασκευή των επιταχυντών που επέτρεψαν την παραγωγή ακόμη περισσότερων σωματιδίων.

Διάρκεια πειράματος : 15 λεπτά. Βαθμός δυσκολίας : 1/5

Εφαρμογή στο Αναλυτικό Πρόγραμμα:
Φυσική Ε' Δημοτικού: Ηλεκτρισμός Ηλεκτροσκόπιο Τετράδιο εργασιών



Πηγή: https://tinanantsou.blogspot.gr

Λεξιλόγιο

Κοσμολογία: Κλάδος της Φυσικής που μελετάει την εξέλιξη του Σύμπαντος

Big Bang : Το καθιερωμένο κοσμολογικό πρότυπο. Προκύπτει από την Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Albert Einstein.
Ηλεκτροσκόπιο: Όργανο ανίχνευσης των ηλεκτρικών φορτίων.
Γενική Θεωρία της Σχετικότητας: Η σύγχρονη θεωρία της βαρύτητας του Albert Einstein.
Κοσμολογική αρχή: Το Σύμπαν πρέπει να είναι ομοιόμορφο παντού.

Αναστοχασμός

Τί σας άρεσε;

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Τί σας δυσκόλεψε;

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Τί νομίζετε ότι θα απαντούσαν τα παιδιά στις παρακάτω ερωτήσεις;
α. πώς δημιουργήθηκε το Σύμπαν;
β. πώς θα εξελιχθεί το Σύμπαν;

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Ποιες εναλλακτικές δραστηριότητες και διδακτικές στρατηγικές θα προτείνατε προκειμένου οι μαθητές να κατακτήσουν τις έννοιες αυτής της ενότητας;

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Σύνδεση και χρησιμότητα γνώσεων με την καθημερινότητα των μαθητών

Πώς σας βοήθησαν οι γνώσεις στην καθημερινή σας ζωή;

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Βιβλιογραφία και πηγές για περαιτέρω μελέτη

Παρουσιάσεις των Δρ.Τσεσμελή, Δρ. Γαζή, Δρ. Storr, Δρ. Αλεξόπουλου (http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=269114).
Π. Αναστασόπουλος, LHC στο CERN: Η μεγαλύτερη μηχανή του κόσμου.
R.M. Barnett, H. Murphy, H.R. Quinn, Η γοητεία των παράξενων κουάρκ, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2006.
P. Hewitt, Οι έννοιες της Φυσικής, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2004.
Π. Καντής, Κοσμολογία, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2008.
Κ. Βαγιονάκης, Σωματιδιακή Φυσική. Μια εισαγωγή στη Βασική Δομή της Ύλης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2013.
A.R. Liddle, Introduction to Cosmology, John Wiley & Sons, Chichester, UK 2003.
S. Weinberg, Gravitation and Cosmology, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1972.
S. Dodelson, Modern Cosmology, Academic Press, Amsterdam, Netherlands, 2003.
N. Ardley, 101 Great Science Experiments, Dorling, Kindersley, London, 1993.
Ι. Γραμματικάκης, Εισαγωγή στη Σύγχρονη Φυσική, Εκδόσεις Δημόπουλου, 2006.
Κ. Γκαλφάρ, Το Σύμπαν στα Χέρια σας, Καλέντης, 2016.
Ι. Sample, Higgs, το Σωματίδιο του Θεού, Τραυλός, 2010.
Λ. Ντε Βρις, Τα βιβλία των πειραμάτων, Καστανιώτης, 1987.
Πειράματα Φυσικής με Απλά Υλικά, https://tinanantsou.blogspot.gr
http://www.physics.ntua.gr/GREECE_AND_CERN/index.html
http://hep.physics.uoc.gr/DOC/OUTREACH/MICROCOSM/DETECTORS/whatiscern.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
https://www.youtube.com/user/PHYSICSALL?feature=watch
ΕΚΦΕ Δημόκριτος παρουσίαση CERN
http://www.astro.auth.gr/documents/diplomas/THESIS%20-%20MARIA%20PETROU.pdf

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την πειραματική φυσικό Δρ. Ανδρομάχη Τσίρου (CERN), τον καθηγητή Γεώργιο Καλκάνη (ΕΚΠΑ) και τον καθηγητή Διονύσιο Σιμόπουλο (Επίτιμος Διευθυντής του Ευγενιδείου Πλανηταρίου), για την πολύτιμη βοήθειά τους και τις επιστημονικές διορθώσεις τους. Επίσης, ευχαριστώ τον Δρ. Απόστολο Παρασκευά (Σχολικός Σύμβουλος ΠΕ 70), την κα. Μίννη Καρρά (Εκπαιδευτικός στη Σχολή Χιλλ), τον Δρ. Σαράντη Χέλμη (Εκπαιδευτικός), και την κα. Χρύσα Πιπιλή (Εκπαιδευτικός), για τις παιδαγωγικές διορθώσεις και πολύ χρήσιμες παρατηρήσεις τους. Εάν υπάρχουν οποιαδήποτε λάθη, είναι της συγγραφέως.

Φωτογραφίες

Οι φωτογραφίες των πειραμάτων έχουν τραβηχθεί στα πλαίσια του μαθήματος Φυσικής και των πειραμάτων στην Σχολή Χιλλ.