

Κέντρο Αρχαιομετρίας

Γενικά

Η περιοχή της Ηπείρου και γενικότερα της Β.Δ. Ελλάδας είναι πλούσια σε αρχαιολογικά ευρήματα, αλλά και σε λόγια παράδοση. Η μελέτη όμως, τόσο των αρχαιολογικών ευρημάτων από άποψη ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης, που δίνει πληροφορίες για την προέλευσή τους, όσο και η συντήρηση /διατήρηση παλαιών χειρόγραφων, κειμένων απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις. Έτσι αναδεικνύεται απαραίτητη η σύμπραξη εξειδικευμένων επιστημόνων (Φυσικών, Χημικών, Αρχαιολόγων) ώστε η τεχνογνωσία που διαθέτουν να χρησιμεύσει στη λειτουργία ενός Εργαστηρίου όπου εφαρμόζονται ειδικές τεχνικές, όπως η ραδιοχρονολόγηση, ο προσδιορισμός σύστασης και ατελειών πόρων αρχαίων αντικειμένων με τεχνικές XRF και ποροσιμετρία, η αποθήκευση και η μελέτη χειρογράφων με σύγχρονα ηλεκτρονικά μέσα (H/Y, CD κ.λ.π.), η εξέταση και συντήρηση έργων τέχνης κ.ά.

Η ραδιοχρονολόγηση των αρχαιολογικών ευρημάτων και άλλων δειγμάτων (ύδατος, πετρωμάτων κ.ά.) στηρίζεται στο γεγονός ότι κάποιο ραδιοϊσότοπο που υπάρχει αρχικά σε ένα υλικό σε ορισμένη, γνωστή συγκέντρωση, με την πάροδο του χρόνου διασπάται σε άλλα στοιχεία. Ορισμένα από αυτά τα προϊόντα είναι επίσης ραδιενεργά ισότοπα. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του αρχικού ραδιοϊσοτόπου καθώς και των προϊόντων της διάσπασης μπορεί με κατάλληλους υπολογισμούς να δώσει την ηλικία του υλικού και επομένως και του αρχαιολογικού ευρήματος που το περιέχει.

Η ανίχνευση των ραδιοϊσοτόπων γίνεται με ευαίσθητους ανιχνευτές α , β και γ ακτινοβολίας, όπως είναι οι ανιχνευτές υγρού σπινθηρισμού και οι ανιχνευτές στερεάς κατάστασης. Ο υπερευαίσθητος ανιχνευτής χαμηλού υποβάθρου Tri-carb 3170TR/SL, τον οποίο διαθέτει το Κέντρο Αρχαιομετρίας, είναι ανιχνευτής υγρού σπινθηρισμού. Το δείγμα, ύστερα από χημική επεξεργασία μετατρέπεται σε κατάλληλη μορφή ώστε να είναι συμβατό με τον σπινθηριστή με τον οποίο προστίθεται σε φιαλίδιο. Το φιαλίδιο τοποθετείται στον ανιχνευτή και ακολουθεί συλλογή και ανάλυση του φάσματος του/των ραδιοϊσοτόπων του δείγματος και υπολογισμός της ηλικίας του.

Υποδομή-Εξοπλισμός

Το Κέντρο Αρχαιομετρίας, το οποίο εγκαταστά-

θηκε σε κατάλληλα διαμορφωμένους εργαστηριακούς χώρους στο κτήριο του Φυσικού Φ2 τον Δεκέμβριο του 2002, διαθέτει:

- Υπερευαίσθητο μετρητή υγρού σπινθηρισμού τύπου Packard (Σχ. 1) με δυνατότητα μέτρησης χαμηλού υποβάθρου. Το χαμηλό υπόβαθρο επιτυγχάνεται με την τεχνολογία ανάλυσης χρόνου (time-resolved liquid scintillation counting) καθώς και την ύπαρξη κρυστάλλου οξειδίου βισμούθιου-γερμανίου (BGO), ο οποίος περιβάλλει την περιοχή όπου τοποθετείται το προς μέτρηση δείγμα.

Ο μετρητής διαθέτει ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα με δυνατότητα σύνδεσης σε δίκτυο. Το υπολογιστικό σύστημα λειτουργεί σε περιβάλλον Windows NT. Επίσης διαθέτει λογισμικό QuantaSmart, κατάλληλο για συλλογή και ανάλυση φασμάτων α και β ακτινοβολίας βάσει πρωτοκόλλων, οι παράμετροι των οποίων καθορίζονται από τον χειριστή του οργάνου ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε μέτρησης.

Το παραπάνω σύστημα μέτρησης α και β ακτινοβολίας έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύσει πολλά ραδιοϊσότοπα σε αρχαιολογικά, γεωλογικά, βιολογικά καθώς και περιβαλλοντικά δείγματα ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ευρύ φάσμα μελετών και εφαρμογών σε πολλές επιστήμες.



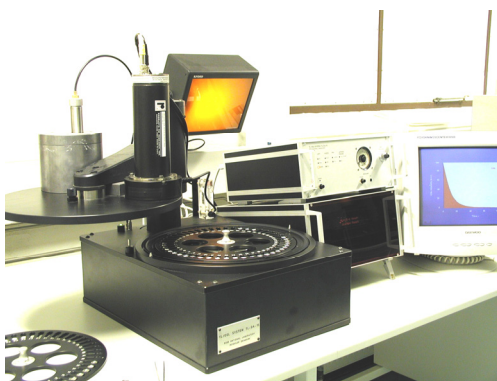
Σχ. 1. Μετρητής υγρού σπινθηριστή Tri-carb 3170TR/SL χαμηλού υποβάθρου.

- Σύστημα χρονολόγησης με την μέθοδο της Θερμοφωταύγειας: Automated TL/OSL Dating System Model Riso TL/OSL DA-15C/D (Σχ. 2). Η διάταξη αποτελείται από καταγραφείς σημάτων θερμοφωταύγειας και οπτικά προτρεπόμενης φωταύγειας, οι οποίοι



ελέγχονται από συσκευή (controller), συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Κατάλληλο λογισμικό παρέχει την δυνατότητα εφαρμογής πρωτοκόλλων μέτρησης με τις διατάξεις TL/OSL και εκτέλεσης εντολών. Υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης διαχείρισης έως και 48 δειγμάτων και υποβολής τους σε συγκεκριμένα πρωτόκολλα θέρμανσης, ακτινοβολήσης με πηγή β ακτινοβολίας (^{90}Sr) για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, και οπτικά προτρεπόμενης φωταύγειας με τη χρήση δέσμης LED κυανού φωτός αλλά και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Επίσης το σύστημα διαθέτει λογισμικό επεξεργασίας των φασμάτων και υπολογισμού της ισοδύναμης δόσης, στην οποία έχει εκτεθεί το κάθε δείγμα. Στη συνέχεια με ανάλυση των αποτελεσμάτων καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της δόσης που έχει δεχτεί το δείγμα κατά τον χρόνο που προηγήθηκε ανασκαφής και της μετέπειτα μεταφοράς στο Εργαστήριο.

- Κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο επεξεργασίας και παρασκευής δειγμάτων για χρονολόγηση με τις μεθόδους TL και OSL. Το εργαστήριο επίσης διαθέτει την δυνατότητα προετοιμασίας δειγμάτων σε συνθήκες πολύ χαμηλού φωτισμού (Darkroom), απαραίτητες για την εφαρμογή των μεθόδων, αφού η έκθεση σε ηλιακό φως καθιστά τα δείγματα ακατάλληλα για χρονολόγηση.
- Κατάλληλα διαμορφωμένο εργαστήριο προετοιμασίας δειγμάτων. Για την εφαρμογή των διαφόρων τεχνικών μετρήσεων χρειάζεται να προηγηθεί ειδική επεξεργασία των δειγμάτων, η οποία ενδεχομένως είναι επίπονη και πολυήμερη. Για το σκοπό αυτό υπάρχει ειδικό εργαστήριο που στεγάζεται στο κτίριο του Φυσικού Τμήματος του Παν. Ιωαννίνων.



Σχ. 2. Διάταξη χρονολόγησης με την μέθοδο της θερμοφωταύγειας TL/OSL DA-15C/D από το Riso.

- Σύστημα ηλεκτρόλυσης έως και δέκα δειγμάτων ύδατος ταυτόχρονα, με σκοπό τον εμπλουτισμό τους σε τρίτιο, ώστε να καταστεί δυνατή η καταγραφή συγκεντρώσεων τρίτιου έως και 1 TU (0.119 Bq L^{-1}) (Σχ. 3). Η συσκευή παρέχει την δυνατότητα προσδιορισμού ηλικίας ενός δείγματος ύδατος παλαιότητας έως και 30 ετών.



Σχ. 3. Συσκευή ηλεκτρόλυσης για τον εμπλουτισμό δειγμάτων ύδατος σε τρίτιο.

Το Κέντρο Αρχαιομετρίας έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει όργανα άλλων Μονάδων ή Κέντρων του Οριζοντίου Δικτύου για τις ανάγκες ανάλυσης και προσδιορισμού της ηλικίας καθώς και άλλων χαρακτηριστικών των διαφόρων δειγμάτων, που αναλαμβάνει να αναλύσει. Έτσι, έχει τη δυνατότητα χρήσης:

- Διάταξης μετρήσεων φθορισμού ακτίνων X (XRF) (εγκατεστημένη στη μονάδα φθορισμού ακτίνων X) για την μη καταστρεπτική ανάλυση αρχαιολογικών δειγμάτων.
- Διάταξης μέτρησης ραδιενέργειας δειγμάτων χώματος, χαμηλού υποβάθρου, με σκοπό τον προσδιορισμό του ρυθμού εκπεμπόμενης δόσης σε δείγματα προς χρονολόγηση με την μέθοδο της θερμοφωταύγειας και της οπτικά προτρεπόμενης φωταύγειας. Η συγκεκριμένη διάταξη βρίσκεται εγκατεστημένη στο Εργ. Πυρηνικής Φυσικής του Τμήματος Φυσικής.
- Του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) (εγκατεστημένο στη Μονάδα Προηγμένης Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας) για φωτογράφιση της μικροδομής των αρχαιολογικών αντικειμένων που δίνει πληροφορίες για την προέλευσή τους.
- Φασματομέτρου Μάζας (εγκατεστημένο στη Μονάδα Φασματομετρίας Μάζας) για τον προσδιορισμό της ισοτοπικής περιεκτικότητας στοιχείων απαραίτητης στον προσδιορισμό της ηλικίας ενός αρχαιολογικού ή γεωλογικού δείγματος με την μέθοδο του ^{14}C ή του ^3H .



Προσφορά Υπηρεσιών

Οι δραστηριότητες του Κέντρου με πλήρη εξοπλισμό περιλαμβάνουν τις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- Ραδιοχρονολόγηση αρχαιολογικών ευρημάτων ή άλλων δειγμάτων σχετικού ενδιαφέροντος.
- Χρονολόγηση αρχαιολογικών ευρημάτων (κεραμικά κα) καθώς και γεωλογικών δειγμάτων με την μέθοδο της θερμοφωταύγειας και της οπτικά προτρεπόμενης φωταύγειας.
- Χαρακτηρισμό και ταυτοποίηση σύστασης αρχαιολογικών ευρημάτων της περιοχής Ηπείρου ή εκτός αυτής με μη καταστρεπτική (XRF) ανάλυση ποιοτικής σύστασης και τον ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών τους.
- Προσδιορισμό μικροδομής ευρημάτων και επιφανειακής τους κατάστασης με ηλεκτρονική μικροσκοπία (SEM).
- Ποροσιμετρία για προσδιορισμό πορώδους διαφόρων αρχαιολογικών ευρημάτων που βασίζεται σε πορόλιθους ή άλλα σχετικά υλικά που υποβαθμίζονται με διαδικασίες παγοπυρήνωσης στους πόρους.
- Συντήρηση, ηλεκτρονική αποθήκευση και μελέτη χειρογράφων, τα οποία χρήζουν ειδικής μεταχείρισης λόγω παλαιότητας.
- Δημοσίευση των αποτελεσμάτων της αρχαιολογικής έρευνας με την βοήθεια πολυμέσων και ειδικών εκδόσεων.
- Χρονολόγηση, πιστοποίηση αυθεντικότητας, τοπική τοποθέτηση και συντήρηση έργων τέχνης.

Το Κέντρο Αρχαιομετρίας παρέχει υπηρεσίες προς άλλα Τμήματα του Πανεπιστημίου και προς τρίτους. Οι υπηρεσίες του στη βασική και εφαρμοσμένη έρευνα των Τμημάτων Φιλοσοφικής, Φυσικής, Χημείας και Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων Επίσης έχει άμεση συνάφεια με τα νεοϊδρυθέντα Τμήματα Επιστημών της Τέχνης της Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών και των Βιολογικών Εφαρμογών. Στόχος του κέντρου είναι η συνεργασία με

- Ερευνητικές ομάδες Ελληνικών Παν/μίων
- Ερευνητικά Κέντρα
- Κρατικές Υπηρεσίες
- Μουσεία
- Βιομηχανίες

στις περιοχές έρευνας και εφαρμογών, οι οποίες αναφέρονται στη συνέχεια:

Ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα-14 (^{14}C)

Ο ^{14}C αποτελεί φυσικό ραδιενεργό ισότοπο του άνθρακα. Σχηματίζεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μετά την αλληλεπίδραση των κοσμικών ακτίνων με το ατμοσφαιρικό άζωτο. Στη συνέχεια ο ραδιοάνθρακας οξειδώνεται σε διοξείδιο του άνθρακα και διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα ενσωματώνεται σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Όταν πεθαίνει ένα ζώο ή ένα φυτό, ο ραδιοάνθρακας διασπάται με χρόνο ημιζωής 5730 χρόνια. Στο εργαστήριο ραδιοχρονολόγησης γίνεται η μέτρηση του ραδιενεργού άνθρακα, που απομένει. Εφόσον είναι γνωστός ο χρόνος ημιζωής του ραδιάνθρακα, υπολογίζεται η ηλικία του δείγματος. Η μέτρηση της ελάχιστης ποσότητας ραδιοάνθρακα στα δείγματα γίνεται με τον υπερευαίσθητο μετρητή υγρού σπινθηρισμού Tri-Carb 3170TR/SL. Προηγουμένως ο ραδιοάνθρακας συνιστάται να ενσωματωθεί σε βενζόλιο ή μίγμα βενζολίου και τολουένιου, επειδή το βενζόλιο έχει εξαιρετικές ιδιότητες μετάδοσης της φωτεινής ακτινοβολίας στον μετρητή σπινθηρισμών. Η ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C έχει εφαρμογές:

- στην αρχαιολογία,
- ιστορία της τέχνης,
- ωκεανογραφία, υδρογεωλογία,
- γεωλογία και
- κλιματολογία .

Ραδιοχρονολόγηση με τρίτιο (^3H)

Το τρίτιο είναι το ραδιενεργό ισότοπο του υδρογόνου, με χρόνο ημιζωής 12,43 χρόνια. Η μέτρηση της ραδιενέργειας του τριτίου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρόνου παραμονής υδάτων σε υπόγειους ορίζοντες και επίσης για την ανίχνευση της ροής τους. Το τρίτιο παράγεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα από την κοσμική ακτινοβολία. Τα άτομα του οξυγόνου σχηματίζουν νερό με το ραδιενεργό υδρογόνο (τρίτιο), το οποίο φτάνει στο έδαφος με την βροχή και καταλήγει στους υδροφόρους ορίζοντες, στους οποίους η συγκέντρωση του τριτίου μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Μετρώντας την συγκέντρωση του τριτίου σε δείγματα υπόγειων νερών, εκτιμάται η ηλικία τους και προσδιορίζονται οι είσοδοι και έξοδοι του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα επίπεδα τριτίου σε νέα υπόγεια νερά βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με τα επίπεδα στο νερό της βροχής. Καθώς το νερό κινείται κάτω από τη επιφάνεια του εδάφους, η συγκέντρωση του τριτίου μειώνεται.



Η περιεκτικότητα των δειγμάτων νερού σε τρίτιο είναι χαμηλή. Έτσι μετά την απομάκρυνση των αργίλων και της οργανικής ύλης με διήθηση και απόσταξη, το νερό εμπλουτίζεται σε τρίτιο με ηλεκτρόλυση. Το ηλεκτρικό ρεύμα διασπά πρώτα τα μόρια του νερού που αποτελούνται από ελαφρύ υδρογόνο και οξυγόνο και στο δείγμα παραμένουν τα μόρια που περιέχουν τρίτιο. Στη συνέχεια η μέτρηση του τρίτιου γίνεται με τον ανιχνευτή σπινθηρισμών Tri-carb 3170TR/SL.

Η ραδιοχρονολόγηση με τρίτιο έχει εφαρμογές στις επιστήμες περιβάλλοντος, ωκεανογραφία, υδρογεωλογία, γεωλογία και κλιματολογία. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση νοθείας σε οίνους, εφόσον με τη μέθοδο τρίτιου προσδιορίζεται η παλαιότητα.

Ραδιοχρονολόγηση με ουράνιο - θόριο

Η ραδιοχρονολόγηση με ουράνιο-θόριο βασίζεται στην αποδιέγερση του ουρανίου μέσα σε ασβεστολιθικά και άλλα ιζηματογενή πετρώματα. Το φυσικό ισότοπο του ουρανίου ^{238}U αποδιεγείρεται σε ^{234}Th , ενώ άλλο ισότοπο του ουρανίου, το ^{234}U , αποδιεγείρεται σε ^{230}Th . Επειδή το ουράνιο σε αντίθεση με το θόριο είναι διαλυτό, τα σχηματιζόμενα πετρώματα κατά την ιζηματογένεση συνήθως περιέχουν ουράνιο και ελάχιστο θόριο. Με το πέρασμα του χρόνου το ουράνιο αποδιεγείρεται και το πέτρωμα σταδιακά αποκτά θόριο. Το θόριο είναι ραδιενεργό και αποδιεγείρεται, το ^{234}Th σε ^{234}U και το ^{230}Th σε ράδιο ^{226}Ra . Το ράδιο είναι επίσης ραδιενεργό και διασπάται σε ραδόνιο Rn σε λίγο χρονικό διάστημα. Αν το πέτρωμα είναι μεγάλης ηλικίας περιέχει όλη τη σειρά των προϊόντων της αποδιέγερσης του ουρανίου, από το ^{238}U ως το σταθερό ισότοπο του μολύβδου ^{206}Pb . Τα ισότοπα ^{238}U , ^{234}U and ^{230}Th είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την χρονολόγηση του πετρώματος λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής. Έτσι, για ένα πέτρωμα που αρχικά περιείχε μόνο ουράνιο η χρονολόγηση του μπορεί να προκύψει από τον υπολογισμό των λόγων $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$ και $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$.

Ραδιοχρονολόγηση με τη μέθοδο της θερμοφωταύγειας και της οπτικά προτρεπόμενης φωταύγειας

Φωταύγεια είναι η εκπομπή φωτός από ένα μη αγωγίμο υλικό, το οποίο εκπέμπεται μαζί με τη θερμική ακτινοβολία. Προκύπτει από την αποδιέγερση διεγερμένων ηλεκτρονίων, τα οποία έχουν παγιδευτεί μέσα στις ατέλειες του κρυστάλλου του υλικού και/ή στις προσμείξεις του. Η ιονίζουσα ακτινοβολία από τη φυσική ραδιενέργεια και οι κοσμικές ακτίνες δημιουργούν ελεύθερα ιόντα και ηλεκτρόνια, τα οποία παγιδεύονται στην κρυσταλλική δομή. Η αύξηση της συγκέντρωσης του φορτίου στο

υλικό οδηγεί στην αύξηση της έντασης του εκπεμπόμενου φωτός, γεγονός που δίνει την δυνατότητα χρονολόγησης του δείγματος. Η αποδιέγερση του δείγματος επιτυγχάνεται με επίδραση θερμότητας (θερμοφωταύγεια-TL) ή δέσμης φωτός (οπτικά προτρεπόμενη φωταύγεια-OSL).

Η μέθοδος της φωταύγειας χρησιμοποιείται για τη χρονολόγηση κεραμικών (αγγείων κτλ) και γεωλογικών δειγμάτων.

Εφαρμογές ραδιοϊσοτόπων

Οι δυνατότητες μέτρησης ραδιοϊσοτόπων με τον ανιχνευτή υγρού σπινθηριστή Tri-carb 3170TR/SL μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρύ φάσμα επιστημών. Ο ανιχνευτής παρέχει την δυνατότητα μέτρησης των ραδιοϊσοτόπων τρίτιου (^3H), άνθρακα-14 (^{14}C), φωσφόρου 32 (^{32}P), θείου 35 (^{35}S), ραδίου ^{226}Ra , ραδονίου ^{222}Rn , ουρανίου (^{238}U), θορίου (^{232}Th), μολύβδου (^{210}Pb) και άλλων με εφαρμογές στην βιολογία, μικροβιολογία, βιοχημεία, ανοσολογία, αγροτική έρευνα, επιστήμες περιβάλλοντος.

Διοικητική διάρθρωση και προσωπικό του Κέντρου

Το προσωπικό του Κέντρου αποτελείται:

A) Από Πενταμελή Διοικητική επιστημονική επιτροπή μελών ΔΕΠ του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, που είναι υπεύθυνη για την εύρυθμη λειτουργία του Εργαστηρίου, την οργανολογική βελτίωσή του, καθώς και για την βελτίωση της παροχής υπηρεσιών. Η Επιτροπή αυτή αποτελείται από τους:

1. Κων/νο Ιωαννίδη, Επίκ. Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής, Πρόεδρο της Επιτροπής και Επιστημονικό Υπεύθυνο του Κέντρου
2. Ξενοφώντα Ασλάνογλου, Επίκ. Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής
3. Κων/νο Σταλικά, Αναπλ. Καθηγητή Τμήματος Χημείας
4. Αμαλία Βλαχοπούλου, Αναπλ. Καθηγήτρια του Τμήματος Ιστορίας & Αρχαιολογίας
5. Κων/να Γραβάνη, Επίκ. Καθηγήτρια του Τμήματος Ιστορίας & Αρχαιολογίας

B) Υπεύθυνο χειριστή οργάνου τον Δρ. Κ. Σταμούλη Δρ. Φυσικής, ο οποίος προσελήφθη σε θέση Ι.Δ.Α.Χ.

Το Επιστημονικό Προσωπικό του Κέντρου Αρχαιομετρίας αποτελείται από τους:

1. Κ. Ιωαννίδη, (Πειραματική και Εφαρμοσμένη Πυρηνική Φυσική).
2. Δρ. Κ. Σταμούλη (Ραδιοχημεία).
3. Δρ. Χ. Παπαχριστοδούλου (Ραδιοχημεία).

Το Κέντρο στεγάζεται στο ισόγειο του κτιρίου Φ2 (εργαστήριο του Τμήματος Φυσικής).

Τηλέφωνα:

26510 08547 (Κ. Σταμούλης)

26510 08545 (Κ. Ιωαννίδης)

E-mail:

kstamoul@cc.uoi.gr (Κ. Σταμούλης)

kioannid@cc.uoi.gr (Κ. Ιωαννίδης)

Ιστοσελίδα: <http://omega.physics.uoi.gr>

Αντιπροσωπευτικές δημοσιεύσεις

1. *Determination of ^{226}Ra in aqueous solutions via sorption on thin films and α -spectrometry.* Karamanis, D., Ioannides, K.G., Stamoulis, K.C. 2006, *Analytica Chimica Acta* 573-574, pp. 319-327.
2. *A study of ancient pottery by means of X-ray fluorescence, multivariate statistics and mineralogical analysis.* C. Papachristodoulou, A. Oikonomou, K. Ioannides, K. Gravani *Analytica Chimica Acta* 573-574 (2006) 347-353.
3. *Spatial and seasonal trends of natural radioactivity and heavy metals in river waters of Epirus, Macedonia and Thessalia.* Karamanis, D., Stamoulis, K., Ioannides, K., Patiris, D. 2008 *Desalination* 224 (1-3), pp. 250-260.
4. *Rapid screening of ^{90}Sr activity in water and milk samples using Cherenkov radiation.* Stamoulis, K.C., Ioannides, K.G., Karamanis, D.T., Patiris, D.C., 2007, *Journal of Environmental Radioactivity* 93 (3), pp. 144-156.
5. *Elemental analysis of ancient pottery: a tool for tracing provenance and probing manufacture practices.* C. Papachristodoulou Seminar on "Nuclear Techniques for the Protection of Cultural Heritage Artefacts in the Mediterranean Region", Athens, 20-22 October 2008.
6. *Assessment of natural radionuclides and heavy metals in waters discharged from a lignite-fired power plant.* Karamanis, D., Ioannides, K., Stamoulis, K. 2009. *Fuel* 88 (10), pp. 2046-2052.