ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΜΕΑΚΩΝ ΕΠ ΤΟΥ ΕΤΠΑ ΚΑΙ ΤΑ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Ε.Π. ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
"ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ"

ΕΣΠΑ 2014 - 2020

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ

Cluster of Accelerator Laboratories for Ion-Beam Research and Applications – CALIBRA

(Ερευνητική Υποδομή Ιοντικών Επιταχυντών – ΕΥΙΕ)

Δικαιούχος Φορέας
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΧΤΗΜΩΝ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - ΕΚΕΦΕ «Δ»

Υπεύθυνος Πράξης
Δρ. Σωτήριος Β. Χαρισσόπουλος
Ερευνητής Α',
Ινστιτούτο Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής - ΙΠΣΦ
Διευθυντής ΙΠΣΦ και Αντιπρόεδρος ΔΣ ΕΚΕΦΕ «Δ»

Κενή σελίδα

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΡΑΞΗΣ
Μέρος Α'

Κενή σελίδα

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Δομή του έργου

Η προτεινόμενη πράξη Cluster of Accelerator Laboratories for Ion-Beam Research and Applications (CALIBRA) στηρίζεται στην ομώνυμη πρόταση ίδρυσης και λειτουργίας μίας ερευνητικής υποδομής, η οποία εντάχθηκε στον πρόσφατο εθνικό Οδικό Χάρτη Ερευνητικών Υποδομών και στηρίζεται στη λειτουργία μίας ομάδας (cluster) επιταχυντών ιόντων με στόχο τη διεξαγωγή έρευνας αιχμής και καινοτόμων εφαρμογών με ιοντικές δέσμες. Σε αναλογία του αγγλικού, ο ελληνικός τίτλος της πράξης επιλέχθηκε να είναι «Ερευνητική Υποδομή Ιοντικών Επιταχυντών (ΕΥΙΕ)». Η πρόταση CALIBRA που υποβλήθηκε (2013) στο πλαίσιο της πρόσκλησης για τη δημιουργία του Οδικού Χάρτη αξιολογήθηκε από διεθνή επιτροπή ειδικών αξιολογητών με πολύ υψηλή βαθμολογία (19.5/20).

Στην αρχική της «έκδοση» η πρόταση CALIBRA στόχευε στην ίδρυση μίας Ερευνητικής Υποδομής (ΕΥ) η οποία περιλάμβανε 5 επιταχυντές: α) έναν νέο επιταχυντή Tandem 6 MV, σε αντικατάσταση του μοναδικού στη χώρα λειτουργούντα ιοντικού επιταχυντή που είναι εγκατεστημένος στο Ινστιτούτο Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής (ΙΠΣΦ) του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», β) τον ήδη εγκατεστημένο στο ΙΠΣΦ επιταχυντή χαμηλών ενεργειών PAPAP (250 keV), δωρεά του Γαλλικού Εθνικού Ιδρύματος Επιστημονικής Έρευνας (Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS[1]), γ) ένα Κυκλοτρόνιο Scanditronix 17 MeV, πρόσφατη δωρεά του Ιατρικού Κέντρου του Ολλανδικού πανεπιστημίου του Groningen (University Medical Center Groningen – UMCG[2]), δ) έναν νέο Ηλεκτροστατικό Επιταχυντή «μονού-σταδίου» (ΗΕΜΣ) 4 MV εξοπλισμένου με πηγή ιόντων τύπου ECR για υψηλά ρεύματα ιοντικών δεσμών και ε) έναν νέο επιταχυντή AMS 1 MV. Οι παραπάνω επιταχυντές ομαδοποιούνται σε τρία (3) συνεργαζόμενα εργαστήρια, εξοπλισμένα με πειραματικές διατάξεις και οργανολογία τελευταίας τεχνολογίας και χρησιμοποιούν κοινές υποστηρικτικές μονάδες (μηχανουργείο, εργαστήρια ηλεκτρονικών, παρασκευής στόχων κλπ.).

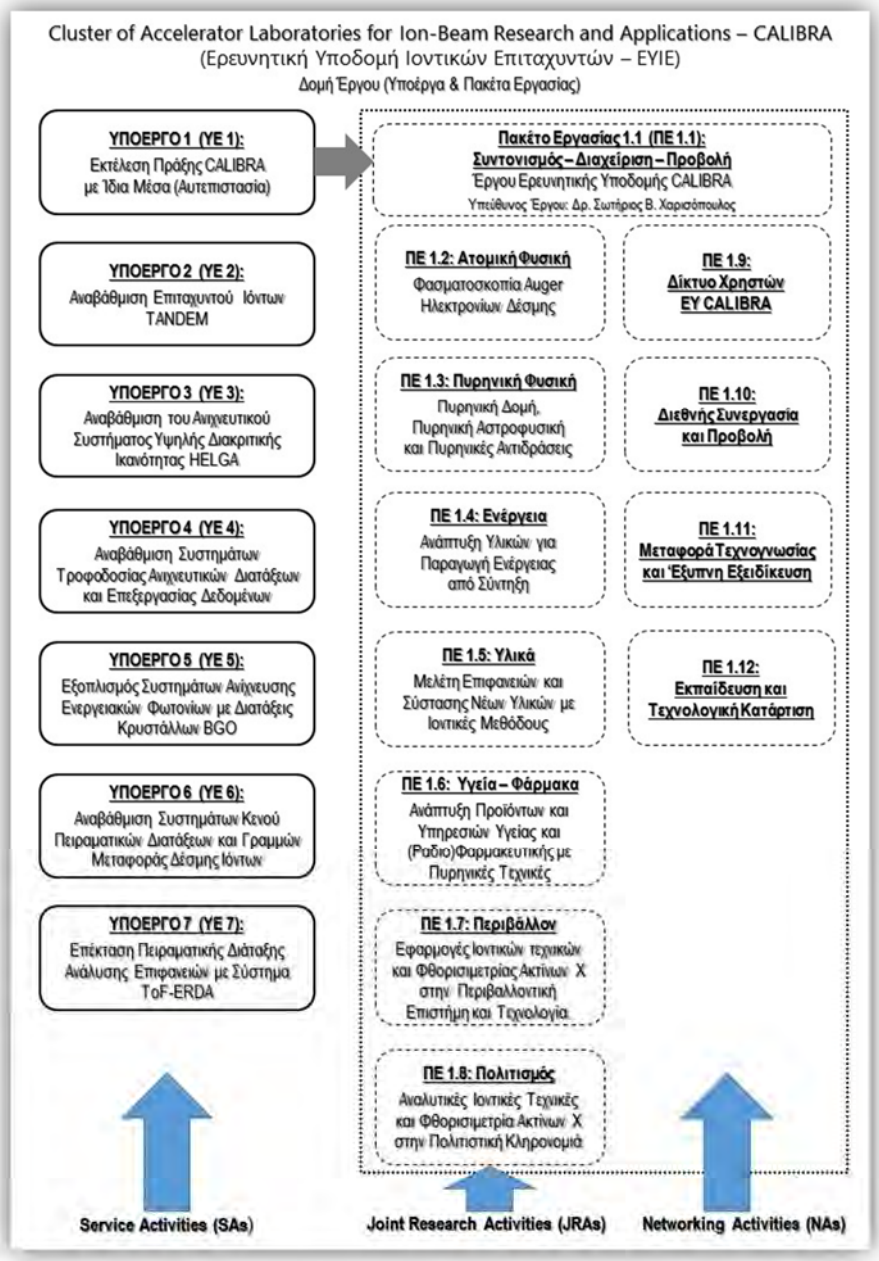
Ο προϋπολογισμός της αρχικά υποβληθείσας πρότασης ήταν 19,5 εκατ. Ευρώ. Με δεδομένο το ανώτατο όριο των 4 εκατ. Ευρώ ανά πράξη που επιτρέπει η πρόσκληση υποβολής έργων στο πρόγραμμα «Ενίσχυση των Υποδομών Έρευνας και Καινοτομίας» του τρέχοντος ΕΣΠΑ, η εδώ προτεινόμενη πράξη, περιορίζεται αναγκαστικά στους τρεις (3) πρώτους ιοντικούς επιταχυντές (Tandem, PAPAP, Κυκλοτρόνιο) με την αγορά, εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία των δύο (2) τελευταίων (ΗΕΜΣ και AMS) να μετατίθεται σε επόμενη/διάδοχη φάση του προγράμματος Ενίσχυσης Υποδομών, μετά το 2019. Η «σμίκρυνση» της αρχικά προταθείσας Ερευν. Υποδομής δεν επηρεάζει τον κύριο στόχο της πράξης που είναι η λειτουργία μίας ανοιχτής ερευνητικής υποδομής για έρευνα σε επίπεδο αριστείας και την παροχή στην ελληνική αλλά και την ευρωπαϊκή-περιφερειακή ερευνητική κοινότητα ενός συνόλου αναλυτικών τεχνικών και επιστημ. οργάνων για καινοτόμες εφαρμογές και τη συμβολή της στην επίτευξη των στόχων της Εθνικής Στρατηγικής Έρευνας και Καινοτομίας για την Έξυπνη Εξειδίκευση (RIS3), ιδιαίτερα στους τομείς της Υγείας και των (Ραδιο)Φαρμάκων, της Ενέργειας, της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, των Υλικών και του Περιβάλλοντος.

Με βάση τα παραπάνω, τα βασικά ορόσημα της πράξης είναι α) η πλήρης αναβάθμιση του μοναδικού στη χώρα λειτουργούντα επιταχυντή Tandem και του ηλεκτροστατικού επιταχυντή χαμηλών ενεργειών PAPAP καθώς και η μεταφορά του Κυκλοτρονίου Scanditronix από την Ολλανδία στο

[1] http://www.cnrs.fr/index.php
[2] http://www.umcg.nl/EN/corporate/Paginas/default.aspx

«Δημόκριτο» και η προετοιμασία κατάλληλου εργαστηρίου για την ανάπτυξη και παραγωγή PET ραδιοφαρμάκων. Γύρω από τους εν λόγω επιταχυντές θα αναπτυχθούν κοινές ερευνητικές δράσεις (Joint Research Activities) μέσω της εγκατάστασης νέων επιστημονικών οργάνων και ανάπτυξης καινοτόμων αναλυτικών τεχνικών και δράσεις δικτύωσης (Networking Activities).

Το έργο CALIBRA συγκροτείται σε επτά (7) βασικά Υποέργα (ΥΕ) εκ των οποίων μόνο το πρώτο (ΥΕ 1) κατηγοριοποιείται σε Πακέτα Εργασίας, δώδεκα (12) σε αριθμό (ΠΕ 1.1 έως ΠΕ 1.12). Το ΥΕ 1 περιέχει όλα τα ΠΕ που θα υλοποιηθούν από το ΕΚΕΦΕ «Δ» με ίδια μέσα («Αυτεπιστασία»). Τα υπόλοιπα ΥΕ 2 έως και ΥΕ 7, αφορούν σε αναβαθμίσεις και νέο εξοπλισμό με κόστος μεγαλύτερο των 60 χιλ. Ευρώ ανά είδος (χωρίς ΦΠΑ). Με βάση τα παραπάνω η δομή του έργου CALIBRA / ΕΥΙΕ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

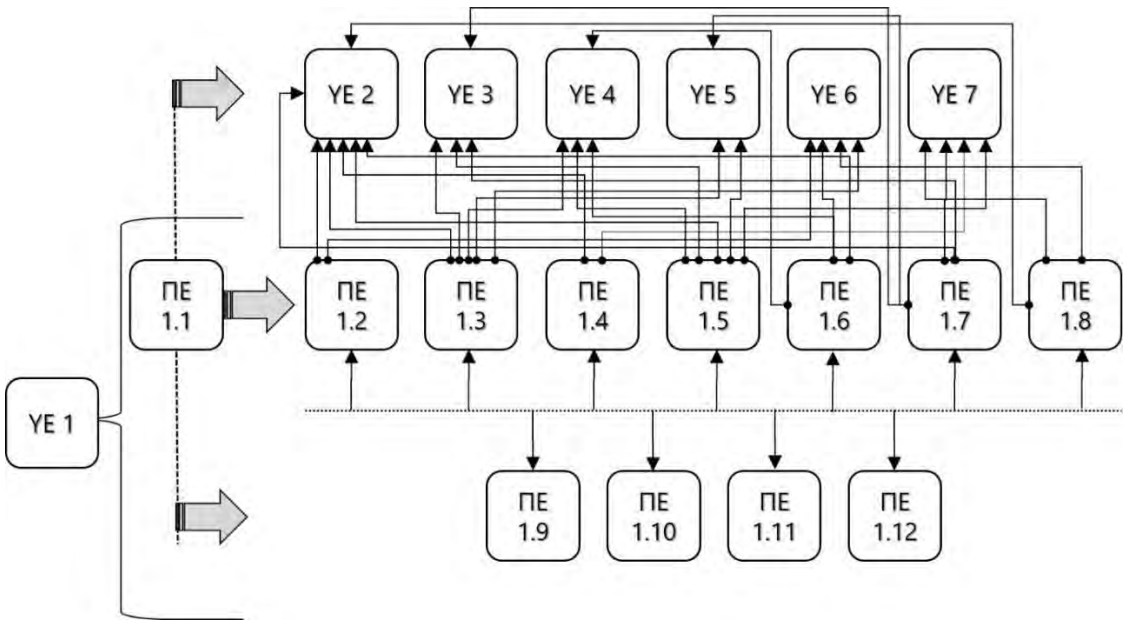


Δομή του έργου CALIBRA / ΕΥΙΕ σε Υποέργα και Πακέτα Εργασίας

Η «αλληλεπίδραση» και η διασύνδεση των επιμέρους Υποέργων και Πακέτων Εργασίας δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σύμφωνα με αυτό τα Υποέργα ΥΕ 2 έως και ΥΕ 7, που αφορούν σε αναβαθμίσεις και νέο εξοπλισμό με καθαρό κόστος μεγαλύτερο των 60 χιλ. Ευρώ ανά είδος, συνδέονται άμεσα με όλα τα πακέτα εργασίας (ΠΕ 1.1 έως ΠΕ 1.8) που αφορούν σε κοινές ερευνητικές δραστηριότητες (Joint Research Activities - JRAs), ενώ τα ΠΕ 1.9 έως και ΠΕ 1.12, εστιάζουν σε δράσεις δικτύωσης, προβολής, εξωστρέφειας και βιωσιμότητας της προτεινόμενης Υποδομής.

Η υλοποίηση των JRAs εξαρτάται απόλυτα από αυτή των ΥΕ 2 έως και ΥΕ 7 . Ειδικά το ΥΕ 2, όπως μπορεί κανείς να «αναγνώσει» στο παρακάτω σχήμα, συνδέεται με όλα τα πακέτα εργασίας, ΠΕ 1.1 έως και ΠΕ 1.8 και για το λόγο αυτό η υλοποίησή του ΥΕ 2 είναι η πρώτη προτεραιότητα του έργου. Πρέπει να τονιστεί ότι, όλα τα JRAs έχουν «στηθεί» γύρω από τις αναβαθμίσεις και τον νέο εξοπλισμό των Υποέργων ΥΕ 2 έως και ΥΕ 7 και δεν αναφέρονται σε ερευνητικές δραστηριότητες εκτός της Υποδομής, δεν είναι δηλαδή μικρά "projects" που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν ανεξάρτητα. Όλες οι κοινές ερευνητικές δραστηριότητες (JRAs) έχουν έναν κοινό παρονομαστή, τις δέσμες ιόντων και δευτερογενών νετρονίων που προσφέρονται από τον επιταχυντή και τα ήδη εγκατεστημένα και, φυσικά, τα νέα επιστημονικά όργανα που διαθέτει – θα προσφέρει η υποδομή CALIBRA.

Η ιδιαιτερότητα του προτεινόμενου έργου έχει να κάνει με το γεγονός ότι η υφιστάμενη υποδομή του Εργαστηρίου Επιταχυντή Tandem λόγω της μοναδικότητάς της σε εθνικό επίπεδο και, λόγω του ειδικού χαρακτήρα της, αλλά και της συνολικής αξίας της που, σήμερα, ξεπερνά τα 25 εκ. Ευρώ, δεν δύναται να κατατμηθεί – επιμεριστεί σε ανεξάρτητα τμήματα εγκατεστημένα εκτός Αττικής και η λειτουργία των αναβαθμισμένων άκρως εξειδικευμένων επιστημονικών οργάνων και διατάξεων, που το έργο CALIBRA προβλέπει, απαιτεί το επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό να εργάζεται στους χώρους του εργαστηρίου. Για τον λόγο αυτό, είναι αναπόφευκτο η προτεινόμενη πράξη να έχει μόνο έναν Δικαιούχο, το ΕΚΕΦΕ «Δ», παρόλο που στο «στήσιμο» και τη λειτουργία της υποδομής CALIBRA συμμετέχουν συνολικά 30 ερευνητές, μόνιμο επιστημονικό προσωπικό, από 12 ερευνητικούς φορείς (ΑΕΙ, ΤΕΙ και Ερ. Κέντρα) από όλες σχεδόν της περιφέρειες της χώρας.

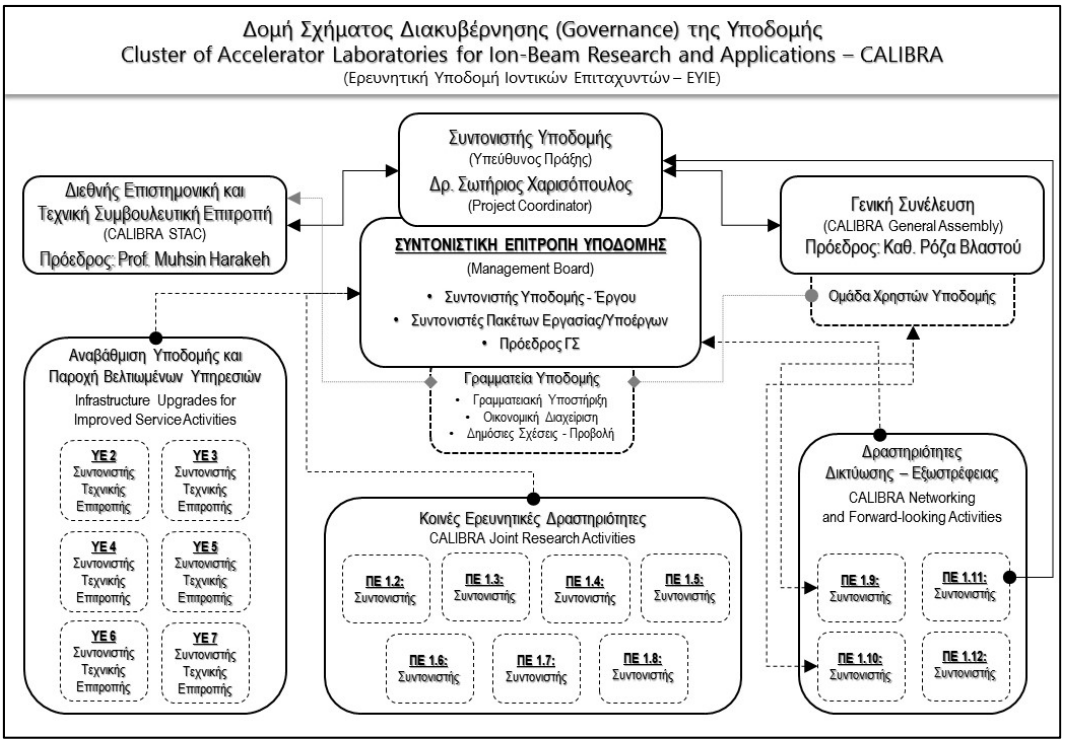


Διασύνδεση των Υποέργων και Πακέτων Εργασίας της υποδομής CALIBRA / ΕΥΙΕ

Σχήμα Διακυβέρνησης (Governance) της Υποδομής

Το σχήμα διακυβέρνησης της Υποδομής φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Σύμφωνα με αυτό, οι Συντονιστές των επιμέρους Πακ. Εργασίας (ΠΕ 1.1 – 1.12) και την Πρόεδρο της Γενικής Συνέλευσης της υποδομής σχηματίζουν, μαζί τον Υπεύθυνο της Πράξης (Συντονιστής της Υποδομής), την Συντονιστική Επιτροπή της Υποδομής (ΣΕΥ) της οποίας Πρόεδρος είναι ο τελευταίος. Στην ΣΕΥ θα συμμετέχουν και οι Συντονιστές των Τεχνικών Επιτροπών που θα παρακολουθούν την υλοποίηση των Υποέργων αναβάθμισης και επέκτασης της υποδομής (ΥΕ 2 – ΥΕ 7). Λόγω της ισχυρής εξάρτησης των ΠΕ από τα ΥΕ 2-7, και ανάλογα με τις ανάγκες υλοποίησης της πράξης στη θέση των τελευταίων θα μπορούν να τοποθετηθούν, έπειτα από απόφαση της ΣΕΥ και συντονιστές ΠΕ.

Η ΣΕΥ συνεπικουρείται από την Γραμματεία της Υποδομής, όπως φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα. Στο σχήμα διακυβέρνησης της Υποδομής, δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην σύσταση α) Γενικής Συνέλευσης της Υποδομής στην οποία συμμετέχουν όλα τα μέλη της Ομάδας έργου (μόνιμο και νέο προσωπικό), και β) Ομάδας Χρηστών της Υποδομής, στην οποία μπορούν να συμμετέχουν ερευνητές (μέλη και μη μέλη της Ομάδας έργου) αλλά και φορείς (με εκπρόσωπό τους) από τον ευρύτερο δημόσιου και ιδιωτικό τομέα, που επιθυμούν να κάνουν χρήση των υπηρεσιών της υποδομή.



Βασική συνιστώσα του σχήματος διακυβέρνησης είναι η Διεθνής Επιστημονική και Τεχνική Συμβουλευτική Επιτροπή (international Scientific and Technical Advisory Committee – CALIBRA STAC), η οποία υπό της προεδρία διεθνούς γνωστού επιστήμονα του εξωτερικού θα έχει ρόλο συμβουλευτικό στην υλοποίηση του έργου. Παράλληλα, σύμφωνα με την διεθνώς καθιερωμένη πρακτική, θα αξιολογεί τις προτεινόμενες ερευνητικές δραστηριότητες γνωμοδοτώντας για την επιστημονική αξία και την τεχνική αρτιότητα των σχετικών προτάσεων των χρηστών, οι οποίες οι τελευταίοι θα υποβάλουν στην STAC. Για το σκοπό αυτό η CALIBRA STAC θα συνεδριάζει δύο φορές το χρόνο. Μέλη της STAC θα είναι συνολικά 5 έλληνες ή ξένοι καταξιωμένοι επιστήμονες του εξωτερικού. Ο Συντονιστής της Επιτροπής, ή εκπρόσωπος της Ομάδας Χρηστών θα εκτελεί χρέη επιστημονικού γραμματέα της Επιτροπής.

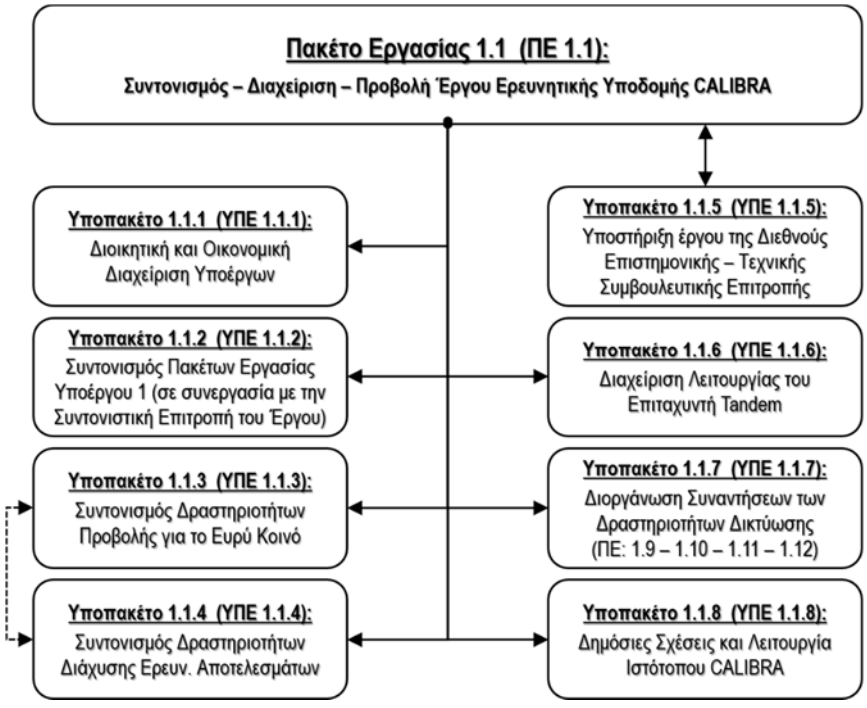
Υποέργο 1 (ΥΕ 1):
Εκτέλεση Πράξης CALIBRA με Ίδια Μέσα (Αυτεπιστασία)

Πακέτο Εργασίας 1.1 (ΠΕ 1.1):
Συντονισμός – Διαχείριση – Προβολή Έργου Ερευνητικής Υποδομής CALIBRA

Coordination – Management – Promotion of the CALIBRA Research Infrastructure

Υπεύθυνος Έργου – Συντονιστής ΠΕ 1.1: Δρ. Σωτήριος Β. Χαρισόπουλος
Ερευνητής Α', Ινστιτούτο Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής - ΙΠΣΦ
Διευθυντής ΙΠΣΦ και Αντιπρόεδρος ΔΣ ΕΚΕΦΕ «Δ»

Όπως δηλώνει ο τίτλος του, το ΠΕ 1.1 εστιάζει στο συντονισμό των Υποέργων και υπολοίπων Πακέτων Εργασίας του έργου, την απαιτούμενη και προβλεπόμενη από τους κανόνες του ΕΣΠΑ 2014-2020 διοικητική και οικονομική Διαχείριση καθώς και την προβολή τόσο του ερευνητικού έργου όσο και των δραστηριοτήτων αναβάθμισης που προβλέπει η πράξη. Το ΠΕ 1.1, προβλέπει οκτώ (8) επιμέρους δράσεις (Υποπακέτα) που δίνονται στο παρακάτω σχήμα και περιγράφονται εν συντομία.



Οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.1 είναι:

1) Γενικός Συντονισμός υλοποίησης των Υποέργων και πακέτων εργασίας
2) Συγγραφή και υποβολή εκθέσεων πεπραγμένων της Πράξης
3) Έλεγχος προόδου φυσικού αντικειμένου και ολοκλήρωσης παραδοτέων.
4) Συνεργασία με ΕΛΚΕ / ΓΕΛ του ΕΚΕΦΕ «Δ» σε θέματα οικονομικής διαχείρισης του Έργου.
5) Συντονισμός πρόσληψης Έκτακτου Προσωπικού και έλεγχος ενσωμάτωσης των οριζόντιων πολιτικών.

6) Διαχείριση στοιχείων εισαγωγής στο ΟΠΣ – Προετοιμασία στοιχείων ελέγχων από Διαχ. Αρχή.
7) Εποπτεία έγκρισης και εκκαθάρισης δικαιολογητικών μετακινήσεων και αμοιβών.
8) Επιμέλεια και συντονισμός δραστηριοτήτων επικοινωνίας με το κοινό (ημερίδες ενημέρωσης και προβολής, «ανοιχτές θύρες», researcher's night, κλπ.).
9) Δημιουργία ιστότοπου του Έργου και επικαιροποίηση – Διαδικτυακή σύνδεση με ανάλογες δράσεις.
10) Εκτύπωση ενημερωτικών εκδόσεων σχετικά με την Υποδομή (υλοποίηση, ερευνητικές δραστηριότητες και υπηρεσίες)
11) Συναντήσεις ενημέρωσης και προβολείς με φορείς του παραγωγικού τομέα.
12) Υλοποίηση προγράμματος δημοσίων σχέσεων και γενικότερης προβολής.
13) Υποστήριξη έργου της Διεθνούς Επιστημονικής – Τεχνικής Συμβουλευτικής Επιτροπής με προετοιμασία των σχετικών συναντήσεων, υλικού και επιμέλεια σύνταξης των σχετικών πρακτικών.
14) Διαχείριση Λειτουργίας του Επιταχυντή Tandem (Προσωπικό, Αναλώσιμα, Συντήρηση, Ενημέρωση Χρηστών κλπ.)
15) Δικτύωση υποδομής με μεγάλες διεθνείς ερευνητικές υποδομές (με έμφαση σε αυτές του ESFRI) και οργανισμούς μέσω συμφωνητικών συνεργασίας.
16) Παρακολούθηση των προκηρύξεων του προγράμματος Horizon 2020, με στόχο την σύνταξη προτάσεων χρηματοδότησης από την ΕΕ.

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι αναγκαίο να υλοποιηθεί σειρά ενεργειών και εργασιών μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι εξής:</u>

1) Διοργάνωση ημερίδων παρουσίασης προόδου του φυσικού αντικειμένου των Υποέργων και Πακέτων Εργασίας (σε 3μηνιαία βάση) από του αντίστοιχους Συντονιστές.
2) Πρόσληψη έκτακτου (νέου) προσωπικού για την υλοποίηση όλων των ΥΕ και ΠΕ του Έργου, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις
3) Διοργάνωση ημερίδων-ομιλιών διάδοσης αποτελεσμάτων για την ερευνητική κοινότητα στο ΙΠΣΦ και κεντρικών δραστηριοτήτων επικοινωνίας με το ευρύτερο κοινό («ανοιχτές θύρες», researcher's night 2018, κλπ.) σε συνεργασία με το Γραφείο Δημοσίων Σχέσεων του ΕΚΕΦΕ «Δ».
4) Δημιουργία ιστότοπου του Έργου και επικαιροποίηση των στοιχείων του σε τακτά διαστήματα. Σ' αυτόν θα είναι δυνατή και η ενημέρωση των χρηστών της υποδομές για την λειτουργία των επιταχυντών, το πρόγραμμα συντήρησης και εργασιών αναβάθμισης.
5) Διοργάνωση ενός τουλάχιστον διεθνούς συνεδρίου αλλά και workshops στα επιστημονικά και τεχνικά πεδία που αφορούν στην υποδομή CALIBRA και τις υπηρεσίες που αυτή (θα) προσφέρει.
6) Σύνταξη μελέτης για την βιωσιμότητα της υποδομής και τις προοπτικές επέκτασής της και σε περιφέρεια εκτός Αττικής, σε επόμενη / ανάλογη φάση ενίσχυσης των υποδομών έρευνας και καινοτομίας. Στην κατεύθυνση αυτή είναι επιτακτική μία επιστημονική και οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης επιταχυντικού συστήματος χρονολόγησης με φασματομετρία μαζών (Accelerator Mass Spectrometry – AMS) που απουσιάζει από τον Ελλαδικό χώρο, παρά την πλούσια πολιτιστική μας κληρονομιά και το έντονο ενδιαφέρον άλλων επιστημονικών κοινοτήτων για ραδιοχρονολόγηση (γεωλογία, ωκεανογραφία, σεισμολογία κλπ.)

Πακέτο Εργασίας 1.2 (ΠΕ 1.2):

Ατομική φυσική με επιταχυντές: Φασματοσκοπία Auger ηλεκτρονίων δέσμης

(Atomic Physics with Accelerators: Projectile Electron Spectroscopy – APAPES)

Συντονιστής: Καθ. Θεόδωρος Τζούρος

(Τμήμα Φυσικής, Παν/μιο Κρήτης και Adjunct Researcher ΙΠΣΦ/ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»)

Το πεδίο της ατομικής φυσικής με επιταχυντές εστιάζει στις θεμελιώδεις διεργασίες που διέπουν την αλληλεπίδραση Coulomb, όπως την διέγερση, ιονισμό και σύλληψη ηλεκτρονίων (και σε σχετικιστικές ενέργειες και την παραγωγή ποζιτρονίων) σε ένα ιδιαίτερα καλά ελεγχόμενο περιβάλλον. Έτσι, ερευνητές στο πεδίο σήμερα μπορούν να επιλέξουν σχεδόν οποιοδήποτε στοιχείο του περιοδικού πίνακα, να το επιταχύνουν ως δέσμη ιόντων συγκεκριμένης ενέργειας της επιλογής τους και σε γνωστή αρχική κβαντική κατάσταση προκαλώντας την ενεργοποίηση της δύναμης Coulomb κατά την κρούση της δέσμης με επιλεγμένο στόχο. Ο προσδιορισμός της δυναμικής αλληλεπιδρώντων ατομικών συστημάτων βρίσκεται ακόμα μεταξύ των πλέον θεμελιωδών προβλημάτων στην φυσική.

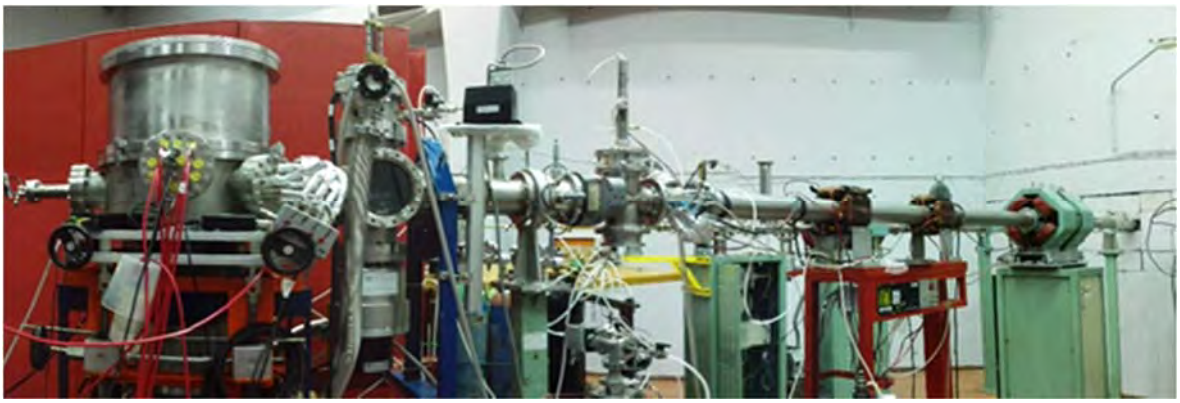
Οι ανελαστικές αντιδράσεις στις παραπάνω ατομικές διεργασίες συναντώνται συχνά σε πολλά σύγχρονα ερευνητικά πεδία, όπως π.χ. στην φυσική πλάσματος για την παγκόσμια προσπάθεια εξεύρεσης μιας νέας αστείρευτης πηγής ενέργειας μέσα από τη επίτευξη ελεγχόμενης πυρηνικής σύντηξης (πρόγραμμα ITER), στην μελέτη φασμάτων ακτινών-Χ από τον Ήλιο και άλλα άστρα όπου η ταυτοποίηση των φασματικών γραμμών και η μέτρηση της ένταση τους δίνει σημαντική πληροφόρηση για την ατομική κατάσταση των συγκεκριμένων ιόντων και της ποσοστιαίας πρόσμειξης τους στο γενικότερο περιβάλλον, στην φυσική των λέϊζερς (π.χ. laser-assisted fast ion-atom collisions), στην αστροφυσική της ιονόσφαιρας και υψηλοτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, στην αδρονική θεραπεία καρκινωμάτων με την χρήση ενεργειακών ιοντικών δεσμών για τον χωρικό εντοπισμό της δόσης, κ.α. Σε όλα αυτά τα διεπιστημονικά πεδία είναι απαραίτητη η γνώση ενεργών διατομών (cross sections) και ρυθμών κρούσης (collisional rates) για διάφορα είδη αντιδράσεων μεταξύ ιόντων και ατόμων που σχετίζονται με τις βασικές ατομικές διεργασίες.

Ένα από τα κύρια αντικείμενα του πεδίου της ατομικής φυσικής με επιταχυντές εστιάζει στην ανάπτυξη τεχνικών φασματοσκοπίας ηλεκτρονίων και ειδικότερα της τεχνικής ανίχνευσης υψηλής διακριτικής ικανότητας ηλεκτρονίων Auger που προέρχονται από τις μεταπτώσεις των ιοντικών διεγερμένων καταστάσεων στις μηδέν μοίρες (0^O) ως προς τον άξονα της δέσμης. Η τεχνική αυτή υψηλής διακριτικής ικανότητας είναι γνωστή ως Zero-degree Auger Projectile Spectroscopy (ZAPS). Η ομάδα του κ. Θεόδωρου Τζούρου, καθηγητή στον τομέα Ατομικής-Μοριακής Φυσικής του τμήματος Φυσικής του Παν/μιου της Κρήτης είναι από τους πρωτεργάτες αυτής της τεχνικής, χρησιμοποιώντας την συστηματικά πάνω από μία δεκαετία σε διαφορετικά εργαστήρια ανά τον κόσμο. Από το 1996 έχει αναπτύξει μοναδική και καινοτόμο διάταξη στο ερευνητικό εργαστήριο επιταχυντή TANDEM του Πολιτειακό Πανεπιστημίου Kansas των ΗΠΑ. Το 2008 έγινε η μεταφορά και μετεγκατάσταση του σχετικού εξοπλισμού από το Kansas στο «Δημόκριτο» με την προοπτική της συνεργασίας κυρίως με Έλληνες επιστήμονες με ενδιαφέροντα στην φυσική των ατομικών κρούσεων και την φασματοσκοπία ηλεκτρονίων, καθώς και Ελλήνων μεταπτυχιακών φοιτητών.

Τα τελευταία 4 χρόνια, μέσα από το ερευνητικό πρόγραμμα Θαλής APAPES[1] (Atomic Physics with Accelerators: Projectile Electron Spectroscopy) επιτεύχθηκε για 1η φορά στην Ελλάδα στις

[1] Βλέπε http://excellence.minedu.gov.gr/thales/en/thalesprojects/377289 και http://apapes.physics.uoc.gr/

εγκαταστάσεις του επιταχυντή TANDEM στο Δημόκριτο έρευνα στην Ατομική Φυσική με επιταχυντές και συγκριμένα αναπτύχθηκε η διάταξη φασματοσκοπίας Auger ηλεκτρονίων ψηλά φορτισμένων ιόντων. Η διάταξη υλοποιεί την τεχνική ZAPS. Με χρηματοδότηση από το παραπάνω ερευνητικό πρόγραμμα Θαλής εγκαταστάθηκε μία νέα γραμμή μεταφοράς δέσμης στο εργαστήριο επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και περιγράφεται αναλυτικά στα Πρακτικά[1] του διεθνούς συνεδρίου με τίτλο 17th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions.



Εικόνα 1.2.1: Πανοραμική εικόνα της νέας γραμμής μεταφοράς δέσμης του προγράμματος APAPES που εγκαταστάθηκε στον επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ του «Δημοκρίτου».

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την τεχνική ZAPS παρουσιάζει η χρήση προδιεγερμένων μετασταθών ιοντικών καταστάσεων, όπως π.χ. της $1s2s\ ^3S$ (χρόνος ζωής τ>10μs) που παράγεται, μαζί με την θεμελιώδη $1s^2\ ^1S$, σε δέσμες ηλιοειδών ιόντων σε επιταχυντές (π.χ. $C^{4+}(1s2s\ ^3S)$ - άνθρακας με φορτίο 4+ δηλαδή δέσμη ιόντων άνθρακα με 2 μόνο ηλεκτρόνια στην ατομική κατάσταση $1s2s\ ^3S$). Οι προδιεγερμένες αυτές καταστάσεις επιτρέπουν την πρόσβαση, μέσω κρούσεων με αέριους στόχους, σε διεγερμένες ατομικές καταστάσεις μη προσβάσιμες από δέσμες στη θεμελιώδη κατάσταση ή προσβάσιμες μέσω διαφορετικών μηχανισμών. Π.χ. έχουν μελετηθεί βασικές διαδικασίες διέγερσης όπως η μεταφορά ενός ηλεκτρονίου από τον στόχο στην $1s2s\ ^3S$ για την παραγωγή λιθιοειδών ατομικών καταστάσεων τύπου 1s2l2l' όπως πχ $1s2s2p\ ^4P$ και $1s2s2p\ ^2P$. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο μηχανισμός παραγωγής των καταστάσεων $1s2s2p\ ^4P$ και $1s2s2p\ ^2P$ για τον προσδιορισμό του λόγου των διατομών παραγωγής τους R_m. Σύμφωνα με την θεωρία, η παραγωγή των καταστάσεων αυτών γίνεται με την μεταφορά ενός 2p ηλεκτρονίου στην $1s2s\ ^3S$ και ο λόγος $R_m \equiv \sigma(^4P)/\sigma(^2P)$ πρέπει να έχει τιμή $R_m=2$, τιμή που όμως διαφέρει πολύ από μετρήσεις σε δέσμες F^{7+} αλλά και C^{4+}, όπου ο λόγος R_m φθάνει ως και 10. Μέχρι τώρα, καμία από τις δύο προτεινόμενες εξηγήσεις για την παρατηρηθείσα απροσδόκητη αύξηση του R_m, δηλαδή αυτή της δυναμικής ανταλλαγής Pauli (dynamic Pauli exchange) και αυτή της επιλεκτικής τροφοδοσίας αλληλουχίας (selective cascade feeding) δεν έχει καταφέρει μέχρι σήμερα να δώσει ικανοποιητική και οριστική εξήγηση στο φαινόμενο.

Αξιοποιώντας τον υπάρχοντα εξοπλισμό που πρόσφατα αναπτύχθηκε μέσω του προγράμματος ΘΑΛΗΣ που προαναφέρθηκε, προτείνεται μια σειρά νέων μετρήσεων με την χρήση δεσμών ηλιοειδών ιόντων προδιεγερμένων στην ατομική κατάσταση $1s2s\ ^3S$. Πιο συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθούν δέσμες των ηλιοειδών ιόντων Li^+, B^{3+}, C^{4+}, N^{5+}, O^{6+} και F^{7+} ενέργειας 0.2-1.5 MeV/u

[1] Βλέπε http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/583/1/012014/pdf

οι οποίες θα παραχθούν με τα νεα αναβαθμισμένα συστήματα απογυμνωτών σε μεταβλητά μείγματα της θεμελιώδους $1s^2\ ^1S$ με την προδιεγερμένη κατάσταση $1s2s\ ^3S$. Έτσι, φάσματα K-Auger ηλεκτρονίων ιόντων δέσμης από κρούσεις με αέριους στόχους θα μετρηθούν και θα προσδιοριστεί με ειδική μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί από την ομάδα μας ο λόγος R_m. Η προτεινόμενη ισοηλεκτρονική μελέτη και μέτρηση του R_m αναμένεται να καθορίσει τον ρόλο των δυο προτεινόμενων μηχανισμών εποίκισης των καταστάσεων $1s2s2p\ ^4P$ και $1s2s2p\ ^2P$ και να αποσαφηνίσει αποκλίσεις από τη θεωρία.

Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.2 είναι:

1) Εφαρμογή μεθόδων φασματοσκοπίας Auger ηλεκτρονίων υψηλής διακριτικής ικανότητας για την μέτρηση ενεργών διατομών ατομικών κρούσεων μεταξύ ιόντων και ατομικών στόχων. Αξιοποιώντας τον υπάρχοντα εξοπλισμό της διάταξης ZAPS (Zero-degree Auger Projectile Spectroscopy) που στήσαμε στο ερευνητικό πρόγραμμα APAPES (Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ ΕΣΠΑ 2007-2014) θα πραγματοποιήσουμε μια σειρά μετρήσεων με την χρήση δεσμών ηλιοειδών ιόντων προδιεγερμένων στην ατομική κατάσταση $1s2s\ ^3S$. Πιο συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθούν δέσμες των ηλιοειδών ιόντων Li^+, B^{3+}, C^{4+}, N^{5+}, O^{6+} και F^{7+} ενέργειας 0.2-1.5 MeV/u οι οποίες θα παραχθούν με τα νέα αναβαθμισμένα συστήματα απογυμνωτών σε μεταβλητά μείγματα της θεμελιώδους $1s^2\ ^1S$ με την προδιεγερμένη κατάσταση $1s2s\ ^3S$. Έτσι, φάσματα K-Auger ηλεκτρονίων ιόντων δέσμης από κρούσεις με αέριους στόχους θα μετρηθούν και θα μελετηθεί η σύλληψη ενός ηλεκτρονίου από τον στόχο στην $1s2s\ ^3S$ για την παραγωγή λιθιοειδών ατομικών καταστάσεων τύπου 1s2l2l' όπως πχ $1s2s2p\ ^4P$ και $1s2s2p\ ^2P$. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο μηχανισμός παραγωγής των καταστάσεων $1s2s2p\ ^4P$ και $1s2s2p\ ^2P$ για τον προσδιορισμό του λόγου των διατομών παραγωγής τους $R_m \equiv \sigma(^4P)/\sigma(^2P)$. Η προτεινόμενη ισοηλεκτρονική μελέτη και μέτρηση του R_m αναμένεται να καθορίσει τον ρόλο των δυο προτεινόμενων μηχανισμών εποίκισης των καταστάσεων $1s2s2p\ ^4P$ και $1s2s2p\ ^2P$ και να αποσαφηνίσει τις υπάρχουσες σημαντικές αποκλίσεις από τη θεωρία.
2) Αναβάθμιση της πειραματικής διάταξης με χρήση υπάρχοντος μεγαλύτερου θαλάμου σκέδασης. Ο υπάρχον θάλαμος σκέδασης είναι κατάλληλος μόνο για αέριους στόχους σε κελί. Ο νέος θάλαμος που θα τον αντικαταστήσει έχει πολύ μεγαλύτερο μέγεθος (600 mm διάμετρος) που επιτρέπει την εύκολη φιλοξενία όλων των συσκευών που σχεδιάζουμε να ενσωματώσουμε. Αυτά περιλαμβάνουν: (α) Αέριους στόχους σε κελί αντλούμενο με μεγαλύτερη στροβιλομοριακή αντλία για καλύτερη διαφορική άντληση, (β) Αέριους στόχους σε ακροφύσιο, επίσης διαφορικά αντλούμενο, που θα δίνει τη δυνατότητα επέκτασης των μελλοντικών μελετών σε κρούσεις ηλεκτρονίων με άτομα (e,2e measurements) καθώς και αρνητικών ιόντων με άτομα. (γ) Κρυσταλλικούς στόχους για την επέκταση των μελετών μας σε πειράματα channeling με την εγκατάσταση ειδικού γωνιομέτρου.
3) Μελέτη της παραγωγής μετασταθών ιοντικών καταστάσεων σε συνάρτηση με τις συνθήκες πίεσης του terminal gas stripper, την ενέργεια κρούσης και το ατομικό είδος. Οι μετασταθείς αυτές καταστάσεις επιτρέπουν την πρόσβαση, μέσω κρούσεων με αέριους στόχους, σε διεγερμένες ατομικές καταστάσεις μη προσβάσιμες από δέσμες στη θεμελιώδη κατάσταση ή προσβάσιμες μέσω διαφορετικών μηχανισμών. Το ενδιαφέρον μας εστιάζεται (α) στις ηλιοειδείς μετασταθείς δέσμες των οποίων το περιεχόμενο είναι ζωτικής σημασίας για την μελέτη του μηχανισμού της απλής σύλληψης ηλεκτρονίου σε κρούσεις ηλιοειδών ιόντων με αέριους στόχους και (β) στις βηρυλλιοειδείς που μας δίνουν πρόσβαση σε ηλεκτρονικές καταστάσεις μεγάλου χρόνου ζωής τις οποίες θέλουμε να μελετήσουμε.

4) Διερεύνηση του φαινομένου RCE (Resonant Coherent Excitation) σε συνθήκες διαυλισμού (channeling) με λεπτούς κρυσταλλικούς στόχους με την μέθοδο ZAPS. Η χρήση κρυσταλλικών στόχων αποτελεί μια ουσιαστική ρεαλιστική επέκταση των εφαρμογών της μεθόδου ZAPS. Η υλοποίησή της εναρμονίζεται με την αναβάθμιση της διάταξης με τη χρήση του μεγαλύτερου θαλάμου σκέδασης και την ενσωμάτωση σε αυτόν ενός γωνιόμετρου. Το φαινόμενο RCE έχει μελετηθεί μέχρι σήμερα μόνο μέσω της φασματοσκοπίας ακτίνων Χ. Η μέθοδος ZAPS αναμένεται να αναδείξει λεπτομέρειες του φαινομένου μέσα από την Auger αποδιέγερση των ιοντικών καταστάσεων μη-επιτρεπτών με εκπομπή φωτονίων.
5) Ανάπτυξη μεθόδων μέτρησης του χρόνου ζωής μετασταθών ιοντικών ατομικών καταστάσεων. Η ομάδα μας έχει μελετήσει με προσομοιώσεις στο περιβάλλον SIMION συγκεκριμένη τεχνική για την μέτρηση των χρόνων ζωής των J-επιπέδων στροφορμής ιοντικών καταστάσεων μεγάλου χρόνου ζωής. Συγκεκριμένα το άμεσο ενδιαφέρον μας είναι για την κατάσταση 1s2s2p ^4P_J οι ακριβείς τιμές των χρόνων ζωής των J-επιπέδων είναι απαραίτητες στην μελέτη της απλής σύλληψης ηλεκτρονίου (single electron capture) από ηλιοειδείς μετασταθείς δέσμες. Επίσης η υλοποίηση των παραπάνω συνάδει (α) με την αναβάθμιση του θαλάμου σκέδασης όπου και θα αναπτυχθεί η επί μέρους διάταξη για την μέτρηση των χρόνων ζωής και (β) με την παραγωγή βηρυλλιοειδών μετασταθών καταστάσεων.

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:</u>

1) Θεωρητικοί υπολογισμοί. Τα αναμενόμενα πειραματικά αποτελέσματα θα υποστηριχτούν από θεωρητικούς υπολογισμούς ατομικής δομής, σύλληψης ηλεκτρονίου και τροφοδοσίας αλληλουχίας (cascade feeding) από ειδικούς στην ατομική φυσική συνεργάτες του εξωτερικού.
2) Ακριβέστερος προσδιορισμός του μετασταθούς κλάσματος 1s2s ^3S σε ηλιοειδείς δέσμες με χρήση των ήδη εγκατεστημένων gas και foil terminal stripper αλλά και post-stripper. Οι μετασταθείς δέσμες είναι απαραίτητες στις προτεινόμενες μελέτες. Οι μέθοδοι ανάλυσης των δεδομένων που έχει αναπτύξει η ομάδας μας περιλαμβάνουν ενδογενώς τον ποσοτικό προσδιορισμό του μετασταθούς κλάσματος. Στο πλαίσιο αυτό θα προσδιοριστεί το κλάσμα της μετασταθούς κατάστασης σε συνάρτηση με τον τρόπο παραγωγής της δέσμης και την ενέργεια κρούσης και θα συγκριθεί με αντίστοιχες μελέτες στη βιβλιογραφία.
3) Υποστήριξη μελετών με τη χρήση του υπολογιστικού πακέτου οπτικής ιόντων SIMION. Οι επί μέρους μελέτες που θα πραγματοποιηθούν με το SIMION και θα ελεγχθούν και στην πράξη είναι (α) Βελτιστοποίηση της λειτουργίας του φακού του φασματογράφου ηλεκτρονίων με χρήση επιπλέον ηλεκτροδίων στον κυλινδρικό φακό εισόδου. (β) Προσδιορισμός της ενεργούς στερεάς γωνίας ανίχνευσης για το φασματόμετρο παραλλήλων πλακών και παράγοντα διόρθωσής της. Ο υπολογισμός αυτός είναι ζωτικής σημασίας στον προσδιορισμό του λόγου R_m μετρούμενος με φασματόμετρα παραλλήλων πλακών. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με υπάρχοντες υπολογισμούς στη βιβλιογραφία. (γ) Περεταίρω μελέτες στον προσδιορισμό των χρόνων ζωής των J-επιπέδων της κατάστασης 1s2s2p ^4P_J.
4) Ανάπτυξη ηλεκτρονιοβόλου (e-gun). Το ηλεκτρονιοβόλο θα ενσωματωθεί στο νέο θάλαμο κρούσης και θα χρησιμοποιηθεί: (α) για μετρήσεις βαθμονόμησης του φασματομέτρου, (β) για μετρήσεις ελέγχου της καλής λειτουργίας της όλης διάταξης πριν από πειράματα και (γ) για τη μελέτη κρούσεων με αέριους στόχους από ακροφύσιο η δυνατότητα της οποίας συνάδει με την αναβάθμιση της όλης πειραματικής διάταξης με την χρήση του νέου μεγαλύτερου θαλάμου σκέδασης.

Πακέτο Εργασίας 1.3 (ΠΕ 1.3):

Πυρηνική Δομή, Πυρηνική Αστροφυσική και Πυρηνικές Αντιδράσεις

(Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions – NuSTAR)

Συντονιστής: Δρ. Σωτήριος Β. Χαρισόπουλος
Ερευνητής Α', ΙΠΣΦ – ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Ο πρώτος άξονας (**Πυρηνική Δομή**) υλοποιείται με τη διεξαγωγή πειραμάτων που, στο μεγαλύτερο μέρος τους, λαμβάνουν χώρα σε Ευρωπαϊκά εργαστήρια επιταχυντών μεγάλης κλίμακας (large-scale facilities), όπως το Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL)) στην Padova της Ιταλίας, το εργαστήριο επιταχυντών του Πανεπιστημίου Jyväskylä (JYFL)) στη Φιλανδία, το γαλλικό εθνικό εργαστήριο επιταχυντών βαρέων ιόντων (GANIL) στην πόλη Caen στη Νορμανδία και την ερευνητική υποδομή ISOLDE του CERN στη Γενεύη. Ο λόγος διεξαγωγής πειραμάτων πυρηνικής δομής στα παραπάνω εργαστήρια του εξωτερικού, οφείλεται κυρίως στο εύρος ενεργειών επιτάχυνσης των ιόντων που ενδιαφέρουν, σε συνδυασμό με τη μάζα τους και την έντασή τους. Οι ενέργειες αυτές είναι στην πλειοψηφία τους σημαντικά υψηλότερες από εκείνες που μπορούν να επιτευχθούν στον επιταχυντή TANDEM στο «Δημόκριτο». Για σύγκριση αναφέρουμε ότι η τελική ενέργεια επιτάχυνσης δέσμης πρωτονίων στον επιταχυντή TANDEM του LNL (Ιταλία) και στο Κυκλοτρόνιο του Πανεπιστημίου Jyväskylä (Φιλανδία) είναι, αντίστοιχα, τριπλάσια και δεκαπλάσια αυτής του επιταχυντή TANDEM του «Δημοκρίτου».

Τα τελευταία χρόνια, το ερευνητικό πρόγραμμα της ομάδα του ΙΠΣΦ εστιάζει στις «αλλαγές φάσης σχήματος» (shape-phase transitions), γνωστές διεθνώς και με τον όρο «συμμετρίες κρίσιμου σημείου» (critical-point symmetries). Σύμφωνα με τις σχετικές θεωρίες, ένας πυρήνας με άρτιο αριθμό πρωτονίων και νετρονίων, αρκετά μακριά από μαγικούς φλοιούς εκτελεί περιστροφή (περιστροφέας) γύρω από έναν άξονα, όταν αυξήσουμε την εσωτερική του ενέργεια, οπότε το σχήμα του μπορεί να προσεγγιστεί γεωμετρικά (μακροσκοπικά) με αυτό ενός «πούρου», που περιστρέφεται γύρω από ένα άξονα κάθετο στον άξονα συμμετρίας του (prolate shape), ή σε αρκετά υψηλές ενέργειες μ' αυτό ενός δίσκου (oblate shape). Αντιθέτως, πυρήνες κοντά σε μαγικούς φλοιούς, συνηθίζουν –με πολύ απλά λόγια– να «δονούνται» γύρω από ένα βασικό σφαιρικό σχήμα. Εκτός των «περιστροφέων» και «δονητών», υπάρχουν και οι λεγόμενοι γ-soft πυρήνες που δονούνται γύρω από άξονα με τυχαία κατεύθυνση στο χώρο.

Με βάση τα παραπάνω, η έννοια της αλλαγής φάσης πυρηνικού σχήματος, γίνεται κατανοητή αν, μεταβαίνοντας από ένα δονητή σ' ένα περιστροφέα («αυξάνοντας» τον αριθμό νουκλεονίων), συναντήσουμε σε κάποιο «σημείο στο δρόμο» μας έναν πυρήνα με συγκεκριμένο φάσμα διέγερσης, αυτό δηλαδή που προβλέπουν θεωρητικοί υπολογισμοί που αντιστοιχούν στη λεγόμενη X(5) δυναμική συμμετρία. Τα προηγούμενα ισχύουν σε αναλογία για τη συμμετρία E(5) όταν το «κρίσιμο σημείο» ανήκει στη διαδρομή μας από το δονητή προς το γ-soft πυρήνα. Στην περίπτωση της τελευταίας συμμετρίας, η Χαμιλτονιανή του πυρηνικού συστήματος επιλύεται αναλυτικά, με αποτέλεσμα οι ενέργειες ορισμένων διεγερμένων καταστάσεων του, μαζί με τους λεγόμενους ρυθμούς μετάπτωσης από τη μία στην άλλη, να δίνονται από πολύ απλές σχέσεις. Έτσι, συγκρίνοντας το πειραματικό φάσμα διέγερσης ενός πυρήνα και, κυρίως, τους ρυθμούς μετάπτωσης συγκεκριμένων διεγερμένων καταστάσεων με τους αντίστοιχους θεωρητικούς υπολογισμούς, μπορούμε να ελέγξουμε αν ένας πυρήνας εμφανίζει την δυναμική συμμετρία E(5) ή άλλως βρίσκεται στο κρίσιμο σημείο (critical point). Για την σύγκριση αυτή, χρησιμοποιούνται ως συντελεστές

κανονικοποίησης των θεωρητικών προβλέψεων η πειραματικά προσδιορισμένη ενέργεια της 1ης διεγερμένης στάθμης του εξεταζόμενου πυρήνα και ο αντίστοιχος ρυθμός μετάπτωσης της στάθμης αυτής στη βασική.

Για να ελέγξουμε αν ένας πυρήνας εμφανίζει ή όχι τη συμμετρία E(5), είναι ζωτικής σημασίας να μετρηθούν οι χρόνοι ζωής συγκεκριμένων διεγερμένων καταστάσεων. Απ' αυτούς εξάγονται οι αντίστοιχοι ανηγμένοι ρυθμοί μετάπτωσης που, συγκριτικά προς τις ενέργειες του φάσματος διέγερσης του πυρήνα, είναι πολύ πιο ευαίσθητοι για το σχετικό έλεγχο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ μέχρι στιγμής, έχει ξεκάθαρα επιβεβαιωθεί η συμμετρία X(5) για έναν ικανό αριθμό πυρήνων, η E(5) έχει παρατηρηθεί μόνο σ' έναν, το ^{134}Ba, και για το λόγο αυτό συνεχίζει να τελεί υπό αμφισβήτηση!

Με βάση τα παραπάνω, η ομάδα του ΙΠΦ, διεξάγει μετρήσεις χρόνων ζωής πυρηνικών καταστάσεων με στόχο την πειραματική επιβεβαίωση της συμμετρίας E(5). Όλες οι μετρήσεις γίνονται με την τεχνική Recoil-Distance Dopler-Shift (RDDS) χρησιμοποιώντας την πειραματική συσκευή plunger που αναπτύχθηκε και βελτιστοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Κολωνίας και σήμερα αποτελεί εργαλείο αναφοράς για όλη την διεθνή επιστημονική κοινότητα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ομάδα του ΙΠΣΦ εφάρμοσε την τεχνική RDDS εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε «αντίστροφη κινηματική» και σε συνδυασμό με τη μέθοδο «διέγερσης Coulomb». Το σημαντικό αυτής της πειραματικής επιτυχίας, έγκειται στο γεγονός ότι η εφαρμογή της τεχνικής, σε συνδυασμό με την λειτουργία επιταχυντών ραδιενεργών δεσμών υψηλών εντάσεων, επιτρέπει στο μέλλον έναν ιδιαίτερα ακριβή έλεγχο της αξιοπιστίας διαφόρων μοντέλων πυρηνικής δομής σε εκατοντάδες ραδιενεργούς πυρήνες, που ως τώρα δεν ήταν πειραματικά προσπελάσιμοι. Στην κατεύθυνση αυτή έχουν ήδη δρομολογηθεί από την ομάδα του ΙΠΦ συνεργατικά πειράματα στην ερευνητική υποδομή ISOLDE του CERN με χρήση του μοναδικού στον κόσμο ανιχνευτικού συστήματος MINIBALL. Η κατασκευή μίας πειραματικής συσκευής plunger, ειδικά για το σύστημα MINIBALL, θα συνδέσει άμεσα την υποδομής CALIBRA με την υποδομή ISOLDE του CERN. Η τελευταία είναι στην πρώτη γραμμή επιστημονικής έρευνας καθόσον είναι πρωτοπόρος στην χρήση ραδιενεργών δεσμών που αναμένεται να ανοίξουν νέους δρόμος στην μελέτη της πυρηνικής δομής και της Πυρηνικής Επιστήμης γενικότερα.

Το ερευνητικό πρόγραμμα στην **Πυρηνική Αστροφυσική**, που συνδέεται άμεσα με την μελέτη Πυρηνικών Αντιδράσεων. Η «σύνδεση» μίας πυρηνικής αντίδρασης με την «αστροφυσική», από την οποία προκύπτει και το γνωστικό πεδίο της Πυρηνικής Αστροφυσικής, έγκειται στο γεγονός ότι η κινητική ενέργεια ενός συστήματος δύο αντιδρώντων πυρήνων μπορεί να «αναχθεί» σε θερμοκρασία, μέγεθος, που μαζί με την ισοτοπική σύσταση, χαρακτηρίζει σχεδόν μοναδικά ένα αστρικό περιβάλλον. Όταν σ' ένα αστροφυσικό περιβάλλον με συγκεκριμένη θερμοκρασία λαμβάνει χώρα μία πυρηνική αντίδραση, είναι δυνατόν με συγκεκριμένη μεθοδολογία να μετρήσουμε στο εργαστήριο την λεγόμενη «ενεργό διατομή» της, την πιθανότητα δηλαδή με την οποία αυτή πραγματοποιείται στο παραπάνω περιβάλλον, σε συγκεκριμένες ενέργειες ή, ακριβέστερα, σε εύρος ενεργειών, που αντιστοιχούν στην συγκεκριμένη θερμοκρασία. Από την ενεργό διατομή υπολογίζεται στη συνέχεια και ο λεγόμενος «ρυθμός» της πυρηνικής αντίδρασης, ο αριθμός δηλαδή των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα ανά δευτερόλεπτο και μονάδα όγκου, που είναι το σημαντικότερο μέγεθος για την πραγματοποίηση υπολογισμών πυρηνοσύνθεσης και τον έλεγχο αστροφυσικών μοντέλων αστρικής εξέλιξης.

Το τρέχον ερευνητικό πρόγραμμα Πυρηνικής Αστροφυσικής στο ΙΠΣΦ εστιάζει κυρίως στην μελέτη πυρηνικών αντιδράσεων σχετικών με την κατανόηση και μοντελοποίηση ενός συγκεκριμένου πυρηνοσυνθετικού μηχανισμού σε εκρηκτικά αστρικά περιβάλλοντα, όπως αυτά σε καινοφανείς

(supernovae). Ο μηχανισμός αυτός αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία με τον αγγλικό όρο p-process, τον οποίο και χρησιμοποιούμε στη συνέχεια χωρίς μετάφραση στα ελληνικά. Το p-process είναι υπεύθυνο για τη σύνθεση στο σύμπαν 35 πυρήνων, γνωστών με τον όρο p-nuclei, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα «φτωχοί» σε νετρόνια (neutron defficient nuclei) και είναι βαρύτεροι του Σιδήρου (Fe). Το κύριο επιστημονικό ενδιαφέρον για τους πυρήνες αυτούς ανάγεται στο γεγονός ότι, μέχρι στιγμής, έχουν παρατηρηθεί μόνο στο ηλιακό σύστημα και –επιπλέον– όλα τα ισχύοντα μοντέλα σχετικά με το p-process δεν είναι σε θέση να αναπαράγουν πλήρως τις περιεκτικότητές τους. Οι τελευταίες αντικατοπτρίζουν, προφανώς, τον τρόπο και τις συνθήκες δημιουργίας τους και κατ' επέκταση το μηχανισμό δημιουργίας του ηλιακού μας συστήματος. Έτσι, το ερώτημα «πώς ακριβώς δημιουργήθηκε» το ηλιακό σύστημα δεν μπορεί να απαντηθεί παρά μόνον ποιοτικά, χωρίς όμως να γνωρίζουμε σημαντικές πτυχές, όπως π.χ. αν η προ-απαιτούμενη για τη δημιουργία του ύλη προέρχεται από την έκρηξη καινοφανούς(νών) ή έχει άλλη προέλευση.

Το βασικό ερώτημα που καλείται να απαντήσει η Πυρηνική Αστροφυσική είναι κατά πόσο οι ασυμφωνίες μεταξύ των παρατηρούμενων στο ηλιακό σύστημα περιεκτικοτήτων των p-πυρήνων και αυτών που προβλέπονται από τα σχετικά αστροφυσικά πρότυπα μπορούν να αναχθούν σε αβεβαιότητες που σχετίζονται καθαρά με δεδομένα της πυρηνικής φυσικής (π.χ. λάθος ενεργές διατομές), ή οφείλονται αποκλειστικά σε «ατέλειες» των αστροφυσικών προτύπων (π.χ. προσομοίωση «στο χαρτί» μίας έκρηξης ενός αστέρα σε μία διάσταση, ενώ όλοι γνωρίζουμε ότι αυτή υλοποιείται σε 3 διαστάσεις, οπότε είναι απαραίτητο να ανατρέξει κανείς μεταξύ άλλων και στην Υδροδυναμική. Το πρόβλημα γίνεται σύνθετο αν αναλογιστούμε ότι οι υπολογισμοί περιεκτικοτήτων των p-πυρήνων απαιτούν την «επίλυση» ενός τεράστιου «δικτύου» 20000 και πλέον πυρηνικών αντιδράσεων σύλληψης πρωτονίων, νετρονίων, α-σωματιδίων και των αντίστοιχων αντιστρόφων αντιδράσεων («φωτοδιάσπάσεις»), β-διάσπασεις, κ.α., στις οποίες εμπλέκονται περί τους 2000 πυρήνες. Οι αντιδράσεις σύλληψης πρωτονίου (p), νετρονίου (n) ή α-σωματιδίου (α) συμβολίζονται γενικά ως (p,γ), (n,γ) ή (α,γ), αντίστοιχα. Στις αντιδράσεις αυτές τα εν λόγω σωματίδια συλλαμβάνονται από ένα πυρήνα-«στόχο», και το συμμιγές, ή άλλως συνθετομικτό, σύστημα (compound system) που σχηματίζεται είναι ιδιαίτερα διεγερμένο ενεργειακά και εκπέμπει φωτόνια (γ). Το σύστημα αυτό αναφέρεται στη συνέχεια ως «σύνθετος πυρήνας».

Η «επίλυση» του δικτύου των 20000 και πλέον πυρηνικών αντιδράσεων που προαναφέραμε, ως υπολογιστικό πρόβλημα ανάγεται στην επίλυση ενός συστήματος 1000 και πλέον συζευγμένων διαφορικών εξισώσεων, στο οποίο οι ρυθμοί των αντιδράσεων, που υπολογίζονται από τις αντίστοιχες ενεργές διατομές, εμφανίζονται ως συντελεστές. Για την επίλυση του προβλήματος τα σχετικά πειραματικά δεδομένα ενεργών διατομών είναι, αναλογικά, σχεδόν ανύπαρκτα! Αν αναλογιστούμε παραπέρα, ότι οι πυρήνες που εμπλέκονται στο δίκτυο είναι, στην συντριπτική τους πλειοψηφία ασταθείς και επομένως τεχνολογικά σχεδόν αδύνατο να τους έχουμε όλους ως «στόχους» σε πειράματα, τότε δε θα ήταν υπερβολή να ισχυριστούμε ότι δε θα είμαστε ποτέ σε θέση να μετρήσουμε τις ενεργές διατομές όλων των αντιδράσεων του δικτύου, με την απαραίτητη, επιπλέον, ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, απευθύνεται κανείς στη θεωρία των πυρηνικών αντιδράσεων και συγκεκριμένα στο λεγόμενο «στατιστικό μοντέλο», γνωστό και ως θεωρία των Hauser-Feshbach.

Το στατιστικό μοντέλο είναι ζωτικής σημασίας για την αστροφυσική, καθόσον με αυτό υπολογίζει κανείς τις ενεργές διατομές αντιδράσεων σχηματισμού σύνθετου πυρήνα και, αφού τις μετατρέψει σε ρυθμούς αντιδράσεων, τις εισάγει στο σύστημα των διαφορικών εξισώσεων που μόλις περιγράψαμε. Παρόλο που κανείς δεν αμφισβητεί την εγκυρότητα του στατιστικού μοντέλου ως υπολογιστικού εργαλείου, οι προβλέψεις του διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τις υποθέσεις που

υιοθετούνται στην πορεία των υπολογισμών. Συγκεκριμένα, το στατιστικό μοντέλο προαπαιτεί «πληροφορία» για 3 βασικές πυρηνικές παραμέτρους που είναι: α) το λεγόμενο «οπτικό» δυναμικό ανάμεσα στο βλήμα και τον πυρήνα στόχο, β) η πυκνότητα πυρηνικών καταστάσεων (σταθμών) του σύνθετου πυρήνα σε υψηλές ενέργειες διέγερσης και γ) η λεγόμενη συνάρτηση ισχύος εκπομπής γ-ακτινοβολίας, που με πολύ απλά λόγια περιγράφει ένα «γιγαντιαίο συντονισμό» μέσω του οποίου ο σύνθετος πυρήνας αποδιεγείρεται με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι 3 αυτές παράμετροι σχετίζονται ισχυρά με την δομή των αντιδρώντων πυρήνων και προκύπτουν από αντίστοιχα πρότυπα τα οποία, είτε είναι αμιγώς μικροσκοπικά, είτε πλήρως φαινομενολογικά (μακροσκοπικά) ή συνδυασμός τους.

Με βάση τα παραπάνω, πρώτος στόχος του προγράμματος συστηματικών μετρήσεων ενεργών διατομών αντιδράσεων σύλληψης, που προβλέπονται στο ΠΕ 1.3 είναι ο έλεγχος της αξιοπιστίας των τριών τελευταίων προτύπων Οπτικού Δυναμικού, Πυκνότητας Πυρηνικών Καταστάσεων και Συνάρτησης Ισχύος γ-Ακτινοβολίας, τα οποία «τροφοδοτούν» το στατιστικό μοντέλο πυρηνικών αντιδράσεων. Οι αντίστοιχες θεωρητικές δραστηριότητες εστιάζονται στην ανάπτυξη σχετικών μικροσκοπικών προτύπων και τη διερεύνηση αβεβαιοτήτων των μοντέλων πυρηνικών αντιδράσεων που υπεισέρχονται σε αστροφυσικούς υπολογισμούς περιεκτικοτήτων βαρέων πυρήνων. Στην τελευταία κατεύθυνση εντάσσονται και θεωρητικές δραστηριότητες που ξεκίνησαν τα τελευταία 3 χρόνια με στόχο τη μικροσκοπική περιγραφή του φαινομένου της σχάσης, που κι αυτό εμπλέκεται αποφασιστικά στην αστρική πυρηνοσύνθεση και ιδιαίτερα ενός άλλου μηχανισμού γνωστού ως r-process στον οποίο υπάρχει έντονη επιστημονική δραστηριότητα σε διεθνές επίπεδο.

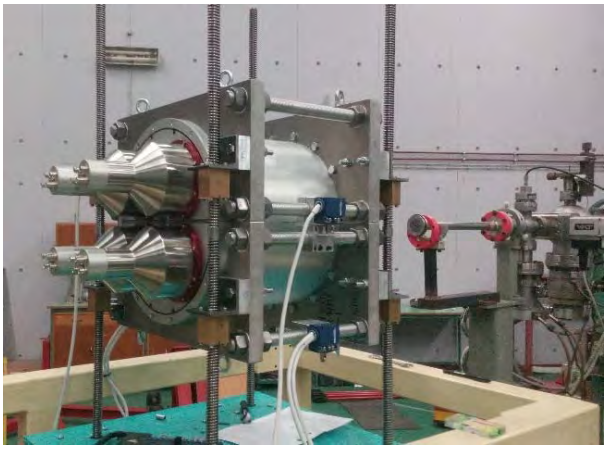
Τα πρώτα πειράματα της ομάδας του ΙΠΣΦ και των συνεργατών της σχετικά με τη μελέτη του p-process ξεκίνησαν περί το 2000 στον επιταχυντή DYNAMITRON του Πανεπιστημίου της Στουτγκάρδης, λόγω της απουσίας στο «Δημόκριτο» κατάλληλου ανιχνευτικού συστήματος που απαιτείται για τη μέτρηση των ιδιαίτερα χαμηλών ενεργών διατομών των εμπλεκόμενων στο πρόβλημα πυρηνικών αντιδράσεων. Το πρόγραμμα μετρήσεων στη Στουτγκάρδη χρηματοδοτήθηκε από το ΝΑΤΟ στα πλαίσια του προγράμματος Collaborative Research Grants (CRG). Στη συνέχεια, το πρόγραμμα ενισχύθηκε οικονομικά από τη ΓΓΕΤ στα πλαίσια μίας Συμφωνίας Διακρατικής Επιστημονικής Συνεργασίας με την Ουγγαρία (2000-2003) και, από κοινού το ΙΚΥ και το DAAD (Γερμανική Υπηρεσία Ακαδημαϊκών Ανταλλαγών) στα πλαίσια του προγράμματος IKYDA (2003-2005). Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, το πρόγραμμα περιελάμβανε μετρήσεις τόσο στον επιταχυντή TANDEM του «Δημόκριτου» όσο και στα αντίστοιχα εργαστήρια του Ινστιτούτου ATOMKI (Debrecen, Ουγγαρία) και DYNAMITRON-TANDEM-LABORATORIUM του Πανεπιστημίου του Bochum (Γερμανία).

Σύμφωνα με τα ως τώρα αποτελέσματα των συστηματικών μας μετρήσεων ενεργών διατομών αντιδράσεων σύλληψης πρωτονίων, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι αβεβαιότητες των πυρηνικών προτύπων Οπτικού Δυναμικού πρωτονίου-Πυρήνα και Πυκνότητας Πυρηνικών Καταστάσεων δεν συνεισφέρουν περισσότερο από 40% στις αβεβαιότητες των αστροφυσικών υπολογισμών περιεκτικοτήτων των p-πυρήνων. Στην περίπτωση όμως του Οπτικού Δυναμικού μεταξύ πυρήνα και σωματιδίων α, οι ενεργές διατομές των πυρηνικών αντιδράσεων (α,γ) που μετρήσαμε συχνά αποκλίνουν από τις προβλέψεις του στατιστικού μοντέλου κατά 2 τάξεις μεγέθους. Στην περίπτωση αυτή, αβεβαιότητες της Πυρηνικής Φυσικής μπορούν, όντως, να ευθύνονται για κάποιες από τις ασυμφωνίες μεταξύ των παρατηρούμενων στο ηλιακό σύστημα περιεκτικοτήτων των p-πυρήνων και των αντίστοιχων αστροφυσικών υπολογισμών. Οι ασυμφωνίες βέβαια ανάμεσα στις ενεργές διατομές αντιδράσεων (α,γ) που μετρήσαμε συστηματικά υποδηλώνει συγχρόνως και την φτωχή μας γνώση του οπτικού δυναμικού μεταξύ πυρήνα και σωματιδίων α σε χαμηλές

ενέργειες. Για το λόγο αυτό απαιτείται η ανάπτυξη πιο αξιόπιστων γενικευμένων μικροσκοπικών οπτικών δυναμικών για τα σωματίδια α και τον πυρήνα. Στην κατεύθυνση αυτή, υπάρχει έντονη δραστηριότητα από την πλευρά της ομάδας θεωρητικής πυρηνικής του ΙΠΣΦ. Ο έλεγχος αυτών των δυναμικών απαιτεί περισσότερα δεδομένα σε ενεργές διατομές αντιδράσεων (α,γ).

Για τον τελευταίο κυρίως λόγο, η ομάδα του ΙΠΣΦ ανέπτυξε πρόσφατα μια νέα μέθοδο η οποία βασίζεται στη μέτρηση των γωνιακά ολοκληρωμένων ροών ακτίνων γ και η οποία επιτρέπει για πρώτη φορά τον προσδιορισμό πολύ χαμηλών ενεργών διατομών σε αντιδράσεις σύλληψης σωματιδίων α. Το μεγάλο προτέρημα της νέας μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι επιτρέπει τη μελέτη οποιασδήποτε αντίδρασης με σύντομα πειράματα, σε αντίθεση με άλλες πειραματικές προσεγγίσεις που πολύ συχνά είτε είναι χρονοβόρες (μετρήσεις γωνιακών κατανομών) είτε δεν είναι πάντα εφαρμόσιμες (τεχνική ενεργοποίησης). Η νέα μέθοδος (4π-γ-summing method) έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αξιόπιστη και αποδοτική σε μετρήσεις ενεργών διατομών πυρηνικών αντιδράσεων με σταθερούς πυρήνες και θα χρησιμοποιηθεί μαζί με μετρήσεις γωνιακών κατανομών για συστηματικές μετρήσεις ενεργών διατομών στον επιταχυντή. Με τις μετρήσεις αυτές θα ελεγχθούν πυρηνικά μοντέλα που υπεισέρχονται σε αστροφυσικούς υπολογισμούς περιεκτικοτήτων βαρέων πυρήνων που συνθέτονται σε εκρηκτικά αστρικά περιβάλλοντα, όπως οι καινοφανείς (supernovae).





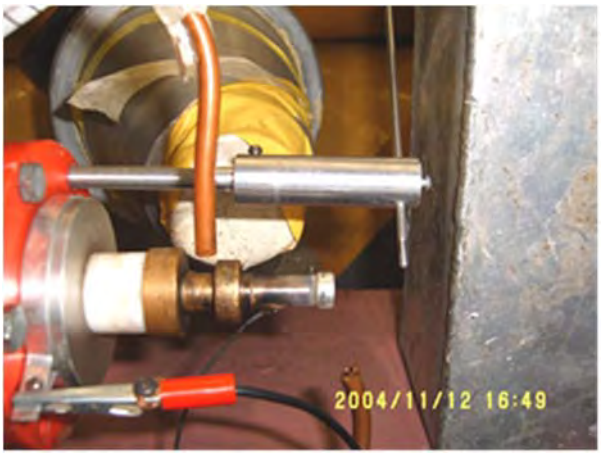
Εικόνα 1.3.1

Στο επάνω μέρος φαίνεται η πειραματική διάταξη 4 ανιχνευτών υπερκαθαρού Γερμανίου (HPGe) με την οποία γίνονται μετρήσεις γωνιακών κατανομών στον επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ του «Δημοκρίτου». Αριστερά, ο κυλινδρικός ανιχνευτής σπινθηρισμών NaI(Tl) διαστάσεων 36cm x 36cm με τον οποίο εφαρμόζεται η νέα μέθοδος (4π-γ-summing method) μέτρησης ενεργών διατομών πυρηνικών αντιδράσεων.

Εκτός των αντιδράσεων με σημασία στην πυρηνοσύνθεση, πυρηνικές αντιδράσεις επαγόμενες από νετρόνια παίζουν σημαντικό ρόλο στην τεχνολογία πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης τελευταίας γενιάς. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο του σχεδιασμού της νέας γενιάς πυρηνικών αντιδραστήρων ταχέων νετρονίων αλλά και των συστημάτων ADS (Accelerator Driven Systems), η ανάγκη για ακριβείς μετρήσεις ενεργών διατομών αντιδράσεων νετρονίων έχει ήδη επισημανθεί από την επιστημονική κοινότητα.

Από το 2013 αλλά και για τα επόμενα τρία χρόνια η ομάδα Πυρηνικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων σε συνεργασία με την ομάδα του Πολυτεχνείου και το προσωπικό του Εργαστηρίου Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" έχει αναλάβει την μέτρηση ενεργών διατομών αντιδράσεων τύπου (n, xn) σε συγκεκριμένα ισότοπα σπάνιων γαιών όπου τα πειραματικά δεδομένα είναι ελλιπή ή παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις.

Η πρώτη σειρά πειραμάτων που θα πραγματοποιηθούν στο παρόν πακέτο εργασίας περιλαμβάνει μετρήσεις ενεργών διατομών για αντιδράσεις (n,xn) για τα ισότοπα: ^{162}Er, ^{175}Lu, και ^{165}Ho. Σε όλες τις περιπτώσει η ενεργός διατομή θα προσδιοριστεί με χρήση της τεχνικής της ενεργοποίησης (activation technique). Η τεχνική αυτή παρέχει την δυνατότητα μετρήσεων ενεργών διατομών με πολύ καλή ακρίβεια (<5%). Η ροή νετρονίων και κατ' επέκταση ο προσδιορισμός της ενεργού διατομής θα γίνει με την χρήση αντιδράσεων αναφοράς όπου η ενεργός διατομή είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια όπως για παράδειγμα: ^{27}Al(n,2n)^{24}Na, ^{197}Au(n,2n)^{196}Au. Ο χρόνος ακτινοβόλησης για την κάθε ενέργεια αλλά και για το κάθε ισότοπο εξαρτάται από τον χρόνο ημιζωής του προϊόντος της υπό μελέτη αντίδρασης. Για τις παραπάνω περιπτώσεις ο χρόνος ακτινοβόλησης κυμαίνεται μεταξύ: 5h-240h. Η ροή νετρονίων θα πρέπει σε όλες τις περιπτώσεις να είναι της τάξης 10^6-10^7 n/(s cm2). Μετά την κάθε ακτινοβόληση ακολουθεί η μέτρηση της επαγόμενης ακτινοβολίας γ όπου η διάρκεια εξαρτάται επίσης από τον χρόνο ζωής του ισοτόπου αλλά και τις συνθήκες υποβάθρου ακτινοβολίας γ. Η δευτερογενής δέσμη νετρονίων θα παραχθεί στον επιταχυντή tandem με την βοήθεια συστήματος αερίου στόχου που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.3.2

Σύστημα αερίου στόχου δευτερίου (D) εγκατεστημένη στον επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ του «Δημοκρίτου» για την παραγωγή δευτερογενούς δέσμης νετρονίων μέσω της πυρηνικής αντίδρασης D(d,n)^{3}He

Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.3 είναι:

1) Εφαρμογή της υπάρχουσας υποδομής ανιχνευτικών συστημάτων για συστηματικές μετρήσεις ενεργών διατομών με σημασία στην εκρηκτική πυρηνοσύνθεση
2) Βελτιστοποίηση πυρηνικών παραμέτρων που υπεισέρχονται σε αστροφυσικούς υπολογισμούς προτύπων εκρηκτικής πυρηνοσύνθεσης.

3) Ανάπτυξη μεθόδων μέτρησης ενεργών διατομών σχάσης σε πυρήνες της περιοχής των ακτινίδων, όπως π.χ. ^{234}U, ^{236}U. Πρόκειται για αντιδράσεις δύσκολες να μελετηθούν πειραματικά με την απαιτούμενη ακρίβεια, αλλά πολύ σημαντικές για τους κύκλους πυρηνικών καυσίμων της νέας γενιάς αντιδραστήρων σχάσης ταχέων νετρονίων και συστημάτων ADS (Accelerator Driven Systems) για τη μελλοντική παραγωγή καθαρής και ασφαλούς πυρηνικής ενέργειας. Πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τα καινοτόμα ανιχνευτικά συστήματα Micromegas, που κατασκευάσθηκαν στο CERN ειδικά για τις μετρήσεις αυτές στις εγκαταστάσεις παραγωγής νετρονίων του ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Με την αναβάθμιση του επιταχυντή tandem και την αναμενόμενη αύξηση της έντασης των παραγώμενων ιόντων, θα καταστεί δυνατή η μέτρηση αντιδράσεων σχάσης με μονοενεργεικές δέσμες νετρονίων, στα πλαίσια και της υπάρχουσας ερευνητικής συνεργασίας με την n_TOF collaboration στο CERN. Θα αναπτυχθούν παράλληλα υπολογιστικές τεχνικές προσομοίωσης και συνέλιξης (folding techniques) για τις απαραίτητες διορθώσεις και βελτιώσεις της ακρίβειας των πειραματικών μετρήσεων.

4) Μελέτη αντιδράσεων νετρονίων που θα δώσουν σημαντικές πληροφορίες στο θέμα της αποτέφρωσης των πυρηνικών καταλοίπων που προέρχονται τόσο από τα καύσιμα όσο και από τα υλικά των αντιδραστήρων. Πρόκειται για σημαντικό πρόβλημα με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο, που μπορεί να επιλυθεί μελλοντικά με μεταστοιχείωση των μακρόβιων ραδιενεργών ισοτόπων σε βραχύβια μέσω αντιδράσεων με ενεργειακά νετρόνια. Οι αντιδράσεις που θα μελετηθούν, όπως π.χ. ισοτόπων του Hf, στην αναβαθμισμένη εγκατάσταση νετρονίων υψηλής ενέργειας του ΙΠΣΦ, βρίσκονται στον κατάλογο προτεραιότητας του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας και θα συμβάλλουν στην ολοκλήρωση των βάσεων δεδομένων που απαιτούνται και αναπτύσσονται για τον σκοπό αυτό. Η πειραματική μελέτη των αντιδράσεων αυτών θα συμπληρωθεί και με εκτενείς θεωρητικούς υπολογισμούς για την παραγωγή νέας πλήρους και βελτιωμένης γνώσης σε ένα μεγάλο εύρος ισοτόπων και ενεργειών ταχέων νετρονίων.

5) Μελέτη αντιδράσεων νετρονίων σε ισότοπα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δοσιμετρία και ραδιοχημική διαγνωστική, όπως π.χ. ισότοπα του Ir και Au. Με τα ισότοπα αυτά μπορεί να προσδιορισθεί η ροή νετρονίων μετρώντας τη μεταστοιχείωσή τους σε περιβάλλον νετρονίων που χρησιμοποιείται για ιατρικούς σκοπούς, στην πυρηνική τεχνολογία και σε διαστημικές δραστηριότητες. Τα προς μελέτη ισότοπα πρέπει να παράγουν πυρήνες μέσω αντιδράσεων (n,xn) και (n,γ), με χρόνους ημιζωής από μερικές ώρες έως μερικές μέρες, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δοσιμετρία σε ενεργειακό εύρος νετρονίων που να καλύπτει από την περιοχή των επιθερμικών μέχρι την περιοχή των υψηλοενεργειακών νετρονίων δεκάδων MeV. Η ακριβής μέτρηση ενεργών διατομών είναι απαραίτητη για τις εφαρμογές αυτές, και η αναβαθμισμένη εγκατάσταση νετρονίων υψηλής ενέργειας του ΙΠΣΦ αποτελεί ιδανικό εργαστήριο για αυτού του είδους πειραματικές μετρήσεις, με σημαντική συμβολή σε θέματα ελέγχου και ασφάλειας στο έμψυχο και μη περιβάλλον. Θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ενεργοποίησης με νετρόνια και μετά την ακτινοβόληση η μέτρηση της επαγόμενης ενεργότητας με φασματοσκοπία-γ και υπερκαθαρούς ανιχνευτές HPGe.

6) Η αναβαθμισμένη εγκατάσταση νετρονίων υψηλής ενέργειας του ΙΠΣΦ, μπορεί επίσης να δώσει σημαντικά πειραματικά δεδομένα για τη μελέτη της πυρηνικής δομής στην περιοχή του συνεχούς, μέσω αντιδράσεων (n,2n) σε ισότοπα που οι παραγώμενοι πυρήνες μπορεί να δημιουργηθούν στη βασική τους ή σε ισομερή κατάσταση. Ο επικοισμός ισομερών καταστάσεων εξαρτάται από την κατανομή σπιν της πυκνότητας πυρηνικών καταστάσεων στην περιοχή του

συνεχούς και επομένως μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για τον προσδιορισμό πυρηνικών παραμέτρων και τη βελτίωση των πυρηνικών θεωρητικών προτύπων. Προτεινόμενες αντιδράσεις σε αυτή την κατεύθυνση είναι π.χ. οι (n,2n) σε ισότοπα Ir και Au.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:

1) Κατασκευή νέας γραμμής μεταφοράς δέσμης ιόντων στον επιταχυντή, ειδικά για την εγκατάσταση των υπαρχόντων και νέων ανιχνευτών. Η νέα γραμμή θα χρησιμεύσει για μετρήσεις ενεργών διατομών αντιδράσεων σύλληψης; (p,γ) και (α,γ).
2) Κατασκευή νέας γωνιομετρικής τράπεζας για μετρήσεις γωνιακών κατανομών γ ακτινοβολίας.
3) Πειραματικός προσδιορισμός της απόδοσης του νέου κυλινδρικού ανιχνευτή σπινθηρισμών NaI(Tl) για την συστηματική εφαρμογή της νέας μεθόδου (4π-γ-summing method) μέτρησης ενεργών διατομών πυρηνικών αντιδράσεων
4) Μετρήσεις ενεργών διατομών στον επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ με δέσμες πρωτονίων ή/και σωματιδίων α, σε ενέργειες μεταξύ 3 και 8 MeV για τα πρωτόνια και 6 με 12 MeV για σωματίδια α. Οι μετρήσεις θα υλοποιηθούν με τη χρήση 3 διαφορετικών τεχνικών (ενεργοποίηση, μετρήσεις γωνιακών κατανομών ακτινοβολίας γ και μετρήσεις γωνιακά ολοκληρωμένων ακτίνων γ. Η αξιοπιστία των μετρήσεων στο «Δημόκριτο» απαιτεί επιβεβαίωση δειγματοληπτικά των αποτελεσμάτων με ανεξάρτητες μετρήσεις χρησιμοποιώντας γνωστές, καλά «βαθμονομημένες» πειραματικές διατάξεις. Για το λόγο αυτό προβλέπεται να πραγματοποιηθούν σύντομες επαναληπτικές μετρήσεις στη Γερμανία και συγκεκριμένα στον επιταχυντή Dynamitron του πανεπιστημίου του Bochum και τον επιταχυντή Tandem του Πανεπιστημίου της Κολωνίας. Στοχεύοντας σε μελλοντικά συνεργατικά ερευνητικά προγράμματα στην υποδομή SPIRAL 2 του ESFRI (Caen, Γαλλία) με ραδιενεργές δέσμες βαρέων ιόντων, η 2η ΕΕ περιλαμβάνει και ένα πείραμα επίδειξης στον Εθνικό Γαλλικό Εργαστήριο Βαρέων Ιόντων GANIL («πρόδρομο» του SPIRAL-2): την μέτρηση ενεργών διατομών πυρηνικών αντιδράσεων σύλληψης σε ανάστροφη κινηματική με δέσμη ^{78}Kr χρησιμοποιώντας σύστημα στόχου αερίου (^{4}He). Αναλυτικότερα, ενεργές διατομές θα μετρηθούν για ορισμένες από τις παρακάτω υποψήφιες αντιδράσεις (η λίστα είναι ενδεικτική):
   - ^{90}Zr(p,γ)^{91}Nb, ^{91}Zr(p,γ)^{92}Nb, ^{92}Zr(p,γ)^{93}Nb, ^{94}Zr(p,γ)^{95}Nb, ^{96}Zr(p,γ)^{97}Nb, ^{102}Pd(p,γ)^{103}Ag, ^{108}Pd(p,γ)^{109}Ag, ^{110}Pd(p,γ)^{111}Ag, ^{107}Ag(p,γ)^{108}Cd, ^{109}Ag(p,γ)^{110}Cd, ^{127}I(p,γ)^{128}Xe και ^{133}Cs(p,γ)^{134}Βα
   - ^{78}Kr(α,γ)^{82}Sr, ^{89}Y(α,γ)^{93}Nb, ^{94}Mo(α,γ)^{98}Ru, ^{102}Pd(α,γ)^{106}Cd, ^{104}Pd(α,γ)^{108}Cd, ^{116}Sn(α,γ)^{120}Te, και ^{124}Te(α,γ)^{128}Xe.

   Για ορισμένες απο τις παραπάνω αντιδράσεις είναι απαραίτητο να αγοραστούν ποσότητες υλικού (σε μεταλλική μορφή ή σε σκόνη) εμπλουτισμένου στο ισότοπο που ενδιαφέρει για την κατασκευή στόχων. Η κατασκευή των στόχων θα γίνει σε συνεργασία με το σχετικό εργαστήριο του επιταχυντή Tandem του Πανεπιστημίου της Κολωνίας (Γερμανία).
5) Μετρήσεις ενεργών διατομών αντιδράσεων (n, 2n). Οι εν λόγω αντιδράσεις με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι στα ισότοπα ^{162}Er, ^{175}Lu, ^{165}Ho καθώς και σε ισότοπα των στοιχείων Ir και Au. Στις εν λόγω μετρήσεις η ενεργός διατομή θα προσδιοριστεί με χρήση της τεχνικής της ενεργοποίησης (activation technique), Για το σκοπό αυτό απαιτείται αναβάθμιση του υπάρχοντος σταθμού μετρήσεων με νέα τράπεζα ακρίβειας.
6) Για την επίτευξη των μετρήσεων ενεργών διατομών σχάσης με χρήση ανιχνευτών Micromegas, θα απαιτηθεί προηγουμένως μελέτη και βελτιστοποίηση λειτουργίας των νέων καινοτόμων αυτών ανιχνευτικών συστημάτων, με χρήση εξειδικευμένων ηλεκτρονικών και καταγραφικών συστημάτων, καθώς και προσομοιώσεων μέσω λογισμικών πακέτων MonteCarlo.

Πακέτο Εργασίας 1.4 (ΠΕ 1.4)

ΕΝΕΡΓΕΙΑ: Ανάπτυξη Υλικών για Παραγωγή Ενέργειας μέσω Σύντηξης

(Development of new materials for energy production via fusion)

Συντονίστρια: Δρ. Κωνσταντίνα Μεργιά,
Ερευνήτρια Α', ΙΠΡΕΤΕΑ – ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Η παραγωγή ενέργειας μέσω Σύντηξης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως απουσία εκπομπών αερίων άνθρακα ή άλλης ατμοσφαιρικής μόλυνσης, άφθονο και χαμηλού κόστους καύσιμο και το σπουδαιότερο είναι ενδογενώς ασφαλής. Είναι πλέον πλήρως αποδεκτό από την μοντέρνα κοινωνία ότι η Σύντηξη είναι η μόνη που μπορεί να δώσει βιώσιμη λύση για όλες τις ενεργειακές ανάγκες της Ευρώπης και της υφηλίου.

Για την υλοποίηση αυτού του στόχου διεθνής Κοινοπραξία κατασκευάζει στη Γαλλία πρότυπη μηχανή για την παραγωγή ενέργειας μέσω Σύντηξης. Η Ελλάδα μέσω της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) συμμετέχει στην κατασκευή αυτής της μηχανής η οποία ονομάστηκε ITER ("ο δρόμος" στα Λατινικά, https://www.iter.org/). Το ITER στοχεύει να αποδείξει ότι είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Σύντηξης και επιπλέον θα επιτρέψει στους επιστήμονες και μηχανικούς να αναπτύξουν την απαιτούμενη γνώση και τεχνολογία ώστε να επιτευχθεί μέσω εργοστασίων σύντηξης η εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η επόμενη φάση στον μακρύ δρόμο για την παραγωγή καθαρής, φθηνής και ασφαλούς ενέργειας είναι η κατασκευή της επόμενης μηχανής Σύντηξης, του DEMO. Το DEMO, πρώτο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας από Σύντηξη, θα παράγει αρκετή ισχύ (100 Megawatt) ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλος αριθμός προβλημάτων Τεχνολογίας και Φυσικής τα οποία θα πρέπει να επιλυθούν τα επόμενα χρόνια ώστε να καταστεί δυνατή η κατασκευή του DEMO. Επομένως η έρευνα στην Τεχνολογία Σύντηξης στην Ελλάδα και στις χώρες της ΕΕ έχει εστιαστεί, μέσω της Κοινοπραξίας EUROfusion[1], στην ανάπτυξη υλικών και τεχνολογιών αναγκαία για την υλοποίηση του εργοστασίου παραγωγής εμπορικής ενέργειας μέσω Σύντηξης. Το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»[2] συμμετέχει σε αυτή την κοινοπραξία και έχει σημαντική συνεισφορά στην έρευνα της Τεχνολογίας Σύντηξης που διεξάγεται στην ΕΕ και η οποία στοχεύει στην πραγματοποίηση του ονείρου της ανθρωπότητας για καθαρή και άφθονη ενέργεια.

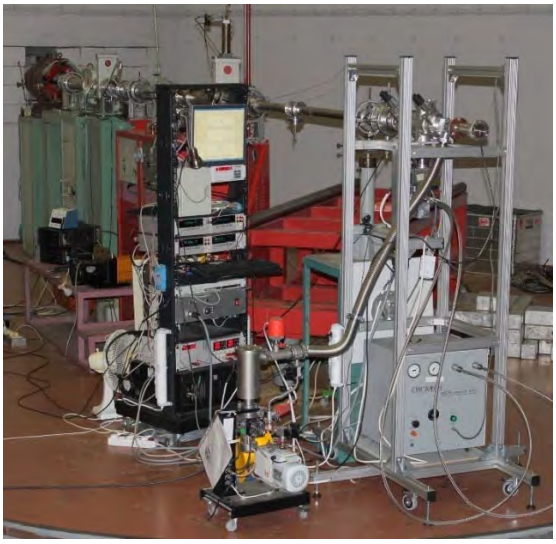
Τα υπάρχοντα δομικά υλικά δεν είναι ανθεκτικά στις συνθήκες λειτουργίας του μελλοντικού αντιδραστήρα σύντηξης. Συνεπώς η έρευνα και καινοτομία στην τεχνολογία των υλικών είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη νέων υλικών ανθεκτικών στις υψηλές δόσεις νετρονίων και τις υψηλές θερμοκρασίες του αντιδραστήρα σύντηξης. Οι δέσμες ιόντων μπορούν να προσομοιώσουν τις βλάβες που προκαλούν τα νετρόνια στα υλικά προσφέροντας πληθώρα πλεονεκτημάτων, όπως μη ενεργοποίηση των δειγμάτων, επίτευξη υψηλών δόσεων ακτινοβολίας σε μικρό χρονικό διάστημα, επιλογή της ενέργειας του ιόντος και του είδους του ιόντος και επιπλέον η ακτινοβόληση με ιόντα μπορεί να παρέχει μία χρήσιμη βάση πειραματικών δεδομένων για την επαλήθευση των μοντέλων που προσπαθούν να προβλέψουν τη συμπεριφορά των υλικών σε περιβάλλον ακτινοβολίας σύντηξης .

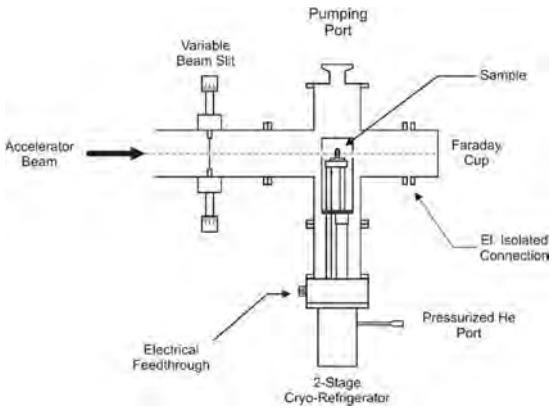
Συμπερασματικά η ακτινοβόληση με ιόντα αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση των μηχανισμών της βλάβης που δημιουργεί η ακτινοβόληση των υλικών στο περιβάλλον της σύντηξης.

[1] https://www.euro-fusion.org
[2] http://ipta.demokritos.gr/ftg

Ως εκ τούτου η ανάπτυξη κατάλληλης διάταξης ακτινοβόλησης υλικών στον επιταχυντή TANDEM είναι καθοριστικής σημασίας στην Τεχνολογία Σύντηξης. Εξίσου σημαντική θα είναι η συνεισφορά αυτής της εξειδικευμένης διάταξης και σε άλλους τεχνολογικούς τομείς, όπως η ελεγχόμενη τροποποίηση των ιδιοτήτων των υλικών για την ανάπτυξη καινοτόμων οπτο-ηλεκτρικών υλικών και ημιαγωγικών διατάξεων. Επιπλέον, θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ανάπτυξη υλικών και διατάξεων με αεροδιαστημικές εφαρμογές απαιτείται η προσομοίωση των συνθηκών ακτινοβολίας στο διάστημα.

Οι ιοντικές δέσμες ενός επιταχυντή όπως αυτός του «Δημόκριτου» αποτελούν ιδιαίτερα κατάλληλη πηγή ακτινοβολήσεων υλικών για τη μελέτη των βλαβών που προκαλούνται στα υλικά. Όπως προαναφέρθηκε, τα σήμερα διαθέσιμα υλικά με εφαρμογές στους αντιδραστήρες παραγωγής ενέργειας μέσω σύντηξης δεν είναι ικανά να ανταπεξέλθουν στις ακραίες συνθήκες που επικρατούν στους αντιδραστήρες σύντηξης. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η κατανόηση της επίδρασης της ακτινοβολίας στις ιδιότητες των υλικών προκειμένου, μέσω της κατανόησης των φαινομένων, να καταστεί εφικτή η βελτίωση της συμπεριφοράς των υλικών στην ακτινοβολία. Επιπλέον, η ακτινοβόληση υλικών με ιοντικές δέσμες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο επιλεκτικής τροποποίησης των ιδιοτήτων των υλικών, όπως για παράδειγμα των μαγνητικών, οπτικών, μηχανικών, ηλεκτρικών και χημικών.





Εικόνα 1.4.1 : Η πειραματική διάταξη μελέτης υλικών για παραγωγή ενέργειας μέσω σύντηξης που είναι ήδη εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». (http://ipta.demokritos.gr/ftg/ir2.html)

Επιπρόσθετα, η εμφύτευση ιόντων αποτελεί μία καθιερωμένη μέθοδο που παρέχει ελεγχόμενη τροποποίηση των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων των στερεών και σύνθεση νέων υλικών. Αυτές οι μελέτες ωφελούνται από την δυνατότητα που παρέχει ο επιταχυντής για την επιλογή κατάλληλου ιόντος, ενέργειας και ροής της δέσμης ακτινοβολίας. Η κύρια εστίαση στην περιοχή αυτή αφορά στην τεχνολογία διατάξεων (devices) και συνδέεται με την ανάπτυξη νέων υλικών και διαδικασιών με ισχυρή επίδραση στην τεχνολογία ημιαγωγικών διατάξεων.

Το παρόν Πακέτο Εργασίας εστιάζει στην ανάπτυξη κατάλληλου συστήματος ακτινοβόλησης που θα επιτρέπει την ακτινοβόληση των υλικών με ιόντα υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας (σε θερμοκρασιακό εύρος 4 έως 1300 K περίπου), δεδομένου ότι κατά την ακτινοβόλησή τους

προκαλείται θέρμανσή τους μέσω της εναπόθεσης της ενέργειας των ιόντων στο υλικό. Η ελεγχόμενη θερμοκρασία θα επιτευχθεί με τη χρήση υγρού αζώτου και θερμαντικής διάταξης βασισμένης σε θέρμανση μέσω ακτινοβολίας είτε με τη χρήση δέσμης ηλεκτρονίων. Επιπλέον, θα εγκατασταθεί κατάλληλος θάλαμος υψηλού κενού στο εσωτερικό του οποίου θα επιτρέπεται η κίνηση του δειγματοφορέα σε τρεις διαστάσεις για την ορθή επιλογή και ευθυγράμμιση του δείγματος προς ακτινοβόληση. Επιπλέον ο θάλαμος θα έχει κατάλληλες θύρες για τη δυνατότητα in-situ μετρήσεων με ιοντικές ή άλλες αναλυτικές τεχνικές.

Για τις εφαρμογές στο πεδίο της παραγωγής ενέργειας μέσω σύντηξης η εγκατάσταση που θα υλοποιηθεί στο πλαίσιο του ΠΕ 1.4 είναι θεμελιώδους σημασίας για την διεξαγωγή έρευνας στην κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών μέσω της ακτινοβόλησης και, κατά συνέπεια, της ανάπτυξης υλικών που αντέχουν σε συνθήκες ακτινοβολίας και υψηλής θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό αναμένεται ότι θα προσελκύσει ερευνητές-χρήστες από όλη την Ευρώπη που δραστηριοποιούνται στον τομέα της μελέτης υλικών με εφαρμογές σε αντιδραστήρες σύντηξης και σχάσης.

<u>Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.4 είναι:</u>

1) Ένας από τους βασικούς στόχους της παρούσας ερευνητικής δραστηριότητας θα είναι η εγκατάσταση πειραματικής διάταξης που θα επιτρέπει την ακτινοβόληση δειγμάτων σε ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας σε θερμοκρασιακό εύρος 4 έως 1300 K περίπου. Ιδιαίτερα για τις εφαρμογές στο πεδίο της παραγωγής ενέργειας μέσω σύντηξης η εγκατάσταση αυτή είναι θεμελιώδους σημασίας για την διεξαγωγή έρευνας στην κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την αλλαγή των ιδιοτήτων των υλικών μέσω της ακτινοβόλησης και, κατά συνέπεια, της ανάπτυξης υλικών που αντέχουν σε συνθήκες ακτινοβολίας και υψηλής θερμοκρασίας. Η εγκατάσταση μίας τέτοιας διάταξης έχει τη δυνατότητα να προσελκύσει ερευνητές από τον Ευρωπαϊκό χώρο που δραστηριοποιούνται στον τομέα της μελέτης υλικών με εφαρμογές σε αντιδραστήρες σύντηξης και σχάσης.
2) Η μεταφορά υλικών στους αντιδραστήρες σύντηξης με μαγνητική συγκράτηση του πλάσματος και η προσρόφηση καυσίμου στα τοιχώματα είναι σημαντικά θέματα για την ασφαλή λειτουργία των αντιδραστήρων αυτών. Οι υποκείμενοι μηχανισμοί απαιτούν καλή κατανόηση των φαινομένων ώστε να γίνουν οι προβλέψεις σχετικά με τον χρόνο ζωής των υλικών του τοιχώματος και να εκτιμηθεί το ποσό του καυσίμου που προσροφά η συσκευή κυρίως σε σύνθετα στρώματα. Στο πλαίσιο αυτό θα αναπτυχθούν και θα χρησιμοποιηθούν πυρηνικές αναλυτικές τεχνικές με τη χρήση ιοντικών δεσμών για τη μελέτη υλικών που έχουν εκτεθεί στο πλάσμα του JET tokamak. Οι μελέτες θα γίνουν σε υλικά που προέρχονται από την περιοχή του εκτροπέα του JET tokamak όσο και από τον κύριο θάλαμο. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού θα βελτιστοποιηθεί η πειραματική διάταξη της Φασματοσκοπίας Οπισθοσκέδασης Rutherford και η χρήση της μεθόδου Nuclear Reaction Analysis (NRA) για τον ποσοτικό προσδιορισμό ελαφρών στοιχείων (δευτέριο, βηρύλλιο, άνθρακας, κ.λ.π.) συναρτήσει του βάθους στο υλικό.
3) Στο πλαίσιο της συμμετοχής της Ελλάδας στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Θερμοπυρηνικής Σύντηξης έχει ήδη αναπτυχθεί και λειτουργεί στο ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" η πειραματική διάταξη ιοντικής ακτινοβόλησης IR2 (http://ipta.demokritos.gr/ftg/ir2.html) όπου μπορούν να πραγματοποιηθούν μελέτες επαναφοράς της βλάβης που προκαλείται σε μεταλλικά υλικά κατά την ακτινοβόληση (recovery of radiation damage) με χρήση in-situ μετρήσεων της ηλεκτρικής αντίστασης. Η διάταξη IR2 είναι από τις λίγες διατάξεις παγκοσμίως με παρόμοιες δυνατότητες και με τη βοήθειά της

έχουν πραγματοποιηθεί πρωτότυπες μελέτες σε δομικά υλικά για τους μελλοντικούς αντιδραστήρες σύντηξης, όπως τα φερριτικά κράματα Fe-Cr. Σκοπός της παρούσας δραστηριότητας είναι η ενσωμάτωση της συσκευής στην ερευνητική υποδομή του CALIBRA και η πραγματοποίηση των αναγκαίων μετατροπών και αναβαθμίσεων ώστε η συσκευή να μπορεί να λειτουργήσει απρόσκοπτα και μετά την σχεδιαζόμενη αναβάθμιση του επιταχυντή TANDEM. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα χρήσης της συσκευής από ερευνητές στην Ελλάδα και το εξωτερικό στο πλαίσιο του CALIBRA και θα διευρύνει τις δυνατότητες της υποδομής για έρευνα σε υλικά αντιδραστήρων.

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:</u>

1) Στην παρούσα ερευνητική ενότητα θα αναπτυχθεί κατάλληλη υποδομή που θα επιτρέπει την ακτινοβόληση των υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, δεδομένου ότι κατά την ακτινοβόλησή τους προκαλείται θέρμανσή τους μέσω της εναπόθεσης της ενέργειας των ιόντων στο υλικό. Η ελεγχόμενη θερμοκρασία θα επιτευχθεί με τη χρήση
   α) κρυοστάτη κλειστού κυκλώματος με εύρος θερμοκρασιών 4 έως 600 K
   β) φούρνου με εύρος θερμοκρασιών 300 έως 1300 K.

   Επιπλέον θα εγκατασταθεί θάλαμος υψηλού κενού με κατάλληλες θύρες για τη δυνατότητα in-situ μετρήσεων με ιοντικές ή άλλες τεχνικές. Ο θάλαμος ακτινοβόλησης θα συνδέει τις συσκευές ελεγχόμενου περιβάλλοντος με τις ιοντικές δέσμες. Θα δέχεται και το σύστημα υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών και θα έχει τη δυνατότητα να δεχθεί επιπλέον συσκευές περιβάλλοντος δειγμάτος σε μελλοντική ανάπτυξη (π.χ. μηχανική καταπόνηση). Θα εγκατασταθούν, επίσης
   α) μετρητικά όργανα καταγραφής και ελέγχου της θερμοκρασίας
   β) οπτικά διαφράγματα για τον προσδιορισμό της δέσμης ιόντων
   γ) υπολογιστικά συστήματα και λογισμικό για συλλογή δεδομένων και ανάλυση αυτών
2) Η μέθοδος ανάλυσης μέσω πυρηνικών αντιδράσεων με δέσμη δευτερίων είναι από τις λίγες ιοντικές μεθόδους ανάλυσης που μπορούν να δώσουν ταυτόχρονα την κατανομή περιεκτικοτήτων πολλών ελαφρών στοιχείων (δευτέριο, Βηρύλλιο, άνθρακας, οξυγόνο κ.λ.π.) συναρτήσει του βάθους. Αυτός είναι ο λόγος που θεωρείται η ενδεδειγμένη μέθοδος για την ανάλυση δειγμάτων από τα τοιχώματα του JET Tokamak. Από την άλλη, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της μεθόδου επηρεάζεται σημαντικά από την ύπαρξη βαρέων στοιχείων (Βολφράμιο και Μολυβδαίνιο) στο ίδιο δείγμα. Η βελτίωση της ακρίβειας της μεθόδου προϋποθέτει την αποκοπή των ελαστικά σκεδαζόμενων δευτερίων από τα βαρέα στοιχεία με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων στους ανιχνευτές. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ενότητας θα γίνει σειρά μετρήσεων σε δείγματα από το JET Tokamak, αφού προηγουμένως ερευνηθεί και εγκατασταθεί κατάλληλο φίλτρο αποκοπής δευτερίων.
3) Για την ενσωμάτωση της διάταξης IR2 (http://ipta.demokritos.gr/ftg/ir2.html) στην υποδομή του CALIBRA θα χρειαστούν πρωτίστως ορισμένες τεχνικές μετατροπές που αφορούν κυρίως στα υψηλότερα επίπεδα ιοντικής ροής μετά την αναβάθμιση του επιταχυντή TANDEM. Για αυτό θα χρειαστεί βασικά ένας ανασχεδιασμός της φορέα δείγματος/στόχου ώστε να αυξηθεί η δυνατότητα απαγωγής θερμότητας και να εξασφαλίζεται σταθερότητα της θερμοκρασίας κατά την ιοντική ακτινοβόληση. Επίσης ο σχεδιασμό σπρέπει να δώσει τη δυνατότητα για ταυτόχρονη ακτινοβόληση περισσότερων του ενός δειγμάτων ώστε να μεγιστοποιηθεί η αξιοποίηση της ιοντικής δέσμης. Παράλληλα θα πρέπει να αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό, φιλικό προς τους χρήστες της υποδομής, για την αυτοματοποίηση της λειτουργίας της συσκευής και τη συλλογή δεδομένων.

Πακέτο Εργασίας 1.5 (ΠΕ 1.5)

ΥΛΙΚΑ: Μελέτη Επιφανειών και Σύστασης Νέων Υλικών με Ιοντικές Μεθόδους

(Elemental and surface analysis of new materials with ion-beam techniques

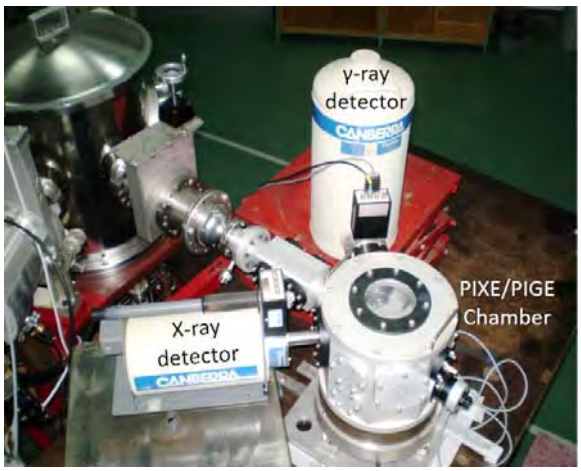
Συντονιστής: Δρ. Αναστάσιος Λαγογιάννης,
Ερευνητής Β', ΙΠΣΦ – ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Τα τελευταία χρόνια οι τεχνικές ανάλυσης με ιοντικές δέσμες (Ion Beam Analysis) εδραιώνονται ολοένα και περισσότερο στη διερεύνηση πλήθους υλικών και αντικειμένων, όπως σε αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς, σε βιολογικά, γεωλογικά δείγματα καθώς και σε σύγχρονα υλικά. Η διάδοση των τεχνικών αυτών οφείλεται κατά κύριο λόγω στα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν όπως:

α) Είναι μη-καταστρεπτικές
β) Είναι μη επεμβατικές με τη χρήση εξειδικευμένων πειραματικών διατάξεων («εξωτερική δέσμη»)
γ) Προσφέρουν πολύ-στοιχειακή ανάλυση,
δ) Παρέχουν ακρίβεια της τάξης των μερικών μικρογραμμαρίων ανά γραμμάριο δείγματος
ε) Ορισμένες τεχνικές προσφέρουν μελέτης κατανομή στοιχείων σε βάθος,
στ) Παρέχουν ικανότητα ανάλυσης πολύ μικρών περιοχών (2x2 μm)

Οι ιοντικές τεχνικές ανάλυσης (Ion Beam Analysis) στηρίζονται στο γεγονός ότι τα επιταχυνόμενα ιόντα κατά την διέλευση τους από την ύλη αλληλεπιδρούν μαζί της. Η αλληλεπίδραση (ηλεκτρομαγνητική ή πυρηνική) έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή δευτερογενούς ακτινοβολίας, η οποία κατά την ανίχνευση της προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την σύσταση του υπό εξέταση υλικού/αντικειμένου. Ο διαχωρισμός των τεχνικών γίνεται βάσει του τύπου της αλληλεπίδρασης των ιόντων με τα άτομα του δείγματος καθώς και του είδους της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, γεγονός το οποίο έχει άμεση επίπτωση και στο είδος της πληροφορίας που παρέχουν. Μέσω της ανίχνευσης των εκπεμπόμενων αυτών ακτινοβολιών /σωματιδίων εξάγονται πολύτιμα συμπεράσματα για την συγκέντρωση των πυρήνων των στοιχείων από τα οποία αποτελείται ο στόχος, καθώς και την κατανομή τους σε βάθος μερικών δεκάδων μικρομέτρων. Ο ολοκληρωμένος χαρακτηρισμός ενός υλικού-δείγματος απαιτεί την συνδυαστική ταυτόχρονη ανάλυση του με τις ακόλουθες ιοντικές τεχνικές (στα αγγλικά):

- **PIXE** (Particle Induced X-ray Emission): Η βασική αρχή της τεχνικής είναι ο ιονισμός των εσωτερικών ατομικών στοιβάδων των στοιχείων που αποτελούν το εξεταζόμενο δείγμα λόγω ακτινοβόλησης με δέσμη ενεργητικών πρωτονίων (ενέργειας 1-3 MeV) και η ανίχνευση της επαγόμενης χαρακτηριστικής ακτινοβολίας - Χ. Η τεχνική προσφέρει ταυτόχρονη ανάλυση στοιχείων από ατομικό αριθμό Z = 11 (Νάτριο) μέχρι και Z=92 (Ουράνιο) με ευαισθησία που ανάλογα με το στοιχείο και τη φύση του αναλυόμενου δείγματος εκτείνεται μέχρι και σε μερικά μικρογραμμάρια ανά γραμμάριο δείγματος (μg/g ή ppm, micrograms per gram or parts per million).
- **PIGE** (Particle Induced γ-ray Emission): Η τεχνική βασίζεται στην ανίχνευση ακτίνων γ που δημιουργούνται από πυρηνικές αντιδράσεις μεταξύ μιας δέσμης πρωτονίων (ενέργεια 1.5 - 4 MeV) και των πυρήνων των σταθερών ισοτόπων των στοιχείων μικρού ατομικού αριθμού (Z=3 μέχρι και Z=15) που περιέχονται στο αναλυόμενο δείγμα. Η PIGE είναι κατά κάποιο τρόπο συμπληρωματική της τεχνικής PIXE αφού ανιχνεύοντας στοιχεία όπως είναι το Li, Be, B, C, F Na, Mg, Al και το Si ολοκληρώνεται ο προσδιορισμός όλων των στοιχείων του περιοδικού πίνακα με ευαισθησία που εκτείνεται στην περιοχή των μερικών δεκάδων μg/g (ppm).



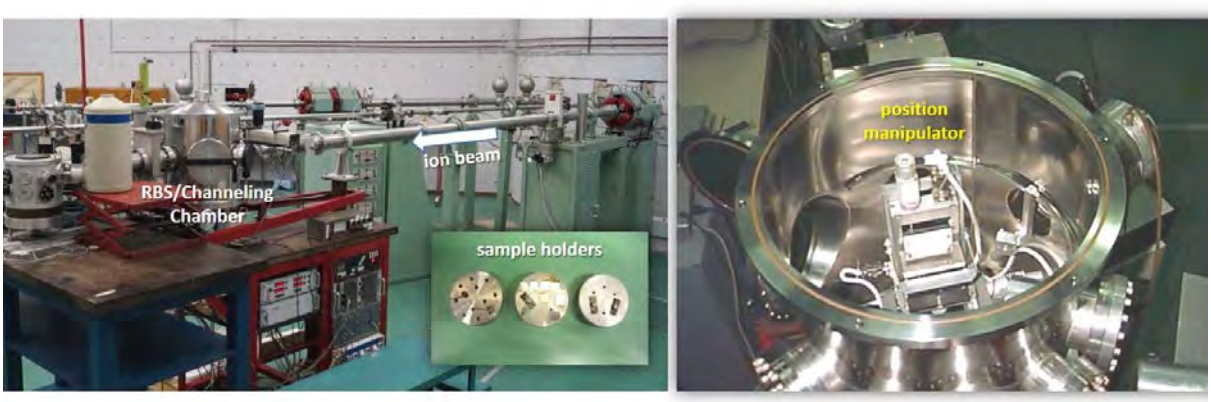
Εικόνα 1.5.1 :

Η πειραματική διάταξη PIXE/PIGE, που είναι ήδη εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος».

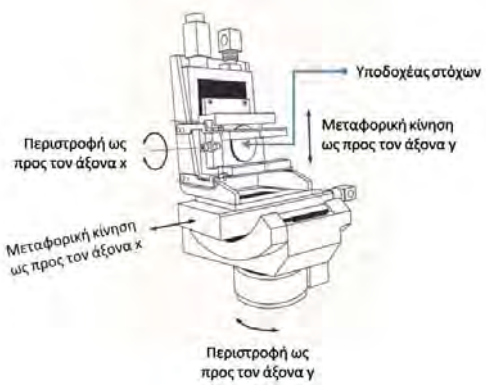
- **RBS** (Ruthrford Backscattering Spectrometry): Η τεχνική βασίζεται στην ανίχνευση της ενέργειας των ελαστικά σκεδαζόμενων πρωτονίων ή σωματίων α από τους πυρήνες των ατόμων των στοιχείων που αποτελούν το προς ανάλυση δείγμα. Το σημαντικό πλεονέκτημα και χαρακτηριστικό της RBS είναι ότι μπορεί να προσδιορίσει την κατανομή της συγκέντρωσης ενός στοιχείου με το βάθος προσφέροντας μοναδική αναλυτική πληροφορία για μηχανισμούς διάβρωσης και δημιουργίας προιόντων διάβρωσης.
- **Channeling:** Για τη μελέτη κρυσταλλικών στόχων οι προαναφερθείσες αναλυτικές τεχνικές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το φαινόμενο του διαυλισμού. Στο διαυλισμό, ο κρυσταλλικός στόχος είναι ευθυγραμμισμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το φορτισμένο σωματίδιο να κινείται μέσα σε ένα δίαυλο του κρυστάλλου, με αποτέλεσμα η πιθανότητα προσέγγισης με τους πυρήνες των ατόμων του στόχου και αλληλεπίδρασης με αυτούς να ελαττώνεται σημαντικά.
- **NRA** (Nuclear Reaction Analysis): Η βασική αρχή της τεχνικής είναι η ανίχνευση ακτινοβολίας γ, που παράγεται από πυρηνικές αντιδράσεις λεπτών συντονισμών μεταξύ ισοτόπων ελαφρών στοιχείων και της προσπίπτουσας ιοντικής δέσμης. Μεταβάλλοντας την ενέργεια της δέσμης, ο συντονισμός μεταφέρεται διαδοχικά από την επιφάνεια στο εσωτερικό του δείγματος (σε βάθος μερικών μικρόμετρων), με διακριτική ικανότητα της τάξης των μερικών ή μερικών δεκάδων νανομέτρων (nm). Με τον τρόπο αυτό γίνεται «ανακατασκευή» της στοιχειακής συγκέντρωσης συναρτήσει του βάθους. Η NRA είναι συμπληρωματική των τεχνικών PIXE, PIGE και RBS και εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό κατανομών ισοτοπικής συγκέντρωσης, με μεγαλύτερη συγκριτικά χωρική ευαισθησία, συγκεκριμένων στοιχείων (H, C, N, O, S) που δεν είναι εύκολο να αναλυθούν με τις υπόλοιπες τεχνικές.



Εικόνα 1.5.2: Ο θάλαμος αναλύσεων NRA (δεξιά) που είναι εγκατεστημένος στον Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Δεξιά το εσωτερικό του με τον υποδοχέα δειγμάτων.



Εικόνα 1.5.3: Η πειραματική διάταξη RBS/Channeling που είναι ήδη εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Αριστερά ο θάλαμος (chamber) και η γραμμή (σωλήνας) μεταφοράς δέσμης ιόντων (ion beam). Το βέλος δείχνει την πορεία της δέσμης που παράγεται και επιταχύνεται από τον επιταχυντή σε άλλη αίθουσα και προσπίπτει στα υπό ανάλυση δείγματα. Τα τελευταία τοποθετούνται σε ειδικούς υποδοχείς (sample holders). Δεξιά, το εσωτερικό του θαλάμου στο κέντρο του οποίου είναι ο μηχανισμός μετατόπισης (δεξιά/αριστερά – πάνω/κάτω) και στροφής στο χώρο του δείγματος.



Σχήμα 1.5.4:
Σχηματική αναπαράσταση του γωνιομέτρου 4 αξόνων. Οι στόχοι τοποθετούνται σε κατάλληλο κυλινδρικό υποδοχέα που εκτελεί, όπως δείχνουν τα βέλη, δύο μεταφορικές κινήσεις και δύο περιστροφές, με ακρίβεια $0,01^{O}$. Η περιστροφή ως προς τον άξονα x γίνεται μεταξύ -45^{O} και $+45^{O}$, ενώ αυτή ως προς τον άξονα y μεταξύ -90^{O} και $+90^{O}$

- **ERDA** (Elastic Recoil Detection Analysis): Σε αυτή τη μέθοδο, δέσμη βαρέων ιόντων μεγάλης ενέργειας προσπίπτει υπό γωνία μικρότερη των 15° στο δείγμα. Τα βαρέα ιόντα, μεταφέρουν μέρος της ενέργειας τους στα ελαφρά στοιχεία του δείγματος και τα απομακρύνουν από το δείγμα. Στην συνεχεία, οι ανακρουόμενοι αυτοί πυρήνες καταγράφονται από έναν σωματιδιακό ανιχνευτή. Κάνοντας χρήση των αρχών διατήρησης της ορμής και της ενέργειας είναι εφικτή η ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των στοιχείων αυτών. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για τον ποσοτικό προσδιορισμό επιφανειακών ελαφρών στοιχείων (H, He, Li κλπ.) και προσφέρει πληροφορίες σχετικά με την διαστρωμάτωση των στοιχείων αυτών.Αν και η αρχή αυτής της τεχνικής είναι ιδιαίτερα απλή, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων καθώς και το ανιχνευτικό σύστημα είναι περισσότερο πολύπλοκο από τις προαναφερθείσες τεχνικές. Παρ` όλα αυτά, είναι από τις ελάχιστες τεχνικές ανάλυσης που παρέχουν κατανομή σε βάθος των ελαφρών στοιχείων.

Οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες τεχνικές χρησιμοποιούνται ήδη στο εργαστήριο του επιταχυντή ιόντων Tandem με αποτέλεσμα τον επιτυχή χαρακτηρισμό υλικών τεχνολογικού ενδιαφέροντος αλλά και αντικειμένων που άπτωνται της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ο συνδυασμός των τεχνικών στην υπάρχουσα υποδομή μπορεί να δώσει ποσοτικά αποτελέσματα για τις περιεκτικότητες στοιχείων από το Λίθιο μέχρι το Ουράνιο (με τον συνδυασμό των μεθόδων PIXE –

PIGE), την διαστρωμάτωση βαρέων στοιχείων όταν βρίσκονται σε υποστρώματα που αποτελούνται από ελαφρά στοιχεία (με τη μέθοδο RBS) καθώς και την διαστρωματωση πολύ συγκεκριμένων ελαφρών στοιχείων σε υποστρώματα βαρέων (με τη μέθοδο NRA). Ωστόσο, οι αναλυτικές δυνατότητες του εργαστηρίου όσον αφορά στην εύρεση της κατανομής σε βάθος περιεκτικοτήτων ελαφρών στοιχείων περιορίζονται σημαντικά καθώς δεν υπάρχει η οργανολογία για την χρήση της ενδεδειγμένης μεθόδου (**ERDA**) για την ανάλυση τέτοιων δειγμάτων. Τέτοιες περιπτώσεις δειγμάτων απαντώνται κατά την μελέτη της διάβρωσης σε αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς (κατανομή του υδρογόνου σε βάθος) ή στην μελέτη της εναπόθεσης καυσίμου (δευτερίου) στα τοιχώματα της νέας γενιάς αντιδραστήρων σύντηξης. Στόχος της συγκεκριμένης ερευνητικής ενότητας είναι η αναβάθμιση του εργαστηρίου με την απόκτηση και εγκατάσταση ενός συστήματος Time Of Flight - Elastic Recoil Detection Analysis (TOF-ERDA).

Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.5 είναι:

1) Αναβάθμιση της πειραματικής διάταξης ανάλυσης υλικών με την προσθήκη ανιχνευτικού συστήματος ανάλυσης μέσω χρόνου πτήσης ελαστικά ανακρουόμενων πυρήνων (Time Of Flight – Elastic Recoil Detection Analysis). Η αναβάθμιση του υπάρχοντος ανιχνευτικού συστήματος με την προσθήκη ενός συστήματος χρόνου πτήσης για τον προσδιορισμό της μάζας των ελαφρών ανακρουόμενων στοιχείων θα προσφέρει ακριβέστερα αποτελέσματα και ταχύτερες αναλύσεις καθώς το σύστημα παρέχει την ικανότητα ταυτόχρονης ανίχνευσης πολλών ελαφρών ισοτόπων από το υδρογόνο έως και το ασβέστιο.
2) Βελτιστοποίηση της αναβαθμισμένης πειραματικής διάταξης ανάλυσης υλικών για τον ποσοτικό προσδιορισμό ελαφρών στοιχείων στα δομικά υλικά του αντιδραστήρα νέας γενιάς Joint European Torus (JET). Η συγκεκριμένη μελέτη θα δώσει πληροφορίες για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών συγκράτησης καυσίμου στις συσκευές σύντηξης πλάσματος (βλ. και ΠΕ 1.4)
3) Το λίθιο, το βόριο, το βηρύλλιο, το φθόριο και το άζωτο είναι ελαφρά στοιχεία με τεράστιες τεχνολογικές εφαρμογές. Συναντώνται από τα τοιχώματα θερμοπυρηνικών σταθμών (βόριο) μέχρι την κατασκευή οπτικών στοιχείων (λίθιο) και ημιαγωγών (άζωτο). Ο ακριβής προσδιορισμός της περιεκτικότητας αυτών των στοιχείων μέσω των ιοντικών τεχνικών ανάλυσης επιβάλλει την επικαιροποίηση των πυρηνικών δεδομένων αλλά και την δημιουργία βάσεων δεδομένων και θεωρητικών υπολογισμών όπου η ακρίβεια στις ενεργές διατομές θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση του 5-7%. Προς αυτή την κατεύθυνση πρόκειται να μετρηθούν διαφορικές ενεργές διατομές ελαστικών σκεδάσεων δευτερίου στα στοιχεία αυτά (σε όλα τα φυσικά ισότοπα αυτών), σε περιοχές ενεργειών και γωνιών σκέδασης όπου μέχρι σήμερα δεν υπάρχει καμία πειραματική πληροφορία, ή αν υπάρχει είναι σε αντίθεση με προηγούμενες μετρήσεις.
4) Μελέτη και έλεγχος αξιοπιστίας των διαφορικών ενεργών διατομών ελαστικής σκέδασης πρωτονίων από ελαφρά στοιχεία (^{6,7}Li, ^{9}Be, ^{10,11}B, ^{14}N, ^{19}F). Σε πολλές περιπτώσεις, οι μετρήσεις διαφορικών ενεργών διατομών που απαντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους. Η ανακολουθία αυτή έχει άμεσο αντίκτυπο στην αξιοπιστία και την ακρίβεια κατά τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας αυτών των στοιχείων μέσω των πυρηνικών τεχνικών ανάλυσης. Η συγκεκριμένη μελέτη έχει ως στόχο τον έλεγχο της αξιοπιστίας των διαφορικών ενεργών διατομών μέσω της σύγκρισης με πειραματικά δεδομένα παχέων στόχων.

5) Ανάπτυξη καινοτόμου μεθόδου προσδιορισμού της κατανομής περιεκτικοτήτων σε βάθος του νατρίου. Το νάτριο είναι από τα πιο συχνά απαντώμενα στοιχεία κατά την μελέτη των υλικών. Παρ' όλα αυτά καμία από τις ιοντικές τεχνικές δεν μπορεί να δώσει την κατανομή της περιεκτικότητας του σε βάθος όταν βρίσκεται σε μήτρα βαρέων στοιχείων. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι ένας συνδυασμός ταυτόχρονης ανίχνευσης σωματιδίων και ακτίνων – γ που αναμένεται να δώσει ακριβή προσδιορισμό της περιεκτικότητας του νατρίου σε οποιαδήποτε μήτρα.

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:</u>

1) Προμήθεια του συστήματος και εγκατάσταση του στον ήδη υπάρχοντα θάλαμο ανάλυσης υλικών. Ευθυγράμμιση του συστήματος και έλεγχος καλής λειτουργίας των επιμέρους ανιχνευτικών συστημάτων. Προσδιορισμός της περιεκτικότητας υδρογόνου σε πρότυπα δείγματα με σκοπό την βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας αλλά και τον έλεγχο των προδιαγραφών λειτουργίας.
2) Η συνύπαρξη βαρέων (Βολφράμιο και Μολυβδαίνιο) και ελαφρών στοιχείων (Δευτέριο, Βηρύλλιο, Οξυγόνο) στα δομικά στοιχεία του JET καθιστούν την ανίχνευση και εν συνεχεία ποσοτικοποίηση των ελαφρών στοιχείων εξαιρετικά δύσκολη μέσω της υπάρχουσας πειραματικής υποδομής. Η αναβάθμιση μέσω του συστήματος TOF-ERDA θα διευκολύνει σημαντικά την ανάλυση των δομικών υλικών καθώς θα επιτρέψει την ταυτόχρονη ανίχνευση όλων των ελαφρών στοιχείων.
3) Συλλογή φασμάτων ελαστικής σκέδασης πρωτονίων από παχείς στόχους. Προσομοίωση των συλλεχθέντων φασμάτων με χρήση διαφορικών ενεργών διατομών από την βιβλιογραφία και αξιολόγηση της καταλληλότητάς τους για μελλοντική χρήση στις ιοντικές τεχνικές ανάλυσης.
4) Μέτρηση της διαφορικής ενεργού διατομής των ελαστικών σκεδάσεων ^{6,7}Li(d,d$_0$), ^{nat}B(d,d$_0$) και ^{9}Be(d,d$_0$) σε γεωμετρία οπισθοσκέδασης με χρήση λεπτών αυτοαναρτούμενων στόχων. Η πραγματοποίηση των μετρήσεων γίνεται με άμεσο τρόπο παράλληλης καταγραφής φασμάτων σκεδαζόμενων φορτισμένων σωματιδίων από αριθμό ανιχνευτών πυριτίου επιφανειακού φραγμού (SSB – Silicon Surface Barrier detectors).
5) Προσομοίωση της πειραματικής διάταξης ταυτόχρονης καταγραφής ακτίνων – γ και σωματιδίων με σκοπό τον θεωρητικό προσδιορισμό της ανιχνευτικής ικανότητας του συστήματος. Πειραματικός προσδιορισμός της ανιχνευτικής ικανότητας μέσω γνωστών αντιδράσεων και σύγκριση με τον θεωρητικό. Χρήση της πειραματικής διάταξης με ήδη χαρακτηρισμένα πρότυπα στόχων νατρίου

Πακέτο Εργασίας 1.6 (ΠΕ 1.6)

ΥΓΕΙΑ - ΦΑΡΜΑΚΑ: Ανάπτυξη Προϊόντων και Υπηρεσιών Υγείας και (Ραδιο)Φαρμακευτικής με Πυρηνικές Τεχνικές

Nuclear Techniques for Health and (Radio)Pharmaceuticals

Συντονιστής: Δρ. Ίων Σταματελάτος,
Ερευνητής Α', ΙΠΡΕΤΕΑ – ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Το κίνητρο για τη δημιουργία της ΕΥ CALIBRA πηγάζει από την πληθώρα των διεπιστημονικών εφαρμογών που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίας μέσω της χρήσης επιταχυντών (ανεξάρτητα του μεγέθους τους) με καθοριστική συμβολή στην βελτίωση της ποιότητας της ζωής και της οικονομίας. Είναι χαρακτηριστικό ότι ανά τον κόσμο σήμερα λειτουργούν πάνω από 1000 επιταχυντές. Ένα λαμπρό παράδειγμα πολυ- επιστημονικής συνεργασίας πολλών επιπέδων μεταξύ πυρηνικών φυσικών, ραδιο-βιολόγων, ραδιο- φαρμακοποιών και πυρηνικών ιατρών είναι η ανάπτυξη μεθόδων, οργάνων και υπηρεσιών που βελτίωσαν το σύστημα ιατρικής περίθαλψης σε πολλές χώρες με πρώτη αναφορά στην τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων, το γνωστό σύστημα PET, που χρησιμοποιείται κατά κόρο πλέον στην ιατρική διαγνωστική με προτεραιότητα στην ογκολογία.

Με πρωταρχικό κριτήριο την αναχαίτηση μιας περιόδου έντονης οικονομικής κρίσης ο «Δημόκριτος» σχεδιάζει και προωθεί δράσεις μέσα από το πρόγραμμα «Ραδιοισότοπα – Ραδιοφάρμακα – Υγεία» που θα οδηγήσουν στην κεφαλαιοποίηση της παραγόμενης γνώσης προς όφελος των διαρκώς στις αυξανόμενων αναγκών παροχής υπηρεσιών υγείας στον Έλληνα πολίτη. Το προτεινόμενο σχέδιο στηρίζεται στην τεχνογνωσία που επί δεκαετίες έχει συσσωρευθεί στο «Δημόκριτο» σε α) τεχνικές ακτινοβόλησης με ιόντα και νετρόνια χρησιμοποιώντας τον μοναδικό στη χώρα ηλεκτροστατικό επιταχυντή ιόντων Tandem του Ινστιτούτου Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής (ΙΠΣΦ) και β) ανάπτυξη νέων ραδιοφαρμάκων.

Στις αρχές του 2012, το UMCG (Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο - Τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής και Μοριακής Απεικόνισης, της πόλης Groningen) της Ολλανδίας, δώρισε στο «Δημόκριτο» ένα κυκλοτρόνιο 17 MeV για παραγωγή ραδιοφαρμάκων. Το κυκλοτρόνιο (τύπου MC-17F) είναι προϊόν της εταιρείας SCANDITRONIX. Παράγει και επιταχύνει πρωτόνια (p) και δευτέρια (d) ενέργειας 17 και 8.5 MeV, αντίστοιχα. Με τα εν λόγω ιόντα, παρασκευάζονται στις εγκαταστάσεις του UMCG υπό συνθήκες ρουτίνας και πλήρους αυτοματισμού στη λειτουργία του κυκλοτρονίου, τα ραδιοισότοπα 18F (Φθόριο-18), 11C (Άνθρακας-11), 15O (Οξυγόνο-15) και 13N (Άζωτο-13) τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ευρέως διαδεδομένων ραδιοφαρμάκων όπως 18F-FDG, 18F-FLT, 18F-Dopa, 11C-Methionine, 11C-HTP κ.α. Ο «Δημόκριτος» αποδέχτηκε τη δωρεά.

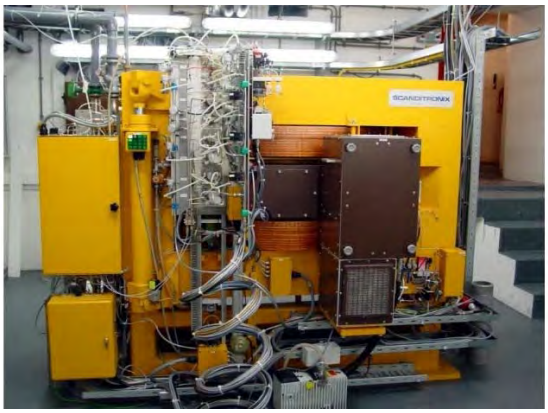
Το κυκλοτρόνιο σταμάτησε τη λειτουργία του στις 14-4-2014 και είναι πλέον επαρκώς «κρύο» για να μεταφερθεί σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς ραδιοπροστασίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το UMCG δώρησε μαζί με το κυκλοτρόνιο το ανεξάρτητο σύστημα στόχων παραγωγής, όλο το σύστημα παροχής ρεύματος και ψύξης, όλο το σύστημα ελέγχου λειτουργίας μέσω υπολογιστή (hardware και λογισμικό) αλλά και όλο το απόθεμα (stock) των ανταλλακτικών που εξασφαλίζει τη λειτουργία του κυκλοτρονίου για τουλάχιστον μία 15ετία. Έτσι, με τρέχουσες τιμές αγοράς, η δωρεά ισοδυναμεί με ένα επενδυτικό κεφάλαιο ύψους τουλάχιστον 2,5 εκατ. Ευρώ. Πλέον της δωρεάς, το UMCG δεσμεύτηκε να προσφέρει τεχνογνωσία καθ' όλη τη διάρκεια της εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία του κυκλοτρονίου στο «Δ» αλλά και την πρώτη εκπαίδευση τεχνικών την λειτουργία του.

Η εγκατάσταση του κυκλοτρονίου MC-17F στο «Δημόκριτο» καθιστά δυνατή την παραγωγή ραδιοφαρμάκων, όπως αυτά που προαναφέρθηκαν. Επιπλέον, οι τεχνικές δυνατότητες του κυκλοτρονίου (ενέργεια, ένταση δέσμης κλπ) επιτρέπουν, με αναβάθμιση μικρής κλίμακας και την παραγωγή ραδιοφαρμάκων με τα ραδιοισότοπα Cu-64 (Χαλκός-64), Zr-89 (Ζιρκόνιο-89) και I-124 (Ιώδιο-124). Αξίζει δε να σημειωθεί ότι στον Καναδά ερευνητικές ομάδες απέδειξαν πρόσφατα ότι η παραγωγή του «διάσημου» στην πυρηνική ιατρική ραδιοισοτόπου 99Tcm (Τεχνήτιο-99) είναι πλέον εφικτή και με κυκλοτρόνια σαν κι αυτό που το UMCG δώρησε στο «Δημόκριτο» πού είναι το μόνο Ερευνητικό Ίδρυμα στη χώρα το οποίο διαθέτει τεχνογνωσία λειτουργίας και συντήρησης επιταχυντικών συστημάτων, διαθέτοντας τον μοναδικό στη χώρα λειτουργούντα επιταχυντή ιόντων, στο Ινστιτούτο Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής. Επιπλέον, στο Ινστιτούτο Πυρηνικών και Ραδιολογικών Επιστημών (ΙΠΡΕΤΕΑ), υπάρχει μία ισχυρή ομάδα Ραδιοφαρμακευτικής με πολύχρονη εμπειρία στην ανάπτυξη και τον έλεγχο νέων και συμβατικών ραδιοφαρμάκων. Παράλληλα, ο «Δ» διαθέτει 20ετή και πλέον εμπειρία στη διακίνηση (με σχετική άδεια) ραδιοφαρμάκων όλων των τύπων (PET, γεννήτριες Τεχνητίου-99 κλπ) σ' όλη την επικράτεια.

Στόχος του «Δημοκρίτου» είναι το κυκλοτρόνιο να είναι κατ' αρχάς διαθέσιμο για έρευνα και ανάπτυξη ραδιοφαρμάκων όχι μόνο στους ερευνητές του αλλά σ' ολόκληρη την ελληνική επιστημονική κοινότητα. Επιπλέον, η υποδομή που θα αναπτυχθεί γύρω από το κυκλοτρόνιο θα είναι σε θέση να λειτουργήσει τουλάχιστον ως backup facility για τη διάθεση του διαδεδομένου ραδιοφαρμάκου FDG στο εθνικό σύστημα υγείας. Η υποδομή θα είναι σε θέση να αυτοχρηματοδοτείται αν λάβει κανείς υπόψη του το μέγεθος της ελληνικής αγοράς (≈6500 δόσεις FDG με συνολικό ετήσιο τζίρο περί τα 5M€).

Αξίζει να σημειωθεί ότι:

- Στο παρελθόν, υπήρξαν αξιόλογες προσπάθειες εγκατάστασης μίας μονάδας παραγωγής PET στο Δημόκριτο σε σύμπραξη με ιδιώτες. Οι προσπάθειες αυτές, αντιμετώπισαν ένα ιδιαίτερο πρόβλημα και συγκεκριμένα το υψηλό κόστος αγοράς και εγκατάστασης του κυκλοτρονίου (ο επιταχυντής αυτός καθαυτός) και περιφερειακών μονάδων (σύστημα στόχων κλπ) που απαιτούνται για την παραγωγή των ραδιοϊσοτόπων. Το κόστος αυτό ξεπερνά το 1,5M€. Με την γενναία δωρεά του κυκλοτρονίου από το Ολλανδικό UMCG στο «Δημόκριτο» το κόστος αυτό μηδενίζεται. Έτσι το κέντρο, έχει εξασφαλίσει ένα είδος start-up capital
- Το εν λόγω κυκλοτρόνιο θα είναι σε θέση αν αναβαθμιστεί κατάλληλα να παράγει όχι μόνο το «περιζήτητο» φάρμακο 18F-FDG, αλλά και άλλα ραδιοφάρμακα, όπως αυτά που στηρίζονται στο ραδιοϊσότοπο Cu-64 που εμφανίζουν μία γεωμετρικά αυξανόμενη ζήτηση με κόστος δόσης που στην Ιταλία για παράδειγμα αγγίζει τις 7000€.
- Σε συνεργασία με έμπειρο πολιτικό μηχανικό, έχει ολοκληρωθεί μία προμελέτη κατασκευής ενός ανεξάρτητου κτιρίου, αποκλειστικά για το εργαστήριο Κυκλοτρονίου, το οποίο θα πληροί όλες τις προβλεπόμενες από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (IAEA) προδιαγραφές ενός κέντρου παραγωγής PET ραδιοφαρμάκων. (Ασφάλεια, Ραδιοπροστασία, Hot cells, GMP modules κλπ) καθώς και χώρους για την εγκατάσταση Animal PET cameras αλλά και την δυνατότητα επέκτασής του για την εγκατάσταση σε αυτό, στο μέλλον, ενός κέντρου διάγνωσης με PET camera. Με την τελευταία επιλογή, θα ήταν δυνατή η εκμετάλλευση από Πυρηνικούς Ιατρούς των πολύ βραχύβιων ραδιοισοτόπων (π.χ. C-11 και O-15) που μπορεί να παράγει το εν λόγω κυκλοτρόνιο για, π.χ., διάγνωση εγκεφαλικών όγκων ή μελέτες καρδιολογικού ενδιαφέροντος. Η προμελέτη αυτή έχει ολοκληρωθεί.



Εικόνα 1.6.1: Το κυκλοτρόνιο Scanditronix MC-17F με το σύστημα στόχων για την παραγωγής ραδιο-ισοτόπων στις εγκαταστάσεις του UMCG (Ολλανδία).



Μάρτιος 2012: Συμμετοχή της ομάδας του επιταχυντή Tandem του «Δημόκριτου» στις εργασίες συντήρησης του κυκλοτρονίου στο Groningen.



Οκτώβριος 2015: Μετρήσεις ενεργότητας του κυκλοτρονίου πρίν την μεταφορά του στο ΕΚΕΦΕ «Δ»



Μάρτιος 2016: Εργασίες «πακεταρίσματος» των συστημάτων του Κυκλοτρονίου για τη μεταφορά του

Πλέον των ανωτέρω είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι, η εκτεταμένη χρήση ιοντικών δεσμών από επιταχυντικά συστήματα σε διεπιστημονικές εφαρμογές ανάγεται στις ολοκληρωμένες αναλυτικές και συγχρόνως μη καταστρεπτικές ιδιότητες τους. Ειδικά, η συνέργεια και συχνά ο ταυτόχρονος συνδυασμός, σε πραγματικό χρόνο, διαφορετικών ιοντικών αναλυτικών τεχνικών παρέχει π.χ. την δυνατότητα στοιχειακής ανάλυσης για όλα σχεδόν τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα. Πλέον αυτών, η χρήση ιοντικής δέσμης διαμέτρου 1 περίπου μικρό-μετρου ή και μικρότερης (μέθοδος γνωστή διεθνώς με τον όρο micro-beam προσφέρει επιπλέον μία άριστη χωρική διακριτική ικανότητα με αποτέλεσμα να μπορούν να αναλυθούν μικροσκοπικές λεπτομέρειες-δομές της αναλυόμενης επιφάνειας . Οι ιδιότητες αυτές των ιοντικών δεσμών παίζουν πρωταγωνιστικό και συχνά αναντικατάστατο ρόλο στη μελέτη υλικών, όπως στην ανάλυση μικρο-σωματιδίων αερολυμάτων (aerosols) που συλλέγονται σε φίλτρα, στον προσδιορισμό συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων σε βιοϊατρικά δείγματα και βιοκαταλυτών.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στους ιστούς και τα βιολογικά υγρά έχουν συνήθως στενά εύρη διακύμανσης και συνεπώς αποτελούν καλούς βιοχημικούς δείκτες. Τα επίπεδα του Σιδήρου στα ερυθροκύτταρα και στον ορό του αίματος είναι ένα γνωστό σε όλους παράδειγμα παρόμοιου δείκτη. Η περίσσεια ή η έλλειψη ιχνοστοιχείων στο βιολογικό σύστημα συνοδεύεται από τοξικά σύνδρομα ή

ασθένειες. Οι συγκεντρώσεις των ανόργανων στοιχείων στα βιολογικά συστήματα είναι πολύ μικρές, από μερικά μικρογραμμάρια έως μερικά νανογραμμάρια ή και λιγότερο ανά κυβικό εκατοστό ή γραμμάριο δείγματος. Για τον λόγο αυτό στο ΙΠΣΦ του «Δημόκριτου» έχουν αναπτυχθεί νέες μεθοδολογίες αναλυτικών ιοντικών τεχνικών και τεχνικών φθορισιμετρίας ακτίνων Χ πού συνδυάζουν την ταχύτητα και ευαισθησία στην ανάλυση ιχνοστοιχείων σε βιολογικά δείγματα και έχουν εφαρμοστεί και αξιολογηθεί στο παρελθόν σε πολλές αναλυτικές εφαρμογές όπως:

- Στον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ουρανίου στον άνθρωπο. Στην περίπτωση πρόσληψης ουρανίου από τον άνθρωπο, το μεγαλύτερο ποσοστό που κυκλοφορεί στο αίμα απομακρύνεται από τον οργανισμό μέσω των νεφρών με την ουρική απέκκριση. Για τον λόγο αυτό η αυξημένη παρουσία του στα ούρα αποτελεί μια ευαίσθητη ποσοτική παράμετρο της έκθεσης του ανθρώπου στο ουράνιο, ιδιαίτερα δε της οξείας έκθεσης. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από το ΙΠΦ συνδυάζει μια χημική επεξεργασία του αρχικού δείγματος ούρων ώστε να επιτευχθεί μια σημαντική προσυγκέντρωση του ουρανίου με την εν συνεχεία ανίχνευση του μέσω του φθορισμού ακτίνων Χ σε γεωμετρία ολικής ανάκλασης (TXRF). Η μέθοδος αποδείχθηκε ότι είναι σχετικά γρηγορότερη συγκρινόμενη με άλλες (πχ φασματοσκοπία άλφα) και προσφέρει όρια ανιχνευσιμότητας που επιτρέπουν τον έλεγχο της πρόσληψης του ουρανίου πάνω από τα φυσιολογικά όρια.
- Στην μελέτη της βιοκατανομής της πλατίνας (σε υδατική μορφή ή σε μορφή νανοσωματιδίων) στο λυοφιλισμένο αίμα και στους ιστούς διαφορετικών οργάνων πειραματόζωων αλλά και της ανθεκτικότητας παραμονής που έχει στον οργανισμό των. Συνεργασία με το τμήμα Φαρμακευτικής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών. Στην εργασία αυτή έγινε προσδιορισμός της πλατίνας σε μια πλήρη σειρά δειγμάτων λυοφιλισμένου αίματος από πειραματόζωα τα οποία θυσιάστηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές από την χορήγηση PLGA-mPEG νανοσωματιδίων πλατίνας και υδατικού διαλύματος σις πλατίνας. Από τις μετρήσεις XRF διαπιστώθηκε ότι τα PLGA-mPEG νανοσωματίδια πλατίνας έχουν παρατεταμένη αντίσταση (τουλάχιστον τρεις φορές περισσότερο) στο αίμα όταν χορηγούνται ενδοφλεβίως συγκριτικά με το υδατικό διάλυμα σις-πλατίνας. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις συμβάλλουν στον σχεδιασμό και ανάπτυξη συστημάτων χορήγησης της σις-πλατίνας με εξειδικευμένη εντόπιση in-vivo.
- Στην μελέτη του μεταβολισμού καλίου-ρουβιδίου (K-Rb) και ασβεστίου-στροντίου (Ca-Sr) σε ανθρώπους. Συνεργασία με την Α' Πανεπιστημιακή Προπαιδευτική Χειρουργική κλινική του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου. Συγκεκριμένα η τεχνική XRF χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό ασβεστίου, στροντίου, καλίου και ρουβιδίου σε επιλεγμένα διαιτητικά προϊόντα, στον ορρό αίματος και στα ούρα υγιών αλλά και ασθενών ανθρώπων με χρόνια νεφρική ανεπάρκεια και σε ασθενείς που υπόκεινται σε συνεχή διάλυση περιτόναιου. Αναπτύχθηκε κατάλληλο μοντέλο για την περιγραφή του ρυθμού εισαγωγής και απέκκρισης των ανωτέρω στοιχείων στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ ο λόγος Sr/Ca στον ορρό αίματος υγιών ανθρώπων καθορίζεται από την επιλεκτική απέκκριση του στροντίου από το ήπαρ συγκριτικά με το ασβέστιο (τρείς φορές ταχύτερη απέκκριση στροντίου ως προς το ασβέστιο και ίσοι ρυθμοί απέκκρισης για κάλιο και ρουβίδιο), σε ανθρώπους με νεφρική ανεπάρκεια αυτή η τάση για επιλεκτική απέκκριση χάνεται. Το αποτέλεσμα είναι το στρόντιο να συγκεντρώνεται στο ανθρώπινο σώμα κατά την διάρκεια της νεφρικής ανεπάρκειας και η συνεχής διάλυση περιτόναιου δεν μπορεί να αποκαταστήσει τα κανονικά επίπεδα.
- Στον προσδιορισμό φθορίου σε ανθρώπινα υγιή και τερηδονισμένα δόντια με την ιοντική τεχνική PIGE. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να προσδιοριστεί και να συγκριθεί η συγκέντρωση

φθορίου στα δόντια διαφορετικών τύπων (τομείς, προγόμφιους, γόμφιους), δύο διαφορετικών πληθυσμών που έχουν παρόμοιες διαιτητικές συνήθειες, επαγγελματικές ασχολίες (κυρίως αγροτικές) και περίπου ίδια μέση ηλικία, αλλά δέχονται διαφορετικά επίπεδα φθορίου από το πόσιμο νερό που χρησιμοποιούν. Για τον ένα πληθυσμό τα επίπεδα φθορίου του πόσιμου νερού είναι 1-2 ppm, ενώ για τον δεύτερο πληθυσμό είναι >3 ppm. Για τον προσδιορισμό φθορίου χρησιμοποιήθηκε η πυρηνική αντίδραση $^{19}F(p,\alpha\gamma)^{16}O$. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε: α) διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων του φθορίου ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους δοντιών (για τον ένα πληθυσμό) με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φθορίου να προσδιορίζονται στα μπροστινά δόντια (τομείς). β) καμία στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα επίπεδα φθορίου μεταξύ υγιών-τερηδονισμένων προγομφίων και γομφίων και των δύο πληθυσμών και γ) καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης φθορίου στα δόντια και αντίστοιχης συγκέντρωσης φθορίου στο πόσιμο νερό.

- Στην μελέτη του μεταβολισμού ασβεστίου, σεληνίου και στροντίου σε ασθενείς που υπόκεινται σε διαρκή περιτοναϊκή κάθαρση (νεφρική ανεπάρκεια). Συνεργασία με την Α' Πανεπιστημιακή Προπαιδευτική Χειρουργική κλινική του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου.
- Στον προσδιορισμό των επιπέδων των συγκεντρώσεων ανόργανων στοιχείων (Fe, Cu, Zn, Se και Br) σε ορό, αίμα και ερυθροκύτταρα και για την ανάπτυξη σχετικής βάσης δεδομένων τυπικών («φυσιολογικών») συγκεντρώσεων για τον ελληνικό πληθυσμό. Συνεργασία με την Α' Πανεπιστημιακή Προπαιδευτική Χειρουργική κλινική του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου.
- Στον προσδιορισμό Βαρίου σε πνευμονικούς αδένες ασθενών με τοξική επιβάρυνση. Συνεργασία με την Β' Πανεπιστημιακή Προπαιδευτική Χειρουργική κλινική του Ιπποκράτειου Νοσοκομείου.
- Μελέτη της συγκέντρωσης μεταλλικών ιχνοστοιχείων σε αντιπροσωπευτικό δείγμα δοντιών πληθυσμού περιοχής της Δ. Ελλάδας με τοξική επιβάρυνση από το πόσιμο νερό. Συνεργασία με το Τμήμα Βιοχημείας της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών

<u>Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.6 είναι:</u>

1) **Κυκλοτρόνιο**: Η σημαντική πρόοδος που παρατηρείται παγκοσμίως στις τεχνικές ιατρικής απεικόνισης PET και, πιο πρόσφατα, PET/CT έχει προκαλέσει την ανάγκη για σημαντική αύξηση της έρευνας και ανάπτυξης σε τομείς που αφορούν στη τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων για χρήσεις στην διάγνωση του καρκίνου, καρδιακών παθήσεων, νευρολογικών διαταραχών κλπ. Το ραδιοϊσότοπο με τη ευρύτερη κλινική αποδοχή είναι το 18-F (FDG), ενώ σημαντικές εφαρμογές έχουν και τα 11C, 13N, 15O. Σημαντική ερευνητική δραστηριότητα εστιάζεται στην προσπάθεια εισαγωγής νέων εκπομπών ποζιτρονίων για κλινικές εφαρμογές όπως για παράδειγμα τα 64Cu, 124I. Εκτός από την βιοιατρική, η χρήση της τομογραφίας PET έχει βρει σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στην απεικόνηση της ροής υγρών στο εσωτερικό εξαρτημάτων και συσκευών.

   Το ΕΚΕΦΕ «Δ» στοχεύει στη δημιουργία μιας εγκατάστασης που θα συνδυάζει τη μονάδα κυκλοτρονίου με αυτοματοποιημένες μονάδες παραγωγής ραδιοϊσοτόπων για ερευνητικές, ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η μονάδα θα στελεχώνεται από το κατάλληλο επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό υποστήριξης λειτουργίας. Η λειτουργία της μονάδας θα εστιαστεί αρχικά στην παραγωγή ραδιοϊσοτόπων και ακτινοβολήσεις υλικών για ερευνητικούς σκοπούς στους επιστημονικούς τομείς της ραδιοφαρμακευτικής, ραδιοχημείας, ακτινοφυσικής, μελέτης υλικών κλπ. Στην συνέχεια και προοδευτικά, θα εξετασθεί η δυνατότητα παραγωγής ραδιοϊσοτόπων για ιατρικές διαγνωστικές εφαρμογές. Το τελικό όραμα είναι η δημιουργία μια

εγκατάστασης κυκλοτρονίου τύπου IV, όπως αυτή περιγράφεται στον Τεχνικό Οδηγό "Cyclotron Produced Radiopharmaceuticals: Guidelines for Setting-up a Facility, Technical Report Series No. 471, IAEA, Vienna, 2009" του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (IAEA). Μία τέτοια εγκατάσταση θα έχει την δυνατότητα, πέρα από ερευνητικές δραστηριότητες, να παράγει και να διανέμει ραδιοϊσότοπα για ιατρικές και άλλες εφαρμογές σε εξωτερικούς χρήστες. Η μονάδα θα έχει άμεσα τη δυνατότητα παραγωγής ^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, ^{18}F. Στη συνέχεια και μετά από τροποποίηση του συστήματος στόχων θα μπορεί να παράγει ^{64}Cu, ^{86}Y, ^{89}Zr, ^{123}I και ^{124}I.

Η προτεινόμενη μονάδα θα εγκατασταθεί σε νέο κτίριο που θα κατασκευαστεί σε τοποθεσία εντός του ΕΚΕΦΕ "Δ", αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα που παρέχει η υπάρχουσα υποδομή του κέντρου που αφορούν στη φυσική προστασία, προστασία από τις ακτινοβολίες, φύλαξη και διαχείριση των ραδιενεργών υλικών, τεχνογνωσίας σε διατάξεις επιταχυντών, διαχείρισης ραδιοϊσοτόπων και ραδιοφάρμακευτικής.

Η νέα εγκατάσταση της μονάδας κυκλοτρονίου θα πληροί όλες τις προδιαγραφές που αφορούν στην ακτινοπροστασία και ασφάλεια του προσωπικού, του κοινού και του περιβάλλοντος από τους κινδύνους των ιοντιζουσών ακτινοβολιών, όπως περιγράφονται στους Κανονισμούς Ακτινοπροστασίας της χώρας και τις σχετικές οδηγίες1 του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας - IAEA. Το ΕΚΕΦΕ «Δ» θα στελεχώσει αρχικά την μονάδα με ομάδα επιστημόνων και τεχνικών που θα έχει σαν σκοπό την μεταφορά, συναρμολόγηση, εγκατάσταση, θωράκιση και λειτουργία του κυκλοτρονίου. Στη συνέχεια, η μονάδα θα στελεχωθεί με κατάλληλο προσωπικό που θα εξασφαλίζει τη συνεχή και ασφαλή λειτουργία της μονάδας και την παραγωγή ραδιοϊσοτόπων. Το προσωπικό της μονάδας θα περιλαμβάνει ραδιοχημικό ή/και ραδιοφαρμακοποιό, ακτινοφυσικό, χειριστές, τεχνικό και διοικητικό προσωπικό, καθώς και άλλους επιστήμονες απαραίτητους για την ανάπτυξη ραδιοφαρμακευτικών σκευασμάτων και την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της μονάδας.

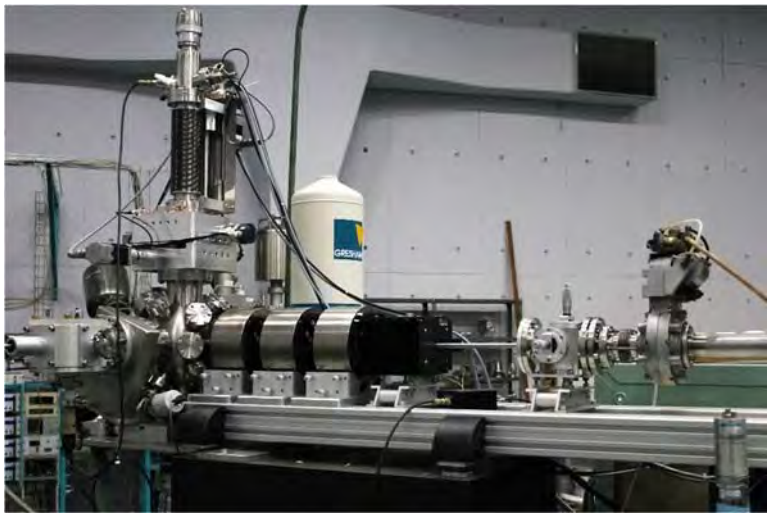
Το ΕΚΕΦΕ «Δ» είναι το μόνο ερευνητικό κέντρο στην Ελλάδα το οποίο συνδυάζει επιστημονική και τεχνολογική εμπειρία στους σχετικούς τομείς της τεχνολογίας επιταχυντών, ραδιοφαρμακευτικής, διαχείρισης ραδιενεργών καταλοίπων, μεταφοράς ραδιενεργών υλικών, καθώς και πυρηνική ασφάλεια και Ακτινοπροστασία. Έτσι, Η προτεινόμενη νέα μονάδα κυκλοτρονίου του ΕΚΕΦΕ «Δ» θα προσφέρει:

- Σε συνδυασμό με τις άλλες μονάδες επιταχυντών και εργαστηρίων του ΕΚΕΦΕ «Δ», τη δημιουργία μιας μοναδικής πλατφόρμας διεπιστημονικής έρευνας και καινοτόμων εφαρμογών με τεράστιο δυναμικό ανάπτυξης και παροχής εξειδικευμένων υπηρεσιών στους ταχύτατα εξελισσόμενους τομείς της ραδιοφαρμακευτικής, ραδιοχημείας, ιατρικής φυσικής, ιατρικής πληροφορικής και τεχνολογικών εφαρμογών των ραδιοϊσοτόπων.
- Ενίσχυση της ερευνητικής υποδομής της χώρας.
- Ενίσχυση του συστήματος υγείας της χώρας.
- Αξιοποίηση της μοναδικής στη χώρα τεχνογνωσίας του ΕΚΕΦΕ «Δ»
- Το μοναδικό κυκλοτρόνιο στην Ελλάδα που θα είναι διαθέσιμο στην έρευνα και εκπαίδευση.
- Μια εξαιρετική τοποθεσία εγκατάστασης της μονάδας, καθώς το ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" βρίσκεται στην Αγία Παρασκευή μόλις 13 χιλιόμετρα από το κέντρο της Αθήνας σε μικρή απόσταση από όλα τα μεγάλα ιατρικά κέντρα στην περιοχή της Αθήνας και μόλις 21 χιλιόμετρα από το Διεθνές Αεροδρόμιο Αθηνών Ελευθέριος Βενιζέλος.
- Εξασφάλιση της συνεχούς παραγωγής 18F για ιατρικές διαγνωστικές εφαρμογές καθώς και ανάπτυξη νέων ιατρικών διαγνωστικών εφαρμογών με την χρήση άλλων ραδιοϊσοτόπων τα

οποία αυτή τη στιγμή δεν παράγονται στη χώρα και δεν είναι δυνατό να εισαχθούν από το εξωτερικό λόγω του πολύ μικρού χρόνου ζωής τους.

- Δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης ερευνητικών δραστηριοτήτων και συμμετοχής σε ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα, σε συνεργασία με πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα στην Ελλάδα και την Ευρώπη.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας για τη στελέχωση της ομάδας λειτουργίας του κυκλοτρονίου, αλλά και μέσω της συμμετοχής νέων επιστημόνων σε Ευρωπαϊκά και Εθνικά ερευνητικά προγράμματα που θα χρησιμοποιήσουν την υποδομή.

2) **MicroPIXE:** Η στοχευόμενη χορήγηση (targeted delivery) φαρμάκων και διαγνωστικών παραγόντων επιτρέπει στη μεν φαρμακοθεραπεία αυξημένο φαρμακολογικό αποτέλεσμα με ταυτόχρονη ελάττωση παρενεργειών (ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση ισχυρών και τοξικών φαρμάκων όπως τα αντικαρκινικά φάρμακα) στην δε διάγνωση καθαρότερη απεικόνιση του υπό μελέτη οργάνου, ιστού ή πληθυσμού κυττάρων. Είναι σημαντικό σε εφαρμογές στοχευόμενης χορήγησης διαγνωστικών ή θεραπευτικών ουσιών να είναι δυνατή η μελέτη της κυτταρικής πρόσληψης και ενδοκυτταρικής κατανομής των ουσιών αυτών από τους ιστούς ή κυτταρικούς πληθυσμούς που στοχεύονται. Στο εργαστήριο Φαρμακευτικής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών εφαρμόζονται αρχές και μέθοδοι νανοτεχνολογίας για την ανάπτυξη στοχευόμενων θεραπειών κατά διαφόρων τύπων καρκίνου (στήθους, εντέρου, εγκεφάλου). Συγκεκριμένα αναπτύσσονται υβριδικοί, μαγνητικοί νανοφορείς στους οποίους εγκλείονται ισχυρά αντικαρκινικά φάρμακα με σκοπό την εκλεκτική διάθεση του εγκλεισμένου στα μαγνητικά σωματίδια φαρμάκου σε καρκινικούς όγκους με τη βοήθεια εξωτερικού μαγνητικού πεδίου[1]. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα γίνει εφαρμογή της τεχνικής microPIXE για μελέτη της πρόσληψης και ενδοκυτταρικής κατανομής των νανοφορέων και του εγκλεισμένου σε αυτούς φαρμάκου (π.χ. cisplatin) αναλύοντας την ενδοκυτταρική κατανομή του σιδήρου και του λευκόχρυσου αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να αποδειχτεί με αυτόν τον τρόπο η ικανότητα των νανοφορέων αυτών να παραδίδουν, και σε τι συγκεντρώσεις, το αντικαρκινικό φάρμακο στη θέση δράσης του, δηλ. στον πυρήνα του κυττάρου.



Εικόνα 1.6.2:
Η πειραματική διάταξη Μικρο-δέσμης (Micro-PIXE) που είναι εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δ». Διακρίνονται οι 3 ισχυροί ηλεκτρομαγνήτες που εστιάζουν τη δέσμη πρωτονίων σε κύκλο με διάμετρο 1 μικρο-μέτρου.

[1] [(1) Bakandritsos, A. et al., Small, 8 (2012) 2381-2393, (2) Sarigiannis, Y. et al., Biomaterials 91 (2016) 128-139, (3) Voulgari, E. et al., J. Controlled Release, in press]. [Συνεργασία: Εργαστήριο Φαρμακευτικής Τεχνολογίας, Πανεπιστημίου Πατρών και ΙΠΣΦ, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος].

3) **Φθορισιμετρία Ακτίνων Χ (XRF):** Το ανθρώπινο πλακούντα είναι ένας προσωρινό ιστός που σχηματίζεται κατά την έναρξη της σύλληψης. Ο σκοπός του πλακούντα είναι να διευκολύνει την ανταλλαγή των στοιχείων και άλλων ουσιών μεταξύ της μητέρας και του εμβρύου. Ως εκ τούτου, η ανεπαρκής ή υπερβολική πρόσληψη ορισμένων θρεπτικών και τοξικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του εμβρύου. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα αναπτυχτεί μεθοδολογία εργαστηριακού συστήματος XRF με χρήση υψηλο-ενεργειακής και πολωμένης διεγείρουσας δέσμης για την ανάλυση ιχνοστοιχείων σε βιολογικά δείγματα πλακούντα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία θα αξιολογηθεί γενικότερα για την εφαρμογή της σε μελέτες ευρείας κλίμακας μέσω της συλλογής σχετικών δεδομένων και από τον Ελλαδικό χώρο.
4) **Ανάλυση με Νετρονική Ενεργοποίηση (Neutron Activation Analysis – NAA):** Η ανάλυση με νετρονική ενεργοποίηση είναι μια πυρηνική αναλυτική τεχνική με σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία την καθιστούν ιδιαίτερα σημαντική στην ανάλυση βιολογικών δειγμάτων. Συγκεκριμένα, η τεχνική απαιτεί ελάχιστη προετοιμασία του δείγματος πριν την ακτινοβόληση και επομένως ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εργαστηριακής ρύπανσης του δείγματος. Η τεχνική είναι μη καταστροφική, επομένως το δείγμα μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί μετά το πέρας της ανάλυσης. Η τεχνική επιτρέπει ανάλυση ενός πολύ μεγάλου εύρους συγκεντρώσεων των στοιχείων του δείγματος, το οποίο καλύπτει από τα ιχνοστοιχεία έως τα κύρια στοιχεία του δείγματος. Η τεχνική επιτρέπει την ανάλυση μεγάλου εύρους μάζας δειγμάτων, που κυμαίνεται από κλάσμα του γραμμαρίου έως και χιλιόγραμμα. Έχει υψηλή ακρίβεια και επαναληψημότητα. Η ανάλυση μπορεί να γίνει μέσω απόλυτων και σχετικών μεθόδων βαθμονόμησης, επιτρέποντας την πανοραμική ανάλυση δειγμάτων (για παράδειγμα έως και 65 στοιχεία μπορούν να μετρηθούν στο ίδιο δείγμα). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα αναπτυχθούν τεχνικές ανάλυσης με νετρονική ενεργοποίηση βιολογικών υλικών χρησιμοποιώντας τις δέσμες ταχέων νετρονίων του επιταχυντή TANDEM και χρήση ανιχνευτικών διατάξεων υψηλής ανιχνευτικής απόδοσης και ενεργειακής διακριτικής ικανότητας του ΙΠΣΦ. Η τεχνικές που θα αναπτυχθούν θα εφαρμοστούν για την μελέτη ουσιωδών και τοξικών ιχνοστοιχείων σε τρόφιμα και βιολογικούς ιστούς. [Συνεργασία: Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και ΙΠΡΕΤΕΑ/ΙΠΣΦ, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος].

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:</u>

1) **Κυκλοτρόνιο**:
   α) Προετοιμασία εκθέσεων για την αδειοδότηση από την ΕΕΑΕ της μεταφοράς του κυκλοτρονίου από το Ιατρικό Κέντρο του Πανεπιστημίου Groningen στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.
   β) Μεταφορά του κυκλοτρονίου και ασφαλής προσωρινή αποθήκευση στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Έκθεση επέκτασης της άδειας ακτινοπροστασίας του επιταχυντή TANDEM.
   γ) Προετοιμασία έκθεσης επιχειρηματικού σχεδίου για την μονάδα του κυκλοτρονίου.
   δ) Προετοιμασία εκθέσεων προς υποβολή στην ΓΓΕΤ για την αδειοδότηση προέγκρισης κατασκευής, έγκριση κατασκευής και άδειας λειτουργίας της μονάδας.
   ε) Προετοιμασία προκαταρκτικής και τελικής έκθεσης ακτινοπροστασίας της εγκατάστασης.

2) **MicroPIXE**: Σύνθεση και χαρακτηρισμός νανοφορέων Η σύνθεση θα περιλαμβάνει την παραγωγή νανοσωματιδίων οξειδίων του σιδήρου με την τεχνική της αναγωγής πρόδρομων ενώσεων σιδήρου παρουσία συμπολυμερών πολυακρυλικού οξέος-πολυαιθυλενογλυκόλης. Στα σωματίδια αυτά θα παγιδεύεται η δραστική ουσία μέσω της χημικής σύζευξης της στην πολυμερική κορώνα των σωματιδίων. Οι νανοφορείς θα χαρακτηρίζονται ως προς τα βασικά φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά, την κολλοειδή σταθερότητα και τις μαγνητικές τους ιδιότητες. Μελέτη της κυτταρικής πρόσληψης και ενδοκυτταρικής κατανομής σε καρκινικά κύτταρα. Η μελέτη της κυτταρικής πρόσληψης των μαγνητικών νανοφορέων και του φαρμάκου παρουσία και απουσία μαγνητικού πεδίου από ανθρώπινες καρκινικές κυτταρικές σειρές θα διεξαχθεί με τρεις μεθοδολογίες. Η πρώτη θα βασίζεται στον προσδιορισμό της πρόσληψης των επισημασμένων με κατάλληλη φθορίζουσα ουσία νανοφορέων με κυτταρομετρία ροής (FACS), η δεύτερη θα περιλαμβάνει την παρατήρηση της πρόσληψης και ενδοκυτταρικής κατανομής των νανοφορέων με συνεστιακή μικροσκοπία (CLSM) και με την τρίτη θα επιχειρηθεί η εφαρμογή της τεχνικής microPIXE για προσδιορισμό της κυτταρικής πρόσληψης και της ενδοκυτταρικής κατανομής των νανοφορέων και του φαρμάκου.

3) **XRF**: Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό συγκεντρώσεων ζωτικών αλλά και τοξικών ιχνοστοιχείων σε λυοφιλισμένα δείγματα πλακούντα με την τεχνική XRF δευτερογενούς στόχου. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων και σύγκριση των επιτευχθέντων ορίων ευαισθησίας με άλλες τεχνικές και αναλυτικές μεθοδολογίες.

4) **NAA**: Θεωρητική μελέτη για τη προσομοίωση των δεσμών νετρονίων και των ανιχνευτικών διατάξεων που θα χρησιμοποιηθούν μέσο υπολογισμών με εξειδικευμένα λογισμικά πακέτα. Συστηματική πειραματική μελέτη των χαρακτηριστικών των πεδίων νετρονίων που παράγονται στον επιταχυντή μέσο αντιδράσεων (D-D) και (D-T) και χαρακτηρισμός της απόδοσης των ανιχνευτικών διατάξεων φασματοσκοπίας-γ για τους συγκεκριμένους τύπους δειγμάτων. Ανάπτυξη μεθοδολογίας ποσοτικοποίησης των αναλυτικών δεδομένων. Πειράματα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.

Πακέτο Εργασίας 1.7 (ΠΕ 1.7)

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: Εφαρμογές Ιοντικών Τεχνικών και Φθορισιμετρίας Ακτίνων Χ στην Περιβαλλοντική Επιστήμη και Τεχνολογία

Ion-Beam and XRF Techniques in Environmental Science and Technology

Συντονιστής: Δρ. Κων/νος Ελευθεριάδης,
Ερευνητής Α', ΙΠΡΕΤΕΑ – ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην περιγραφή του ΠΕ 1.5, η εντατική χρήση ιοντικών δεσμών από επιταχυντικά συστήματα σε διεπιστημονικές ανάγεται στις ολοκληρωμένες αναλυτικές και συγχρόνως μη καταστρεπτικές ικανότητες τους. Ειδικά η χρήση ιοντικής δέσμης διαμέτρου 1 περίπου μικρό-μετρου ή και μικρότερης (μέθοδος γνωστή διεθνώς με τον όρο micro-beam) προσφέρει επιπλέον μία άριστη χωρική διακριτική ικανότητα με αποτέλεσμα να μπορούν να αναλυθούν μικροσκοπικές λεπτομέρειες-δομές της αναλυόμενης επιφάνειας . Οι ιδιότητες αυτές των ιοντικών δεσμών παίζουν πρωταγωνιστικό και συχνά αναντικατάστατο ρόλο στη μελέτη υλικών, όπως στην ανάλυση μικρο-σωματιδίων αερολυμάτων (aerosols) που συλλέγονται σε φίλτρα, στον προσδιορισμό συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων στο περιβάλλον.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα με σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπινου πληθυσμού τόσο σε αναπτυγμένες-βιομηχανικές χώρες όσο και σε αναπτυσσόμενες. Όταν οι ατμοσφαιρικού ρύποι εισπνέονται ιδιαίτερα δ τα σωματίδια που έχουν μικρό μέγεθος (μερικά μικρόμετρα ή λιγότερο), τότε μπορούν να εισέρχονται βαθιά στον πνεύμονα και το αναπνευστικό σύστημα και να συμβάλουν σημαντικά σε διάφορες ασθένειες (καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνοι των πνευμόνων, χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις, αναπνευστικές λοιμώξεις). Επιπλέον, τοξικά στοιχεία μπορούν να προσληφθούν από το αίμα και να μεταφερθούν σε όλο το ανθρώπινο σώμα.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν επίσης να εναποτίθενται στο έδαφος, τα φυτά και το νερό, συμβάλλοντας έτσι περαιτέρω στην έκθεση του ανθρώπου, με την κατανάλωση/πρόσληψη μολυσμένων τροφίμων και νερού. Εκτενή βιβλιογραφικά δεδομένα πειραματικών και επιδημιολογικών μελετών έχουν αποδείξει ότι υπάρχουν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (Air Particulate Matter, APM) και των ποσοστών νοσηρότητας και θνησιμότητας. Πρόσφατη έκθεση της Παγκόσμιας Τράπεζας[1] αναφέρει ως τέταρτη αιτία πρόωρων θανάτων παγκοσμίως την ατμοσφαιρική ρύπανση έκθεση, τονίζοντας ότι προκαλεί απώλειες εκατοντάδων δισεκατομμυρίων δολαρίων στην παγκόσμια οικονομία. Εκτιμάται ότι η ρύπανση του αέρα σκότωσε 2,9 εκατομμύρια ανθρώπους το 2013, σύμφωνα με τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία που δημοσιεύονται στην έκθεση. Ενώ οι περισσότεροι θάνατοι σχετίζονται με παιδιά και ηλικιωμένους ταυτόχρονα το γεγονός αυτό οδηγεί σε με απώλειες εισοδήματος και εμπόδια στην οικονομική ανάπτυξη. Έτσι, η έκθεση εκτιμά πως οι απώλειες εισοδήματος από εργασία λόγω των θανάτων υπολογίζονται περίπου σε 225 δισεκατομμύρια δολάρια το 2013.

Οι ιοντικές αναλυτικές τεχνικές (Ion Beam Analysis) έχουν αποδειχθεί ότι αποτελούν ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη μελέτη της στοιχειακής σύνθεσης των κλασματοποιημένων (κατανεμημένα ένα

[1] World Bank; Institute for Health Metrics and Evaluation. 2016. The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013 License: CC BY 3.0 IGO., http://www.worldbank.org/en/news/infographic/2016/09/08/death-in-the-air-air-pollution-costs-money-and-lives

εύρος μεγέθους) σωματιδίων APM με ένα γρήγορο, μη-καταστρεπτικό τρόπο. Ειδικότερα η τεχνική των επαγόμενων ακτίνων X από πρωτόνια (Particle Induced X-ray Emission, PIXE) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από τις πρώτες εφαρμογές της (1972) για την μελέτη της στοιχειακή σύνθεσης του ατμοσφαιρικού αερολύματος. Μεταβολές στην σύνθεση του ατμοσφαιρικού αερολύματος μπορεί να λάβει χώρα σε πολύ σύντομες χρονικές κλίμακες (της τάξεως της μιας ώρας) ή και σε μεγαλύτερα εποχιακά χρονοδιαγράμματα. Το ίδιο ισχύει και για τις χωρικές διαφοροποιήσεις: αερομεταφορές και φαινόμενα απόθεσης μπορούν να παράγουν εξαιρετικά διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με την περιοχή μέτρησης.

Αυτή η μεγάλη μεταβλητότητα στην φύση του ατμοσφαιρικού αερολύματος απαιτεί τεράστιο αριθμό αναλύσεων, και μια μέθοδος όπως η PIXE, μπορεί να προσφέρει σε σύντομο χρονικό διάστημα γρήγορα ποσοτικά αποτελέσματα και μπορεί να υποστηρίξει περιβαλλοντικές έρευνες πολύ καλύτερα από ότι η συμβατική χημική ανάλυση. Σε λίγα λεπτά η τεχνική PIXE ((10 λεπτά/μέτρηση)μπορεί να ανιχνεύσει ταυτόχρονα στοιχεία από Na έως Pb, συμπεριλαμβανομένων σημαντικών ανθρωπογενών στοιχείων (S, V, Ni, Cu, Zη, As και Pb) και όλα τα στοιχεία του γήινου φλοιού (Al, Si, K, Ca, Ti, Mn και Fe).

Άλλες τεχνικές IBA, όπως η Ελαστική Οπισθοσκέδαση (RBS/EBS) και η ελαστική σκέδαση πρωτονίων (PESA) επιτρέπουν την απόκτηση ποσοτικών πληροφοριών σχετικά με την συγκέντρωση των ελαφρών στοιχείων στο δείγμα συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου που αντιπροσωπεύουν έως και το 80% της μάζας του αερολύματος. Έτσι, η συνδυασμένη εφαρμογή της PIXE, RBS/EBS (για μέτρηση C, N, O) και PESA (για τη μέτρηση H) προσφέρει μια πλήρη ανακατασκευή της μάζας του ατμοσφαιρικού αερολύματος. Εκτός των ανωτέρω η τεχνική των ακτίνων γ επαγόμενων από πρωτόνια (PIGE) είναι επίσης ένα ανεκτίμητο εργαλείο, συμπληρωματικά ως προς την PIXE, για να προσφέρει ποσοτικά αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας για στοιχεία μικρού ατομικού αριθμού (F, Na, Mg, Al, κλπ.) που περιέχονται σε δείγματα αερολύματος.

Εν κατακλείδι, η συνδυασμένη εφαρμογή των ιοντικών αναλυτικών τεχνικών PIXE, RBS, PIXE και PESA παρέχει στην πραγματικότητα μια ολιστική αναλυτική μεθοδολογία για την πλήρη ταυτόχρονη, πολυ-στοιχειακή και ευαίσθητη στοιχειακή ανάλυση των δειγμάτων αιωρούμενων σωματιδίων (APM) με τυπικά όρια ευαισθησίας (detection limits, DL) για υδρογόνο (όριο-DL PESA, ~30 ng /cm2) , άνθρακα, αζώτου και οξυγόνου (RBS, DL ~ 10 μg /cm2), νάτριο (PIGE, DL ~ 2 μg /cm2) και Na-U (PIXE, DL για μεταλλικά στοιχεία ~ 20 ng /cm2).

<u>Οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.7 είναι:</u>

1) Ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων χαρακτηρισμού περιβαλλοντικών δειγμάτων με τις μεθόδους ιοντικής δέσμης, micro-PIXE (βλ. και Εικόνα 1.6.2) και φθοριοσιμετρίας ακτίνων X (XRF). Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην ανάπτυξή τους με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των περιβαλλοντικών δειγμάτων καθώς και στην ελαχιστοποίηση του χρόνου ανάλυσης για να είναι εφικτός ο προσδιορισμός της στοιχειακής σύστασης μεγάλου αριθμού αυτών. Η πολυστοιχειακή ανάλυση χωρίς να απαιτείται καμία επεξεργασία του δείγματος, καθώς και τα πολύ χαμηλά όρια ανίχνευσης καθιστούν τις τεχνικές αυτές ιδανικές για την εφαρμογή τους σε περιβαλλοντικά δείγματα.
2) Αξιοποίηση της πολυστοιχειακής ανάλυσης για επιμερισμό της συνεισφοράς πηγών σωματιδιακής ρύπανσης. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί μοντέλα επιμερισμού πηγών (source apportionment) που έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό των επιδράσεων των πηγών ενός ατμοσφαιρικού ρύπου όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, βασιζόμενα σε δεδομένα

στοιχειακής σύστασης για τον ρύπο σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε Ευρωπαϊκό επίπεδο στη χρήση και στην αξιολόγηση των μοντέλων αυτών καθώς παρέχουν πληροφορίες για τη συνολική και ημερήσια συνεισφορά των επί μέρους πηγών στην ολική συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη χάραξη περιβαλλοντικών πολιτικών με στόχο τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυρίως στα αστικά κέντρα, γεγονός που έχει ως συνέπεια τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων.

3) Ανάλυση δειγμάτων αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων με την τεχνική micro-PIXE και χρήση των δεδομένων που θα προκύψουν για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μοντέλων επιμερισμού πηγών. Καθώς η χρήση των μοντέλων επιμερισμού πηγών αυξάνεται συνεχώς σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, αυξάνεται επίσης και η ανάγκη αξιολόγησης των αποτελεσμάτων τους. Με την τεχνική micro-PIXE είναι εφικτή η στοιχειακή ανάλυση μεμονωμένων σωματιδίων. Ενώ τα μοντέλα επιμερισμού πηγών παρέχουν το χημικό προφίλ των πηγών ρύπανσης με βάση ένα μέσο όρο για μεγάλο αριθμό σωματιδίων, η τεχνική micro-PIXE παρέχει το χημικό προφίλ με βάση μεμονωμένα σωματίδια, ενώ μπορεί να βοηθήσει και στην ταυτοποίηση πηγών με πολύ μικρή συνεισφορά που μπορεί να μην γίνεται αντιληπτή κατά την εξέταση του μέσου όρου. Η τεχνική micro-PIXE προσφέρει τη δυνατότητα ώστε η αξιολόγηση των μοντέλων να γίνει με πραγματικά πειραματικά δεδομένα.
4) Επεξεργασία περιβαλλοντικών δειγμάτων και βελτιστοποίηση ποσοτικοποίησης βαρέων μετάλλων και σπάνιων γαιών που έχουν ρόλο ιχνηθετών τοξικής ρύπανσης και φυσικών διεργασιών. Η ποσοτικοποίηση με ακρίβεια όλων των συστατικών που αποτελούν ιχνηθέτες διεργασιών είναι ιδιαίτερα σημαντική και βοηθά στο διαχωρισμό μεταξύ φυσικών και ανθρωπογενών πηγών. Εφαρμογή των παραπάνω στην διασφάλιση των περιβαλλοντικών οριακών τιμών για την προστασία του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και των χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων.
5) Εφαρμογή της πολυστοιχειακής ανάλυσης στη μελέτη της διασποράς βαρέων μετάλλων και ιχνηθετών ρύπων.. Με βάση τις πληροφορίες για τη συγκέντρωση/διασπορά των μετάλλων στην ατμόσφαιρα θα ποσοτικοποιηθεί η έκθεση των κατοίκων καθώς και θα εκτιμηθεί ο κίνδυνος που διατρέχει η υγεία τους από την έκθεση αυτή.
6) Εφαρμογή της πολυστοιχειακής ανάλυσης στο χαρακτηρισμό του φόρτου ρύπανσης στους χώρους εργασίας βιομηχανικών εγκαταστάσεων και παραγωγικών διαδικασιών για νέα υλικά, νανο-υλικά, υμένια και λεπτές επιστρώσεις. Τα επίπεδα συγκέντρωσης αλλά και η φύση των σωματιδίων εντός των εργασιακών χώρων και ειδικά στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να διαφέρει σημαντικά από αυτά που επικρατούν σε εξωτερικές συνθήκες. Η συλλογή και ο χαρακτηρισμός δειγμάτων βιομηχανικές εγκαταστάσεις διαφορετικού είδους θα καταστήσει δυνατή την εκτίμηση της επιβάρυνσης της υγείας των εργαζομένων, ενώ μπορεί να παρέχει και πληροφορίες για το είδος των διεργασιών που επηρεάζουν περισσότερο τα επίπεδα ρύπανσης.

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:</u>

1) Ανάπτυξη και αξιολόγηση της μεθοδολογίας βαθμονόμησης της εξωτερικής ιοντικής δέσμης με τη χρήση προτύπων τα οποία προσομοιάζουν τη φύση των δειγμάτων αναφορικά με το υπόστρωμα και τη επίπεδο στοιχειακών συγκεντρώσεων.. Τοποθέτηση στην πειραματική διάταξη εξωτερικής ιοντικής δέσμης περιστρεφόμενου δειγματοφορέα αυτόματης εναλλαγής μεγάλου αριθμού δειγμάτων.

2) Ανάπτυξη και αξιολόγηση της μεθοδολογίας βαθμονόμησης της διάταξης της micro-PIXE με σκοπό την ποσοτική ανάλυση μικρο-σωματιδίων αερολύματος
3) Προσδιορισμός της στοιχειακής σύστασης μεγάλου αριθμού δειγμάτων αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2.5 (από διαφορετικά έτη) και εφαρμογή των δεδομένων στη διασφάλιση των περιβαλλοντικών οριακών τιμών για την προστασία του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και των χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων.
4) Χρήση του μοντέλου Παραγοντοποίησης Θετικής Μήτρας (Positive Matrix Factorization) και συγκεκριμένα του μοντέλου EPA PMF 5.0 για τον επιμερισμό των πηγών αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2.5. Εξέταση της χρονικής διακύμανσης της συνεισφοράς και των χημικών αποτυπωμάτων των πηγών των PM και εξαγωγή πληροφοριών οι οποίες θα βοηθήσουν στη λήψη μέτρων για τη μείωση της σωματιδιακής ρύπανσης.
5) Υπολογισμός της έκθεσης του πληθυσμού σε βαρέα μέταλλα στις υπό μελέτη περιοχές.
6) Ανάλυση δειγμάτων αερολύματος PM10 και PM2.5 με την τεχνική micro-PIXE και χρήση των δεδομένων που θα προκύψουν για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του επιμερισμού πηγών. Η τεχνική micro-PIXE θα εφαρμοστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος θα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης μεμονωμένων σωματιδίων. Ο δεύτερος θα περιλαμβάνει την χαρτογράφηση διαφορετικών περιοχών των δειγμάτων και σύγκριση των φασμάτων που θα προκύψουν με φάσματα χαρακτηριστικά των πηγών εκπομπής με χρήση προγραμμάτων αναγνώρισης μοτίβου (pattern recognition, PR).



Εικόνα 1.7.1:

Πειραματική διάταξη Φθορισιμετρίας ακτίνων Χ για την μελέτη δειγμάτων αερολύματος της ομάδας του ΙΠΡΕΤΕΑ, που είναι εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δ».

Πακέτο Εργασίας 1.8 (ΠΕ 1.8)

ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ: Αναλυτικές Ιοντικές Τεχνικές και Φθορισιμετρία Ακτίνων Χ στην Πολιτιστική Κληρονομιά

Analytical Ion-Beam and XRF Techniques for Cultural Heritage Studies

Συντονιστής: Δρ. Ανδρέας-Γερμανός Καρύδας
Ερευνητής Α', ΙΠΣΦ – ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος»

Η επιστημονική μελέτη αρχαιολογικών και ιστορικής αξίας αντικειμένων και έργων τέχνης, λόγω της μοναδικότητας των και της υψηλής καλλιτεχνικής αξίας που έχουν πρέπει να πραγματοποιείται σε ένα πλαίσιο ηθικής που περιορίζει την δειγματοληψία στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό, κάτι που άλλωστε υποστηρίζεται και νομοθετικά από την πολιτεία. Επιπλέον πρέπει να επισημανθεί ότι ειδικότερα τα εκθέματα μουσείων δεν μπορούν να μεταφερθούν εύκολα για ανάλυση στο εργαστήριο, ενώ μπορεί η κατάσταση διατήρησης των να καθιστά ούτως ή άλλως επισφαλή οποιαδήποτε μετακίνηση. Είναι επομένως επιβεβλημένη στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς η χρήση μη καταστρεπτικών και μη παρεμβατικών αναλυτικών μεθοδολογιών, ενώ η δυνατότητα επιτόπιων αναλύσεων είναι ιδιαίτερα επιθυμητή όταν είναι επιβεβλημένη. Επιπλέον, δεδομένου ότι τα υλικά πολιτιστικής κληρονομιάς παρουσιάζουν εν γένει ανομοιογενή σύνθεση λόγω κατασκευής ή διάβρωσης αλλά και ευρεία τυπολογία (μεταλλικά κράματα, γυαλί, κεραμικά, χρωστικές κλπ.), οι αναλυτικές τεχνικές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν πρέπει να έχουν καινοτόμα χαρακτηριστικά (όσον αφορά το αναλυτικό εύρος, ευαισθησία, χωρική διακριτική ικανότητα, ταχύτητα στην ανάλυση, κλπ.) και να είναι σε θέση να εκτελέσουν την ανάλυση χωρίς επαφή με την αναλυόμενη επιφάνεια.

Η χρήση μιας «εξωτερικής δέσμης» ιόντων, μιας δέσμης, δηλαδή, η οποία μέσω μιας κατάλληλης πειραματικής διάταξης οδηγείται από τις συνθήκες υψηλού κενού που επικρατούν μέσα στον επιταχυντικό σωλήνα, «έξω» στον ατμοσφαιρικό αέρα, επιτρέπει την ανάλυση αρχαιολογικών αντικειμένων και έργων τέχνης ανεξάρτητα από το μέγεθος, το σχήμα και τον όγκο τους (πίνακες ζωγραφικής, αγαλματίδια, κλπ.) και την συνδυαστική εφαρμογή των ακόλουθων αναλυτικών ιοντικών τεχνικών: 1. Ακτίνες Χ Επαγόμενες από Πρωτόνια (Proton induced X- Ray Emission, PIXE). Η PIXE προσφέρει πολυστοιχειακή ανάλυση από ατομικό αριθμό Z=11 (Νάτριο) και αναλυτική ευαισθησία στην περιοχή των μερικών μg/g (ppm). 2) Φασματοσκοπία οπισθοσκέδασης Rutherford (Rutherford Back-Scattering, RBS). Η RBS προσφέρει την δυνατότητα προσδιορισμού της στοιχειακής συγκέντρωσης με το βάθος διαστρωματωμένων υλικών, ενώ 3) οι Ακτίνες γ Επαγόμενες από Πρωτόνια (Proton induced γ- Ray Emission, PIGE) είναι κατά κάποιο τρόπο συμπληρωματική της τεχνικής PIXE αφού με την δυνατότητα ανίχνευσης ελαφρών στοιχείων (Li, Be, B, C, F Na, Mg, Al, Si) ολοκληρώνει τον προσδιορισμό όλων των στοιχείων του περιοδικού πίνακα. Στα πλαίσια του προγράμματος ΠΕΠ Αττικής, Έργο ΣΠ-ΑΤΤ29 (2007-2008), η ομάδα του ΙΠΣΦ ανέπτυξε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ιοντικών μη καταστρεπτικών τεχνικών για εφαρμογή σε ελέγχους αυθεντικότητας, στον ολοκληρωμένο αναλυτικό χαρακτηρισμό αρχαιολογικών αντικειμένων και έργων τέχνης, αλλά και για τον ποιοτικό έλεγχο της εφαρμογής της καινοτόμας τεχνολογίας που αναπτύχθηκε από συνεργαζόμενο φορέα, της λεγόμενης ενσωματωμένης στοιχειακής σήμανσης. Το ολοκληρωμένο σύστημα ιοντικών μη καταστροφικών τεχνικών (ΟΣΙ-ΜΚΤ) που αναπτύχθηκε συμπεριλαμβάνει πειραματικό σταθμό εξωτερικής δέσμης που υποστηρίζει την συμπληρωματική και ταυτόχρονη εφαρμογή των ιοντικών τεχνικών PIXE, RBS, και PIGE. Παράλληλα για να αντιμετωπίσει την ανάγκη επιτόπιων μη καταστρεπτικών αναλύσεων το ΙΠΣΦ παρακολούθησε στενά την εξέλιξη

της σχετικής τεχνολογίας και ανέπτυξε από την περίοδο 2003-2004 ένα καινοτόμο φορητό φασματόμετρο XRF, ενώ στα πλαίσια του FP6 προγράμματος PROMET υλοποίησε ένα φορητό φασματόμετρο μικρο-φθορισιμετρίας ακτίνων Χ (μ-XRF). Τα δύο φορητά φασματόμετρα XRF έχουν χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από μια δεκαετία ως βασικά αναλυτικά εργαλεία διάγνωσης και έρευνας για συντηρητές αρχαιοτήτων και έργων τέχνης, αρχαιομέτρες, αρχαιολόγους και ιστορικούς τέχνης και έδωσαν την δυνατότητα να υλοποιηθούν, πολυάριθμες ερευνητικές συνεργασίες και να προσφερθούν υπηρεσίες σε δημόσιους/ιδιωτικούς φορείς που δραστηριοποιούνται στον τομέα της Πολιτιστικής κληρονομιάς.

Στα πλαίσια του CALIBRA κρίνεται ιδιαίτερα αναγκαίο να πραγματοποιηθεί μια σημαντική αναβάθμιση της αναλυτικής οργανολογίας της εξωτερικής ιοντικής δέσμης, της ιοντικής μικροδέσμης αλλά και των φορητών διατάξεων XRF. Η ανάγκη αναβάθμισης υπαγορεύεται από συγκεκριμένους αναλυτικούς περιορισμούς που έχουν αναδειχθεί από την εμπειρία εφαρμογής των συγκεκριμένων διατάξεων σε σχέση με την σύνθετη φύση των ερωτημάτων που τίθενται από τους ερευνητές των υλικών πολιτιστικής κληρονομιάς. Πιο συγκεκριμένα, η αναβάθμιση που προτείνεται έχει έναν βασικό άξονα: Να αναπτυχθούν πειραματικές διατάξεις που θα επιτρέπουν στο εργαστήριο ή στο πεδίο, επιτόπια την σάρωση και ανάλυση μεγάλων επιφανειών (MACRO, της τάξεως εν γένει ~1m^2) σε σύντομο (ρεαλιστικό) χρονικό διάστημα μερικών ωρών (~2hr) με χωρική διακριτική ικανότητα <1mm (MICRO). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μια συνολικής αναβάθμισης και βελτιστοποίησης της οργανολογίας και της σχεδίασης των πειραματικών διατάξεων ως ακολούθως: 1) χρήση ανιχνευτών ακτίνων Χ μεγάλης επιφάνειας και νέας τεχνολογίας (silicon drift) με σημαντικά αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τους υπάρχοντες ανιχνευτές ακτίνων Χ, 2) βελτιστοποιημένη γεωμετρία ανίχνευσης, 3) μηχανική διάταξη κίνησης σε δύο διαστάσεις είτε του αντικειμένου ή αντίστοιχα της κεφαλής του φορητού φασματόμετρου που θα επιτρέπει ταχύτητες κίνησης >100mm/s και 4) πηγή ακτίνων Χ για το φορητό σύστημα XRF που προσφέρει βέλτιστη ροή με δυνατότητα ρύθμισης του μεγέθους της δέσμης ώστε να διευρύνεται σημαντικά η εφαρμοσιμότητα της τεχνικής από την **μικρο**-κλίμακα (30 μm) στην **μακρο**-κλίμακα (0.5 mm).

Οι αναβαθμισμένες αναλυτικές δυνατότητες θα προσφέρουν καινοτομίες στην προσέγγιση της μη καταστρεπτικής ανάλυσης αρχαιολογικών υλικών, αντικειμένων και έργων τέχνης: 1) η δυνατότητα της χωρικής συσχέτισης της παρουσίας διαφορετικών στοιχείων (MA-PIXE, MA-XRF χαρτογράφηση, MA=Macro) θα επιτρέψει την ασφαλέστερη ερμηνεία αλλά και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων με στόχο την ψηφιακή ενσωμάτωση των στη συνολική αναλυτική μελέτη των αντικειμένων και περεταίρω στην πρόταση/προσέγγιση/ανασύσταση της αρχικής/αυθεντικής εικόνας που είχαν, 2) η αναβάθμιση της τεχνικής της micro-PIXE με την εφαρμογή της συνεστιακής γεωμετρίας θα προσφέρει 3D στοιχειακή ανάλυση σε μικρο-περιοχές ενδιαφέροντος, ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου στην εξεταζόμενη επιφάνεια υπάρχει είτε διαστρωμάτωση λόγω διάβρωσης είτε στρωματογραφία που υπαγορεύεται από την αυθεντική τεχνική. Στις περιπτώσεις αυτές είναι σημαντική η ανίχνευση – αναγνώριση υποκείμενων στρωμάτων, μη επεμβατικά. Η προστιθέμενη αξία του συστήματος έναντι άλλων μη καταστρεπτικών τεχνικών είναι προφανής σε περιπτώσεις που το/τα επιφανειακά στρώματα είναι αδιαφανή στην ορατή αλλά και υπέρυθρη ακτινοβολία. Η συμπληρωματική χρήση της τεχνικής RBS σε μεγάλα αντικείμενα (δηλαδή δεν μπορούν να αναλυθούν με την μικροδέσμη) και που εμφανίζουν επιφανειακή διαστρωμάτωση μπορεί να αποδώσει κατανομές συστάσεων με το βάθος από την επιφάνεια οι οποίες κρίνονται ως σημαντικές στην εκτίμηση της κατάστασης διατήρησης και της προϊστορίας των αντικειμένων.

Στα πλαίσια της παρούσης ερευνητικής ενότητας θα υλοποιηθούν ερευνητικές συνεργασίες με φορείς όπως η Διεύθυνση Συντήρησης του Υπουργείου Πολιτισμού, το τμήμα συντήρησης του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου, με το διαγνωστικό κέντρο Ορμύλια, με το Ινστιτούτο Ιστορικών Ερευνών του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών, το εργαστήριο αρχαιομετρίας του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, το μουσείο Μπενάκη και το Τμήμα Συντήρησης του ΤΕΙ Αθήνας. Στην παλέτα των μη καταστρεπτικών αναλύσεων με ιοντικές τεχνικές και την φορητή διάταξη MA-XRF μια μεγάλη γκάμα αρχαιολογικών ή με ιστορική σημασία αντικειμένων/υλικών θα εξεταστούν με σκοπό τη διερεύνηση της τεχνολογίας (σύσταση, πρώτες ύλες, τεχνική κατασκευής) ή της φθοράς (βαθμό αλλοίωσης) τους. Ενδεικτικά αναφέρονται, γυάλινες ψηφίδες, μεταλλικά φύλλα σε χρυσές και αργυρές ψηφίδες, εφυαλωμένα κεραμικά ή πλακίδια, ξύλινοι πίνακες με ζωγραφική από την ελληνο-ρωμαϊκή Αίγυπτο, μελέτη εργαλείων από τη Βυζαντινή συλλογή του Μουσείου Μπενάκη, Μυκηναικό/Βυζαντινό γυαλί, η διακόσμηση μελαμφαβούς Κεραμικής της Κλασικής Περιόδου, μελέτη της πατίνας και διάβρωσης σε κράματα χαλκού που έχουν ανευρεθεί στην θάλασσα, μελέτη της στοιχειομετρίας επικαλυπτικών στρωμάτων και βιομηχανικών βαφών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ιστορικά αντικείμενα, κλπ.

Το Εργαστήριο Φθορισιμετρίας Ακτίνων Χ που λειτουργεί στον χώρο του επιταχυντή Tandem είναι εξοπλισμένο με τα παρακάτω συστήματα:

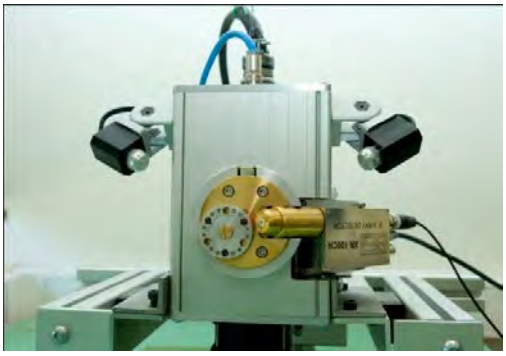
- **Φασματόμετρο milli-XRF**

Το φασματόμετρο που αναπτύχθηκε στο ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» αποτελείται από μια φορητή λυχνία ακτίνων Χ, αερόψυκτη, μικρής ισχύος (50 Watt) και με μέγιστη τάση λειτουργίας 50 kV Το υλικό της ανόδου είναι Ρόδιο και το πάχος του παραθύρου της λυχνίας 75 μm. Η λυχνία είναι γεωμετρίας «πλευρικού παραθύρου» και μέσω των γεωμετρικών-κατασκευαστικών χαρακτηριστικών της μπορεί να προσφέρει τελικά διεγείρουσες δέσμες ακτίνων Χ μεγάλης έντασης. Ο ανιχνευτής ακτίνων Χ που χρησιμοποιείται είναι ένας μη κρυογενικός ανιχνευτής που αποτελείται από μια δίοδο PIN πυριτίου τυπικού πάχους 500 μm και ενεργού επιφάνειας περίπου 5 mm^2. Η «κεφαλή» του XRF φασματομέτρου διαθέτει ένα σύστημα σκόπευσης και παρατήρησης της περιοχής ανάλυσης που αποτελείται από δύο lasers τοποθετημένα έτσι, ώστε η τομή των δεσμών τους να συμπίπτει με το σημείο αναλύεται. Για την βελτίωση της ποιότητας της φασματικής κατανομής της διεγείρουσας ακτινοβολίας, η κεφαλή του φασματομέτρου διαθέτει έναν επιλογέα φίλτρων. Για να διευκολύνεται η επιτόπια ανάλυση μεγάλων σε όγκο αντικειμένων, η κεφαλή του φασματομέτρου μπορεί να τοποθετηθεί σε μια κατάλληλη XYZ βάση που επιτρέπει την προσαρμογή του σ στην επιθυμητή περιοχή ανάλυσης. Με τον τρόπο αυτό, περιοχές σε αντικείμενα με ύψος μέχρι και 180 cm μπορούν να αναλυθούν. Οι αναλυτικές δυνατότητες του φορητού φασματομέτρου συνοψίζονται ως ακολούθως: Επιφάνεια ανάλυσης 7 mm^2, ανάλυση όλων των στοιχείων του περιοδικού πίνακα από το πυρίτιο (Z=14) μέχρι το ουράνιο (Z=92) και ελάχιστα ανιχνεύσιμα όρια που κυμαίνονται στην περιοχή 10-1000 μg/g για χρόνο μέτρησης 15-20 min ανάλογα με το στοιχείο και τον τύπο του αναλυόμενου δείγματος.

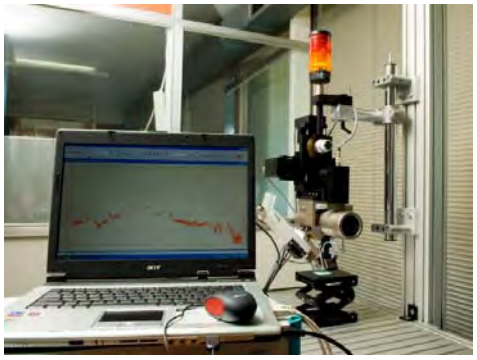
- **Φασματόμετρο micro-XRF**

Το φασματόμετρο είναι μια ιδιαίτερη παραλλαγή του εμπορικού φασματόμετρου Artax της Bruker-AXS. Συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του όπως η γεωμετρία της κεφαλής ανάλυσης και η επιλογή του φακού εστίασης βελτιστοποιήθηκαν σε συνεργασία του ΙΠΣΦ με την κατασκευάστρια εταιρεία. Αποτελείται από μια λυχνία μικροεστίασης ακτίνων Χ, με άνοδο ροδίου, λεπτό παράθυρο βηρυλίου (0.2 mm), ενώ ροή ηλίου στα κανάλια διέγερσης και ανίχνευσης επιτρέπει την ανάλυση ελαφρών στοιχείων μέχρι και το νάτριο. Ένας πολυτριχοειδής φακός εστάζει την διεγείρουσα δέσμη ακτίνων Χ σε 40-100 περίπου μικρομέτρα στην περιοχή ενεργειών από 17-3 keV. Ένας ανιχνευτής στεράς

κατάστασης ολίσθησης πυριτίου (Si-drift) με διακριτική ικανότητα 146 eV@10kcps στην χαρακτηριστική του Mn-Kα προσφέρει την δυνατότητα καταγραφής πολύ μεγάλου ρυθμού γεγονότων χωρίς να υπάρχουν σημαντικές απώλειες νεκρού χρόνου. Μια βαθμίδα XYZ που ελέγχεται από τρείς βηματικούς κινητήρες επιτρέπει την προσαρμογή της θέσης της κεφαλής του φασματομέτρου ως προς την περιοχή ανάλυσης, ενώ μιας έγχρωμη CCD κάμερα με δυνατότητα μεγέθυνσης μέχρι X13 καταγράφει και τεκμηριώνει την περιοχή ανάλυσης. Το φασματόμετρο micro-XRF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και μελέτη της κατανομής της συγκέντρωσης των περιεχομένων στοιχείων σε επιλεγμένες περιοχές της αναλυόμενης επιφάνειας μέσω γραμμικών ή επιφανειακών σαρώσεων.



Εικόνα 1.81: Το φορητό φασματόμετρο milli-XRF

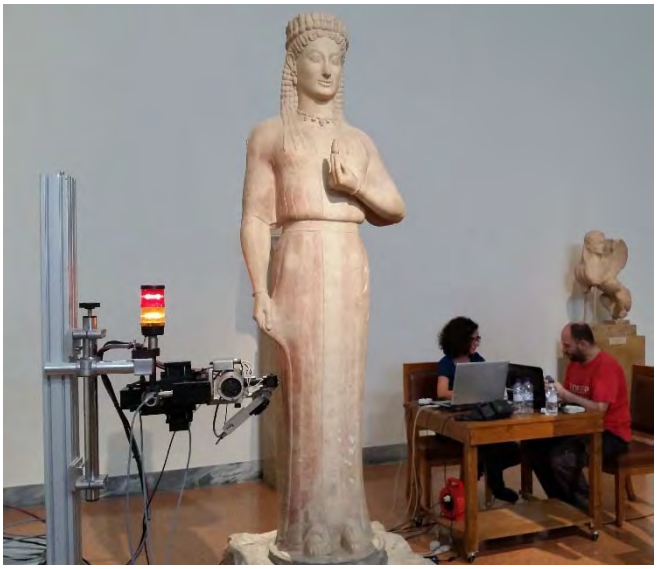


Εικόνα 1.8.2: Το φορητό φασματόμετρο micro-XRF





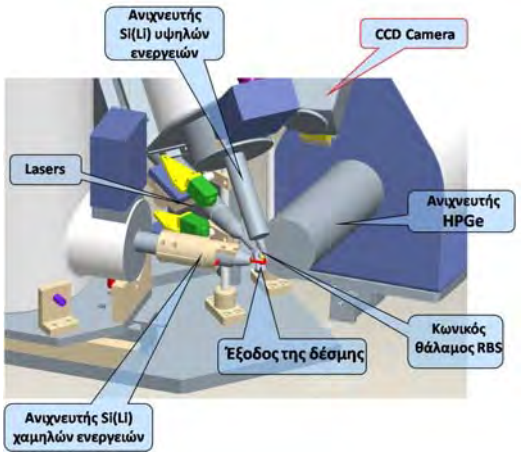
Εικόνα 1.8.3: Επιτόπιες αναλύσεις με το φορητό φασματόμετρο μ-XRF του ΙΠΣΦ στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο της Δαμασκού, Συρία.



Εικόνα 1.8.4: Πρόσφατες επιτόπιες αναλύσεις με το φορητό φασματόμετρο μ-XRF του ΙΠΣΦ στο Ελληνικό Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο («Φρασύκλια»).

Επιπλέον, στο ΙΠΣΦ έχει αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ιοντικών μη καταστρεπτικών τεχνικών που συνίσταται στην συνδυαστική και ταυτόχρονη εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων για τον χαρακτηρισμό ενός δείγματος ή μιας περιοχής στην επιφάνεια ενός αντικειμένου ή έργου τέχνης. Η ιοντική δέσμη πρωτονίων ενέργειας μερικών MeV ακτινοβολεί το αντικείμενο/δείγμα στον αέρα ενώ μια δέσμη φασματόμετρων είναι τοποθετημένη σε βέλτιστη γεωμετρία γύρω από τη θέση ανάλυσης. Οι ιοντικές τεχνικές προσφέρουν στοιχειακή ποιοτική και ποσοτική ανάλυση (στην περίπτωση ομοιογενών υλικών), ενώ για υλικά/αντικείμενα που εμφανίζουν στρωματογραφία υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της κατανομής με το βάθος στοιχείων-δεικτών των ενώσεων που έχουν σχηματιστεί στα διαφορετικά στρώματα.

Οι αναλυτικές ιοντικές τεχνικές που συνιστούν το ολοκληρωμένο σύστημα είναι οι ακόλουθες: οι τεχνικές στοιχειακής ανάλυσης PIXE (Proton Induced X-Ray Emission), PIGE (Proton Induced γ-Ray Emission) και RBS (Rutherford BackScattering Spectrometry). Η ανάλυση και ο χαρακτηρισμός ενός αρχαιολογικού αντικειμένου προαπαιτεί την ικανοποίηση συγκεκριμένων προϋποθέσεων όπως - εκτός φυσικά από την αποφυγή οποιασδήποτε δειγματοληψίας - τη δυνατότητα ανάλυσης χωρίς περιορισμό στο μέγεθος ή την μορφή που έχει το αναλυόμενο αντικείμενο, όπως επίσης και από την ευκολία επιλογής της θέσης ανάλυσης στην επιφάνεια του. Αυτές οι προδιαγραφές μπορούν να επιτευχθούν μόνο μέσω της εξαγωγής της δέσμης από το κενό στην ατμοσφαιρική πίεση μέσω ενός λεπτού παραθύρου τοποθετημένου στο ακροφύσιο της πειραματικής γραμμής για τη δημιουργία της εξωτερικής δέσμης (external beam). Κατ' αυτόν τον τρόπο η εξέταση με την εξωτερική ιοντική δέσμη έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που αναδεικνύουν περισσότερο τον μη καταστρεπτικό χαρακτήρα ανάλυσης που προσφέρει.







Εικόνα 1.8.5:
Η πειραματική διάταξη εξωτερικής δέσμης πρωτονίων για την μελέτη αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς που είναι εγκατεστημένη στον Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ, στο ΕΚΕΦΕ «Δ».

Η υπάρχουσα οργανολογία για πολιτιστική κληρονομιά δημιουργεί συγκεκριμένους αναλυτικούς περιορισμούς που έχουν αναδειχθεί από την εμπειρία εφαρμογής της πειραματικής διάταξης εξωτερικής δέσμης αλλά και των υπαρχόντων φορητών φασματομέτρων XRF σε σχέση με την σύνθετη φύση των ερωτημάτων που τίθενται από τους ερευνητές των υλικών πολιτιστικής κληρονομιάς

Η παρούσα πειραματική διάταξη εξωτερικής δέσμης είναι εξοπλισμένη με ανιχνευτές Si(Li) που έχουν περιορισμένες δυνατότητες καταγραφής μεγάλου ρυθμού γεγονότων (εργάζονται ικανοποιητικά μόνο μέχρι 3kcps χωρίς να επιβαρύνουν το σύστημα συλλογής δεδομένων με σημαντικά μεγάλο νεκρό χρόνο) ενώ διαθέτουν κρυστάλλους σχετικά μικρού μεγέθους. Επιπλέον ο ανιχνευτής ελέγχου της ροής της εισερχόμενης ιοντικής δέσμης είναι περασμένης τεχνολογίας και πλέον έχει ελαττωματική λειτουργία. Επιπλέον η υπάρχουσα βάση μετακίνησης δειγμάτων είναι ιδιαίτερα αργή και δεν εξυπηρετεί τις ανάγκες ταχείας σάρωσης της επιφάνειας του αναλυόμενου αντικειμένου. Για τους ανωτέρω λόγους απαιτείται καινούργιος εξοπλισμός που βασίζεται σε προηγμένες τεχνολογίες ως ακολούθως:

- χρήση ανιχνευτών ακτίνων Χ μεγάλης επιφάνειας και νέας τεχνολογίας (silicon drift) με σημαντικά αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τους υπάρχοντες ανιχνευτές ακτίνων Χ,
- βελτιστοποιημένη γεωμετρία ανίχνευσης,
- μηχανική διάταξη κίνησης σε δύο διαστάσεις είτε του αντικειμένου ή αντίστοιχα της κεφαλής του φορητού φασματόμετρου που θα επιτρέπει ταχύτητες κίνησης >100mm/s και
- πηγή ακτίνων Χ για το φορητό σύστημα XRF που προσφέρει βέλτιστη ροή με δυνατότητα ρύθμισης του μεγέθους της δέσμης ώστε να διευρύνεται σημαντικά η εφαρμοσιμότητα της τεχνικής από την **μικρο**-κλίμακα (30 μm) στην **μακρο**-κλίμακα (0.5 mm).

Πιο συγκεκριμένα ο νέος εξοπλισμός που προτείνεται για την απαιτούμενες αναβαθμίσεις είναι ο ακόλουθος:

1) Μικροσκοπικός ανιχνευτής πυριτίου ολίσθησης: Βασικές Προδιαγραφές: Ενεργή επιφάνεια 50mm^2, λόγος σήματος προς υπόβαθρο >15000, διακριτική ικανότητα καλλίτερη από 133 eV. Απαιτείται για τον προσδιορισμό της ροής της εισερχόμενης ιοντικής δέσμης πρωτονίων μέσω της ανίχνευσης των ακτίνων Χ πυριτίου που εκπέμπονται από το παράθυρο νιτριδίου του πυριτίου που προστατεύει το κενό του επιταχυντή
2) Ανιχνευτής πυριτίου ολίσθησης: Βασικές Προδιαγραφές: Ενεργή επιφάνεια 50mm^2, λόγος σήματος προς υπόβαθρο >15000, διακριτική ικανότητα καλλίτερη από 133 eV. Απαιτείται για την ανίχνευση μέσω της τεχνικής PIXE ελαφρών στοιχείων με ατομικό αριθμό από Z=11 έως Z=26
3) Ανιχνευτής πυριτίου ολίσθησης μεγάλης επιφάνειας: Βασικές Προδιαγραφές: Ενεργή επιφάνεια 150mm^2, λόγος σήματος προς υπόβαθρο >10000, διακριτική ικανότητα καλλίτερη από 136 eV. Απαιτείται για την ανίχνευση μέσω της τεχνικής PIXE ιχνοστοιχείων με ατομικό αριθμό από Z=20 έως Z=92
4) Κάρτα συλλογής δεδομένων (X2): Βασικές Προδιαγραφές: Συλλογή δεδομένων της φασματοσκοπίας PIXE/XRF στις ακόλουθες καταστάσεις PHA, MCS, LIST και TLIST με διακριτική ικανότητα 40 nsec. Απαιτείται για την συλλογή δεδομένων από τους δύο ανιχνευτές ακτίνων Χ με πολύ μικρό χρονισμό στην κατάσταση TLIST
5) Μηχανική βάση κίνησης σε τρεις (3) γραμμικές διαστάσεις XYZ εξοπλισμένη με δειγματοφορέα που θα προσφέρει αζιμουθιακή περιστροφή (phi) : Βασικές Προδιαγραφές: Μεγάλο εύρος κίνησης

(500mm X 500mm X 200mm), ακρίβεια και επαναληψιμότητα περίπου 10 μικρόμετρα, και ταχύτητα κίνησης μέχρι 100mm/s. Απαιτείται για την XYZ σάρωση των δειγμάτων που θα αναλύονται στην εξωτερική ιοντική δέσμη, ή και για την κίνηση της κεφαλής του φορητού φασματόμετρο MA-XRF. Η μηχανική βάση θα διαθέτει δειγματοφορέα που περιστρέφεται σε 360° και θα προσαρμόζονται δείγματα διαστάσεων 50mm περίπου.

6) Κεντρική μονάδα ελέγχου του σαρωτή και ανιχνευτών: Βασικές Προδιαγραφές: Θα είναι προγραμματισμένη με LabVIEW πραγματικού χρόνου με GUI σε βοηθητικό υπολογιστή. Θα προσφέρει δυνατότητα σάρωσης σε συνεχή κατάσταση με σταθερή ταχύτητα 0-100 mm/s. Η σάρωση μια συνεχής ροή δεδομένων από τους συνδεδεμένους ανιχνευτές (3) θα συλλέγεται μέσω της κατάστασης TLIST mode. Τα δεδομένα θα μεταφέρονται στην κεντρική μονάδα ελέγχου με χρονισμό που θα επιλέγεται από τον χρήστη ανάλογα με την εφαρμογή (50ms, 100ms, etc.) Θα προσφέρει επίσης επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με την δημιουργία χαρτών κατανομής των ανιχνευόμενων στοιχείων. Απαιτείται για την βέλτιστη σύζευξη ανιχνευτών και μηχανικής βάσης ώστε η συλλογή δεδομένων να επιτυγχάνεται σε πραγματικό χρόνο
7) Laser interferometer: Απαιτείται για την επακριβή τοποθέτηση του αναλυόμενου αντικειμένου σε αναπαραγωγίσημη βαθμονομημένη γεωμετρία ανάλυσης
8) Αερόψυκτη φορητή Λυχνία ακτίνων Χ: Βασικές Προδιαγραφές: Θα λειτουργεί σε μέγιστο δυναμικό 50kV, ρεύμα 600μA, θα διαθέτει άνοδο ροδίου και μέγεθος δέσμης 50 μm. Απαιτείται για την δημιουργία μικρομετρικού μεγέθους πηγής ακτίνων Χ για επιτόπιες XRF αναλύσεις.
9) Πολυτριχοειδής Φακός εστίασης ακτίνων Χ: Βασικές Προδιαγραφές: Θα μπορεί να διαδίδει μια πολυχρωματική δέσμη ακτίνων Χ με μεγάλη απόδοση στο μεγαλύτερο εύρος ενεργειών και να δημιουργεί ένα ελάχιστο μέγεθος δέσμης <50 μm. Απαιτείται για την αποτελεσματική διάδοση της διεγείρουσας δέσμης ακτίνων Χ από την φορητή λυχνία ακτίνων Χ στο δείγμα προσφέροντας μεταβλητό μέγεθος δέσμης από περίπου <50μm μέχρι 0.5mm ανάλογα με την επιλεχθείσα εστιακή απόσταση.
10) Ανιχνευτής ακτίνων Χ πυριτίου ολίσθησης για το φορητό φασματόμετρο milli-XRF ενσωματωμένη την ψηφιακή επεξεργασία σήματος: Βασικές Προδιαγραφές: Ενεργή επιφάνεια κρυστάλλου 50mm^2, λόγος σήματος προς υπόβαθρο >15000, διακριτική ικανότητα καλλίτερη από 133 eV. Απαιτείται για να ενσωματωθεί σε ένα XRF φασματόμετρο «χειρός» για την ανίχνευση στοιχείων με ατομικό από Z=14 έως Z=92.
11) Πολυτριχοειδής Ημίσεως-Φακός (half-lens) εστίασης ακτίνων Χ: Βασικές Προδιαγραφές: Θα μπορεί να προσφέρει εστιακή απόσταση περίπου 4-5mm και να εστιάζει το μεγαλύτερο δυνατό εύρος ενεργειών ακτίνων Χ σε διαστάσεις της τάξεως των 12-15μm. Απαιτείται για την αποτελεσματική διάδοση και ανίχνευση της παραγόμενης χαρακτηριστικής ακτινοβολίας από την εφαρμογή της micro-PIXE

<u>Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.8 είναι:</u>

1) Αναβάθμιση της πειραματικής διάταξης της εξωτερικής ιοντικής δέσμης. Πιο συγκεκριμένα η αναβάθμιση θα συμπεριλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που θα ελέγχει την κίνηση της βάσης στήριξης του δείγματος/αντικειμένου σε τέσσερις διευθύνσεις (X-Y-Z-phi), ανιχνευτές ακτίνων Χ μεγάλης επιφάνειας και νέας τεχνολογίας (silicon drift), βάση μετακίνησης δειγμάτων/αντικειμένων που μπορεί να μετακινείται με σταθερή ταχύτητα μέχρι και 100mm/s και νέες μηχανολογικές προσαρμογές της οργανολογίας. Η

αναβαθμισμένη διάταξη εξωτερικής ιοντικής δέσμης του CALIBRA θα προσφέρει την δυνατότητα συνδυαστικής μέτρησης με τις τεχνικές PIXE, RBS, PIGE σε εκτεταμένες επιφάνειες υλικών/αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς και σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα. Μέσω των αναλύσεων αυτών θα επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση της κατανομής των κύριων, ελάσσονων και ιχνοστοιχείων στην αναλυόμενη επιφάνεια με χωρική διακριτική ικανότητα της τάξεως του 0.8-1.0 mm. Η εφαρμογή της νέας πειραματικής διάταξης εξωτερικής ιοντικής δέσμης σε υλικά/αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς αναμένεται να δώσει σημαντικές νέες πληροφορίες όσον αφορά την 3D κατανομή ιδιαίτερα των στοιχείων μικρού σχετικά ατομικού αριθμού, όπως Na, Mg, Al, Si, P συνεισφέροντας στη κατανόηση τεχνολογίας, χρήσης πρώτων υλών, μηχανισμών που σχετίζονται με την αλλοίωση/διάβρωση της επιφάνειας κλπ.

2) Ανάπτυξη νέου φορητού φασματόμετρου XRF (MA-XRF) για την επιτόπια ανάλυση και σάρωση μεγάλων επιφανειών της τάξεως εν γένει ~1m^2 σε σύντομο χρονικό διάστημα μερικών ωρών (~2hr) με χωρική διακριτική ικανότητα που θα ρυθμίζεται ανάλογα με την εφαρμογή από <0.05 mm (MICRO) μέχρι περίπου 0.5 mm (MACRO). Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής ιδιαίτερα στην μελέτη πολυχρωμίας σε γλυπτά κεραμικά, ζωγραφικά έργα και τοιχογραφίες θα επιτρέψει την ασφαλέστερη ερμηνεία αλλά και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων με στόχο την ψηφιακή ενσωμάτωση των στη συνολική αναλυτική μελέτη των αντικειμένων και περεταίρω στην πρόταση/προσέγγιση/ανασύσταση της αρχικής/αυθεντικής εικόνας που είχαν.
3) Αναβάθμιση της τεχνικής της micro-PIXE με την εφαρμογή της συνεστιακής γεωμετρίας. Η νέα αυτή αναλυτική δυνατότητα θα προσφέρει 3D στοιχειακή ανάλυση σε μικρο-περιοχές ενδιαφέροντος, ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου στην εξεταζόμενη επιφάνεια υπάρχει είτε διαστρωμάτωση λόγω διάβρωσης είτε στρωματογραφία που υπαγορεύεται από την αυθεντική τεχνική. Στις περιπτώσεις αυτές είναι σημαντική η ανίχνευση – αναγνώριση υποκείμενων στρωμάτων, μη επεμβατικά. Η προστιθέμενη αξία του συστήματος έναντι άλλων μη καταστρεπτικών τεχνικών είναι προφανής σε περιπτώσεις που τα επιφανειακά στρώματα είναι αδιαφανή στην ορατή αλλά και υπέρυθρη ακτινοβολία.

<u>Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:</u>

1) Προμήθεια της απαιτούμενης αναβαθμισμένης οργανολογίας για την πειραματική διάταξη της εξωτερικής ιοντικής δέσμης αλλά και του νέου εξοπλισμού για το φορητό φασματόμετρο MA-XRF
2) Μηχανολογική σχεδίαση ακριβείας για την τοποθέτηση και βέλτιστη διάταξη των ανιχνευτών και άλλων βοηθητικών συστημάτων/οργάνων στην πειραματική διάταξη εξωτερικής δέσμης. Μηχανολογική σχεδίαση της κεφαλής του φασματόμετρου MA-XRF. Μηχανολογική σχεδίαση προσαρμογέα του φακού εστίασης στον ανιχνευτή ακτίνων Χ και βοηθητικού ευθυγραμμιστή.
3) Κατασκευές ακριβείας για τις βάσεις των ανιχνευτών ακτίνων Χ στην διάταξη εξωτερικής ιοντικής δέσμης και άλλων βοηθητικών μηχανολογικών διατάξεων, προσαρμογέων και ευθυγραμμιστών για την εφαρμογή της συνεστιακής micro-PIXE (3D-MicroPIXE).
4) Βαθμονόμηση της διάταξης εξωτερικής ιοντικής δέσμης για την ποσοτική στοιχειακή ανάλυση μέσω της εφαρμογής των τεχνικών PIXE, RBS και PIGE. Αξιολόγηση της βαθμονόμησης μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων αναλύσεων προτύπων υλικών που προσομοιάζουν την σύσταση αρχαιολογικών/ιστορικών αντικειμένων με τις αντίστοιχες τιμές αναφοράς

5) Βαθμονόμηση του φασματόμετρου MA-XRF ώστε να μπορεί να δημιουργεί ποσοτικούς χάρτες κατανομής κύριων, ελάσσονων και ιχνοστοιχείων στις επιφάνειες αρχαιολογικών αντικειμένων. Αξιολόγηση της βαθμονόμησης μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων αναλύσεων προτύπων υλικών που προσομοιάζουν την σύσταση αρχαιολογικών/ιστορικών αντικειμένων με τις αντίστοιχες τιμές αναφοράς
6) Ανάπτυξη μεθοδολογίας ευθυγράμμισης και βαθμονόμησης της πειραματικής διάταξης της συνεστιακής micro-PIXE. Μελέτη των χαρακτηριστικών της συνεστιακής γεωμετρίας όπως είναι η εξάρτηση της χωρικής (βάθος) διακριτικής ικανότητας σε συνάρτηση με την ενέργεια της ανιχνευόμενης χαρακτηριστικής ακτίνας Χ.
7) Εφαρμογή της συνεστιακής micro-PIXE (η 3D-MicroPIXE) στην ανάλυση διαβρωμένου αρχαίου γυαλιού, γυάλινων ψηφίδων, ψηφίδων με μεταλλικό φύλλο, εφυαλωμένων δειγμάτων κεραμικών
8) Εφαρμογή της πειραματικής διάταξης εξωτερικής ιοντικής δέσμης στην ανάλυση επικαλυπτικών στρωμάτων και βιομηχανικών βαφών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ιστορικά αντικείμενα, στην μελέτη εργαλείων από την Βυζαντινή συλλογή του Μουσείου Μπενάκη, στον χαρακτηρισμό της πολυχρωμίας από ξύλινους ζωγραφικούς πίνακες από την Ελληνο-ρωμαϊκή Αίγυπτο αλλά στην μελέτη της μελαμφαβή κεραμικής της Κλασικής Περιόδου
9) Εφαρμογή του φορητού φασματόμετρου MA-XRF στην μελέτη της εναπομένουσας πολυχρωμίας από γλυπτά, της διακόσμησης σε κεραμικά αγγεία, ζωγραφικών στρωμάτων σε τοιχογραφίες και στην μελέτη της πατίνας/διάβρωσης σε κράματα χαλκού από ενάλιες αρχαιότητες

Πακέτο Εργασίας 1.9 (ΠΕ 1.9)

Δίκτυο Χρηστών Ερευνητικής Υποδομής CALIBRA

Network of CALIBRA Users

Συντονιστής: Θα επιλεγεί από τα μέλη της Γενικής Συνέλευσης

Το Δίκτυο Χρηστών της ΕΥ CALIBRA (ΠΕ 1.9) έχει ως κύριο στόχο την εφαρμογή στην πράξη του χαρακτήρα της υποδομής CALIBRA ως μίας «ανοιχτής υποδομής». Είναι προφανές ότι για να αυξηθεί η προστιθέμενη αξία της υποδομής CALIBRA οι χρήστες με πρόσβαση σ' αυτήν πρέπει να αυξηθεί και από τον σημερινό αριθμό τους (περίπου 50-60) να φτάσει, στο τέλος του έργου, τους 100!

Το Δίκτυο θα συσταθεί επίσημα σε σώμα κατά την εναρκτήρια συνάντηση (kick-off) της Πράξης, στην οποία θα λάβει παράλληλα χώρα και η Γενική Συνέλευση (General Assembly) της Υποδομής. Ο Συντονιστής του Δικτύου και ο αναπληρωματικός του θα επιλεγούν από τα μέλη της Γενικής Συνέλευσης. Στο Δίκτυο θα μπορούν να συμμετέχουν και χρήστες από το εξωτερικό (θα σταλούν ανάλογες προσκλήσεις για συμμετοχή στο kick-off meeting) αλλά και εκπρόσωποι του παραγωγικού τομέα με ενδιαφέρον στις αναλυτικές υπηρεσίες που θα προσφέρει η υποδομή.

Το Δίκτυο θα συνεδριάζει δύο φορές ανά έτος. Οι συναντήσεις αυτές θα συνοδεύονται από ανοιχτή ημερίδα παρουσίασης επιστημονικών αποτελεσμάτων και ενημέρωσης από τον Συντονιστή της Πράξης (Συντονιστή της Υποδομής) για την πρόοδο των εργασιών αναβάθμισης και των Συντονιστών των Πακέτων Εργασίας σχετικά με την πρόοδο του φυσικού αντικειμένου. Το Δίκτυο Χρηστών θα μπορεί να εισηγείται στην Συντονιστική Επιτροπή τη διοργάνωση Θεματικών Ημερίδων (1-2 ανά έτος) ανάλογα με τις ειδικές ερευνητικές ανάγκες των χρηστών. Σ' αυτές θα μπορούν να προσκαλούνται εμπειρογνώμονες για διαλέξεις.

Στο σχήμα που ακολουθεί συνοψίζεται το δυναμικό δικτύωσης της υποδομής CALIBRA στον Ευρωπαϊκό χώρο και την Νοτιοανατολική Μεσόγειο. Το σχετικό δίκτυο περιλαμβάνει συνολικά 28 ερευνητικά ιδρύματα – ινστιτούτα που έχουν δείξει έντονο ενδιαφέρον συνεργασίας με την υποδομή CALIBRA σε όλες τις φάσεις υλοποίησής της (αναβάθμιση της ήδη υπάρχουσας υποδομής και λειτουργία της αλλά και στη χρήση των αναβαθμισμένων υπηρεσιών που θα παρέχει). Όλα τα ιδρύματα που απεικονίζονται στο σχήμα αυτό θα προσκληθούν να πάρουν μέρος στο Δίκτυο.



Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.9 είναι:

1) Σύσταση Ομάδας Χρηστών για την αποδοτικότερη εκμετάλλευση της Υποδομής.
2) Διπλασιασμός του αριθμού των Χρηστών στο τέλος της Πράξης.
3) Ενδυνάμωση συνεργασιών διεπιστημονικής έρευνας γύρω από την υποδομή και δημιουργία νέων.
4) Συνδρομή στην κατάρτιση επιστημονικής και οικονομοτεχνικής μελέτης για την επέκταση της υποδομής στα πλαίσια μελλοντικών προγραμμάτων ενίσχυσης υποδομών με κριτήριο τις ειδικές ανάγκες της επιστημονικής κοινότητας.
5) Συνεργασία με την Διεθνή Επιστημονική Τεχνική Συμβουλευτική Επιτροπή
6) Συμβολή στην προβολή της Υποδομής με κατάλληλη αναφορά στις δημοσιεύσεις που προκύπτουν από ερευνητικές δραστηριότητες σ' αυτήν και στις παρουσιάσεις σε συνέδρια και άλλες επιστημονικές συναντήσεις.
7) Συμμετοχή στις ενημερωτικές δραστηριότητες για το ευρύ κοινό.
8) Συνδρομή στην υλοποίηση προγράμματος εκπαίδευσης και τεχνολογικής κατάρτισης για νέους ερευνητές.
9) Συνδρομή στην κατάρτιση προγράμματος επιστημονικών σεμιναρίων.
10) Παροχή στατιστικών στοιχείων για την χρήση της υποδομής και εμφανιζόμενων τεχνικών προβλημάτων στη λειτουργία της.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:

1) Εκλογή Συντονιστή του Δικτύου και του Αναπληρωτή του στην εναρκτήρια συνάντηση (kick-off) της Πράξης.
2) Τήρηση Πρακτικών Συναντήσεων του Δικτύου.
3) Σύνταξη εκθέσεων προόδου των εργασιών του Δικτύου, με ευθύνη του Συντονιστή.
4) Σύνταξη ενημερωτικών φυλλαδίων για τις δραστηριότητες των μελών του Δικτύου στην Υποδομή CALIBRA και υλικού για την επικαιροποίηση του ιστότοπου της Υποδομής.

Τα παραδοτέα του ΠΕ 1.9 θα είναι:

ΠΕ 1.9.1: Πρακτικά Εκλογής Συντονιστή και 1ης Συνάντησης του Δικτύου (Ιούνιος 2017)
ΠΕ 1.9.2: Έκθεση Δραστηριοτήτων Δικτύου για το 1ο έτος του έργου (Δεκέμβριος 2017)
ΠΕ 1.9.3: Έκθεση Δραστηριοτήτων Δικτύου για το 2ο έτος του έργου (Δεκέμβριος 2018)
ΠΕ 1.9.4: Τελική Έκθεση Δραστηριοτήτων Δικτύου (Δεκέμβριος 2019)

Πακέτο Εργασίας 1.10 (ΠΕ 1.10)

Διεθνής Συνεργασία και Προβολή της Ερευνητικής Υποδομής CALIBRA

International Collaboration and Promotion of CALIBRA

Συντονιστής: Θα επιλεγεί από τα μέλη της Συντονιστικής Επιτροπής.

Με βάση τα παραπάνω οι Στόχοι και τα Επιδιωκόμενα αποτελέσματα του ΠΕ 1.10 είναι:

1) Δικτύωση της Υποδομής με συναφείς Ερευνητικές Εγκαταστάσεις του εξωτερικού και ειδικά των υποδομών ESFRI.
2) Υλοποίηση Συμφωνητικών Συνεργασίας με συναφείς Υποδομές και Εργαστήρια εκτός Ελλάδας.
3) Αναζήτηση κατάλληλων προγραμμάτων χρηματοδότησης της Υποδομής.
4) Συνεργασία με National Contact Points, Εξειδικευμένα Γραφεία και άλλα Δίκτυα που προσφέρουν πρόσβαση σε πηγές χρηματοδότησης.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων θα υλοποιηθούν οι εξής επί μέρους Ενέργειες/Εργασίες:

1) Εκλογή Συντονιστή του Δικτύου και του Αναπληρωτή του από την Συντονιστική Επιτροπή.
2) Σύνταξη προγράμματος στοχευμένων δραστηριοτήτων και υλοποίησή του.
3) Διοργάνωση Ειδικών σεμιναρίων για σύνταξη προτάσεων χρηματοδότησης από τα μέλη της Ομάδας Έργου.

Τα παραδοτέα του ΠΕ 1.10 θα είναι:

Π 1.10.1: Πρακτικά Εκλογής Συντονιστή (Ιούνιος 2017)
Π 1.10.2: Πρόγραμμα Δραστηριοτήτων (Έκθεση – Δεκέμβριος 2017)
Π 1.10.3: Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου (Δεκέμβριος 2018)
Π 1.10.4: Πρακτικά θεματικών ημερίδων με συνεργάτες του εξωτερικού (Ιούνιος 2018)
Π 1.10.5: Πρακτικά θεματικών ημερίδων με συνεργάτες του εξωτερικού (Δεκέμβριος 2019)
Π 1.10.6: Τελική Έκθεση Δραστηριοτήτων και Αξιολόγησή τους (Δεκέμβριος 2019)

Πακέτο Εργασίας 1.11 (ΠΕ 1.11)

Μεταφορά Τεχνογνωσίας και Έξυπνη Εξειδίκευση

Technology Transfer and Smart Specialization

Συντονιστής: Δρ. Σωτήριος Χαρισόπουλος, Ερ. Α', ΙΠΣΦ/ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος».

Στόχος του ΠΕ 1.11 είναι η διασύνδεση της Υποδομής με τον Παραγωγικό τομέα και η εφαρμογή πρακτικών έξυπνης εξειδίκευσης

ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

Π.1.11.1: Πρακτικά Διημερίδας για την προσφορά ιοντικών επιταχυντών για τις θεματικές προτεραιότητας της στρατηγικής έξυπνης εξειδίκευσης ()6/2018

Π.1.11.2: Έκθεση αποτελεσμάτων συναντήσεων με θεσμικούς φορείς του παραγωγικού τομέα (ΣΕΒ κλπ)

Π1.11.3: Εγχειρίδιο Ποιότητας για την πιστοποίηση του Εργαστηρίου Tandem κατά ISO 9000:2015 (Δεκέμβριος 2019)

Π1.11.4: Έκθεση σκοπιμότητα για την ίδρυση Εργαστηρίου Παροχής Υπηρεσιών Ερευνητικής Υποδομής Calibra (Δεκέμβριος 2017)

Π1.11.5: Έντυπο – οδηγός αναλυτικών υπηρεσιών (με τιμοκατάλογο) (Ιούνιος 2018)

Πακέτο Εργασίας 1.12 (ΠΕ 1.12)

Εκπαίδευση και Τεχνολογική Εξειδίκευση

Educational and Training Activities

Συντονιστής: Θα επιλεγεί από τη Γενική Συνέλευση, από τα συμμετέχοντα μέλη ΔΕΠ ΑΕΙ/ΑΤΕΙ.

Στόχος του ΠΕ 1.12 είναι η υλοποίηση δράσεων για την εκπαίδευση μεταπτυχιακών φοιτητών και την πρακτική άσκηση σπουδαστών μέσω ενός κατάλληλου προγράμματος εκπαιδευτικού προγράμματος.

ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

Π1.12.1: Έκθεση δραστηριοτήτων εκπαιδευτικής και τεχνολογικής κατάρτισης (Δεκέμβριος 2017)

Π1.12.2: Έκθεση δραστηριοτήτων εκπαιδευτικής και τεχνολογικής κατάρτισης (Δεκέμβριος 2018)

Π1.12.3: Έκθεση δραστηριοτήτων εκπαιδευτικής και τεχνολογικής κατάρτισης (Δεκέμβριος 2019)

Π1.12.4: Εγχειρίδιο χρήσης του Επιταχυντή για εξωτερικούς χρήστες (τελική επικυρωμένη έκδοση) (Δεκέμβριος 2019)

Υποέργο 2 (ΥΕ 2):

Αναβάθμιση του Επιταχυντή Ιόντων Tandem

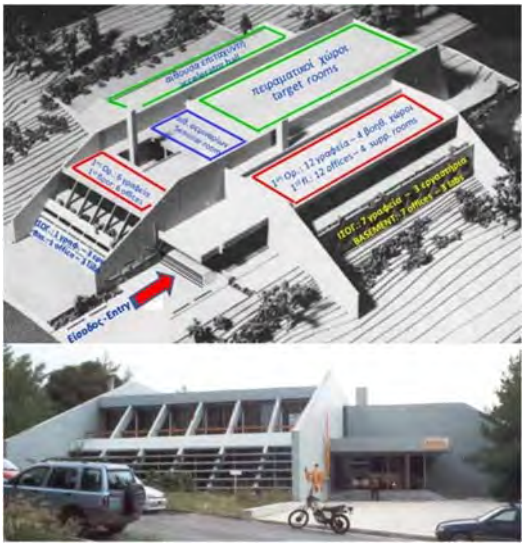
Στο ΙΠΣΦ είναι εγκατεστημένος και σε πλήρη λειτουργία από το 1973 ο μοναδικός στη χώρα επιταχυντής ιόντων, γνωστός και ως Tandem, που αποτελεί βασικό ερευνητικό εργαλείο όχι μόνο της σχετικής πειραματικής ομάδας του ΙΠΣΦ αλλά και μεγάλου αριθμού ερευνητών άλλων ινστιτούτων του ΕΚΕΦΕ «Δ» και ιδιαίτερα «εξωτερικών χρηστών», ερευνητών δηλαδή από όλα σχεδόν τα ελληνικά ΑΕΙ (ΕΜΠ, ΕΚΠΑ, ΑΠΘ, Πανεπιστήμια Ιωαννίνων, Κρήτης και Πελοποννήσου) και Ερευνητικά Κέντρα (ΕΛΚΕΘΕ, ΕΙΕ) αλλά και ερευνητικών ιδρυμάτων του εξωτερικού.

Στις εν λόγω ερευνητικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται ιοντικές δέσμες, που παράγονται και στη συνέχεια επιταχύνονται με κατάλληλη κινητική ενέργεια από τον επιταχυντή Tandem, όχι μόνο για διεξαγωγή βασικής έρευνας σε επίπεδο αριστείας αλλά και την εφαρμογή μη καταστρεπτικών αναλυτικών τεχνικών για την μελέτη υλικών με τεχνολογικό ενδιαφέρον (π.χ. ενέργεια από Σύντηξη, υπεραγωγιμότητα, μηχανική αντοχή, μαγνητικές ιδιότητες κλπ.), την ανάλυση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς (στοιχειακή ανάλυση επιφανειών εικόνων, πινάκων ζωγραφικής, αγαλματιδίων κ.α.), τον έλεγχο και βαθμονόμηση (μέσω ακτινοβόλησης με ιόντα και νετρόνια) ανιχνευτικών διατάξεων και αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε διεθνή ερευνητικά κέντρα όπως το CERN, την ανάλυση φίλτρων περιβαλλοντικού ελέγχου, την τοξικότητα στοιχείων σε υλικά σχετικά με τη υγεία (π.χ. Βηρύλλιο σε οδοντικά κράματα) και πληθώρας άλλων εφαρμογών με ενδιαφέρον στην επίλυση τεχνολογικών προβλημάτων της μοντέρνας κοινωνίας.

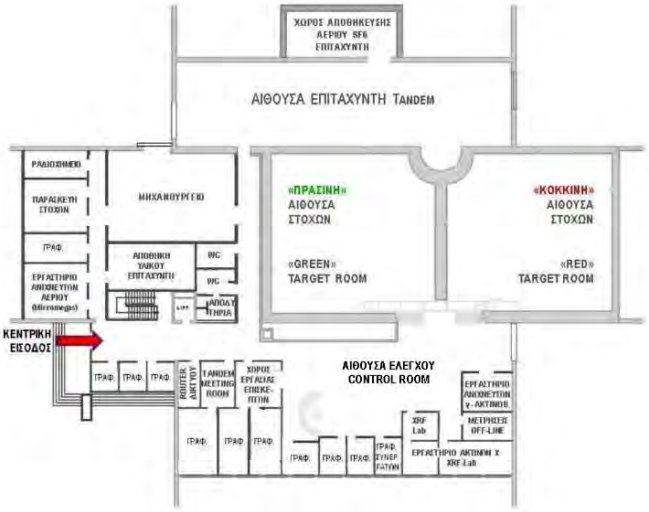
Ο Επιταχυντής Ιόντων Tandem στεγάζεται στο ισόγειο του κτιρίου 6 του ΕΚΕΦΕ «Δ». Το κτίριο κτίστηκε το 1970 σύμφωνα με τις ισχύουσες διεθνείς προδιαγραφές (ειδική θωράκιση με βαρυτικό σκυρόδεμα), που επιβάλλονται στην ανέγερση κτισμάτων στα οποία παράγονται ιονίζουσες ακτινοβολίες από ιοντικές δέσμες. Το κτίριο 6 του Επιταχυντή Tandem αποτελεί Αρχιτεκτονική Πρωτοτυπία και κατασκευάστηκε στις αρχές του 1970 πάνω σε σχέδια του φημισμένου Έλληνα αρχιτέκτονα Αλέξανδρου Τομπάζη, το έργο του οποίου έχει βραβευθεί σε πολλούς εθνικούς αλλά και διεθνείς διαγωνισμούς. Το κτίριο καταλαμβάνει συνολική επιφ. 5.518 τ.μ. Η μακέτα του κτιρίου (με χαρακτηρισμό των βασικών χώρων) φαίνεται στο σχήμα 2.1 μαζί με την ΒΑ πλευρά του και την κεντρική του είσοδο. Η κάτοψη του Εργαστηρίου Επιταχυντή Tandem (ισόγειο του κτιρίου), όπως έχει εν τω μεταξύ διαμορφωθεί με επιπλέον εσωτερικούς χώρους για να ανταποκριθεί στις αυξημένες ανάγκες σε γραφεία και μικρά εργαστήρια φαίνεται στο σχήμα 2.2.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2, το εργαστήριο επιταχυντή TANDEM περιλαμβάνει την αίθουσα του επιταχυντή (επιφ. 324 τμ., διαστ. 36μ x 9μ) με τον χώρο αποθήκευσης του αερίου SF_6 του επιταχυντή (επιφ. 84 τμ., διαστ. 14μ x 6μ), τις δύο πειραματικές αίθουσες «στόχων», «πράσινη» και «κόκκινη», (επιφ. ≈306 τμ. διαστ. 18μ x17μ έκαστη), την αίθουσα ελέγχου, το μηχανουργείο (επιφ. 140 τμ., διαστ. 14μ x10μ), χώρο παρασκευής στόχων, χώρο παρασκευής και φύλαξης ραδιενεργών πηγών χαμηλής ενεργότητας (Ραδιοχημείο), το Εργαστήριο Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF Lab), χώρο μετρήσεων ενεργοποίησης (Μετρήσεις off-line), αποθηκευτικούς χώρους και γραφεία για το επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό. Στην αίθουσα επιταχυντή και τις δύο αίθουσες στόχων είναι εγκατεστημένοι γερανοί ανύψωσης βαρών μέχρι 5 τόνους, κυκλώματα ψύξης με νερό καθώς και ειδικά κυκλώματα πεπιεσμένου αέρα. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι **η υφιστάμενη κτηριακή υποδομή ξεπερνά σε αξία τα 12 εκατ. Ευρώ. Σε αυτήν πρέπει να προστεθούν επιπλέον 12 εκατ. που αντιστοιχούν στην αξία της επιστημονικής υποδομής** (επιταχυντές, πηγές ιόντων, γραμμές επιτάχυνσης, πειραματικές διατάξεις, εργαστήρια υποστήριξης κλπ.).

Με την υλοποίηση της προτεινόμενης πράξης αξιοποιείται στο έπακρο μία εθνική ανοιχτή ερευνητική υποδομή με περισσότερους από 60 εξωτερικούς χρήστες και συνολική αξία επένδυσης που αγγίζει τα 25 εκατ. Ευρώ.



Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.2

Πριν την περιγραφή των εργασιών, στόχων, παραδοτέων του ΥΕ.2 και της ανάγκης υλοποίησής του, είναι απαραίτητο να προηγηθεί μία σύντομη περιγραφή της μεθοδολογία που ακολουθείται στη διεξαγωγή έρευνας και την υλοποίηση εφαρμογών με ιοντικές δέσμες με τους ιοντικούς επιταχυντές του ΙΠΣΦ. Η σύντομη αυτή περιγραφή στοχεύει σε μία, όσο το δυνατόν, απλή παρουσίαση της λειτουργίας του υπάρχοντος επιταχυντή αλλά και στην κατανόηση των βασικών τεχνικών στοιχείων της αναβάθμισης της ερευνητικής υποδομής που προτείνεται στη συνέχεια.

Οι ιοντικοί επιταχυντές παράγουν και στη συνέχεια επιταχύνουν ιόντα (άτομα με περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα τους). Τα είδη των επιταχυντών είναι πολλά και η περιγραφή τους προφανώς δεν μπορεί να καλυφθεί στο παρόν κείμενο. Οι συχνότεροι και, συγκριτικά με άλλους, «απλούστεροι» στη λειτουργία είναι οι λεγόμενοι «ηλεκτροστατικοί» επιταχυντές, όπως ο επιταχυντής TANDEM του «Δημοκρίτου». Με πολύ απλά λόγια, η αρχή λειτουργίας των ηλεκτροστατικών επιταχυντών στηρίζεται στη δημιουργία διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού ανάμεσα στην πηγή που παράγει τα ιόντα και το λεγόμενο «τερματικό ηλεκτρόδιο». Τα ιόντα που παράγονται από τις πηγές ενός ηλεκτροστατικού επιταχυντή «έλκονται» από το τερματικό του και αποκτούν ενέργεια ανάλογη του δυναμικού στο τελευταίο. Προφανώς, η ενέργεια των ιόντων μπορεί να μεταβληθεί ρυθμίζοντας κατάλληλα το δυναμικό λειτουργίας του επιταχυντή. Η κίνηση των ιόντων από την πηγή προς το τερματικό γίνεται μέσα σε μεταλλικούς σωλήνες (σωλήνες επιτάχυνσης), στους οποίους επικρατεί υψηλό κενό, ενώ η τροχιά τους ελέγχεται με τη βοήθεια μαγνητών, ή άλλων κατάλληλων συστημάτων.

Η διαφορά δυναμικού επιτυγχάνεται με την (συνεχή) προσθήκη ηλεκτρικού φορτίου στο «τερματικό» μέσω ενός συστήματος που συνδυάζει ηλεκτρονικές μονάδες, οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό φορτίο και κατάλληλο μηχανικό σύστημα που μεταφέρει το φορτίο στην επιφάνεια μίας μεγάλης μεταλλικής σφαίρας, στο εσωτερικό της οποίας οδηγούνται τα ιόντα. Με τον τρόπο αυτό η σφαίρα «φορτίζεται» και δημιουργείται ηλεκτρικό «δυναμικό» που χαρακτηρίζει τον επιταχυντή. Έτσι στον ηλεκτροστατικό επιταχυντή TANDEM του «Δημοκρίτου», το εν λόγω δυναμικό μπορεί να

φτάσει τα 5,5 εκατομμύρια Volt (5,5 MV[1]), ενώ στον επιταχυντή PAPAP[2], το δυναμικό αυτό είναι σημαντικά χαμηλότερο φτάνοντας μόλις τις 250 χιλιάδες Volt. Επειδή το δυναμικό στο τερματικό ενός ηλεκτροστατικού επιταχυντή είναι ιδιαίτερα υψηλό, είναι αναγκαία η προστασία του από το περιβάλλον (ισχυρές εκκενώσεις ρεύματος με κίνδυνο καταστροφής των συστημάτων του). Για το λόγω αυτό όλο το όλο σύστημα βρίσκεται μέσα σε δεξαμενή γεμάτη με κατάλληλο αέριο (συνήθως καθαρό εξαφθοριούχο θείο – SF6).

Ένας ηλεκτροστατικός επιταχυντής με μέγιστο δυναμικό ίσο με Χ εκατομμύρια Volt είναι ικανός να επιταχύνει ιόντα φορτίου Υ σε ενέργειες ίσες με το γινόμενο Χ*Υ, εκτός αν είναι τύπου «Tandem», όπως αυτός του «Δημοκρίτου», που με τη βοήθεια ενός έξυπνου συστήματος «απογύμνωσης φορτίου» εγκατεστημένο στο τερματικό του, αυξάνει το παραπάνω γινόμενο. Συγκεκριμένα, ο επιταχυντής TANDEM του «Δημοκρίτου» με μέγιστο δυναμικό 5,5 MV, επιταχύνει πρωτόνια (φορτίο Υ=1) προσδίδοντάς τους μέγιστη ενέργεια ίση με Χ*(Ψ+1) = 5,5*(1+1)=5,5*2=11 MeV και ιόντα άνθρακα (μέγιστο φορτίο Υ=6) μέγιστης ενέργειας ίσης με 5,5*(6+1)=38.5 MeV[3].

Τα ιόντα αφού αποκτήσουν την ενέργεια που επιθυμούμε οδηγούνται στη συνέχεια πάνω σε ειδικά παρασκευασμένους «στόχους» με τούς πυρήνες των οποίων και αλληλοεπιδρούν. Με το γενικό όρο «στόχος» (ή «δείγμα») περιγράφει κανείς είτε κάποιο λεπτό μεταλλικό φύλλο, είτε κάποιο αέριο, είτε κάποιο στερεό σώμα μικρών διαστάσεων σε κατάλληλη μορφή (π.χ. κρύσταλλος). Η παραπάνω διαδικασία, αναφέρεται συχνά και ως «ακτινοβόληση» ή «βομβαρδισμός». Οι πυρήνες των ιόντων που επιταχύνονται είτε σκεδάζονται από τους πυρήνες των στόχων, αλλάζουν δηλαδή την αρχική τους τροχιά, είτε επάγουν πυρηνικές αντιδράσεις με τους πυρήνες των στόχων. Στην πρώτη περίπτωση, ανιχνεύει κανείς τα σκεδαζόμενα ιόντα με κατάλληλους ανιχνευτές φορτισμένων σωματιδίων. Στη περίπτωση των πυρηνικών αντιδράσεων λαμβάνει χώρα, εκτός της σκέδασης, και παραγωγή νέων στοιχείων, οι πυρήνες των οποίων βρίσκονται συχνά σε διεγερμένη κατάσταση από την οποία αποδιεγείρονται εκπέμποντας είτε ακτινοβολία γ, είτε σωματίδια β (αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ή θετικά φορτισμένα ποζιτρόνια), είτε πυρήνες άλλων στοιχείων, επί το πλείστον τα ελαφρότερα: πρωτόνια, νετρόνια και πυρήνες Ηλίου. Οι τελευταίοι είναι γνωστοί και ως σωματίδια α. Τα παραγόμενα σωματίδια ή ακτίνες γ καταμετρούνται με κατάλληλους ανιχνευτές.

Μέσω επεξεργασίας των ηλεκτρικών σημάτων που παράγονται κατά την ανίχνευση, συλλέγονται κατ' αρχάς «φάσματα», τα οποία στη συνέχεια αναλύονται με κατάλληλο λογισμικό. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης («πειραματικά δεδομένα») δεν είναι τίποτα άλλο παρά αριθμοί, που ουσιαστικά ποσοτικοποιούν τα πυρηνικά ή ατομικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση των πυρήνων των επιταχυνόμενων ιόντων με τους πυρήνες των στόχων. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του επιταχυντή TANDEM συνοψίζονται στον πίνακα που δίνεται παρακάτω.

Ο επιταχυντής PAPAP είναι ένας ηλεκτροστατικός επιταχυντής «μονού σταδίου» (single stage) πολύ χαμηλών ενεργειών (μέχρι 250 keV) για πρωτόνια (p), δευτέρια (d). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι, ότι λόγω της πηγής ιόντων «πολυακιδωτού τύπου» (multicusp) που διαθέτει μπορεί να παράγει

[1] 1 MV = 1.000.000 Volt, 1 kV = 1.000 Volt

[2] Ακρωνύμιο του γαλλικού Petit Accelerateur Pour AstroPhysique (=Μικρός Επιταχυντής για Αστροφυσική)

[3] Το σύμβολο MeV (Mega-electron-volt) είναι μία μονάδα μέτρησης της ενέργειας. Ένα (1) MeV αντιστοιχεί στην (κινητική) ενέργεια ενός ηλεκτρονίου που επιταχύνεται από δυναμικό 1 εκατομμυρίου Volt. Αντίστοιχα, 1 keV είναι η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου που επιταχύνεται από δυναμικό 1000 Volt. (Προς σύγκριση: τα ηλεκτρόνια του ηλεκτρικού ρεύματος της ΔΕΗ στο σπίτι μας, κινούνται κάτω από διαφορά δυναμικού 220 Volt, μόνο! Έχουν δηλαδή κινητική ενέργεια τουλάχιστον 45000 φορές μικρότερη από τα ηλεκτρόνια ενέργειας 10 MeV).

και να επιταχύνει τα παραπάνω ιόντα σε ιδιαίτερα υψηλές εντάσεις ρεύματος δέσμης που ξεπερνούν τα 0.5 milli-Ampere που αντιστοιχεί σε $5x10^{15}$ σωματίδια το δευτερόλεπτο (particles/sec). Στην εικόνα που ακολουθεί δίνεται μία πανοραμική φωτογραφία του επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ.



Εικόνα 2.3: Πανοραμική φωτογραφία του Επιταχυντή Tandem του ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ «Δ»

Πίνακας 2.1: Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του επιταχυντή TANDEM του «Δημοκρίτου»				
Κατασκευαστής	HIGH VOLTAGE ENGINEERING CORPORATION (HVEC)			
Χώρα κατασκευής	ΗΠΑ			
Έτος εγκατάστασης	1973			
Τύπος	Ηλεκτροστατικός επιταχυντής Van de Graaff Tandem			
Μέγιστο Δυναμικό	5,5 MV			
Ελάχιστο Δυναμικό	0,4 MV			
Φόρτιση τερματικού	Σύστημα περιστρεφόμενου μη-αντιστατικού ιμάντας			
Απογύμνωση ιόντων	Σύστημα λεπτών υμενίων Άνθρακα στο τερματικό			
Μαγνήτες : 3	• Inflector με οπές (ports) σε γωνίες 0^O, $\pm30^O$ (ισχύς MEZ^{-2}=24) • Μαγνήτης Ανάλυσης 90^O (ισχύς MEZ^{-2}=140) • Μαγνήτης κατανομής/στροφής τροχιάς δέσμης (Switcher) σε 8 γωνίες (0^O, $+15^O$, -25^O, $+32,5^O$, $\pm45^O$, $\pm60^O$). MEZ^{-2}=140 σε $\pm45^O$			
Εγκατεστημένες γραμμές δέσμης : 6	σε γωνίες -25^O, $+32,5^O$, $\pm45^O$, $\pm60^O$ ως προς άξονα του μαγνήτη κατανομής (switcher)			
Πηγές Ιόντων: 3	• Sputter για βαρέα ιόντα (κατασκευαστής KINGSTON, 1992) • Off-axis Duoplasmatron για πρωτόνια (H) και δευτέριο (D) (κατασκευαστής: PEABODY SCIENTIFIC, 2004) • Duoplasmatron με κανάλι ανταλλαγής φορτίου (charge exchange channel για παραγωγή ιόντων Ηλίου (He). Κατασκευαστής: PEABODY SCIENTIFIC, 2004			
Ενδεικτικές εντάσεις ιόντων (ιόντα/sec) μετά τον 1ο μαγνήτη (inflector).	Πρωτόνια 3×10^{13} (ρεύμα *I* ≈5 μA)	Ήλιο (He) 2×10^{10} (*I* ≈60 nA)	Άνθρακας (^{12}C) 1×10^{11} (*I* ≈600 nA)	Νικέλιο (^{58}Ni) 1×10^{10} (*I* ≈100 nA)



Εικόνα 2.4: Ο επιταχυντής Tandem
(μέγιστο τερματικό δυναμικό 5.5 εκατ. Volt)



Εικόνα 2.5: Ο επιταχυντής PAPAP
(μέγιστο δυναμικό 240 χιλ. Volt)

Στόχοι του Υποέργου ΥΕ.2

Το ΥΕ.2 εστιάζει στην αναβάθμιση των σημαντικότερων συστημάτων του επιταχυντή TANDEM, τα οποία λόγω παλαιότητας ή ξεπερασμένης τεχνολογίας είτε δεν είναι πλέον συντηρήσιμα είτε οδηγούν σε αστάθειες λειτουργίας του επιταχυντή. Ως αποτέλεσμα οι μετρήσεις (πειράματα) να διακόπτονται συχνά ώστε οι χειριστές να επανα-βελτιστοποιήσουν τις συνθήκες λειτουργίας (σταθεροποίηση έντασης δέσμης, επανεστίαση της δέσμης ιόντων στο υπό ανάλυση δείγμα κλπ.). Στη συνέχεια αναλύονται οι βασικότεροι παράγοντες μη βέλτιστης λειτουργίας του επιταχυντή.

α) Οι αστάθειες στο δυναμικό (τάση) λειτουργίας του επιταχυντή Tandem προκαλούνται κατά κύριο λόγο στο τρόπο φόρτισης του τερματικού ηλεκτροδίου. Οι χαμηλής ποιότητας ιμάντες του συστήματος μεταφοράς φορτίου στο τερματικό, που βρίσκει κανείς στο εμπόριο καθόσον εδώ και 15 χρόνια δεν παράγονται πλέον ιμάντες ειδικά για χρήση σε επιταχυντές, εμφανίζουν σημαντικές διαρροές φορτίου κατά μήκος τους. Έτσι, η προσθήκη φορτίου που απαιτείται για τη δημιουργία δυναμικού στο τερματικό ηλεκτρόδιο είναι συχνά προβληματική και περιοριστική, ιδιαίτερα όταν απαιτείται λειτουργία σε υψηλό δυναμικό. Τα προβλήματα αυτά εξαλείφονται σχεδόν πλήρως όταν χρησιμοποιηθεί αλυσίδα Pelletron. Αυτή, εμφανίζει αμελητέες διαρροές και έτσι ο ρυθμός εναπόθεσης φορτίου στο τερματικό παραμένει σταθερός με αποτέλεσμα η ιοντική δέσμη να μην εμφανίζει αξιόλογη ενεργειακή διασπορά, επιτρέποντας, έτσι, ιδιαίτερα αυξημένη ακρίβεια στις μετρήσεις, αλλά και την επίτευξη του μέγιστου δυνατού δυναμικού και, συνεπώς, την επιτάχυνση ιόντων με τις μέγιστες δυνατές ενέργειες. Η παραπάνω αντικατάσταση πραγματοποιήθηκε πρόσφατα με απόλυτη επιτυχία και εξαιρετικά αποτελέσματα στον αντίστοιχο επιταχυντή Tandem του Πανεπιστημίου Ohio, στην πόλη Athens της πολιτείας Ohio των ΗΠΑ. Με το σχετικό εργαστήριο υπάρχει ήδη συνεργασία.

β) Η χρήση του υπάρχοντος συστήματος απογύμνωσης ιόντων με υμένια Άνθρακα (foil stripper) των οποίων το πάχος δεν διαφοροποιείται σημαντικά δεν προσφέρει την δυνατότητα επιλογής όλων των δυνατών καταστάσεων φορτίου στις οποίες μπορεί να παραχθεί μία δέσμη ιόντων, με αποτέλεσμα η ένταση της δέσμης των ιόντων και συγχρόνως η μέγιστη δυνατή ενέργεια επιτάχυνσής τους να περιορίζεται σε τιμές που είναι κατάλληλες για συγκεκριμένες μετρήσεις. Η παράλληλη λειτουργία ενός επιπλέον «απογυμνωτή ιόντων αερίου» (gas stripper) μέσα στη δεξαμενή του τερματικού εξαλείφει τους παραπάνω περιορισμούς καθόσον η πίεση του αερίου στο σύστημα αυτό μπορεί να μεταβληθεί. Η μεταβολή αυτή ισοδυναμεί με τη χρήση υμενίων διαφορετικού πάχους.

γ) Η απόδοση των εγκατεστημένων πηγών λόγω παλαιότητας είναι οριακή (μικρή ένταση της παραγόμενης δέσμης ιόντων σε συνδυασμό με τη μικρή διάρκεια συνεχούς σταθερής λειτουργίας). Η οριακή αυτή απόδοση των πηγών μαζί με τις αστάθειες του δυναμικού του επιταχυντή και την παλαιότητα των συστημάτων απογύμνωσης ιόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι ιδιαίτερα ακατάλληλες για μετρήσεις ανάλυσης που απαιτούν υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια (ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μη καταστροφικές τεχνικών με ενδιαφέρον στην ανάλυση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς, βιο-ιατρικής, περιβαλλοντικού ελέγχου, δομικών υλικών κλπ.).

δ) Σημαντικό πρόβλημα στη λειτουργία του επιταχυντή είναι, επιπλέον, η απουσία συστήματος αυτόματου ελέγχου και σταθεροποίησης των συνθηκών λειτουργίας του. Ένα τέτοιο σύστημα βασίζεται στην εκ του μακρόθεν (remotely) ανάγνωση των παραμέτρων λειτουργίας των συστημάτων λειτουργίας του επιταχυντή (τιμές πεδίου μαγνητών, τάσης συστημάτων εστίασης δέσμης, τιμές υψηλού κενού στους σωλήνες επιτάχυνσης, ρεύμα φόρτισης του τερματικού

ηλεκτροδίου κλπ.) και την ταυτόχρονη βελτιστοποίησή τους μέσω ειδικού λογισμικού που «τρέχει» σε έναν απλό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι παραπάνω δυσκολίες αντιμετωπίζονται μέχρι στιγμής με την επέμβαση ενός μόνου ειδικευμένου χειριστή, που διαθέτει το εργαστήριο, σε 8ωρη, το πολύ, βάση καθιστώντας έτσι αδύνατη την πλήρη αξιοποίηση του επιταχυντή μέσω αδιάκοπης λειτουργίας του όλο το 24ωρο. Προφανώς, η ανάγκη για πρόσληψη, αν όχι μόνιμου, συμβασιούχου τεχνικού προσωπικού υψηλών προσόντων είναι επιτακτική. Συμπληρωματικά, η εγκατάσταση στον επιταχυντή του προαναφερθέντος συστήματος αυτόματου ελέγχου και σταθεροποίησης των συνθηκών λειτουργίας του, θα συμβάλει καταλυτικά στον απλούστερο χειρισμό του, ώστε οι πειραματιστές (ερευνητές, μεταδιδακτορικοί συνεργάτες αλλά και μεταπτυχιακοί φοιτητές) να είναι σε θέση (έπειτα από μία βασική πρακτική εξάσκηση μερικών εβδομάδων) να λειτουργούν τον επιταχυντή σε ώρες πλέον του ωραρίου του τεχνικού προσωπικού. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι όλα τα μοντέρνα εργαστήρια επιταχυντών ανά τον κόσμο διαθέτουν τέτοια συστήματα αυτόματου ελέγχου λειτουργίας και, επιπλέον, ο χειρισμός των επιταχυντών από τους εκάστοτε πειραματιστές είναι όχι μόνο διαδεδομένη αλλά και εξαιρετικά επιτυχής πρακτική!

Με βάση τα παραπάνω και με κύριο στόχο την βελτιστοποίηση των συνθηκών λειτουργίας του επιταχυντή Tandem, την αξιοποίησή του σε 24ωρη βάση και την μέγιστη δυνατή λειτουργική υποστήριξη των πειραματικών διατάξεων των χρηστών του επιταχυντή Tandem το Υποέργο 2 προβλέπει τις παρακάτω εργασίες αναβάθμισης:

1) Αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος φόρτισης του τερματικού ηλεκτροδίου μέσω ιμάντα από νέο πλήρες σύστημα τριπλής αλυσίδας Pelletron (Pelletron Conversion). Η αντικατάσταση αυτή πραγματοποιήθηκε με απόλυτη επιτυχία και εξαιρετικά αποτελέσματα στον αντίστοιχο επιταχυντή Tandem του Πανεπιστημίου Ohio, στην πόλη Athens της πολιτείας Ohio των ΗΠΑ. Με το σχετικό εργαστήριο υπάρχει ήδη συνεργασία.
2) Αντικατάσταση του εγκατεστημένου σταθεροποιητή τάσης του τερματικού (Corona probe) με πλήρες σύστημα τελευταίας τεχνολογίας (Σύστημα TPS6). Το εγκατεστημένο σύστημα εμφανίζει σειρά προβλημάτων λόγω της ξεπερασμένης τεχνολογίας των ηλεκτρονικών του μονάδων.
3) Αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος απογύμνωσης λεπτών υμενίων άνθρακα (foil stripper), με ένα τελευταίας τεχνολογίας, στη δεξαμενή του τερματικού και εγκατάσταση σε αυτήν ενός επιπλέον νέου συστήματος απογυμνωτή ιόντων αερίου (gas stripper).
4) Αντικατάσταση των υπαρχόντων πηγών παραγωγής ιόντων (KINGSTON Sputter, Off-axis Duoplasmatron και Duoplasmatron με κανάλι ανταλλαγής φορτίου) από δύο (2) νέα πλήρη συστήματα παραγωγής ιόντων (πηγές μεγαλύτερης απόδοσης, ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου λειτουργίας τους εξ αποστάσεως, αντλίες υψηλού κενού τελευταίας τεχνολογίας κλπ.). Τα συστήματα που ενδιαφέρουν και είναι πλήρως συμβατά με την υφιστάμενη υποδομή είναι τα SNICS-II και TORVIS. Με την αναβάθμιση αυτή οι εντάσεις των ιοντικών δεσμών θα αυξηθούν κατά ένα παράγοντα 10!
5) Αναβάθμιση της υφιστάμενης γραμμής επιτάχυνσης χαμηλών ενεργειών (Low Energy Beamline) που θα συνδέει τα νέα συστήματα πηγών ιόντων με την δεξαμενή του τερματικού ηλεκτροδίου με αντικατάσταση των υπαρχόντων αντλιών κενού τεχνολογίας διάχυσης (diffusion pumps) με στροβιλομοριακές αντλίες (turbo-molecular pumps), για την επίτευξη υψηλότερου αλλά και καθαρότερου (χωρίς μόρια λαδιού) κενού. Με την εν λόγω αναβάθμιση εξασφαλίζεται επιπλέον

και η επιτυχής «σύζευξη» των νέων συστημάτων παραγωγής ιόντων με το υπόλοιπο τμήμα του επιταχυντή ώστε η προηγούμενη, υπ' αριθμ. 4, αναβάθμιση να είναι επιτυχής.

6) Εγκατάσταση συστήματος αυτόματου ελέγχου, σταθεροποίησης και βελτιστοποίησης των συνθηκών λειτουργίας του που περιλαμβάνει λογισμικό, υπολογιστή και μονάδες ανάγνωσης σημάτων λειτουργίας όλων των μονάδων λειτουργίας του επιταχυντή (πηγές ιόντων, μαγνήτες, αντλίες κενού, στοιχεία εστίασης της δέσμης των ιόντων κλπ.)
7) Εγκατάσταση συνολικά 8 συστημάτων επόπτευσης και ελέγχου της διατομής της δέσμης των επιταχυνόμενων ιόντων (Beam Profile Monitors, BPM) στα παρακάτω σημεία του επιταχυντή: Ένα BPM πρίν την δεξαμενή του τερματικού, ένα μετά από αυτήν και έξι (6) επιπλέον BPM στις γραμμές επιτάχυνσης όπου διεξάγονται πειράματα. Η ανάγνωση, επεξεργασία και προβολή σε οθόνη των σημάτων εξόδου των εν λόγω συστημάτων απαιτεί και ανάλογο σύστημα (BPM display and interfacing system).
8) Εγκατάσταση ενός νέου πλήρους συστήματος μαγνήτη κατανομής χαμηλής ισχύος (MEZ^{-2}=38.1) στη υπάρχουσα γραμμή μεταφοράς δέσμης στις -60^{O} («κόκκινη» αίθουσα στόχων, βλ. σχ. 2 του ΥΕ.2). Ο μαγνήτης αυτός θα έχει συνολικά 7 οπές-οδηγούς δέσμης (ports) σε γωνίες 0^{O}, ±30^{O} και ±60^{O} και θα επιτρέψει την διακλάδωση της υπάρχουσας γραμμής σε 3 επιπλέον γραμμές τουλάχιστον στις οποίες θα εγκατασταθούν αντίστοιχα επιπλέον μόνιμες πειραματικές διατάξεις χρηστών του επιταχυντή.
9) Βελτιστοποίηση της θέσης των στοιχείων εστίασης της δέσμης των ιόντων (ηλεκτροστατικοί φακοί, πυκνωτές διόρθωσης τροχιάς, τετραπολικοί ηλεκτρομαγνήτες εστίασης, κλπ.) μέσω υπολογισμών με κατάλληλο λογισμικό (beam optic calculations). Οι εν λόγω υπολογισμοί είναι άκρως απαραίτητοι ώστε να βελτιστοποιηθεί η μεταφορά χωρίς απώλειες της δέσμης των ιόντων από το σημείο παραγωγής τους (πηγές) έως τη θέση των υπό ανάλυση δειγμάτων στις σχετικές πειραματικές διατάξεις για κάθε μία γραμμή μεταφοράς.
10) Θεωρητική και πρακτική εκπαίδευση του τεχνικού και επιστημονικού προσωπικού στο χειρισμό όλων των τμημάτων του αναβαθμισμένου επιταχυντή.

Οι εργασίες αναβάθμισης υπ' αριθμ. 1) και 2) είναι επιβεβλημένες για την αντιμετώπιση του προαναφερθέντος προβλήματος α), η εργασία 3) σε επίλυση του προβλήματος β), οι εργασίες 4) και 5) στην εξάλειψη του προβλήματος γ), οι εργασίες 6) και 7) είναι αναγκαίες για την κάλυψη της ανάγκης που περιγράφεται στο σημείο δ). Η αναβάθμιση υπ' αριθμ. 8) είναι αναγκαία για να δοθεί η δυνατότητα στους ερευνητές χρήστες του επιταχυντή να έχουν μόνιμα εγκατεστημένες τις πειραματικές τους διατάξεις και να μην είναι αναγκασμένοι να τις ξεμοντάρουν και να τις μετακινούν σε άλλα σημεία του εργαστηρίου, ώστε να «απελευθερώνεται» η σχετική γραμμή μεταφοράς δέσμης και να διατίθεται σε άλλους χρήστες που έπονται στη διεξαγωγή πειραμάτων. Λόγω των εξαιρετικά ευαίσθητων μονάδων που συνθέτουν μία πειραματική διάταξη και συχνά είναι σε συνεχή λειτουργία, δεν είναι καλή πρακτική η αποσυναρμολόγησή της και η επανασυναρμολόγησή της είναι συχνά ιδιαίτερα χρονοβόρα και ο κίνδυνος εμφάνισης συστηματικών σφαλμάτων στις μετρήσεις υψηλός. Η εργασία 9) συνδέεται άμεσα με την επιτυχή διεξαγωγή των μετρήσεων και την συνολική βελτιστοποίηση των συνθηκών λειτουργίας του επιταχυντή, ενώ η εργασία 10) στην απρόσκοπτη λειτουργία του και την πλήρη αξιοποίησή του.

Ο Συνολικός προϋπολογισμός του ΥΕ είναι 1913664.75 €. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την υλοποίηση του υποέργου. Λόγω μοναδικότητας του προμηθευτή θα πρέπει να διερευνηθεί η δυνατότητα απ' ευθείας ανάθεσης.

α/α	Περιγραφή	Κόστος (€)	ΦΠΑ
1	Γραμμή ιοντικής πηγής τύπου SNICS II που περιλαμβάνει: (i) Πηγή αρνητικών ιόντων SNICS II, (ii) σταθμό τουρμπομοριακής άντλησης, (iii) φακό τύπου einzel, (iv) προεπιταχυντικό σωλήνα, (v) βάνα απομόνωσης, (vi) κατευθυντήρα y, (vii) κλωβό Faraday, (viii) μετασχηματιστή απομόνωσης και όλα τα απαραίτητα τροφοδοτικά, σωληνώσεις και υποστηρίξεις	229728.07	44463.50
2	Γραμμή ιοντικής πηγής τύπου TORVIS που περιλαμβάνει: (i) Πηγή αρνητικών ιόντων TORVIS, (ii) διαφορικά αντλούμενο εξαγωγέα,, (iii) φακό τύπου einzel, (iv) κανάλι ανταλλαγής φορτίου, (v) προεπιταχυντικό σωλήνα, (vi) δύο τουρμπομοριακές αντλίες, (vii) κατευθυντήρα y, (viii) κλωβό Faraday, (ix) μετασχηματιστή απομόνωσης, και όλα τα απαραίτητα τροφοδοτικά, σωληνώσεις και υποστηρίξεις	536180.45	103776.86
3	Αναβάθμιση γραμμής χαμηλής ενέργειας επιταχυντή με δύο σταθμούς τουρμπομοριακής άντλησης	113434.98	21955.16
4	Αλλαγή συστήματος φόρτισης επιταχυντή με σύστημα Pelletron που αποτελείται από: (i) Τρείς αλυσίδες Pelletron, (ii) Ένα κινητήρα 5 ίππων, (iii) Ένα κινητήρα 3 ίππων, (iv) Τροφοδοτικά υψηλής τάσης	294747.44	57047.89
5	Σύστημα απογύμνωσης ιόντων με αέριο και σύστημα απογύμνωσης με λεπτά υμένια υποστηριζόμενο από δύο τουρμπομοριακές αντλίες	133452.92	25829.60
6	Σύστημα σταθεροποίησης TPS6 της φόρτισης του τερματικού του επιταχυντή	61460.62	11895.60
7	Σύστημα AccelNET για τον απομακρυσμένο έλεγχο του επιταχυντή	140125.56	27121.08
8	Ελεγκτής των μονάδων απεικόνισης της ιοντικής δέσμης (BPM controller)	24722.15	4784.93
9	Μονάδα απεικόνισης της ιοντικής δέσμης (BPM)	73844	14292.39
10	Μαγνήτης επιλογής μαζί με την επέκταση της πειραματικής γραμμής που αποτελείται από: (i) Μαγνήτη επιλογής με MEP 17.4 στις 45°, (ii) θάλαμο κενού με 7 θύρες εξόδου, (iii) Μαγνητόμετρο με στοιχείο Hall, (iv) Τροφοδοτικό υψηλού ρεύματος, (v) Ένα ελεγκτή δέσμης (BPM), (vi) Έναν κατευθυντήρα Y, (vii) Έναν κλωβό Faraday, (viii) Ένα σταθμό άντλησης, (ix) Τροφοδοτικά τετραπόλου, καθώς και τις απαραίτητες σωληνώσεις και μηχανικές υποστηρίξεις	156390.14	30260.06
11	Επίβλεψη εγκατάστασης	119551.57	23139.01
12	Μεταφορικά και ασφάλιση	30026.90	5811.66
		1913664.75€	370377.74

Υποέργο 3 (ΥΕ 3):

Αναβάθμιση του Ανιχνευτικού Συστήματος Υψηλής Διακριτικότητας HELGA

Το ΥΕ 3 έχει ως στόχο την προμήθεια 3 ανιχνευτών υπερκαθαρού Γερμανίου (HPGe) για την επέκταση του ανιχνευτικού συστήματος Υψηλής Ενεργειακής Διακριτικότητας HELGA (HELlenic Gamma Array).

Οι ανιχνευτές θα είναι φορητοί και ως εκ τούτου θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλες τις ομάδες που συμμετέχουν στην Υποδομή εκτός του εργαστηρίου επιταχυντή Tandem. Το κόστος προμήθειας ανέρχεται σε 300000,00€.

Υποέργο 4 (ΥΕ 4):

Αναβάθμιση Συστημάτων Τροφοδοσίας Ανιχνευτικών Διατάξεων και Επεξεργασίας Δεδομένων

Τα παραγόμενα από τις πηγές του επιταχυντή ιόντα αφού αποκτήσουν την ενέργεια που επιθυμούμε οδηγούνται στη συνέχεια πάνω σε ειδικά παρασκευασμένους «στόχους» με τούς πυρήνες των οποίων και αλληλεπιδρούν. Η παραπάνω διαδικασία, αναφέρεται συχνά και ως «ακτινοβόληση» ή «βομβαρδισμός». Οι πυρήνες των ιόντων που επιταχύνονται είτε σκεδάζονται από τους πυρήνες των στόχων, αλλάζουν δηλαδή την αρχική τους τροχιά, είτε επάγουν πυρηνικές αντιδράσεις με τους πυρήνες των στόχων. Στην πρώτη περίπτωση, ανιχνεύει κανείς τα σκεδαζόμενα ιόντα με *κατάλληλους ανιχνευτές* φορτισμένων σωματιδίων. Στη περίπτωση των πυρηνικών αντιδράσεων λαμβάνει χώρα, εκτός της σκέδασης, και παραγωγή νέων στοιχείων, οι πυρήνες των οποίων βρίσκονται συχνά σε διεγερμένη κατάσταση από την οποία αποδιεγείρονται εκπέμποντας είτε ακτινοβολία γ, είτε σωματίδια β (αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ή θετικά φορτισμένα ποζιτρόνια), είτε πυρήνες άλλων στοιχείων, επί το πλείστον τα ελαφρότερα: πρωτόνια (p), νετρόνια (n) και πυρήνες Ηλίου (σωματίδια α). Τα παραγόμενα σωματίδια ή ακτίνες γ καταμετρούνται με κατάλληλους ανιχνευτές. Μέσω *επεξεργασίας των ηλεκτρικών σημάτων* που παράγονται κατά την ανίχνευση, συλλέγονται κατ' αρχάς *δεδομένα* («φάσματα»), τα οποία στη συνέχεια αναλύονται με κατάλληλο *λογισμικό.*

Οι ερευνητικές δραστηριότητες της Υποδομής στηρίζονται στην συντριπτική του πλειοψηφία (ΠΕ 1.3, ΠΕ 1.4, ΠΕ 1.5, ΠΕ 1.6 και ΠΕ 1.8) στη χρήση ανιχνευτών γ ακτινοβολίας υψηλής απόδοσης: ανιχνευτές υπέρκαθαρου Γερμανίου - HPGe, ανιχνευτές σπινθηρισμών Na(I), ανιχνευτές σωματιδίων και κταμετρητές νετρονίων. Οι ανιχνευτές HPGe, πλέον της υψηλής τους απόδοσης, έχουν ιδιαίτερα υψηλή διακριτική ικανότητα (συχνά καλύτερη από 2%). Σε κάθε περίπτωση, η λειτουργία των ανιχνευτών διαταράσσεται όταν η ηλεκτρική τροφοδοσία τους δεν είναι σταθερή με αποτέλεσμα να διακόπτονται οι μετρήσεις, με αποτέλεσμα να πρέπει να επαναληφθούν. Η επαναφορά της τροφοδοσίας δεν εγγυάται την επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται στην υπάρχουσα υποδομή λόγω παλαιότητας των μονάδων τροφοδοσίας, συχνά παλαιάς τεχνολογίας, τα οποίας δεν μπορούν να επισκευαστούν.

"Ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα αντιμετωπίζει κανείς όταν οι ηλεκτρονικές μονάδες επεξεργασίας και καταγραφής των σημάτων εξόδου των ανιχνευτών δεν λειτουργούν με την σταθερότητα που επιβάλλουν απαιτητικές μετρήσεις: Ένα από τα συχνά δημιουργούμενα προβλήματα είναι ότι τα φάσματα εμφανίζουν τυχαίες «ενεργειακές» μετατοπίσεις (shifts) που είναι δύσκολο να ελεγχθούν και να διορθωθούν, με αποτέλεσμα η διαδικασία ανάλυσης να είναι χρονοβόρα, ή, συχνά, μέρος των μετρήσεων να είναι μη αναλύσιμο! Όπως και στην περίπτωση των μονάδων ηλεκτρικής τροφοδοσίας, η πλειοψηφία των διαθέσιμων μονάδων ηλεκτρονικής επεξεργασίας και καταγραφής σημάτων των ανιχνευτών είναι παλαιάς τεχνολογίας και, επιπλέον, δεν επιτρέπουν ψηφιοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται.
Για τους παραπάνω λόγους είναι ιδιαίτερα αναγκαίο η υποδομή να εξοπλιστεί με μονάδες ηλεκτρικής τροφοδοσίας και ηλεκτρονικής επεξεργασίας και καταγραφής σημάτων των ανιχνευτών τελευταίας τεχνολογίας που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλους του διαθέσιμους και νέους ανιχνευτές, να είναι φιλικοί προς τον χρήστη και να παρέχουν την δυνατότητα μεταφοράς σε όποια γραμμή δέσμης ή εργαστηριακό χώρο χρειάζεται. Οι απαραίτητες νέες μονάδες που πρέπει να προμηθευτεί η υποδομή δίνονται στον παρακάτω πίνακα (οι τιμές που δίνονται είναι με βάση ένα ενδελεχή έλεγχο αγοράς).

Μονάδες ηλεκτρικής τροφοδοσίας

Περιγραφή	Τιμή μονάδας	Ποσότητα	Συνολική τιμή	Συνολική τιμή με ΦΠΑ 24%
Mainframe	6200,00	1	6200,00	7688,00
Κάρτα τροφοδοσίας - 3.5KV/3mA 24 καναλιών	4570,00	3	13710,00	17000,40
Κάρτα τροφοδοσίας - 3.5KV/3mA 12 καναλιών και 3.5KV/3mA 12 καναλιών	4733,00	1	4733,00	5868,92
		Σύνολο	24643,00	**30355,20**

Με την αγορά των παραπάνω τροφοδοτικών θα υπάρχει στο εργαστήριο η δυνατότητα τροφοδοσίας 84 ανιχνευτών με ανάγκες τροφοδοσίας μέχρι -3.5KV/3mA και 12 ανιχνευτών με ανάγκες τροφοδοσίας +3.5KV/3mA. Για την τροφοδοσία ανιχνευτών με ανάγκες τροφοδοσίας μεγαλύτερης τάσης θα πρέπει να αγοραστούν κάρτες με μεγαλύτερη τάση. Οι κάρτες αυτές είναι 12 καναλιών και μονής πολικότητας (μόνο θετική ή αρνητική τάση). Οι κάρτες, με χαρακτηριστικά 6KV/1mA συμβατές με το mainframe που θα αγοραστεί κοστίζουν **επιπλέον € 5805,68** με ΦΠΑ 24%. Για να διευκολυνθεί η μεταφορά των μονάδων σε όποια γραμμή δέσμης ή εργαστηριακό χώρο χρειάζεται είναι αναγκαίο να αγοραστεί ένα επιπλέον mainframe (κόστος **€ 4042,40** με ΦΠΑ 24%).

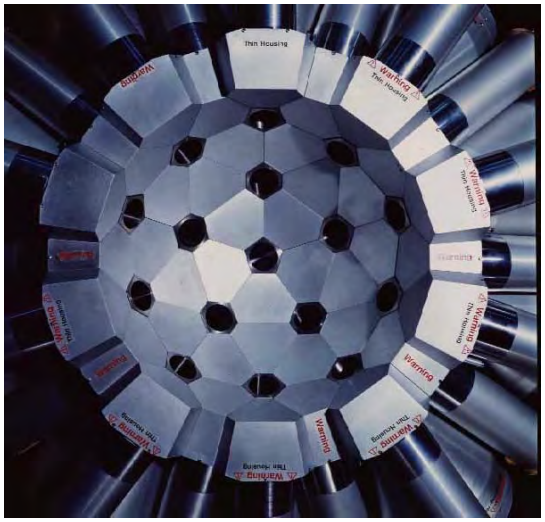
Μονάδες ηλεκτρονικής επεξεργασίας και καταγραφής σημάτων

Περιγραφή	Τιμή μονάδας	Ποσότητα	Συνολική τιμή	Συνολική τιμή με ΦΠΑ 24%
Digitizer 8 καναλιών	5460,00	10	54600,00	67704,00
Κάρτα υπολογιστή για τη σύνδεση του digitizer	1930,00	1	1930,00	2393,20
8 καλώδια μετατροπείς σε MCX	280,00	10	2800,00	3472,00
Οπτικές ίνες σύνδεσης υπολογιστή-digitizer	130,00	2	260,00	322,40
Οπτικές ίνες σύνδεσης digizer-digitizer	80,00	8	640,00	793,60
		Σύνολο	60230,00	**74685,20**

Η συμβατότητα μεταξύ τροφοδοτικών και μονάδων ηλεκτρονικής επεξεργασίας και καταγραφής σημάτων, συχνό πρόβλημα στην οργανολογία πυρηνικής φυσικής, επιβάλλει όπως η προμήθειά τους γίνει από τον ίδιο προμηθευτή και όχι διαφορετικούς. Για αυτό, το συνολικό κόστος του ΥΕ 4 εκτιμάται στο ποσό των 115000 Ευρώ συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ (24%).

Αξίζει να σημειωθεί ότι πρόσφατα έχει παραχωρηθεί από το Ιταλικό Εθνικό Ινστιτούτο Πυρηνικής Φυσικής (INFN), διάταξη 80 ανιχνευτών σπινθηρισμού υψηλής απόδοσης, που προσαρμόζονται πάνω σε μεταλλικό σφαιρικό ικρίωμα. Το εν λόγω σύστημα (με συνολικό κόστος απόκτησης που αγγίζει το μισό εκατομμύριο) θα είναι προσβάσιμο σε όλους τους χρήστες της υποδομής καθ' όλη τη διάρκεια της πράξης και αναμένεται να αναβαθμίσει αποφασιστικά το πειραματικό δυναμικό της υποδομής. Το σύστημα αυτό δίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η λειτουργία του θα είναι ιδιαίτερα σταθερή και αξιόπιστη με την προμήθεια των παραπάνω μονάδων.





Εικόνα 4.1

Το ανιχνευτικό σύστημα GASPAR που παραχωρήθηκε με Συμφωνητικό Συνεργασίας από το INFN για τις ανάγκες της υποδομής CALIBRA. Το μεταλλικό σφαιρικό ικρίωμα στο οποίο «δένουν» 80 ανιχνευτές φαίνεται δεξιά. Πάνω δίνεται η «μισή» σφαίρα ανιχνευτών (40 σπινθηριστές).

Υποέργο 5 (ΥΕ 5):

Εξοπλισμός Συστημάτων Ανίχνευσης Ενεργειακών Φωτονίων με διατάξεις Κρυστάλλων BGO

Το ΥΕ 5 έχει ως στόχο την προμήθεια 3 σπινθηριστών BGO που θα περιβάλλουν τους ανιχνευτές του ΥΕ 3 και θα λειτουργούν ως συστήματα veto στο υπόβαθρο Compton. Με τον τρόπο αυτό το υπόβαθρο στις μετρήσεις συμπιέζεται μέχρι και έναν παράγοντα 10, καθιστώντας τις μετρήσεις εξαιρετικά ευαίσθητες σε φαινόμενα που γίνονται εμφανή μόνο μέσω ανίχνευσης λίαν ασθενικών ακτίνων γ. Το κόστος προμήθειας των κρυστάλλων BGO ανέρχεται σε 116000 Ευρώ.

Υποέργο 6 (ΥΕ 6):

Αναβάθμιση Συστημάτων Κενού Πειραματικών Διατάξεων και Γραμμών Μεταφοράς Δέσμης Ιόντων

Αναγκαία συνθήκη για την ικανοποιητική λειτουργία του επιταχυντή είναι η δημιουργία υψηλού κενού, της τάξης των 10^{-7} mbar, τόσο στον επιταχυντικό σωλήνα όσο και στις πειραματικές γραμμές. Στον επιταχυντικό σωλήνα το κενό αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια δύο αντλιών διάχυσης, αντλητικής ισχύος 2200 lt/s. Οι αντλίες αυτές, λόγω του μέσου που χρησιμοποιούν για την επίτευξη του κενού (λάδι), συχνά επιμολύνουν τις πειραματικές διατάξεις με υδρογονάνθρακες. Η επιμόλυνση αυτή μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα λειτουργίας στις ιοντικές πηγές και ειδικά στις πηγές τύπου TORVIS. Καθώς η εγκατάσταση μιας τέτοιας ιοντικής πηγής προβλέπεται στην αναβάθμιση του επιταχυντή κρίνεται αναγκαία και η αντικατάσταση των αντλιών διάχυσης με νέας τεχνολογίας στροβιλομοριακές αντλίες (turbo pumps). Η αντικατάσταση της αντλίας του επιταχυντικού σωλήνα χαμηλής ενέργειας (Low Energy) έχει ήδη προβλεφθεί στην αναβάθμιση του επιταχυντή. Για την αντίστοιχη αναβάθμιση του επιταχυντικού σωλήνα υψηλής ενέργειας (High Energy) είναι απαραίτητη η αγορά και εγκατάσταση μιας στροβιλομοριακής αντλίας 700 lt/s μαζί με τα αντίστοιχα μετρητικά κενού. Για την αντλία υποστήριξης (backing pump) της νέας αυτής αντλίας θα χρησιμοποιηθεί η ήδη υπάρχουσα.

Η αναβάθμιση του τερματικού του επιταχυντή προβλέπει την αντικατάσταση του υπάρχοντος απογυμνωτή ιόντων αερίου με νέο. Η στροβιλομοριακή αντλία που υποστήριζε τον παλιό απογυμνωτή και τροφοδοτούνταν από το τερματικό του επιταχυντή, θα μεταφερθεί στην διάταξη για την υποστήριξη του εγκατεστημένου δευτερογενούς απογυμνωτή (post stripper). Η αναβάθμιση αυτή του δεύτερου απογυμνωτή θα βελτιώσει σημαντικά την ένταση της δευτερογενούς ιονισμένης δέσμης αλλά απαιτεί την αγορά συμβατού με την αντλία ελεγκτή και συστήματος μέτρησης του κενού που αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει.

Για τις ανάγκες υλοποίησης του πακέτου εργασίας ΠΕ 1.3 έχει προβλεφθεί και βρίσκεται στο στάδιο κατασκευής η πειραματική γραμμή μεταφοράς δέσμης στην έξοδο των +15^{o} του μαγνήτη επιλογής. Η πειραματική αυτή γραμμή θα έχει μήκος 8 μέτρων, με σωληνώσεις, κατά κύριο λόγο, διαμέτρου τεσσάρων ιντσών (4΄΄). Η δημιουργία και διατήρηση υψηλού κενού απαιτεί την εγκατάσταση δύο πλήρων αντλητικών συστημάτων (στροβιλομοριακή αντλία, μηχανική αντλία υποστήριξης, βάνες απομόνωσης, μετρητικό σύστημα) ισχύος 300 lt/s το καθένα.

Η αναβάθμιση του συστήματος της διατάξεως ZAPS του ΠΕ 1.2 απαιτεί την διαφορική άντληση του υπάρχοντος κελιού αερίων στόχων. Ο θάλαμος που θα φιλοξενήσει τον αέριο στόχο θα καλυφθεί από την υπάρχουσα αντλητική υποδομή ισχύος 500 lt/s. Για τον περιορισμό της διαφυγής του αερίου από το κελί προς τον θάλαμο είναι απαραίτητη η προσθήκη μιας δεύτερης στροβιλομοριακής αντλίας, μικρότερης ισχύος (διαφορική άντληση του κελιού).

Τέλος, στο πλαίσιο του πακέτου εργασίας ΠΕ 1.4 (Ενέργεια) θα εγκατασταθεί νέος θάλαμος ακτινοβόλησης δειγμάτων. Η ενσωμάτωση αυτής της πειραματικής διάταξης στον επιταχυντή προϋποθέτει την άντληση και διατήρηση του θαλάμου σε κενό της τάξης των 10^{-7} mbar. Συνεπώς, η εγκατάσταση του θαλάμου πρέπει να συνοδεύεται από ένα πλήρες αντλητικό σύστημα που θα αποτελείται από μια στροβιλομοριακή αντλία ισχύος 300 lt/s, μια μηχανική αντλία υποστήριξης ισχύος 10 m^3/s και ένα σύστημα μέτρησης με δύο κεφαλές (για την μέτρηση στο σύστημα χαμηλού και υψηλού κενού).

Υποέργο 7 (ΥΕ 7):

Επέκταση Πειραματικής Διάταξης Ανάλυσης Επιφανειών Με Σύστημα ToF-ERDA

Ανιχνευτικό σύστημα Ανάλυσης μέσω χρόνου πτήσης ελαστικά ανακρουόμενων πυρήνων

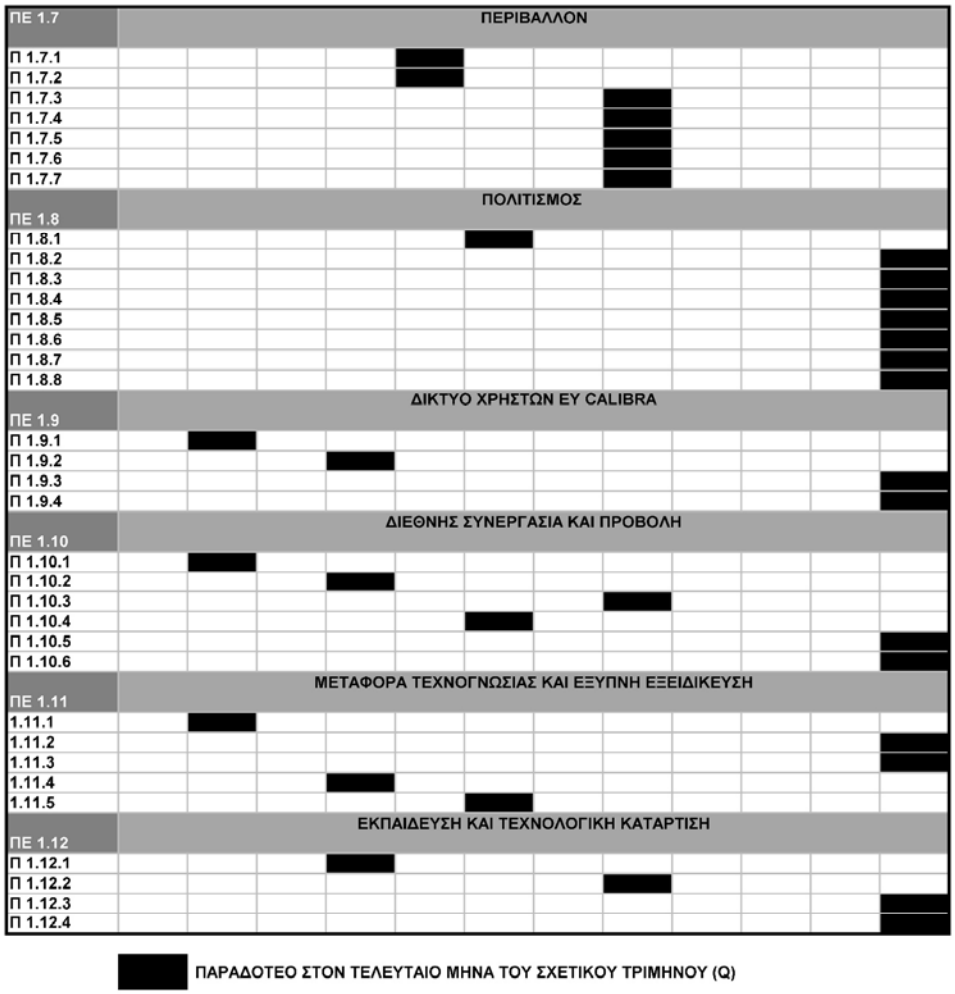
Ανάμεσα στις ευρέως διαδεδομένες μη-καταστρεπτικές αναλυτικές τεχνικές, ελάχιστες είναι αυτές που μπορούν να προσφέρουν την ποσοτικοποίηση ελαφρών στοιχείων σε μήτρες βαρέων στοιχείων. Ο αριθμός των κατάλληλων τεχνικών γίνεται ακόμα μικρότερος αν ανάμεσα στα ζητούμενα, πλην της ακριβούς ποσοτικοποίησης, είναι και η κατανομή σε βάθος των ελαφρών στοιχείων. Τέτοιες περιπτώσεις απαντώνται κατά την μελέτη της διάβρωσης σε αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς (κατανομή του υδρογόνου σε βάθος) ή στην μελέτη της εναπόθεσης καυσίμου (δευτερίου) στα τοιχώματα της νέας γενιάς αντιδραστήρων σύντηξης. Από τις ιοντικές τεχνικές μόνο η ανάλυση μέσω πυρηνικών αντιδράσεων και η ανάλυση μέσω ελαστικά ανακρουόμενων πυρήνων μπορούν να παράσχουν αυτή την επιπλέον πληροφορία. Παρ' όλα αυτά και οι δύο αυτές μέθοδοι παρουσιάζουν μειονεκτήματα τόσο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων όσο και στο είδος των ελαφρών στοιχείων που μπορούν να ανιχνεύσουν.

Η υπάρχουσα ανιχνευτική υποδομή που βρίσκεται στο εργαστήριο του επιταχυντή TANDEM παρέχει τη δυνατότητα χρήσης και των δύο αυτών μεθόδων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση της ανάλυσης μέσω ελαστικά ανακρουόμενων πυρήνων ο προσδιορισμός της μάζας των ελαφρών στοιχείων γίνεται μέσω χρήσης κατάλληλων φίλτρων τα οποία όμως επηρεάζουν την ευαισθησία και την ακρίβεια της μεθόδου. Η αναβάθμιση του υπάρχοντος ανιχνευτικού συστήματος με την προσθήκη ενός συστήματος χρόνου πτήσης για τον προσδιορισμό της μάζας των ελαφρών ανακρουόμενων στοιχείων θα προσφέρει ακριβέστερα αποτελέσματα και ταχύτερες αναλύσεις καθώς το σύστημα παρέχει την ικανότητα ταυτόχρονης ανίχνευσης πολλών ελαφρών ισοτόπων από το υδρογόνο έως και το ασβέστιο. Η αυξημένη πολυπλοκότητα της πειραματικής διάταξης καθώς και η ανάγκη προσαρμογής της στην προϋπάρχουσα υποδομή απαιτεί εμπειρία και εξειδικευμένες γνώσεις που ελάχιστα αναλυτικά εργαστήρια επιταχυντών έχουν στον κόσμο. Για τον λόγο αυτό, θεωρείται προτιμότερη η ανάθεση της κατασκευής ενός τέτοιου εξοπλισμού στο εργαστήριο Επιταχυντών του Πανεπιστημίου της πόλης Jyvaskyla, Φιλανδία.

Β. ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟΕΡΓΟΥ

	2017				2018				2019			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
ΠΕ 1.1	ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ – ΠΡΟΒΟΛΗ											
Π 1.1.1						■						
Π 1.1.2												■
Π 1.1.3		■										
Π 1.1.4												■
Π 1.1.5												■
Π 1.1.6												■
Π 1.1.7		■										
Π 1.1.8		■		■		■		■		■		■
Π 1.1.9												■
Π 1.1.10	■											
ΠΕ 1.2	ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ											
Π 1.2.1						■						
Π 1.2.2						■						
Π 1.2.3												■
Π 1.2.4						■						
Π 1.2.5												■
Π 1.2.6						■						
Π 1.2.7												■
Π 1.2.8												■
Π 1.2.9												■
Π 1.2.10												■
ΠΕ 1.3	ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ											
Π 1.3.1						■						
Π 1.3.2												■
Π 1.3.3						■						
Π 1.3.4						■						
Π 1.3.5										■		
Π 1.3.6												■
Π 1.3.7												■
Π 1.3.8												■
Π 1.3.9												■
Π 1.3.10												■
ΠΕ 1.4	ΕΝΕΡΓΕΙΑ											
Π 1.4.1						■						
Π 1.4.2												■
Π 1.4.3										■		
Π 1.4.4												■
Π 1.4.5								■				
Π 1.4.6												■
Π 1.4.7												■
Π 1.4.8												■
Π 1.4.9												■
ΠΕ 1.5	ΥΛΙΚΑ											
Π 1.5.1						■						
Π 1.5.2												■
Π 1.5.3				■								
Π 1.5.4						■						
Π 1.5.5				■								
Π 1.5.6												■
Π 1.5.7												■
Π 1.5.8												■
ΠΕ 1.6	ΥΓΕΙΑ - ΦΑΡΜΑΚΑ											
Π 1.6.1					■							
Π 1.6.2										■		
Π 1.6.3					■							
Π 1.6.4										■		
Π 1.6.5						■						
Π 1.6.6		■										
Π 1.6.7		■										
Π 1.6.8		■										
Π 1.6.9				■								
Π 1.6.10				■								
Π 1.6.11						■						
Π 1.6.12											■	
Π 1.6.13												■


ΠΕ 1.7
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
Π 1.7.1
Π 1.7.2
Π 1.7.3
Π 1.7.4
Π 1.7.5
Π 1.7.6
Π 1.7.7
ΠΕ 1.8
ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ
Π 1.8.1
Π 1.8.2
Π 1.8.3
Π 1.8.4
Π 1.8.5
Π 1.8.6
Π 1.8.7
Π 1.8.8
ΠΕ 1.9
ΔΙΚΤΥΟ ΧΡΗΣΤΩΝ ΕΥ CALIBRA
Π 1.9.1
Π 1.9.2
Π 1.9.3
Π 1.9.4
ΠΕ 1.10
ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΗ
Π 1.10.1
Π 1.10.2
Π 1.10.3
Π 1.10.4
Π 1.10.5
Π 1.10.6
ΠΕ 1.11
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΕΧΝΟΓΝΩΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ
1.11.1
1.11.2
1.11.3
1.11.4
1.11.5
ΠΕ 1.12
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ
Π 1.12.1
Π 1.12.2
Π 1.12.3
Π 1.12.4
ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ ΣΤΟΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟ ΜΗΝΑ ΤΟΥ ΣΧΕΤΙΚΟΥ ΤΡΙΜΗΝΟΥ (Q)

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΩΝ ΥΠΟΕΡΓΟΥ ΑΝΑ ΠΑΚΕΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΠΑΚΕΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	**ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ**	**ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΕΝΑΡΞΗΣ**	**ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΛΗΞΗΣ**	**ΑΝΘΡ/ ΜΗΝΕΣ** 2	**ΕΠΙΛΕΞΙΜΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΑΠΑΝΗ (Ευρώ)**	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΑΠΑΝΗ (Ευρώ)**
ΠΕ 1.1: ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ – ΠΡΟΒΟΛΗ	**Π1.1.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου του Έργου (Ιούνιος 2018) **Π1.1.2:** Τελική Έκθεση Προόδου του Έργου (Δεκέμβριος 2019) **Π1.1.3:** Έκθεση Δημιουργίας - Λειτουργίας Ιστότοπου του Έργου (Ιούνιος 2017) **Π1.1.4:** Έκθεση για τις προσλήψεις έκτακτου προσωπικού (Δεκέμβριος 2019) **Π1.1.5:** Έκθεση για τη διοργάνωση δραστηριοτήτων διάδοσης και επικοινωνίας με το κοινό (Δεκέμβριος 2019) **Π1.1.6.** Έκθεση για την διάχυση των ερευνητικών αποτελεσμάτων (Δεκέμβριος 2019) **Π1.1.7.** Έκθεση για την σύσταση της Διεθνούς Επιστημονικής – Τεχνικής Συμβουλευτικής Επιτροπής (ΔΕΤΣΕ) (Ιούνιος 2017) **Π1.1.8** Πρακτικά συνεδριάσεων της ΔΕΤΣΕ (δις/έτος) **Π1.1.9** Έκθεση δραστηριοτήτων σχετικές με την έξυπνη εξειδίκευση (Δεκέμβριος 2019) **Π1.1.10** Έκθεση για την εναρκτήρια συνάντηση (kick-off meeting) της Ερευνητικής Υποδομής Calibra (Μάρτιος 2017)	1/1/2017	31/12/2019	122	239599.2	239599.2
ΠΕ 1.2: ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ	**Π1.2.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου (Ιούνιος 2018) **Π1.2.2:** Μία (1) παρουσίαση (Ατομική Φυσική κρούσεων – μέτρηση Rm για άνθρακα) σε διεθνές συνέδριο και δημοσίευση σε πρακτικά με αξιολόγηση (Ιούνιος 2018) **Π1.2.3:** Μία (1) παρουσίαση (Ατομική Φυσική κρούσεων – μέτρηση Rm για άλλα ιόντα – PhD Λαουτάρη) σε διεθνές συνέδριο και δημοσίευση σε πρακτικά με αξιολόγηση (Δεκ. 2019) **Π1.2.4:** Μία (1) δημοσίευση (Ατομική Φυσική κρούσεων – μετρήσεις Rm) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Ιούνιος 2018) **Π1.2.5:** Μία (1) δημοσίευση (Φασματοσκοπία ηλεκτρονίων – υπολογισμός διόρθωσης στερεάς γωνίας για μεταστάθεις καταστάσεις) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκ. 2019) **Π1.2.6:** Μία (1) δημοσίευση (Φασματοσκοπία ηλεκτρονίων – υπολογισμός στερεάς	1/1/2017	31/12/2019	45	142787.2	142787.2

	γωνίας και οπτικών ιδιοτήτων φασματομέτρου παραλλήλων πλακών δύο σταδίων)) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Ιούνιος 2018) **Π1.2.7:** Εγχειρίδιο χρήσης του ηλεκτρονιοβόλου (e-gun) (Δεκ. 2019) **Π1.2.8:** Εγχειρίδιο χρήσης του γωνιομέτρου (Δεκ. 2019) **Π1.2.9:** Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος καταγραφής φασμάτων (Δεκ. 2019) **Π1.2.10:** Τελική Έκθεση Προόδου (Δεκέμβριος 2019)					
ΠΕ 1.3: ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ	**Π1.3.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου (Ιούνιος 2018) **Π1.3.2:** Τελική Έκθεση Προόδου (Δεκέμβριος 2019) **Π1.3.3:** Εγχειρίδιο Λειτουργίας για χρήστες της νέας γραμμής μεταφοράς δέσμης Ιόντων στον Επιταχυντή (r15) (Ιούνιος 2018) **Π1.3.4:** Εγχειρίδιο Λειτουργίας για χρήστες της γωνιομετρικής τράπεζας για μετρήσεις γωνιακών κατανομών (Ιούνιος 2018) **Π1.3.5:** Δημοσίευση σε περιοδικά με αξιολόγηση σχετικά με την εγκατάσταση και λειτουργία του νέου ανιχνευτή σπινθηρισμών (Ιούνιος 2019) **Π1.3.6:** Δημοσίευση σε περιοδικά με αξιολόγηση για τα αποτελέσματα μετρήσεων αντιδράσεων πρωτονικής σύλληψης (p,γ) **Π1.3.7:** Δημοσίευση σε περιοδικά με αξιολόγηση για τα αποτελέσματα μετρήσεων πυρηνικών αντιδράσεων σύλληψης Α-σωματιδίων (α,γ) (Δεκέμβριος 2019) **Π1.3.8:** Πρακτικά Διεθνούς Workshop με αντικείμενο πυρηνικές αντιδράσεις και εκρηκτική πυρηνοσύνθεση (Δεκέμβριος 2019) **ΠΕ1.3.9:** Δημοσίευση σε περιοδικά με αξιολόγηση αντιδράσεων (n,2n) σε ένα από τα ισότοπα 165Er,175Lu,165Ho (Δεκέμβριος 2019) **ΠΕ1.3.10:** Δημοσίευση σε περιοδικά με αξιολόγηση αντιδράσεων σε ισότοπα Ir ή Au (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	105	256767.2	256767.2
ΠΕ 1.4: ΕΝΕΡΓΕΙΑ	**Π1.4.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου (Ιούνιος 2018) **Π1.4.2:** Θάλαμος ακτινοβόλησης υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας (Δεκέμβριος 2019) **Π1.4.3:** Έκθεση καλής λειτουργίας του θαλάμου ακτινοβόλησης (Ιούνιος 2019) **Π1.4.4:** Εγχειρίδιο καλής λειτουργίας του θαλάμου ακτινοβόλησης (Δεκέμβριος 2019) **Π1.4.5:** Αποτελέσματα βελτιστοποίησης Φασματοσκοπίας Οπισθοσκέδασης Rutherford και της μεθόδου Nuclear Reaction Analysis (NRA) για τον ποσοτικό προσδιορισμό ελαφρών στοιχείων (τεχνική έκθεση) (Δεκέμβριος 2018) **Π1.4.6:** Έκθεση καλής λειτουργίας της πειραματικής διάταξης μελέτης επαναφοράς βλαβών από ακτινοβόληση IR2 (Δεκέμβριος 2019) **Π1.4.7**: Εγχειρίδιο καλής λειτουργίας της πειραματικής διάταξης μελέτης επαναφοράς βλαβών από ακτινοβόληση IR2 (Δεκέμβριος 2019) **Π1.4.8:** Mia (1) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκέμβριος 2019) **Π1.4.9:** Τελική Έκθεση Προόδου (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	15	122487.2	122487.2

ΠΕ 1.5: ΥΛΙΚΑ	**Π1.5.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου του ΠΕ (Ιούνιος 2018) **Π1.5.2:** Μία (1) δημοσίευση σχετικά με την ανίχνευση ελαφρών στοιχείων στα δομικά υλικά του JET σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκέμβριος 2019) **Π1.5.3:** Μία (1) δημοσίευση σχετικά με τον προσδιορισμό διαφορικών ενεργών διατομών σε ελαφρά ισότοπα σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκέμβριος 2017) **Π1.5.4:** Μία (1) δημοσίευση σχετικά με την αξιολόγηση/πιστοποίηση (benchmarking) διαφορικών ενεργών διατομών σε ελαφρά ισότοπα σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Ιούνιος 2018) **Π1.5.5:** Μία (1) δημοσίευση σχετικά με τον ποσοτικό προσδιορισμό του νατρίου σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκέμβριος 2017) **Π1.5.6:** Έκθεση Καλής λειτουργίας της ανιχνευτικής διάταξης TOF-ERDA (Δεκέμβριος 2019) **Π1.5.7:** Εγχειρίδιο Λειτουργίας της ανιχνευτικής διάταξης TOF-ERDA για χρήστες (Δεκέμβριος 2019) **Π1.5.8:** Τελική Έκθεση Προόδου του ΠΕ (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	39	91687.2	91687.2
ΠΕ 1.6: ΥΓΕΙΑ - ΦΑΡΜΑΚΑ	**Π1.6.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου του ΠΕ ΧΧ (Ολοκλήρωση: Ιανουάριος 2018) **Π1.6.2:** Μία (1) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση σχετικά με την εφαρμογή της micro-PIXE ή τηςφθορισιμετρίας ακτίνων Χ (XRF) στην διερεύνηση και ποσοτικοποίηση του μηχανισμού πρόσληψης νανοσωματιδίων και αντικαρκινικών ουσιών (Ιούνιος 2019). **Π1.6.3:** Εγχειρίδιο χρήσης των δεσμών νετρονίων και αναλυτικών πειραματικών διατάξεων του επιταχυντή για ανάλυση βιο-ιατρικών δειγμάτων για εξωτερικούς χρήστες. (Ιανουάριος 2018) **Π1.6.4:** Μία (1) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Ιούνιος 2019) για την ανάλυση βιο-ιατρικών δειγμάτων με την τεχνική της ανάλυσης με νετρονική ενεργοποίηση **Π1.6.5:** Μία (1) δημοσίευση σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Ιούνιος. 2018) σχετικά με εφαρμογή της τεχνικής της φθορισιμετρίας ακτίνων Χ (XRF) στην ανάλυση βιολογικών δειγμάτων με ενδιαφέρον στην υγεία. **Π1.6.6:** Έκθεση Άδειας Μεταφοράς μονάδας κυκλοτρονίου στο ΙΠΣΦ (Ιούνιος 2017) **Π1.6.7**¨Έκθεση Επέκτασης Άδειας Ακτινοπροστασίας του επιταχυντή TANDEM για την προσωρινή αποθήκευση του κυκλοτρονίου (Ιούνιος 2017) **Π1.6.8:** Έκθεση Επιχειρηματικού Σχεδίου μονάδας κυκλοτρονίου για ερευνητικές, βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές στο ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (Ιούνιος 2017) **Π1.6.9:** Έκθεση Προέγκρισης Άδειας Κατασκευής μονάδας κυκλοτρονίου στο ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (Δεκέμβριος 2017) **Π1.6.10:** Προκαταρκτική Έκθεση ακτινοπροστασίας μονάδας κυκλοτρονίου στο ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (Δεκέμβριος 2017) **Π1.6.11:** Έκθεση Έγκρισης Άδειας Κατασκευής μονάδας κυκλοτρονίου στο ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (Ιούνιος 2018)	1/1/2017	31/12/2019	27	64087.2	64087.2

	Π1.6.12: Έκθεση Άδειας Λειτουργίας μονάδας κυκλοτρονίου στο ΙΠΣΦ του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (Σεπτέμβριος 2019) **Π1.6.13:** Τελική Έκθεση Προόδου (Δεκέμβριος 2019)					
ΠΕ 1.7: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	**Π1.7.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου (Ιανουάριος 2018) **Π1.7.2:** Εγχειρίδιο χρήσης των αναλυτικών πειραματικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την στοιχειακή ανάλυση αερολύματος με ιοντικές τεχνικές και με την τεχνική φθορισιμετρίας ακτίνων-Χ για εξωτερικούς χρήστες. (Ιανουάριος 2018) **Π1.7.3:** Μία (1) δημοσίευση (Χαρακτηρισμός αερολύματος) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκ. 2018) **Π1.7.4:** Μία (1) παρουσίαση (Τοξικοί ρύποι σε οικοσυστήματα) σε διεθνές συνέδριο και δημοσίευση σε πρακτικά με αξιολόγηση (Δεκ. 2018) **Π1.7.5:** Μία (1) δημοσίευση (Ανίχνευση και διασπορά ρύπων με επιδράσεις στην υγεία) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκ. 2018) **Π1.7.6:** Μία (1) δημοσίευση (Χρήση της Μικροδέσμης, αναλύσεις σε δείγματα αερολύματος) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκ. 2018) **Π1.7.7:** Μία (1) δημοσίευση (Αναλύσεις Φθορισιμετρίας ακτίνων Χ στο περιβάλλον και την υγεία) σε διεθνές περιοδικό με αξιολόγηση (Δεκ. 2018)	1/1/2017	31/12/2019	27	64087.2	64087.2
ΠΕ 1.8: ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ	**Π1.8.1:** Ενδιάμεση Έκθεση Προόδου (Ιούνιος 2018) **Π1.8.2:** Τελική Έκθεση Προόδου (Δεκέμβριος 2019) **Π1.8.3:** Έκθεση Καλής λειτουργίας της πειραματικής διάταξης της εξωτερικής ιοντικής δέσμης (Δεκέμβριος 2019) **Π1.8.4:** Εγχειρίδιο Λειτουργίας της πειραματικής διάταξης της εξωτερικής ιοντικής δέσμης (Δεκέμβριος 2019) **Π1.8.5:** Έκθεση Καλής λειτουργίας του φορητού φασματόμετρου MA-XRF (Δεκ. 2019) **Π1.8.6:** Εγχειρίδιο Λειτουργίας του φορητού φασματόμετρου MA-XRF (Δεκ. 2019) **Π1.8.7:** Μία (1) δημοσίευση σχετικά με την εφαρμογή της διάταξης της εξωτερικής ιοντικής δέσμης στον χαρακτηρισμό αρχαιολογικών/ιστορικών αντικειμένων (Δεκ. 2019) **Π1.8.8:** Μία (1) δημοσίευση σχετικά με την εφαρμογή του φασματόμετρου MA-XRF στον επιτόπιο χαρακτηρισμό αρχαιολογικών/ιστορικών αντικειμένων (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	27	229358.1	229358.1
ΠΕ 1.9: ΔΙΚΤΥΟ ΧΡΗΣΤΩΝ ΕΥ CALIBRA	**Π1.9.1:** Πρακτικά Εκλογής Συντονιστή και 1ης συνάντησης του Δικτύου (Ιούνιος 2017) **Π1.9.2:** Έκθεση Δραστηριοτήτων Δικτύου για το 1ο έτος του έργου (Δεκέμβριος 2017) **Π1.9.3:** Έκθεση Δραστηριοτήτων Δικτύου για το 2ο έτος του έργου (Δεκέμβριος 2018) **Π1.9.4:** Τελική Έκθεση Δραστηριοτήτων Δικτύου (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	3	49087.2	49087.2
ΠΕ 1.10: ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΗ	**Π1.10.1:** Πρακτικά εκλογής Συντονιστή (Ιούνιος 2017) **Π1.10.2:** Πρόγραμμα Δραστηριοτήτων (Έκθεση – Δεκέμβριος 2017) **Π1.10.3**: Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου (Δεκέμβριος 2018) **Π1.10.4:** Πρακτικά θεματικών ημερίδων με συνεργάτες του εξωτερικού (Ιούνιος 2018) **Π1.10.5:** Πρακτικά θεματικών ημερίδων με συνεργάτες του εξωτερικού (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	1	34362.4	34362.4

	Π1.10.6: Τελική Έκθεση Δραστηριοτήτων και Αξιολόγησής τους (Δεκέμβριος 2019)					
ΠΕ 1.11: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΕΧΝΟΓΝΩΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ	**Π.1.11.1:** Πρακτικά Διημερίδας για την προσφορά ιοντικών επιταχυντών για τις θεματικές προτεραιότητας της στρατηγικής έξυπνης εξειδίκευσης ()6/2018 **Π.1.11.2:** Έκθεση αποτελεσμάτων συναντήσεων με θεσμικούς φορείς του παραγωγικού τομέα (ΣΕΒ κλπ) **Π1.11.3:** Εγχειρίδιο Ποιότητας για την πιστοποίηση του Εργαστηρίου Tandem κατά ISO 9000:2015 (Δεκέμβριος 2019) **Π1.11.4:** Έκθεση σκοπιμότητα για την ίδρυση Εργαστηρίου Παροχής Υπηρεσιών Ερευνητικής Υποδομής Calibra (Δεκέμβριος 2017) **Π1.11.5:** Έντυπο – οδηγός αναλυτικών υπηρεσιών (με τιμοκατάλογο) (Ιούνιος 2018)	1/1/2017	31/12/2019	2	13924.8	13924.8
ΠΕ 1.12: ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ	**Π1.12.1:** Έκθεση δραστηριοτήτων εκπαιδευτικής και τεχνολογικής κατάρτισης (Δεκέμβριος 2017) **Π1.12.2:** Έκθεση δραστηριοτήτων εκπαιδευτικής και τεχνολογικής κατάρτισης (Δεκέμβριος 2018) **Π1.12.3:** Έκθεση δραστηριοτήτων εκπαιδευτικής και τεχνολογικής κατάρτισης (Δεκέμβριος 2019) **Π1.12.4:** Εγχειρίδιο χρήσης του Επιταχυντή για εξωτερικούς χρήστες (τελική επικυρωμένη έκδοση) (Δεκέμβριος 2019)	1/1/2017	31/12/2019	1	4962.4	4962.4

ΥΕ2: Αναβάθμιση Επιταχυντού Ιόντων TANDEM	Π2.1: Έκθεση διενέργειας διαγωνισμού (Δεκέμβριος 2019) Π2.2: Έκθεση καλής λειτουργίας (Δεκέμβριος 2019) Π2.3: Εγχειρίδιο λειτουργίας για τους χρήστες (Δεκέμβριος 2019)
ΥΕ3: Αναβάθμιση Ανιχνευτικού Συσ/τος υψηλής διακριτικής ικανότητας HELGA	Π3.1: Έκθεση διενέργειας διαγωνισμού (Ιούνιος 2018) Π3.2: Έκθεση καλής λειτουργίας (Ιούνιος 2018) Π3.3: Εγχειρίδιο λειτουργίας για τους χρήστες (Ιούνιος 2018)
ΥΕ4: Αναβάθμιση Συσ/των Τροφοδοσίας Ανιχ/κών Διατάξεων & Επεξ. Δεδομένων	Π4.1: Έκθεση διενέργειας διαγωνισμού (Δεκέμβριος 2018) Π4.2: Έκθεση καλής λειτουργίας (Δεκέμβριος 2018) Π4.3: Εγχειρίδιο λειτουργίας για τους χρήστες (Δεκέμβριος 2018)
ΥΕ5: Εξοπλισμός Συσ/των Ανίχνευσης Ενεργειακών Φωτονίων με διατάξεις Κρυστάλλων BGO	Π5.1: Έκθεση διενέργειας διαγωνισμού (Ιούνιος 2018) Π5.2: Έκθεση καλής λειτουργίας (Ιούνιος 2018) Π5.3: Εγχειρίδιο λειτουργίας για τους χρήστες (Ιούνιος 2018)
ΥΕ6: Αναβάθμιση Συσ/των Κενού Πειρ. Διατάξεων & Γραμμών Μεταφοράς Δέσμης Ιόντων	Π3.1: Έκθεση διενέργειας διαγωνισμού (Μάρτιος 2018) Π3.2: Έκθεση καλής λειτουργίας (Μάρτιος 2018) Π3.3: Εγχειρίδιο λειτουργίας για τους χρήστες (Μάρτιος 2018)
ΥΕ7: Επέκταση Πειρ. Διάταξης Ανάλυσης Επιφανειών με Συστήμα ToF-ERDA	Π3.1: Έκθεση διενέργειας διαγωνισμού (Ιούνιος 2018) Π3.2: Έκθεση καλής λειτουργίας (Ιούνιος 2018) Π3.3: Εγχειρίδιο λειτουργίας για τους χρήστες (Ιούνιος 2018)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ - ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΟΥ

Πίνακας Β Σύνολο Προϋπολογισμού[1]

ΠΑΚΕΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ	ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ				ΑΝΑΘΕΣΕΙΣ		Κόστος Άλλων Άμεσων Δαπανών[2] ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ 72000 ΕΥΡΩ ΤΑΞΙΔΙΑ ΜΕ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΦΠΑ = 2304.80 € (7)	Σύνολο Έμμεσων Δαπανών[3] (8)	Σύνολο ΠΡΟΣΟΧΗ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΣΤΗΛΩΝ (2)+(4)+(5)+(6)+(7)
		Εκτιμώμενη απασχόληση Τακτικού Προσωπικού (Α/Μ) (1)	Κόστος Τακτικού Προσωπικού ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΦΠΑ (2)	Εκτιμώμενη απασχόληση Έκτακτου Προσωπικού (3)	Κόστος Έκτακτου Προσωπικού (ΜΕ ΦΠΑ 24%) (4)	Κόστος Προμηθειών (ΜΕ ΦΠΑ 24%) (5)	Κόστος Εξωτερικών Υπηρεσιών (6)			
ΠΕ 1.1	Π1.1.1, Π1.1.2 Π1.1.3, Π1.1.4 Π1.1.5, Π1.1.6 Π1.1.7, Π1.1.8 Π1.1.9, Π1.1.10	8	23699.20	114	165600.00	0.00	0.00	50300	44842.92	239599.2
ΠΕ 1.2	Π1.2.1, Π1.2.2 Π1.2.3, Π1.2.4 Π1.2.5, Π1.2.6 Π1.2.7, Π1.2.8 Π1.2.9, Π1.2.10	3	8887.20	42	89400.00	33000.00	0.00	11500	29930.26	142787.2
ΠΕ 1.3	Π1.3.1, Π1.3.2 Π1.3.3, Π1.3.4 Π1.3.5,Π1.3.6 Π1.3.7,Π1.3.8 Π1.3.9,Π1.3.10	3	8887.20	102	226200.00	11000.00	0.00	10680	52870.41	256767.2
ΠΕ 1.4	Π1.4.1, Π1.4.2 Π1.4.3,Π1.4.4 Π1.4.5,Π1.4.6 Π1.4.7,Π1.4.8 Π1.4.9	3	8887.20	12	27600.00	67000.00	0.00	19000	26200.41	122487.2

[1] Η ΔΑ/ΕΦ μπορεί να προβλέπει στην Πρόσκληση ως αποδεκτό ένα ποσοστό μεταφοράς ποσών (το πολύ έως 20% των εγκριθέντων) μεταξύ των ΠΕ και μεταξύ των Κατηγοριών Δαπανών κατά την υλοποίηση του Υποέργου, υπό την προϋπόθεση ότι δεν επηρεάζεται η φύση και οι στόχοι της Πράξης/του Υποέργου

[2] Άλλες Δαπάνες όπως δημοσιότητας, ταξιδιών κλπ θεωρούνται επιλέξιμες εφόσον τεκμηριώνεται η αναγκαιότητά τους για την υλοποίηση του Υποέργου

[3] Σύμφωνα με το Τμήμα Δ: ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ του Τεχνικού Δελτίου Υποέργου

ΠΕ 1.5	Π1.5.1, Π1.5.2 Π1.5.3, Π1.5.4 Π1.5.5, Π1.5.6 Π1.5.7, Π1.5.8	3	8887.20	36	82800.00	0.00	0.00	0	19071.37	91687.2
ΠΕ 1.6	Π1.6.1, Π1.6.2 Π1.6.3, Π1.6.4 Π1.6.5, Π1.6.6 Π1.6.7, Π1.6.8 Π1.6.9, Π1.6.10 Π1.6.11, Π1.6.12 Π1.6.13	3	8887.20	24	55200.00	0.00	0.00	0	13506.83	64087.2
ΠΕ 1.7	Π1.7.1, Π1.7.2 Π1.7.3, Π1.7.4 Π1.7.5, Π1.7.6 Π1.7.7	3	8887.20	24	55200.00	0.00	0.00	0	13495.16	64087.2
ΠΕ 1.8	Π1.8.1, Π1.8.2 Π1.8.3, Π1.8.4 Π1.8.5, Π1.8.6 Π1.8.7, Π1.8.8	3	8887.20	24	55200.00	142082.92	0.00	23188	47937.91	229358.1
ΠΕ 1.9	Π1.9.1, Π1.9.2 Π1.9.3, Π1.9.4 Π1.9.5, Π1.9.6 Π1.9.7	3	8887.20	0	0.00	0.00	0.00	40200	6871.80	49087.2
ΠΕ 1.10	Π1.10.1 Π1.10.2 Π1.10.3	1	2962.40	0	0.00	0.00	0.00	31400	3190.60	34362.4
ΠΕ 1.11	Π.1.11.1, Π.1.11.2 Π.1.11.3, Π.1.11.4 Π.1.11.5	2	5924.80	0	0.00	0.00	0.00	8000	3481.20	13924.8
ΠΕ 1.12	Π1.12.1, Π1.12.2 Π1.12.3, Π1.12.4	1	2962.40	0	0.00	0.00	0.00	2000	1240.60	4962.4
ΣΥΝΟΛΑ		36 **Α/Μ**	106646.40 €	378 **Α/Μ**	757200 €	253052.92 €	0.00 €	196268.00. €	262639.47 €	1313167.32. €
ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΥΠΟΕΡΓΟΥ		863846.40 €				253052.92 €				

Πίνακας Β.1 Ομάδας Έργου – Τακτικό (Υφιστάμενο) Προσωπικό

	(Α)	(Β)	(Γ)	(Δ)	(Ε)	(ΣΤ)	(Ζ)	(Η)	(Θ)[4]
α/α	**Ονοματεπώνυμο**[5]	**Ειδικότητα**	**Τρόπος απασχόλησης:** **α) Ποσοστό (…%) του συμβ. χρόνου** **β) υπερωριακή απασχόληση** **γ) πρόσθετη απασχόληση** **Αναφέρεται η σχετική νομική βάση**	**Εργασίες – Καθήκοντα- Ρόλος**	**Πακέτα Εργασίας /Παραδοτέα**	**Χρονική διάρκεια (από-έως)**	**Εκτιμώμενη απασχόληση σε Α/Μ**	**Μικτό Μηνιαίο Κόστος**	**Κόστος** (€)
1	Σ. Χαρισόπουλος	Ερευνητής Α', Δ/ντής ΙΠΣΦ	γ) Πρόσθετη απασχόληση 4.5 Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Υπεύθ., Πράξης Συντονιστής ΠΕ 1.1,1.3, Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.1 ως 1.12	1.1 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	4.5	5089,02	22900.59
2	Α. Καρύδας	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Συντονιστής ΠΕ 1.8, Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.1,1.5,1.6, 1.7, 1.9 ως 1.12	1.1,1.5,1.6, 1.7, 1.8, 1.9 εως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	3133,22	3133,22
3	Α. Λαγογιάννης	Ερευνητής Β'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 2 Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Συντονιστής ΠΕ 1.5, Μέλος Ομάδας 1.1 ως 1.12	1.1 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	2	2625,54	5251.08
4	Π. Δημητρίου	Ερευνητής Β'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.3	1.3	01.01.2017-31.12.2019	0.5	2879,38	1439,69
5	Χ. Μάρκου	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0.5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας 1.1,1.8, 1.11,1.12	1.1,1.8, 1.11,1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3590,16	1795,08

[4] (Θ) = (Ζ) x (Η)

[5] Συμπληρώνεται προαιρετικά το ονοματεπώνυμο των στελεχών/μελών της Ομάδας Έργου και υποχρεωτικά το ονοματεπώνυμο του Υπεύθυνου του Υποέργου.

7	Κ. Μεργιά	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Συντονίστρια ΠΕ 1.4, Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.1, 1.5, 1.9 ως 1.12	1.1, 1.4, 1.5, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2636,92	2636,92
8	Γ. Αποστολόπουλος	Ερευνητής Β'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.4, 1.5, 1.9 ως 1.12	1.4, 1.5, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2288,00	2288,00
9	Ι. Σταματελάτος	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Συντονιστής ΠΕ 1.6, Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.1,1.9 ως 1.12	1.1, 1.6, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	3722,94	3722,94
10	Κ. Ελευθεριάδης	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Συντονιστής ΠΕ 1.7, Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.1, 1.9 ως 1.12	1.1,1.7, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3209,00	1604,50
11	Α. Σαββίδου	Ερευνητής Β'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.6,1.7,1.9 ως 1.12	1.6,1.7,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3383,66	1691,83
12	Ε. Ντότσικα	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.5,1.7,1.8,1.9 ως 1.12	1.5,1.7,1.8,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3283,19	1641,60
13	Ρ. Βλαστού-Ζαννή	Καθηγήτρια	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Πρόεδρος Γεν. Συν/σης, Μέλος Ομ. ΠΕ 1.1,1.3,1.5, 1.9 - 1.12	1.1,1.3,1.5, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	4006,77	2003,39
14	Μ. Κόκκορης	Αναπλ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.3,1.5,1.8,1.9 ως 1.12	1.3,1.5,1.8,1.8, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	2937,31	1468,66
15	Ν. Πατρώνης	Επικ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.3,1.5,1.9 ως 1.12	1.3,1.5,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	2550,40	1275,20
16	Ε. Καλέφ	Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.6,1.9 ως 1.12	1.6,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3728,67	1864,34
17	Σ. Στούλος	Αναπλ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.3,1.5,1.7,1.9 ως 1.12	1.3,1.5,1.7,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2990,12	2990,12

18	Θ. Μερτζιμέκης	Επικ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.2,1.3,1.5, 1.9 ως 1.12	1.2,1.3,1.5, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	2322,96	1161,48
19	Θ. Τζούρος	Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Συντ.ΠΕ 1.2, Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.1,1.2,1.9 ως 1.12	1.1,1.2,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	3782,97	3782,97
20	Μ. Μπενής	Επικ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.2,1.9 ως 1.12	1.2,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2450,00	2450,00
21	Χ. Τσαμπάρης	Ερευνητής Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.7,1.9 ως 1.12	1.7,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3087,65	1543,83
22	Ν. Καλλίθρακας - Κοντός	Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.7,1.9 ως 1.12	1.7,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3483,40	1741,70
23	Α. Ιωαννίδου	Αναπλ. Καθηγήτρια	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.7,1.9 ως 1.12	1.7,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	3006,88	3006,88
24	Κ. Αυγουστάκης	Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.6,1.9 ως 1.12	1.6,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	3323,12	3323,12
25	Ε. Παπαευθυμίου	Αναπλ. Καθηγήτρια	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.7,1.9 ως 1.12	1.7,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	3096,88	3096,88
26	Ν. Ζαχαριάς	Αναπλ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.8,1.9 ως 1.12	1.8,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2947,00	2947,00
27	Χ. Μπρεκουλάκη	Ερευνήτρια Γ'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.8,1.9 ως 1.12	1.8,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2591,44	2591,44
28	Κ. Ζαχαριάδου	Αναπλ. Καθηγητής	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.3, 1.12	1.3, 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	2625,54	1312,77
29	Β. Αργυροπούλου	Καθηγήτρια	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.8,1.9 ως 1.12	1.8,1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	3133,22	1566,61
30	Π. Δημητράκης	Ειδικό Τεχνικό	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.4,1.5, 1.11,1.12	1.4,1.5, 1.11,1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2513,93	2513,93

		Επιστ/κο Προσωπικό							
31	Β. Ιωάννου - Σουγλερίδης	Ερευνητής Β'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 1Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.4,1.5, 1.11,1.12	1.4,1.5, 1.11,1.12	01.01.2017-31.12.2019	1	2793,25	2793,25
32	Κ. Ποτηριάδης	ΕΛΕ Α'	γ) Πρόσθετη απασχόληση 0,5Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Μέλος Ομάδας ΠΕ 1.5,1.7, 1.9 ως 1.12	1.5,1.7, 1.9 ως 1.12	01.01.2017-31.12.2019	0.5	2819,90	1409,95
33	Μ Σημαντηράκης	Διοικητικός - Τεχνικός	γ) Πρόσθετη απασχόληση 4Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Διαχείριση Προμηθειών	ΠΕ 1.1-1.12	01.01.2017-31.12.2019	4	1813,32	7253,28
34	Γ. Καρέλη	Διοικητικός - Τεχνικός	γ) Πρόσθετη απασχόληση 4Α/Μ (Αριθμ. 81986/ΕΥΘΥ712, Ν4386/2016)	Γραμματειακή Υποστήριξη	ΠΕ 1.1-1.12	01.01.2017-31.12.2019	4	1611,05	6444,20
						Σύνολο	36	**Σύνολο**	106646.44

Πίνακας Β.2 Ομάδας Έργου – Έκτακτο (Νέο) Προσωπικό

α/α	Ειδικότητα	Σχέση Απασχόλησης	Τρόπος πρόσληψης/ Νομική Βάση	Πακέτα Εργασίας / Παραδοτέα	Χρονοδιάγραμμα (από –έως)	Χρόνος (μήνες)	Κόστος (€)
1	1 Πτυχιούχος Θετικών Επιστημών ΑΕΙ/ Πολυτεχνικής Σχολής/ΤΕΙ με masters	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.1	1/1/2017-31/12/2019	30	60000
2	1 Πτυχιούχος Θετικών Επιστημών ΑΕΙ/ Πολυτεχνικής Σχολής/ΤΕΙ	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.1	1/1/2017-31/12/2019	24	33600
3	1 Πτυχιούχος ΑΕΙ/ΤΕΙ Οικονομικής Διαχείρισης (μερικής απασχόλησης)	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.1	1/1/2017-31/12/2019	24	30000
4	1 Πτυχιούχος ΑΕΙ/ΤΕΙ Υποστήριξης δράσεων επικοινωνίας (μερικής απασχόλησης)	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.1	1/1/2017-31/12/2019	24	30000
5	1 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.2	1/1/2017-31/12/2019	18	41400

6	1 Πτυχιούχος Θετικών Επιστημών ΑΕΙ/ Πολυτεχνικής Σχολής/ΤΕΙ με masters	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.2	1/1/2017-31/12/2019	24	48000
7	1 Πτυχιούχος Θετικών Επιστημών ΑΕΙ/ Πολυτεχνικής Σχολής/ΤΕΙ με masters	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.3	1/1/2017-31/12/2019	24	48000
8	1 Πτυχιούχος Θετικών Επιστημών ΑΕΙ/ Πολυτεχνικής Σχολής/ΤΕΙ με masters	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.3	1/1/2017-31/12/2019	24	48000
9	1 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.3	1/1/2017-31/12/2019	30	75000
10	1 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.3	1/1/2017-31/12/2019	24	55200
11	0,5 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.4	1/1/2017-31/12/2019	24	27600
12	1,5 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.5	1/1/2017-31/12/2019	24	82800
13	1 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.6	1/1/2017-31/12/2019	24	55200
14	1 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.7	1/1/2017-31/12/2019	24	55200
15	1 Μεταδιδακτορικός Ερευνητής	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΠΕ 1.8	1/1/2017-31/12/2019	24	55200
16	1 Τεχνικός - Τεχνίτης	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΥΕ 2	1/1/2017-31/12/2019	6	6000
17	1 Τεχνικός - Τεχνίτης	Σύμβαση Μίσθωσης Έργου	Ν.2621/1998 Ν.4386/2016	ΥΕ 2	1/1/2017-31/12/2019	6	6000
						Σύνολο	757200

Πίνακας Β.3 Υφιστάμενων Υποδομών – Υλικών μέσων (εάν απαιτείται)

α/α	Περιγραφή	Συμμετοχή σε Πακέτα Εργασίας	Μονάδα Μέτρησης	Ποσότητα	χρονικό διάστημα διάθεσης στο έργο	Κόστος Απόσβεσης (€)	Παρατηρήσεις
					Σύνολο	€	

Πίνακας Β.4 Προμηθειών (Νέων Υποδομών – Υλικών μέσων)

α/α	Περιγραφή	Συμμετοχή σε Πακέτα Εργασίας	Διαδικασία Ανάθεσης/ θεσμικό πλαίσιο	Μονάδα Μέτρησης	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Κόστος (€)	Παρατηρήσεις
1	Ολοκληρωμένο Σύστημα data acquisition περιλαμβάνει 5-καναλικό ενισχυτή και 4-καναλικο DSP card + software για χρήση με τον υπάρχοντα position sensitive detector	ΠΕ 1.2	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	8000	8000	
5	γωνιόμετρο ακριβείας (1/100 της μοίρας) με control σε 1-φ azimuthal angle, 2-tilt angles και ένα XY translation για μετρήσεις ZAPS channeling	ΠΕ 1.2	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	20000	20000	
6	Οπτική ράγα με ελεγχόμενη ηλεκτρονικά θέση δρομέα για μετρήσεις χρόνου ζωής ατομικών καταστάσεων μετασταθών καταστάσεων	ΠΕ 1.2	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	5000	5000	
						Μερικά Σύνολα	33000	
1	Σωλήνες κενού με κεραμικό διαχωρισμό	ΠΕ 1.3	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	8000	8000	
2	Θάλαμος κενού για τη διάταξη μέτρησης γωνιακών κατανομών	ΠΕ 1.3	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	3000	3000	
						Μερικά Σύνολα	11000	

1	Θάλαμος ακτινοβόλησης- με θύρες για οπτική, μηχανική και ηλεκτρική πρόσβαση στον στόχο (δείγμα)	ΠΕ 1.4	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	18000	18000	
2	Σύστημα ακτινοβόλησης σε χαμηλές θερμοκρασίες - θερμοκρασιακό εύρος 4 – 600 K	ΠΕ 1.4	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	19000	19000	
3	Σύστημα ακτινοβόλησης σε υψηλές θερμοκρασιές θερμοκρασιακού εύρους 500 – 1600 K	ΠΕ 1.4	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	18000	18000	
5	Κάμερα υπέρυθρου για μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του δείγματος κατά την ακτινοβόληση	ΠΕ 1.4	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	12000	12000	
						Μερικά Σύνολα	67000	
1	Ανιχνευτής ακτίνων – Χ ενεργού επιφάνειας 50 mm^2	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	8977.60	8977.60	
2	Ανιχνευτής ακτίνων – Χ ενεργού επιφάνειας 30 mm^2	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	11349.72	11349.72	
3	Ανιχνευτής ακτίνων – Χ ενεργού επιφάνειας 150 mm^2	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	16670.56	16670.56	
5	Μηχανική τράπεζα μεταφοράς μεγάλης ταχύτητας	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	10205.20	10205.20	
6	Ελεγκτής του συστήματος σάρωσης του MA-XRF	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	31248.00	31248.00	
9	Πηγή μικροεστίασης ακτίνων - Χ	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	25891.20	25891.20	
10	Σύστημα φακού εστίασης τύπου polycapillary	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	12896.00	12896.00	
11	Φακός εστίασης μικροδέσμης	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	11080.64	11080.64	
13	Ανιχνευτής ακτίνων – Χ τύπου Silicon Drift	ΠΕ 1.8	Ν.4412/2016 Ν 3886/2010	Τεμάχιο	1	13764.00	13764.00	
						Μερικά Σύνολα	142082.92	

ΟΛΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ 253082.92

Πίνακας Β.5 Εξωτερικών Υπηρεσιών

α/α	Περιγραφή	Συμμετοχή σε Πακέτα Εργασίας	Διαδικασία Ανάθεσης / θεσμικό πλαίσιο	Μονάδα Μέτρησης	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Κόστος (€)	Παρατηρήσεις
						Σύνολο	€	

Πίνακας Β.6 Άλλων Δαπανών (π.χ. ταξιδιών)

ΣΥΝΟΛΟ ΆΛΛΩΝ ΑΜΕΣΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ = 196268.00 εκ των οποίων 72000 Ευρώ για ταξίδια.

Πίνακας Β.7 Έμμεσες Δαπάνες

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟ ΕΜΜΕΣΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ = 262639.47

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΡΑΞΗΣ

Στην Ελλάδα, η ζήτηση της τοπικής επιστημονικής κοινότητας για δέσμες ταχέων ιόντων είναι εκπληκτικά υψηλή: μια ρεαλιστική εκτίμηση του αναγκαίου χρόνου "χρόνου δέσμης" για την εξυπηρέτηση των τοπικών ερευνητικών ομάδων για ακτινοβολήσεις με δέσμες ιόντων ανέρχεται σε έναν συνολικό αριθμό περισσότερων των 4000 ωρών από τις οποίες τουλάχιστον το 70% αναφέρονται σε εφαρμογές που σχετίζονται με περιβαλλοντικές μελέτες, την ανάλυση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς, την ανάπτυξη νέων υλικών και αισθητήρων, τη δοκιμή νέων ανιχνευτών σε ακτινοβολήσεις με φορτισμένα σωμάτια ή νετρόνια. Σε αυτά τα νούμερα, ο χρόνος δέσμης που χρειάζεται για την παραγωγή ραδιοϊσοτόπων για την έρευνα στην καρδιολογία, την νευρολογία, και ειδικότερα στην ογκολογία δεν έχει ληφθεί υπόψη. Μέχρι σήμερα, ένα μεγάλο μέρος (περίπου 2000 ώρες/έτος) της ζήτησης ταχέων δεσμών ιόντων (ως επί το πλείστον για τη βασική έρευνα της πυρηνικής φυσικής και τις εφαρμογές στην πολιτιστική κληρονομιά και της επιστήμης υλικών) καλύπτεται από το Εργαστήριο Επιταχυντή Tandem (TAL) μια μοναδική ερευνητική υποδομή στην Ελλάδα. Η προτεινόμενη πράξη έρχεται να καλύψει την αυξημένη "ζήτηση" σε υπηρεσίες που στηρίζονται στη χρήση ιοντικών δεσμών σε εθνικό επίπεδο.

Οι επιταχυντές σωματιδίων έχουν κερδίσει την εκτίμηση και το θαυμασμό του ευρέος κοινού, κυρίως επειδή συνδέονται με μεγάλες και συναρπαστικές ανακαλύψεις: Η περίπτωση του CERN είναι το πιο λαμπρό παράδειγμα. Η πλειοψηφία των Ευρωπαίων γνωρίζει εξάλλου ότι οι επιταχυντές σωματιδίων χρησιμοποιούνται ευρέως για τη θεραπεία του καρκίνου και, ως εκ τούτου, η φήμη των επιταχυντών αυξάνεται σταθερά. Ωστόσο, λίγοι μόνο πολίτες, ως επί το πλείστον φυσικοί, είναι εξοικειωμένοι με το βάθος και την έκταση της χρήσης των επιταχυντών σε μια πληθώρα εφαρμογών, εκτός της καθαρής επιστήμης, καθώς και τις τεράστιες δυνατότητές τους για καινοτομία. Στην ενότητα Α.3, αναφέραμε τους περισσότερους από τους τομείς που θα επωφεληθούν από τη λειτουργία του ΕΥ CALIBRA μέσω της λήψης εξαιρετικά εξειδικευμένων και αναλυτικών υπηρεσιών.

Στη συνέχεια παραθέτουμε ένα συνοπτικό κατάλογο των δυνατοτήτων μεταφοράς τεχνολογίας που μπορούν να προσφερθούν σε ορισμένους βασικούς τεχνολογικούς τομείς μέσω του CALIBRA: 1)Εμφυτεύσεις ιόντων σε α) ημιαγωγούς και β) μέταλλα με σκοπό την σκλήρυνση των υλικών που χρησιμοποιούνται σε κοπτικά εργαλεία, τη μείωση της τριβής και την παρασκευή βιολογικών υλικών για ιατρικά εμφυτεύματα. 2)Τεχνικές ανάλυσης με δέσμες ιόντων για τον έλεγχο του περιβάλλοντος σε βιομηχανικό επίπεδο (για τη μελέτη ιδιοτήτων των υλικών και την παρακολούθηση των επιπέδων μόλυνσης). 3) Παραγωγή ραδιοϊσοτόπων που χρησιμοποιούνται από τη μέθοδο PET και διεξαγωγή σχετικής Έρευνας και Ανάπτυξης (R&D). 4)Νετρόνια για την εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου, την ανίχνευση ορυκτών και τον έλεγχο βιομηχανικών διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένου του τσιμέντου και μεταλλικών απορριμμάτων, ανάλυση ιχνοστοιχείων σε βιολογικά και περιβαλλοντικά υλικά και αναλύσεις ροής σε σωλήνες. 5)Νετρόνια για μη καταστροφικούς ελέγχους σε πυρηνικά απόβλητα και την εσωτερική ασφάλεια.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονίσουμε τις δυνατότητες που θα προσφέρει στην Ελλάδα η εγκατάσταση και η εκμετάλλευση του δωρηθέντος κυκλοτρονίου των 17 MeV: Μέχρι σήμερα, η παραγωγή των ραδιονουκλιδίων με επιταχυντές φαίνεται να έχει ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον. Μια σαφής απόδειξη για αυτό είναι η συνεχής αύξηση του αριθμού των κυκλοτρονίων σε όλον τον κόσμο. Πολλά από αυτά είναι μηχανές χαμηλής ενέργειας (E <20 MeV) αφιερωμένες κυρίως στην

παραγωγή των ραδιοϊχνηθετών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο PET, όπως το FDG. Ταυτόχρονα, βρίσκονται ήδη υπό ανάπτυξη νέοι ιχνηθέτες και καινούρια ραδιοφάρμακα για τη διάγνωση και τη θεραπεία συγκεκριμένων ασθενειών, τα οποία αναμένεται να είναι διαθέσιμα μέσα στην επόμενη δεκαετία. Ως εκ τούτου, η ζήτηση για παραγωγή ραδιοϊσοτόπων από επιταχυντές θα αυξηθεί γεωμετρικά. Ένα παράδειγμα μιας μελλοντικής εφαρμογής του PET έγκειται στη διάγνωση των νευροεκφυλιστικών διαταραχών, οι οποίες, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνουν και τη νόσο του Alzheimer. Υπό αυτές τις συνθήκες, η δημιουργία μιας μονάδας GMP μέσα στο ίδιο το εργαστήριο του Κυκλοτρονίου του CALIBRA θα παρέχει μια σταθερή βάση για νέες υπηρεσίες, τις οποίες η προτεινόμενη ΕΥ θα είναι σε θέση να παρέχει στην εθνική αγορά.

Το έργο CALIBRA συγκροτείται σε επτά (7) βασικά Υποέργα (ΥΕ) εκ των οποίων μόνο το πρώτο (ΥΕ 1) κατηγοριοποιείται σε Πακέτα Εργασίας, δώδεκα (12) σε αριθμό (ΠΕ 1.1 έως ΠΕ 1.12). Απο τα πακέτα αυτά, 4 εστιάζουν σε δράσεις δικτύωσης, 2 σε βασική έρευνα στην ατομική και πυρηνική φυσική, 1 αφορά στη διαχείρη και συντονισμό του έργου. Τα υπόλοιπα 5 εστιάζουν στην Ενέργεια (ΠΕ 1.4), τα Υλικά (ΠΕ 1.5), Υγεία-(Ραδιο)Φάρμακα (ΠΕ 1.6), το Περιβάλλον (ΠΕ 1.7) και τον Πολιτισμό (ΠΕ 1.8). Και οι 5 αυτοί τομείς είναι προτεραιότητες στην Εθνική Στρατηγική Εξυπνης Εξειδίκευσης.

Αναμενόμενα οφέλη / ωφελούμενος πληθυσμός:
α) Βασική έρευνα και Εφαρμογές σε επίπεδο αριστείας, β) Ακρως εξειδικευμένες υπηρεσίες για τον Πραγωγικό Τομέα, γ) Συμμετοχή στην εκπαίδευση Μεταπτυχιακών φοιτητών, δ) Εδραίωση ενός επιστημονικού περιβάλλοντος πολυθεματικής επιστημονικής έρευνας, ε) Προσέλκυση χρηματοδότησης από ανταγωνιστικά προγράμματα της ΕΕ, στ) Δημιουργία Κρίσιμης Μάζας, ζ) Ανοιχτή Υποδομή σε χρήστες από την Ελλάδα και το εξωτερικό, η) Μοναδικότητα υποδομής στην Ελλάδα. Στόχος του έργου κατά τη λήξη του είναι οι χρήστες της υποδομής να φτάσουν τους 100. Εμμέσως ο συνολικός επιστημονικός πληθυσμός θα αγγίξει τα 200 άτομα, αν προστεθούν και οι ανάξκες του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΤΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (Access Policy)

Η υποδομή CALIBRA θα είναι ανοιχτή σε κάθε ερευνητή που ενδιαφέρεται να πραγματοποιήσει μετρήσεις ή να κάνει χρήση των υπηρεσιών της. Δύο φορές το χρόνο η Διεθνής Συμβουλευτική Επιτροπή θα συνεδριάζει για να αξιολογεί τις ερευνητικές προτάσεις των χρηστών, οι οποίες θα υποβάλλονται μέσω του ιστότοπου της υποδομής. Οι χρήστες θα μπορούν να παρουσιάσουν την πρότασή τους στην επιτροπή. Με βάση την αξιολόγηση θα δίνεται προτεραιότητα στη χρήση του επιταχυντή. Σ' αυτήν την διαδικασία θα λαμβάνεται υπόψη η τυχόν εμπλοκή μεταπτυχιακών φοιτητών, ή αναγκών του παραγωγικού τομέα. Όλοι οι χρήστες της υποδομής θα καλούνται να υποβάλλουν στην επιτροπή έκθεση για τυχόν προηγούμενες μετρήσεις τους στη υποδομή.