

Από τον Αρίσταρχο των Φωτονίων στην Αστρονομία των Νετρίνων

Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης *
Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών

Η επί αιώνες παρατήρηση του ουρανού, αλλά και η πρώτη διατύπωση ενός σαφούς και –όπως απεδείχθη– ακριβούς επιστημονικού προτύπου του από τον Αρίσταρχο, έγινε –και εξακολουθεί να γίνεται– με την ανίχνευση των (ορατών) φωτονίων / (ορατών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία εκπέμπονται ή ανακλώνται από τα ουράνια σώματα. Η παρατήρηση αυτή συμπληρώνεται στην εποχή μας και –ίσως– θα αποτελέσει στο μέλλον την πλέον αποτελεσματική πρακτική για την έρευνα / απάντηση των κρίσιμων ερωτημάτων της Αστρονομίας / Κοσμολογίας, αλλά και της Φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων, με την ανίχνευση των νετρίνων της κοσμικής ακτινοβολίας. Η μελέτη αυτή του Σύμπαντος και με τις δύο τεχνικές / πρακτικές, εκτός του επιστημονικού και φιλοσοφικού ενδιαφέροντος, προκαλεί και έντονο εκπαιδευτικό ενδιαφέρον και οδηγεί στη δημιουργία σχετικού εκπαιδευτικού υλικού / λογισμικού και στην εφαρμογή σχετικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων.

Ο Αρίσταρχος των Φωτονίων

Αν και δεν είναι δυνατό να καθορισθεί με ακρίβεια πότε και πού για πρώτη φορά ο ουρανός και τα «επ' αυτού» ή «εν αυτό» φαινόμενα και ουράνια σώματα ήλκεισαν την προσοχή του ανθρώπου και –κυρίως– πότε και πού η παρατήρησής τους τον οδήγησε στη συστηματική καταγραφή τους και στην προσπάθεια «μοντελοποίησης» και εκμετάλλευσής τους για την εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών του, αλλά και της φιλογνωσίας του, η πρώτη σαφής και απερίφραστη διατύπωση ενός φυσικού μοντέλου (ή προτύπου), του «εγγύς» ουρανού το οποίο έχει υιοθετηθεί, επιβεβαιωθεί και χρησιμοποιείται από τη σύγχρονη επιστήμη / αστρονομία, γνωστού ως «ηλιοκεντρικού προτύπου» έγινε από τον Αρίσταρχο το Σάμιο (περί του 280 π.Χ.).

(Και) ο Αρίσταρχος, όπως και οι άλλοι παρατηρητές / ερευνητές έως τότε –αλλά και για μερικούς ακόμη αιώνες–, έκαναν τις παρατηρήσεις

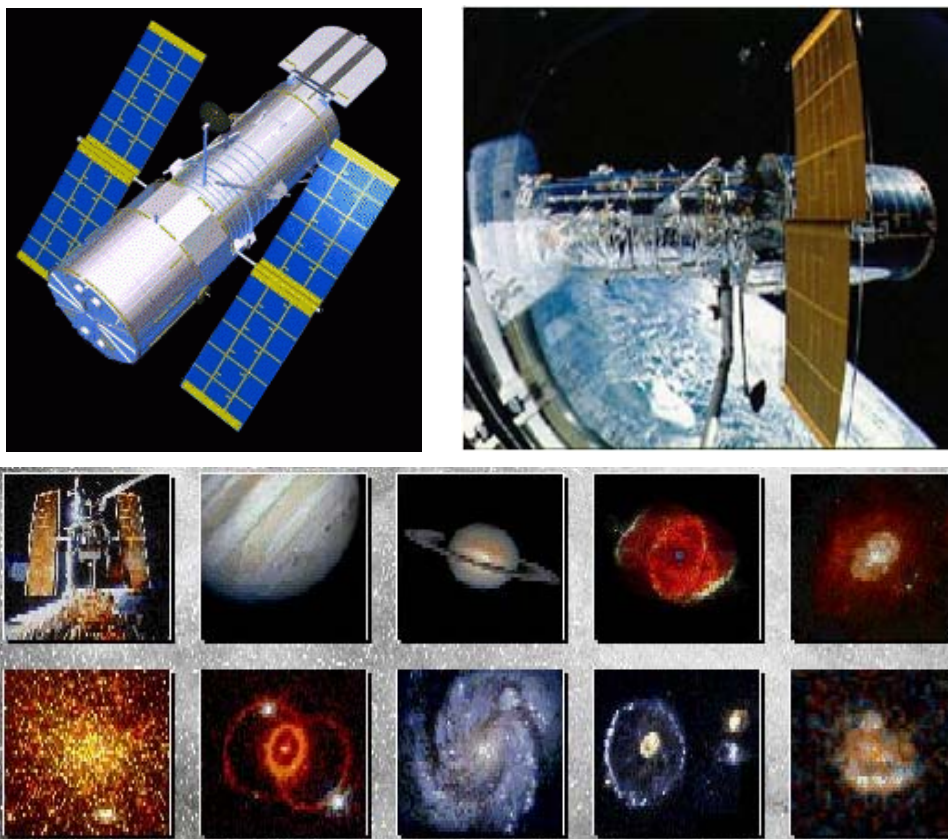
βλέποντας με γυμνό οφθαλμό το φως των ουρανίων σωμάτων ή, ακριβέστερα, ανίχνευαν με γυμνό οφθαλμό –χωρίς τη βοήθεια οργάνων– τα φωτόνια / ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία εκπέμπουν ή ανακλούν (πρωτογενώς ή δευτερογενώς, κατά περίπτωση) τα –ορατά και μόνον– ουράνια σώματα. Οι παρατηρήσεις αυτών των φωτονίων από τον Αρίσταρχο θα ήταν δυνατό να κριθούν και να χαρακτηρισθούν –εκ των υστέρων βέβαια– ως οι βέλτιστες («άριστες») έως τότε –αλλά και για πολλούς ακόμη αιώνες–, ώστε να δικαιολογηθεί και η παραπομπή / συσχέτιση με το πρώτο συνθετικό του ονόματός τους. Πράγματι, με απόλυτη σαφήνεια, σύμφωνα με τη μαρτυρία του Αρχιμήδη, «.. ο Αρίσταρχος .. ο Σάμιος υποτίθεται γαρ τα μεν απλά νέα των άστρων και το Άλιον (Ήλιον) μένει ακίνητον, ταν δε δαν περιφέρεσθαι περί τον Άλιον (Ήλιον) κατά κύκλου περιφέρειαν, ος έστις εν μέσω τω δρόμω κείμενος». Μια υπόθεση την οποία ενωρίτερα οι Πυθαγόρειοι διατύπωσαν αλληγορικά «Πυθαγόρειοι .. επί μεν γαρ του μέσου πυρ (Εστία, Ήλιος ;) είναι φασι, την δε Γην, εν των άστρων ούσαν, κύκλω φερομένην περί το μέσον» (κατά τον Αριστοτέλη) και ο Πλάτων «μεταμεληθείς» edίδαξε συγκεκριμένα «.. ου προσήκουσαν αποδόντι τη Γη την μέσην χώραν» (κατά τον Πλούταρχο). Μια υπόθεση η οποία παρέμεινε ως υπόθεση επί αιώνες, στη λήθη από τους πολλούς ή και με το χαρακτηρισμό των διαφόρων εκφάνσεών της ακόμη και ως «αιρετικών» για να γίνει αποδεκτή ως θεωρία μετά την ανάσυσσή της από τον Κοπέρνικο (μόλις τον 16^ο μΧ αιώνα) και την επιβεβαίωσή της με τις παρατηρήσεις και πειραματικές μετρήσεις του Γαλιλαίου (στις αρχές του 17^{ου} μΧ αιώνα).

Τότε χρησιμοποιήθηκαν οπτικά όργανα, τα οποία ενίσχυσαν την εικόνα του οφθαλμού, πάντα όμως (και για μερικούς ακόμη αιώνες) την πληροφορία από το διάστημα μετέφεραν τα (ορατά) φωτόνια / (ορατά) ηλεκτρο-μαγνητικά κύματα, με μόνη εξέλιξη την καταπληκτική μεγέθυνση των εικόνων με την κατασκευή και χρήση τηλεσκοπίων αλλά και την ανάλυση του φωτός με την ανακάλυψη και χρήση του φασματογράφου.

Οι εγγενείς δυσκολίες της ανίχνευσης των (ορατών) φωτονίων / (ορατών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, οι οποίες οφείλονται στην απόρροφσή τους από την ατμόσφαιρα και στο θερμικό «θόρυβο», τον οποίο εισάγει η ατμόσφαιρα στις μετρήσεις των επιγείων αστρονομικών παρατηρητηρίων, αλλά και τους περιορισμούς από τα υλικά κατασκευής των οπτικών φακών, ελαχιστοποιήθηκαν από αστρονομικά παρατηρητήρια εκτός της ατμόσφαιρας της γης¹ ή/και με την ανίχνευση των (μη ορατών)

¹ http://astrophysics.weber.edu/Whatsnew_telescopes.html

φωτονίων / (μη ορατών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (στις περιοχές του ηλεκτρο-μαγνητικού φάσματος πέραν του ιώδους² και του ερυθρού³ ή στην περιοχή των μικροκυμάτων⁴. Ερωτήματα της αστρονομίας, όπως αυτά τα οποία αφορούν –κυρίως– στο πρώιμο και το μελλοντικό αλλά και στο απώτερο σύμπαν, αναμένουν απαντήσεις.



*Εικόνες του τηλεσκοπίου Hubble
και φωτογραφίες οι οποίες έχουν ληφθεί από ίδιο τηλεσκόπιο*

² Hubble Telescope:

<http://pao.gs.fc.nasa.gov/gsf/educ/hubblesm2/hubblelinks.html>

<http://opposite.stsci.edu/pubinfo/pictures.html>

<http://www.stsci.edu>

³ New Generation Space Telescope (2007 ή 2008):

<http://ngst.gsfc.nasa.gov>

⁴ Cosmic Background Explorer / Satellite (1992):

<http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/cobehome.html>

Όμως οι προσδοκίες για αυτές τις απαντήσεις είναι περιορισμένες με την αστρονομία των φωτονίων / ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η αστρονομία των (ορατών ή μη) φωτονίων / ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ίσως (;) έχει πλησιάσει τα όριά της.

Η Αστρονομία των Νετρίνων

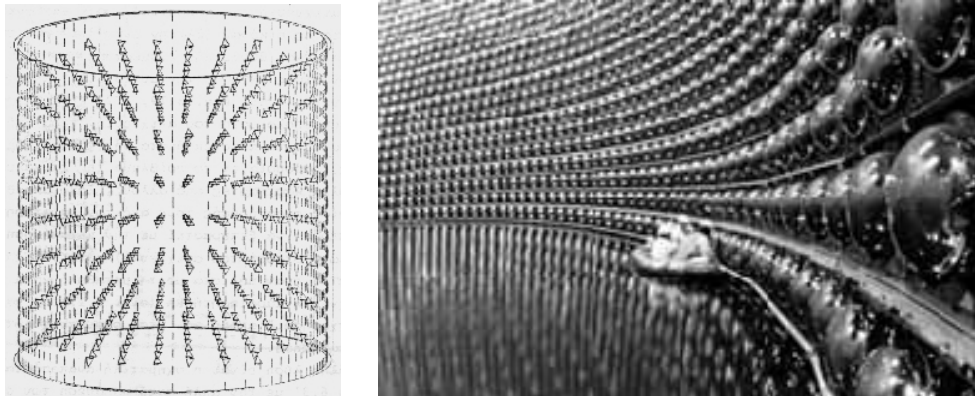
Τα κρίσιμα ερωτήματα της Αστρονομίας / Κοσμολογίας, αλλά και μερικά ερωτήματα της Φυσικής στοιχειωδών σωματιδίων, ελπίζεται –ή αναμένεται– να απαντηθούν (και) με την ανίχνευση / μελέτη των νετρίνων της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα νετρίνα (στοιχειώδη σωματίδια τα οποία έχουν μηδενική ή ελάχιστη μάζα και μηδενικό ηλεκτρικό φορτίο ώστε να είναι «αδιάφορα» στις ηλεκτρο(μαγνητικές)ασθενείς καθώς και στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις) είναι συστατικά σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας. Τα νετρίνα έχουν μεγάλη εμβέλεια και σχεδόν μηδενική αλληλεπίδραση / απορρόφηση με / από την ύλη (έτσι ώστε σπάνια να αλληλεπιδρούν με την ύλη της Γης όταν τη διαπερνούν) και –γι' αυτό– ανιχνεύονται δύσκολα, αλλά και μεταφέρουν πολύτιμη πληροφορία από τις εσχατιές –και από το παρελθόν– του σύμπαντος.

Με την ανίχνευση και τη μελέτη τους είναι δυνατό να αντλήσουμε αυτή την πληροφορία και να απαντήσουμε σε ερωτήματα όπως:

- ποιά είναι η ηλικία του σύμπαντος ;
- ποιά είναι η εξέλιξη του σύμπαντος, από τη στιγμή της δημιουργίας του έως σήμερα ;
- ποιός είναι ο ακριβής ρυθμός διαστολής του σύμπαντος ;
- ποιοί είναι οι κύκλοι ζωής της ύλης του σύμπαντος ;
- ποιες είναι οι διακυμάνσεις της πυκνότητας του σύμπαντος ;
- πού οφείλεται το μεγάλο (περίπου 90%) έλλειμμα μεταξύ της μετρούμενης και της θεωρητικά υπολογιζόμενης μάζας του σύμπαντος ;
- ποιά είναι η σύσταση της ελλείπουσας / «σκοτεινής» μάζας ;
- ποιά θα είναι η μοίρα (το τέλος ;) του σύμπαντος (συνεχής διαστολή, κατάρρευση ή διάσπαση των πρωτονίων.. ;) ;
- ...

Ένα πλήθος ερευνητικών εργαστηρίων / παρατηρητηρίων / πειραμάτων έχουν σχεδιασθεί, κατασκευασθεί (από το 1980) –ή κατασκευάζονται– και λειτουργούν –ή θα λειτουργήσουν σύντομα– στα πλαίσια της προσπάθειας ανίχνευσης διασπάσεων πρωτονίου ή/και αντιδράσεων νετρίνου, αλλά και της έρευνας του σύμπαντος μέσω των νετρίνων, όπως και των ιδιοτήτων των ίδιων των νετρίνων. Τα πειράματα αυτά είναι υπόγεια ή υποθαλάσσια, σε μεγάλο βάθος, για την αποφυγή του «θορύβου» από τα άλλα (εκτός των

νετρίνων) κοσμικά σωματίδια και ανιχνεύουν τις (σπάνιες) αντιδράσεις των νετρίνων με την ύλη, μέσω της ακτινοβολίας πέδης (/ Cherenkov) και τρισδιάστατου ή δισδιάστατου πλέγματος φωτοπολλαπλασιαστών^{5, 6, 7, 8, 9}.



Η 3-διάστατη και 2-διάστατη, αντίστοιχα, διάταξη των ανιχνευτών των πειραματικών εργαστηρίων / παρατηρηρίων Harvard-Perdue-Wisconsin και Super-Kamiokande

Τα πρώτα αποτελέσματα είναι ενδεικτικά αλλά όχι –ακόμη– αποδεικτικά / επιβεβαιωτικά των φυσικών προτύπων (ή μοντέλων), τα οποία έχουν διατυπωθεί ως υποθέσεις και αφορούν τόσο στα ανοιχτά ερωτήματα για το σύμπαν, όσο και για τις άγνωστες ιδιότητες των

⁵ Harvard – Perdue – Wisconsin Detector / Experiment:

Joutras, D., Cline, D., Kalkanis, G., Loveless, R., March, R., Matthews, J., Morse, A., Aprile, A., Giboni, K., Phillips, T., Rubbia, C., Winn, D., Worstell, W., Gaidos, J., Mc Henry, R., Negret, J., Palfrey, T., Sembroski, G., Wilson, C., *A search for neutrino bursts from stellar collapse*, Astrophysical Letters and Communications, Vol. 27, 1998, pp.257-263

⁶ Super-Kamiokande Detector:

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/>
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/sk/>

⁷ IMB Experiment:

http://www.phys.hawaii.edu/~jgl/post/imb_upmu_osc.html

⁸ Soudan 2 Experiment:

http://www.icrc1999.utah.edu/~icrc1999/root/vol2/h4_1_01.pdf
<http://www2.physics.ox.ac.uk/Neutrino/Stassinakis/soudan2.pdf>

⁹ NESTOR (Neutrino Extended Submarine Telescope with Oceanographic Research):

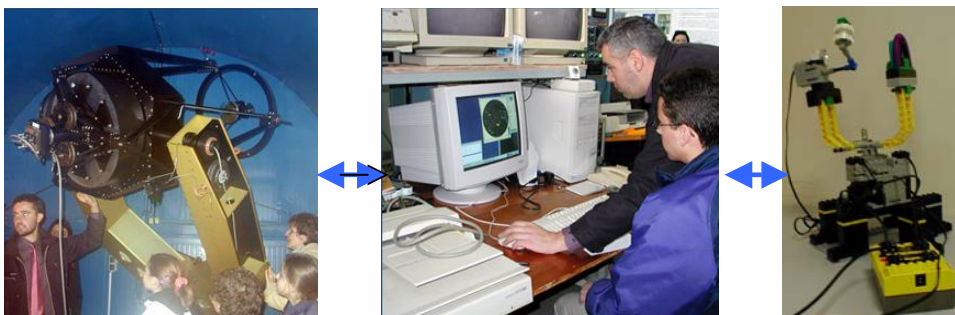
<http://documents.cern.ch/cgi-bin/setlink?base=greybook&categ=abstracts&id=RE9>
<http://www.physics4u.gr/news/2003/scnews928.html>

νετρίνων^{10, 11}. Οι προοπτικές, όμως, είναι ανοιχτές...

Η Εκπαίδευση στην Αστρονομία

Η μελέτη του σύμπαντος και με τις δύο τεχνικές / πρακτικές (με ανίχνευση φωτονίων / ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή νετρίνων), εκτός του μεγάλου επιστημονικού και φιλοσοφικού ενδιαφέροντος, προκαλεί και έντονο εκπαιδευτικό ενδιαφέρον και οδηγεί στη σχεδίαση και δημιουργία σχετικού εκπαιδευτικού υλικού / λογισμικού, αλλά και σχετικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων.

Ενδεικτική είναι η εγκατάσταση / λειτουργία εκπαιδευτικού τηλεσκοπίου διασυνδεδεμένου μέσω του διαδικτύου με όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και σχολεία (της τριτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης), με δυνατότητα τηλεχειρισμού (του τηλεσκοπίου και προτύπου ομοιώματός του υπό κλίμακα), λήψης αστρονομικών μετρήσεων και φωτογραφιών (μέσω της ανίχνευσης ορατών φωτονίων), επεξεργασίας τους και εκτέλεσης ασκήσεων¹².



Το εκπαιδευτικό τηλεσκόπιο Εύδοξος, το πρότυπο υπό κλίμακα ομοίωμά του

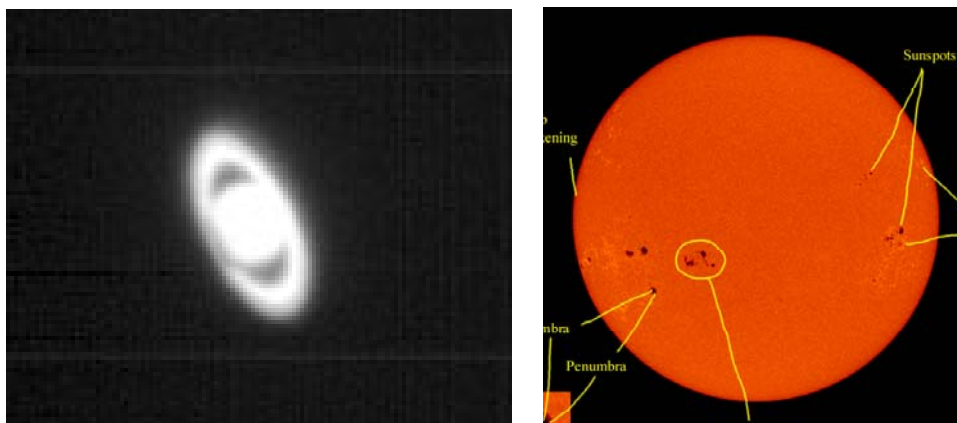
¹⁰ <http://www.hep.anl.gov/NDK/hypertext/nuindustry.html>

¹¹ Καλκάνη, Γ., *Κατασκευή βαθμονόμηση και πρώτα αποτελέσματα του ανιχνευτή Harvard–Purdue–Wisconsin για τη διάσπαση / (χρόνο ζωής) του πρωτονίου*, διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 1984

¹² <http://eudoxos.snd.edu.gr>,

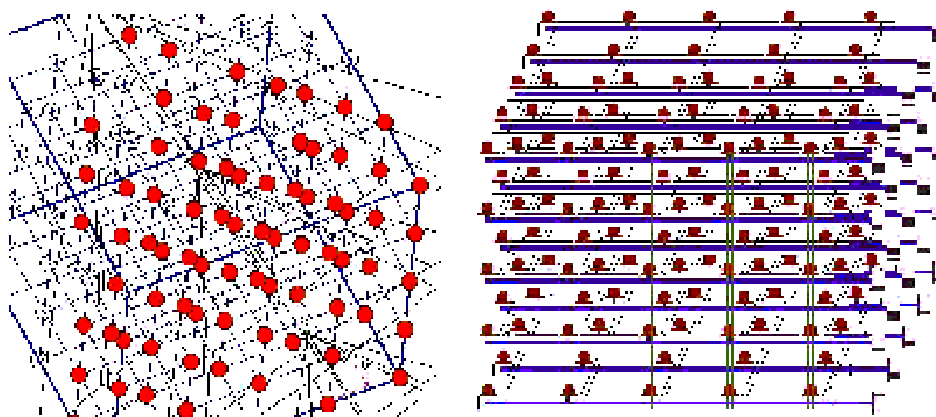
http://www.pi-schools.gr/programs/seppe/ppe/Fysikes_Episthmes/ppe19.htm

Andrikopoulos, N., Fanourakis, Kalkanis, G., Korakianitis, O., Savas, S., Solomos, N., Sotiriou, S., *The Eudoxos Project: Teaching science in secondary education through a robotic telescope*, 5th International Conference on New Educational Environments (ICNEE), Lucerne (Switzerland), 26-28 May, 2003



Φωτογραφία των δακτυλίων του Κρόνου και άσκηση επί των ηλιακών κηλίδων με το εκπαιδευτικό τηλεσκόπιο Εύδοξος

Ενδεικτική, επίσης, είναι η δημιουργία εκπαιδευτικού λογισμικού το οποίο προσομοιώνει και οπτικοποιεί γεγονότα κοσμικής ακτινοβολίας στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή –σύμφωνα με τις απαιτήσεις του χρήστη, οι οποίες εισάγονται στο πρόγραμμα υπό μορφή παραμέτρων, και τη χρήση μεθόδων Monte Carlo–, ενώ συγχρόνως αναπαριστά τα γεγονότα σε φυσικό ομοίωμα (υπό κλίμακα) πραγματικού ανιχνευτή –το οποίο διασυνδέεται με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή¹³.



Προσομοίωση / οπτικοποίηση και αναπαράσταση κοσμικών σωματιδίων

¹³ Kalkanis, G., Sarris, M., "An Educational Monte Carlo Simulation / Animation Program for the Cosmic Rays Muons and a Prototype Computer - Driven Hardware Display", Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 18 (1), 1999, 61-80

Αναφορές

- * Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Τομέας / Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Ναβαρίνου 13^α, Αθήνα GR-10680
<http://micro-kosmos.uoa.gr>
1. http://astrophysics.weber.edu/Whatsnew_telescopes.html
 2. Hubble Telescope:
<http://pao.gs.fc.nasa.gov/gsf/educ/hubblesm2/hubblelinks.html>
<http://oposite.stsci.edu/pubinfo/pictures.html>
<http://www.stsci.edu>
 3. New Generation Space Telescope (2007 ή 2008):
<http://ngst.gsfc.nasa.gov>
 4. Cosmic Background Explorer / Satellite (1992):
<http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/cobehome.html>
 5. Harvard – Perdue – Wisconsin Detector / Experiment:
Joutras, D., Cline, D., Kalkanis, G., Loveless, R., March, R., Matthews, J., Morse, A., Aprile, A., Giboni, K., Phillips, T., Rubbia, C., Winn, D., Worstell, W., Gaidos, J., Mc Henry, R., Negret, J., Palfrey, T., Sembroski, G., Wilson, C., *A search for neutrino bursts from stellar collapse*, Astrophysical Letters and Communications, Vol. 27, 1998, pp.257-263
 6. Super-Kamiokande Detector:
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/>
<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/doc/sk/>
 7. IMB Experiment:
http://www.phys.hawaii.edu/~jgl/post/imb_upmu_osc.html
 8. Soudan 2 Experiment:
http://www.icrc1999.utah.edu/~icrc1999/root/vol2/h4_1_01.pdf
<http://www2.physics.ox.ac.uk/Neutrino/Stassinakis/soudan2.pdf>
 9. NESTOR (Neutrino Extended Submarine Telescope with Oceanographic Research):
<http://documents.cern.ch/cgi-bin/setlink?base=greybook&categ=abstracts&id=RE9>
<http://www.physics4u.gr/news/2003/scnews928.html>
 10. <http://www.hep.anl.gov/NDK/hypertext/nuindustry.html>
 11. Καλκάνη, Γ., *Κατασκευή βαθμονόμηση και πρώτα αποτελέσματα του ανιχνευτή Harvard–Purdue–Wisconsin για τη διάσπαση / (χρόνο ζωής) του πρωτονίου*, διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 1984
 12. <http://eudoxos.snd.edu.gr>,
http://www.pi-schools.gr/programs/seppe/ppe/Fysikes_Episthmes/ppe19.htm

Andrikopoulos, N., Fanourakis, Kalkanis, G., Korakianitis, O., Savas, S., Solomos, N., Sotiriou, S., *The Eudoxos Project: Teaching science in secondary education through a robotic telescope*, 5th International Conference on New Educational Environments (ICNEE), Lucerne (Switzerland), 26-28 May, 2003

13. Kalkanis, G., Sarris, M., "*An Educational Monte Carlo Simulation / Animation Program for the Cosmic Rays Muons and a Prototype Computer - Driven Hardware Display*", *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 18 (1), 1999, 61-80