



Χαρτογράφηση της Μικροδομής Μαρμάρων Ελλαδικού Χώρου: Νέα Μεθοδολογία Αποτύπωσης της Προέλευσης και Δομικής Εξέλιξης των Υλικών Πολιτισμικής Κληρονομιάς



**Μπελλές Λουκάς, Δημητρίου Χρήστος,
Ιωάννης Δεληγιαννάκης**



**Εργαστήριο Φυσικοχημείας Υλικών και Περιβάλλοντος Τμήμα
Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
<http://nanomaterials.physics.uoi.gr/>**

**20 Μαρτίου 2023
2^η Ημερίδα Κέντρου Έρευνας
Υλικών Πολιτισμικής Κληρονομιάς**

- ❑ Στόχοι του προγράμματος «Περιφερειακή Αριστεία»
- ❑ Μεθοδολογίες
- ❑ Σύνδεση φυσικής και δομής υλικών
- ❑ Καινοτόμα προσέγγιση ταυτότητας μαρμάρων
- ❑ Συμπεράσματα - Προοπτικές

Παραδοτέα προγράμματος

- *Π2.2: Πλήρης δομικός και χημικός χαρακτηρισμός υλικών Πολιτισμικής Κληρονομιάς*

1. Αναβάθμιση του εξοπλισμού του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων με το σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτινών-Χ της Bruker D8 Advance.

2. Χαρτογράφηση της μικροδομής μαρμάρων ελλαδικού χώρου. Δημιουργία βάσης δεδομένων για την προέλευση των μαρμάρων με τη βοήθεια φυσικοχημικών τεχνικών (XRD, EPR).

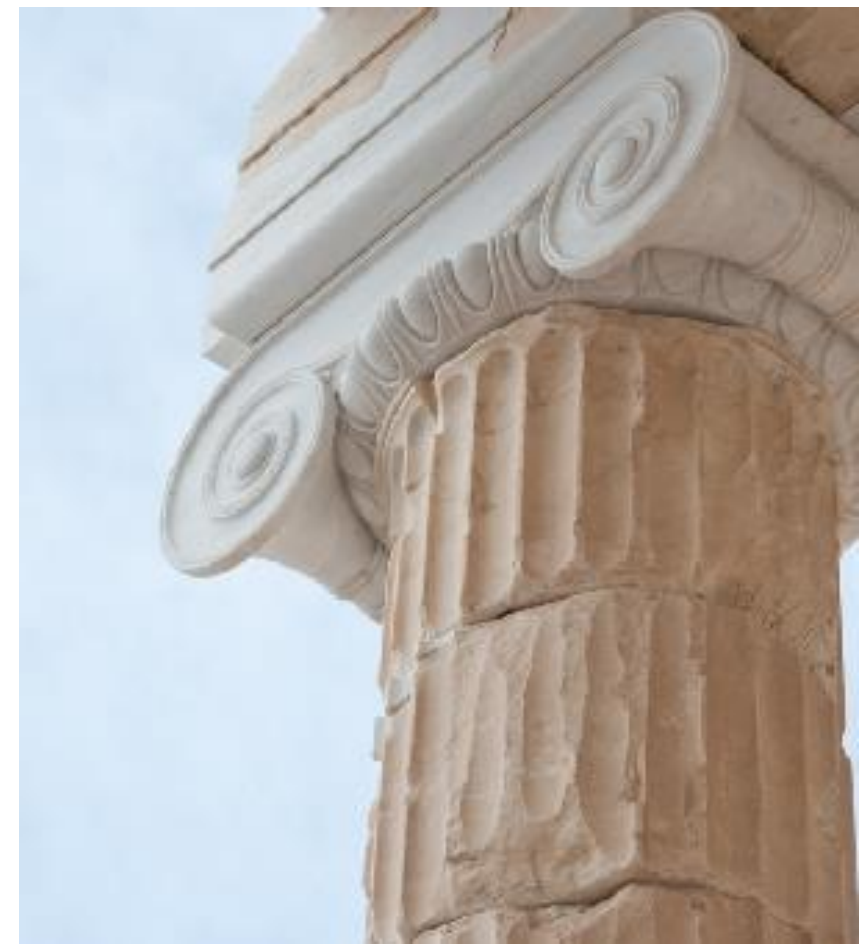
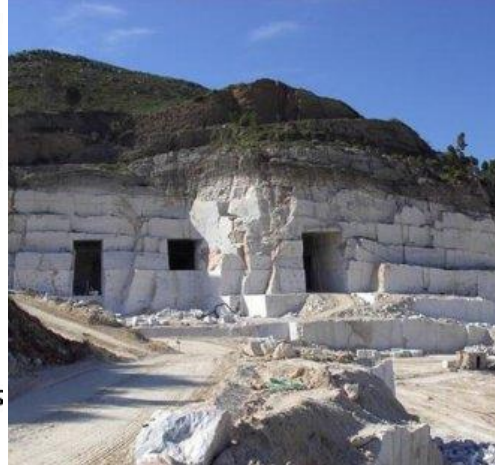
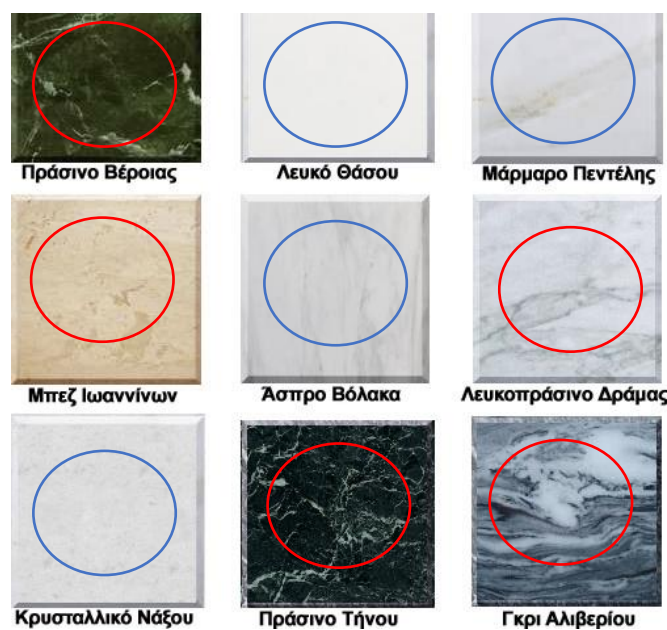
3. Αναβάθμιση της έρευνας μέσω της πολιτισμικής σκοπιάς για ποικίλα υλικά και διάχυση των αποτελεσμάτων στην κοινωνία.

4. Άμεση συνεισφορά στην ανάδειξη της πολιτισμικής κληρονομιάς της Ελλάδας.

Μάρμαρα στον ελληνικό Πολιτισμό



Σύνδεση Ιστορίας Φυσικής και Δομής Υλικών



Μάρμαρα Ελλαδικού Χώρου

Δομικά Υλικά

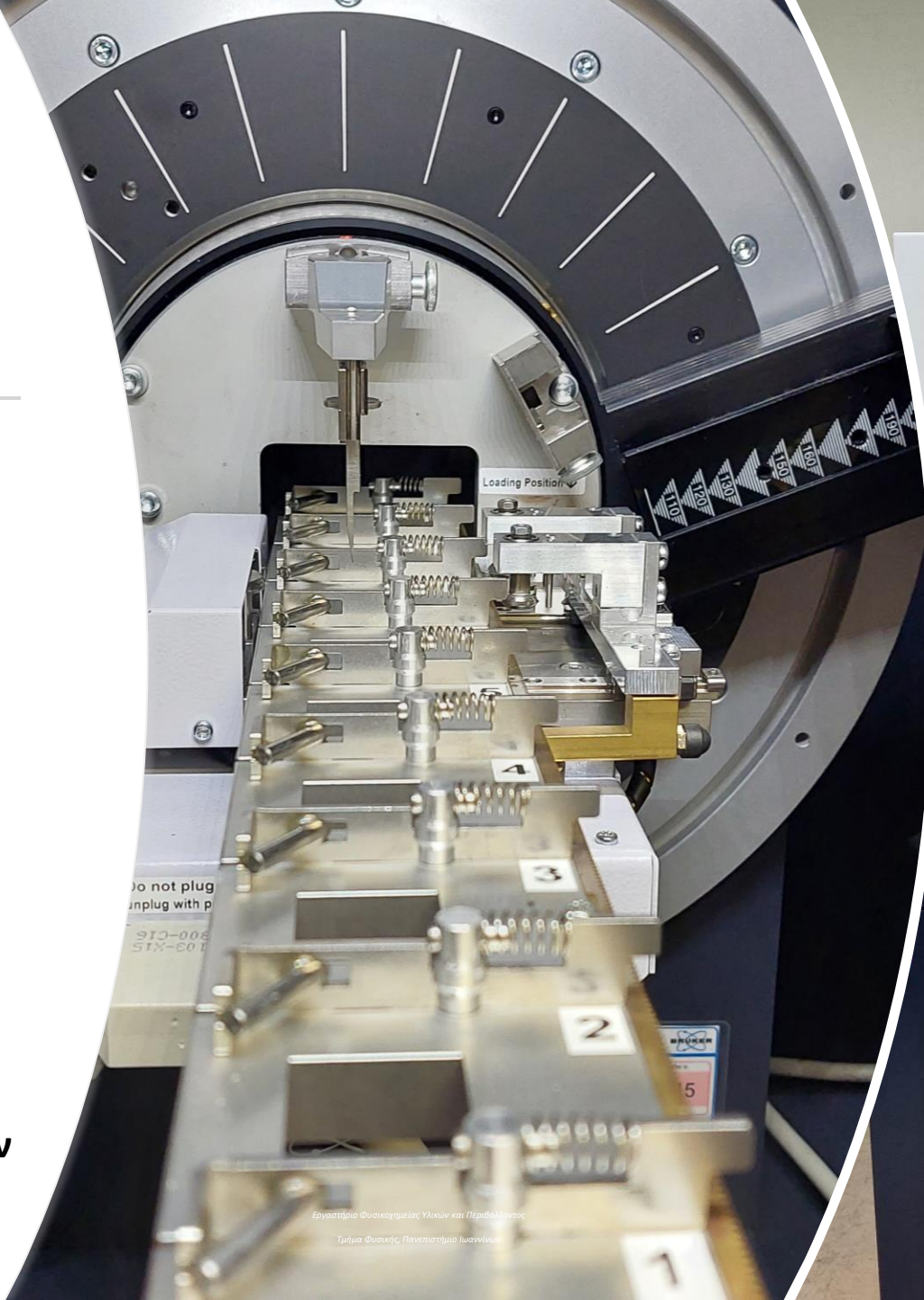
Πολιτισμικοί
μάρτυρες



Αναβάθμιση XRD & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΑΡΙΣΤΕΙΑ

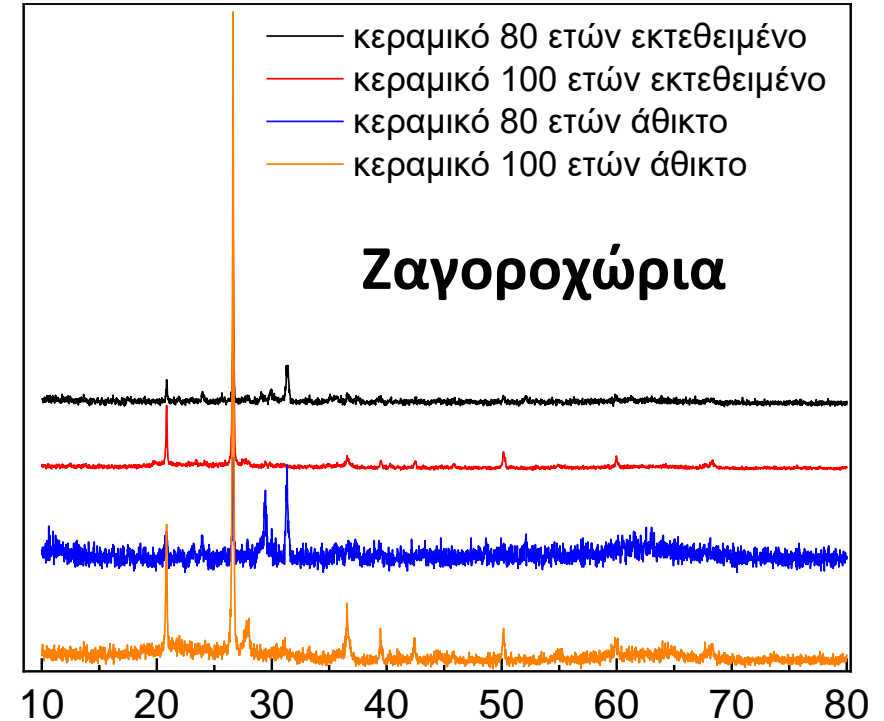
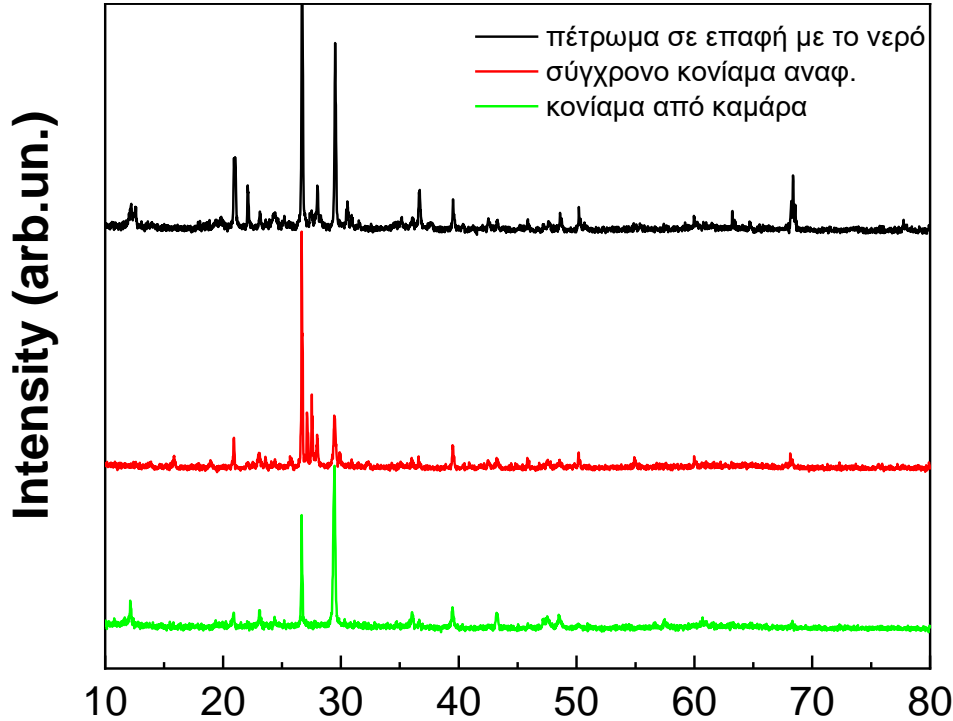
Περιθλασίμετρο Ακτινών-Χ
(X-Ray Diffraction, XRD)
D8 Advance της Bruker

- Καλύτερη ακρίβεια μετρήσεων και ανάλυση
- Ταχύτερη συλλογή δεδομένων
- Δυνατότητα εισαγωγής πολλών δειγμάτων στο όργανο
- Προσβάσιμο από όλα τα μέλη ΔΕΠ του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

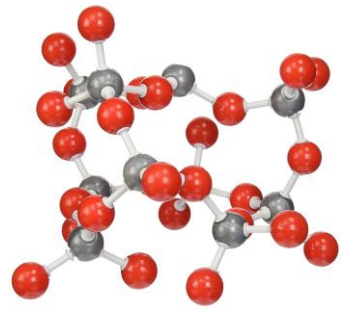


Ευρύτερη Μεθοδολογία XRD

- Κεραμικά
- Δομικοί Λίθοι
- Δομικά Υλικά
- Μάρμαρα

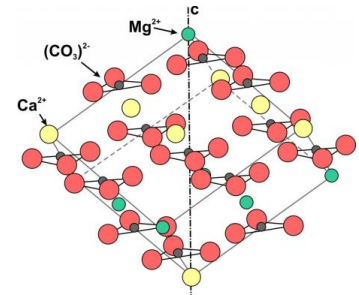


Ζαγοροχώρια



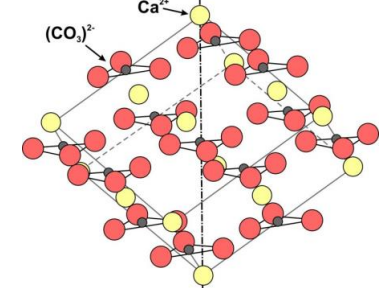
Quartz

2θ (degrees)



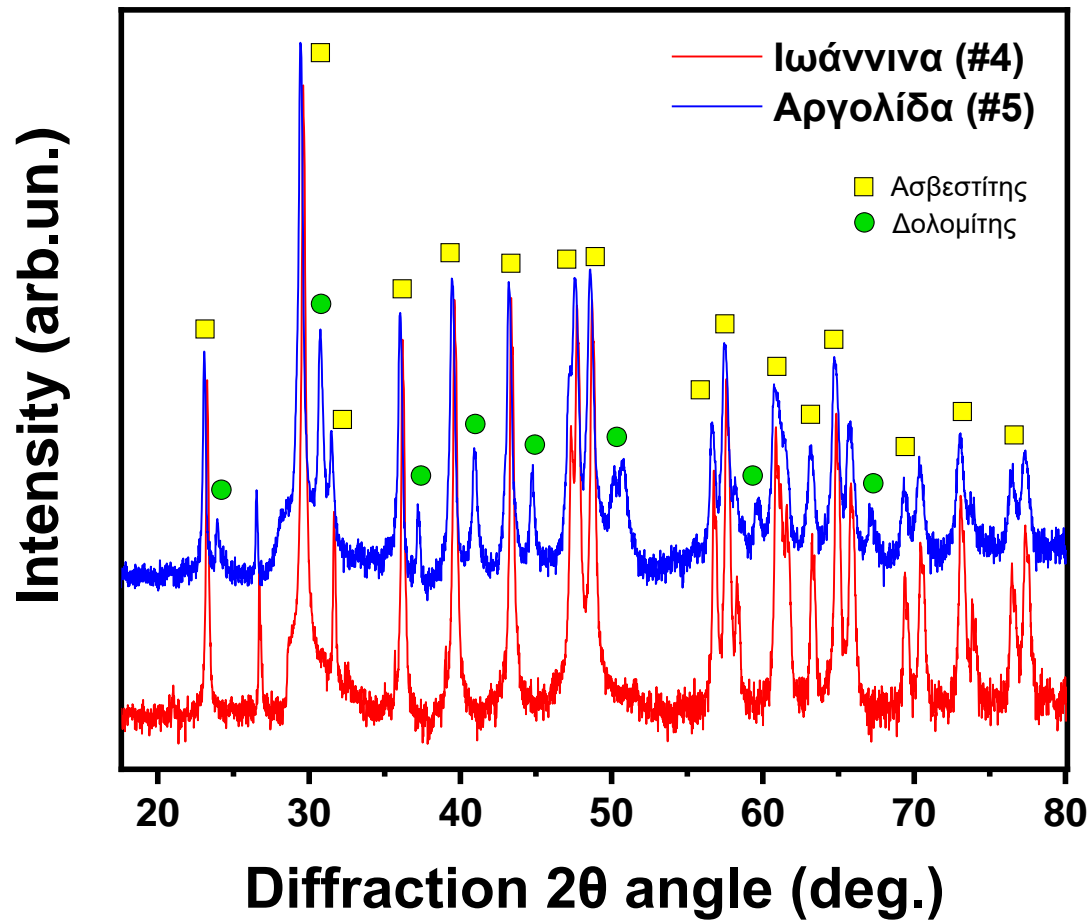
Δολομίτης

2θ (degrees)

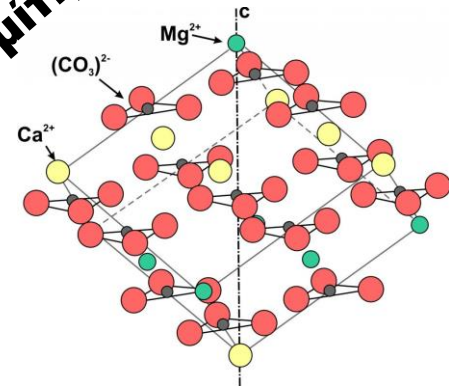


Ασβεστίτης

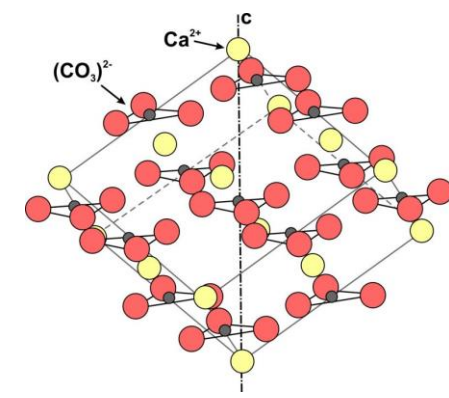
Περίθλαση Ακτίνων-Χ (XRD)



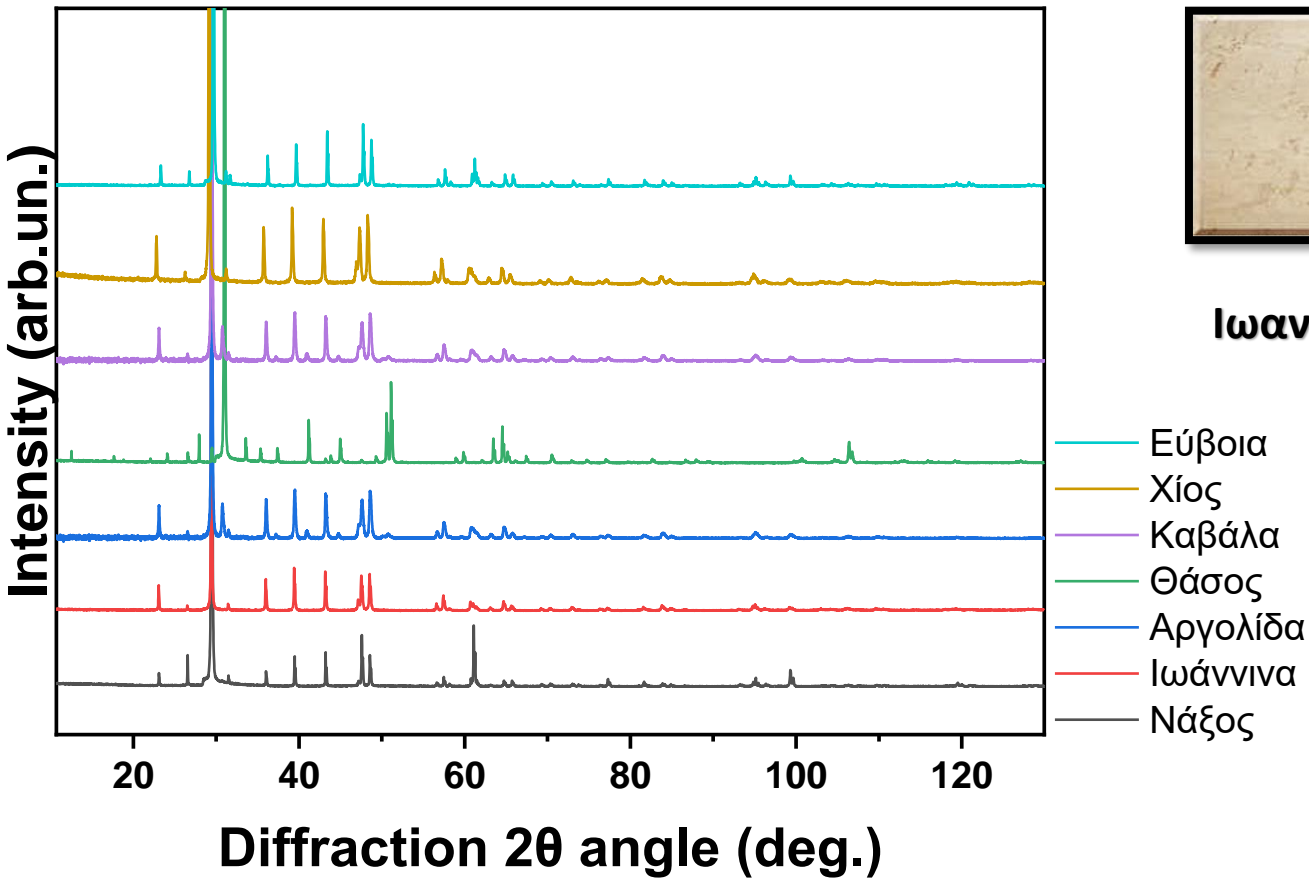
Δολομίτης



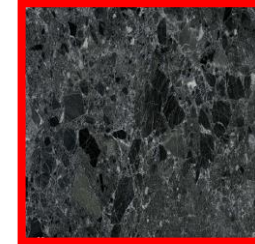
Ασβεστίτης



Πληροφορία για μάρμαρα από XRD



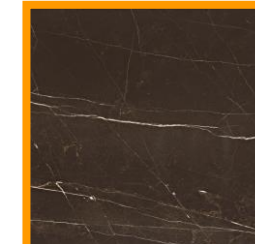
Ιωαννίνων



Αργολίδος



Καβάλας



Χίου

— Εύβοια
 — Χίος
 — Καβάλα
 — Θάσος
 — Αργολίδα
 — Ιωάννινα
 — Νάξος

- Αναγνωρίζει τη δομή μαρμάρου
- Αναλογία φάσεων

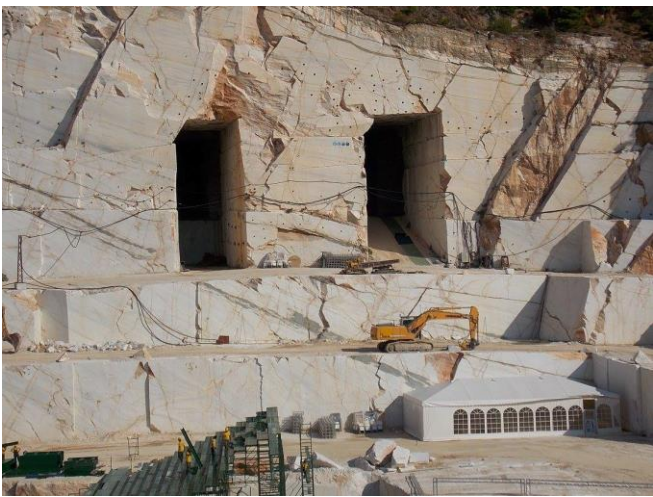
Marble materials	d_{XRD} (μm)		Phase composition (%)	
	Calcite CaCO ₃	Dolomite CaMg(CO ₃) ₂	Calcite CaCO ₃	Dolomite CaMg(CO ₃) ₂
Marble-2 (Naxos) as-prepared	1.91 ± 0.17	–	95 ± 0.5	–
Marble-5 (Argolida) as-prepared	1.34 ± 0.12	2.63 ± 0.61	83 ± 0.5	15 ± 0.5
Marble-14 (Euboea) as-prepared	1.38 ± 0.16	–	93 ± 0.5	–
Marble-4 (Ioannina) as-prepared	1.90 ± 0.13	–	98 ± 0.5	–
Marble-9 (Thassos) as-prepared	0.97 ± 0.11	1.91 ± 0.16	3 ± 0.5	96 ± 0.5
Marble-12 (Kavala) as-prepared	1.24 ± 0.14	–	97 ± 0.5	–
Marble-13 (Chios) as-prepared	1.91 ± 0.12	–	98 ± 0.5	–

Η μεθοδολογία XRD δεν αρκεί...

Ωστόσο

Η τεχνική XRD δεν αρκεί για πλήρη δομική πληροφορία και γεωγραφική χαρτογράφηση.

Αναπτύξαμε μία νέα μεθοδολογία για να γίνει η επίτευξη του στόχου.



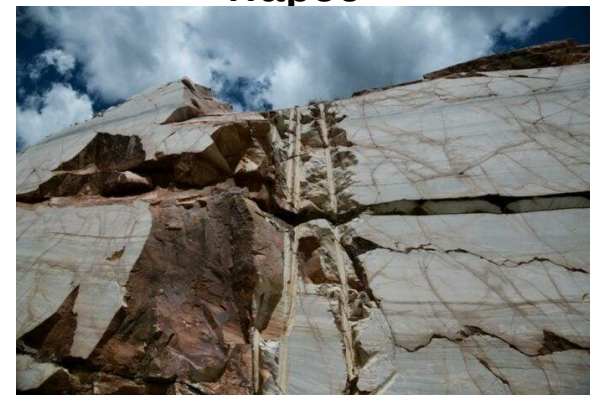
Διονύσου Αττικής



Πάρου



Θάσου



Αργολίδος



Νάξου



Σύνδεση Φυσικής και Δομής Υλικών

XRD
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ
ΑΡΙΣΤΕΙΑ



Περίθλαση Ακτινών-Χ
(X-Ray Diffraction, XRD)

Εύκολα
κατανοητή
πληροφορία

Πολύ ακριβής,
πλήρης
πληροφορία
... αλλά δυσνόητη



Γεωμετρικά
δομικά
χαρακτηριστικά

Ηλεκτρονική
δομή

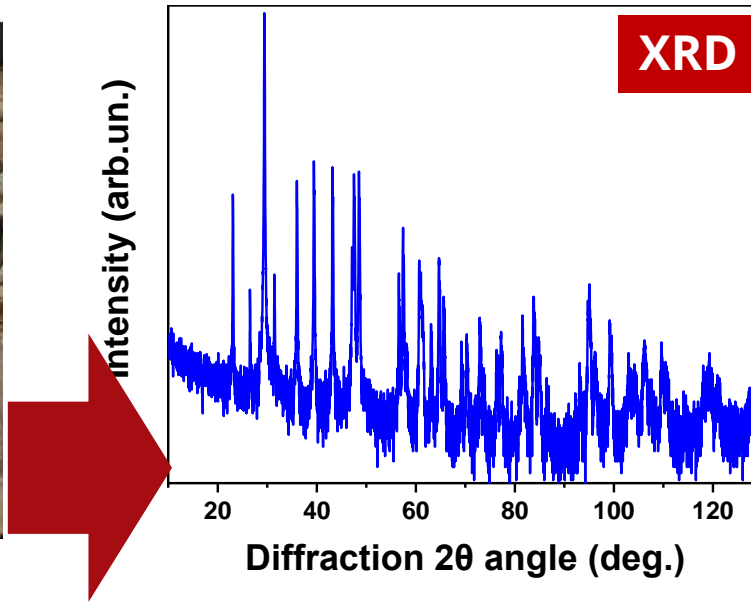
EPR
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΥΟΙ



Φασματοσκοπία Ηλεκτρονικού Παραμαγνητικού
Συντονισμού (Electron Paramagnetic Resonance, EPR)



Καινοτόμα Προσέγγιση



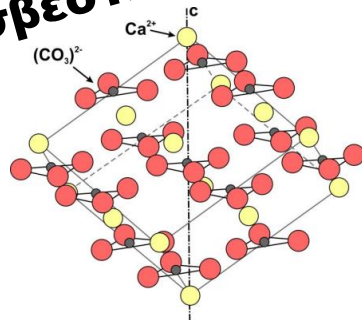
ή

Πεντέλης

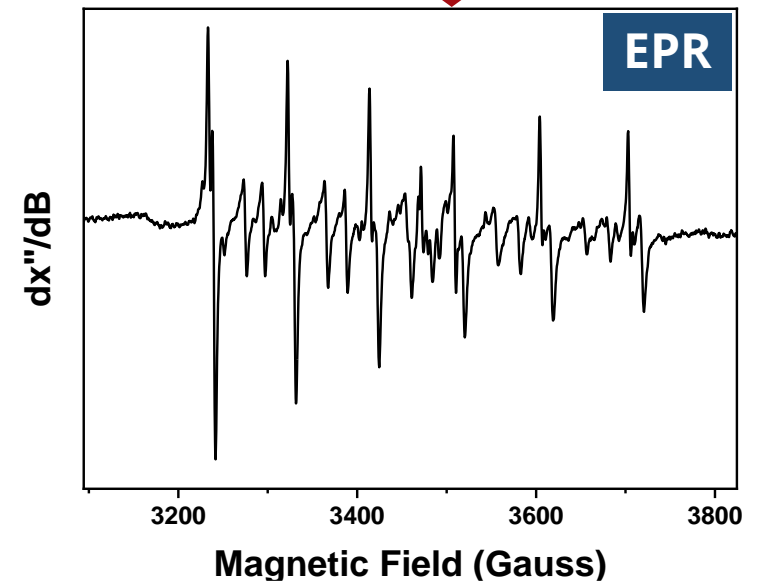
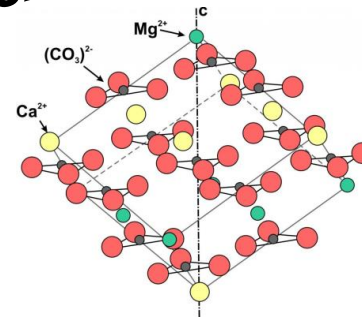
Πάρου

Μάχη Λαπιθών και Κενταύρων
από ναό του Ηφαίστου
στο Θησείο.

Ασβεστίτης

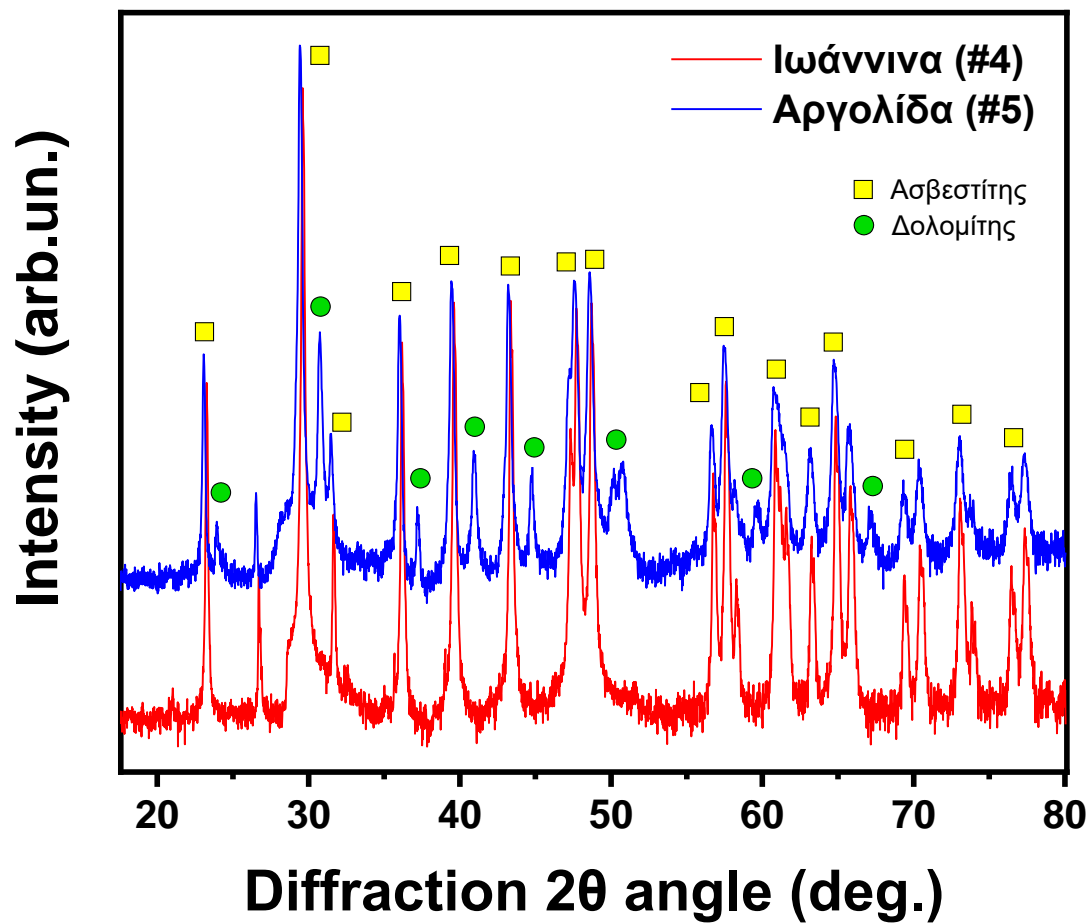


Δολομίτης

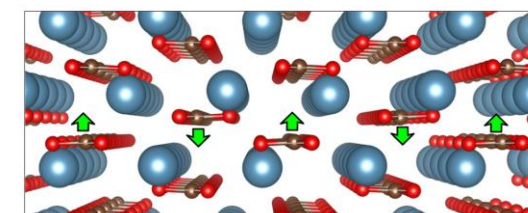
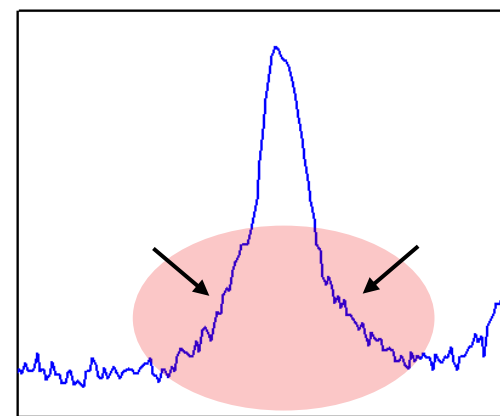
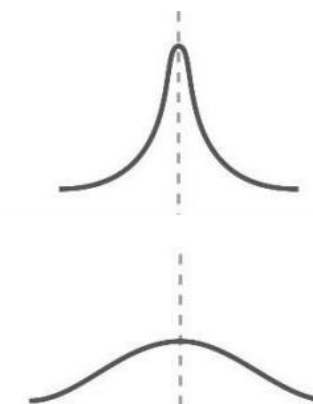
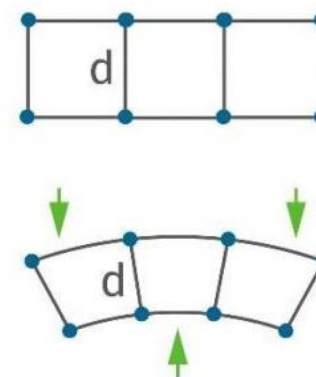


ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

***ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ (XRD/EPR) ΓΙΑ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΜΗΣ-ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ-ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ
ΜΑΡΜΑΡΩΝ***

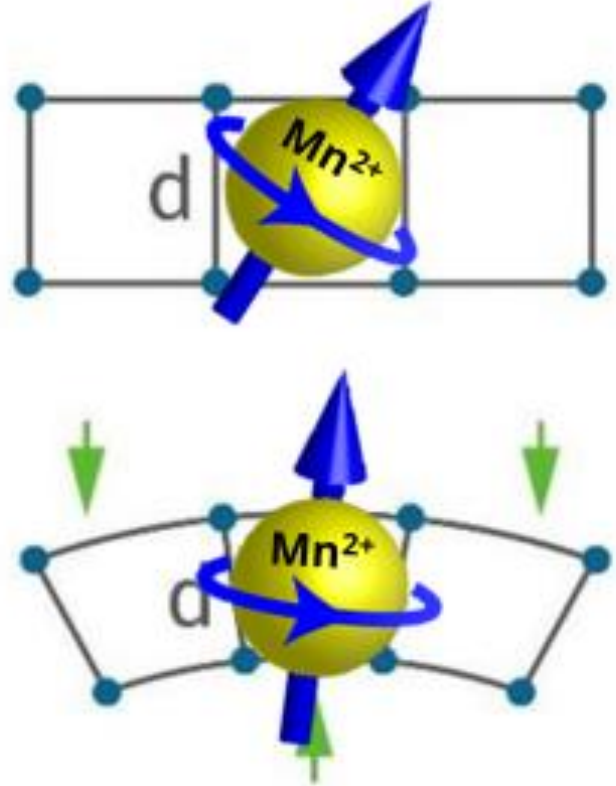


Βαθμός παραμόρφωσης (microstrain, ϵ_0)

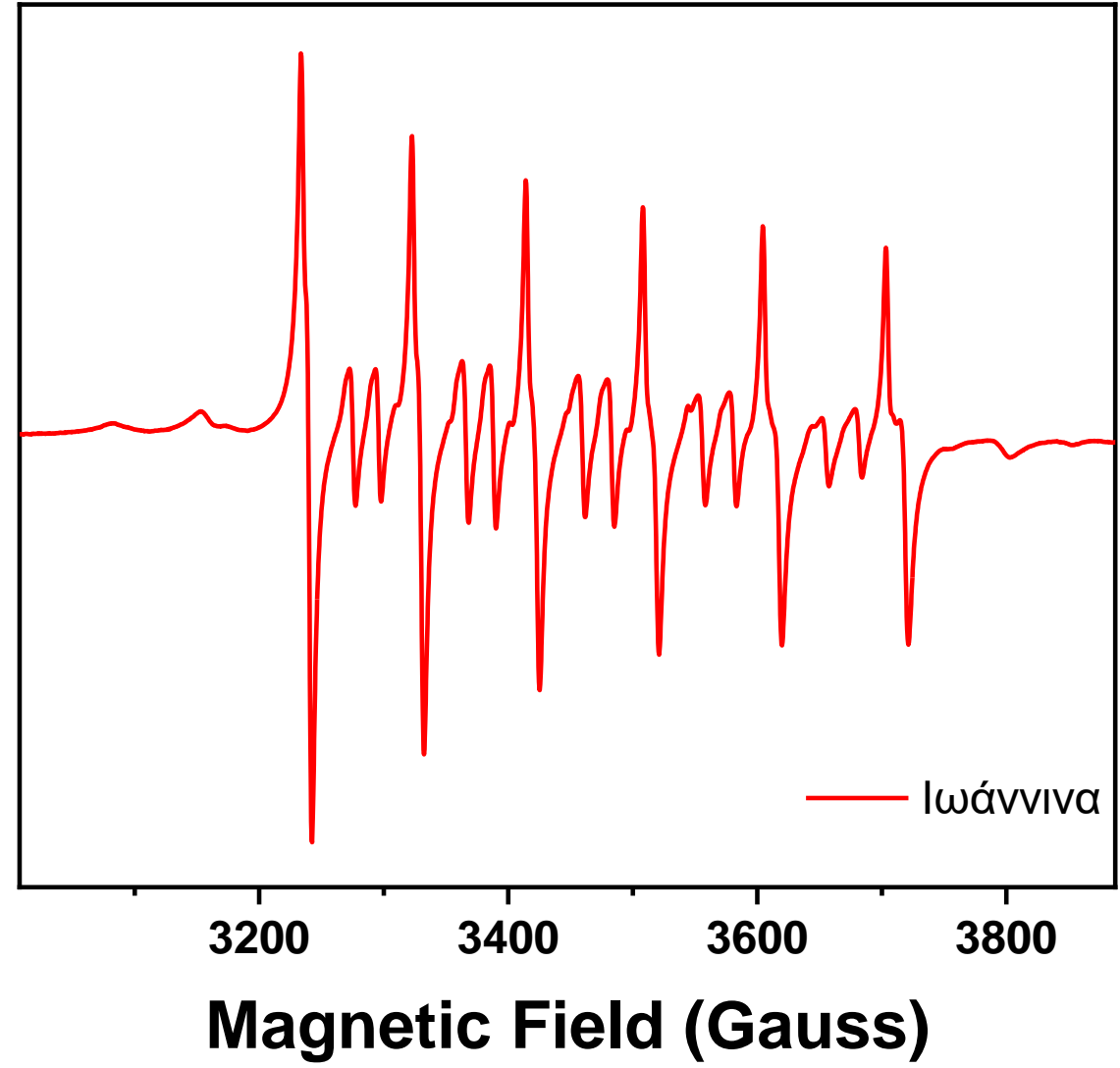


ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΟ ΜΙΚΡΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

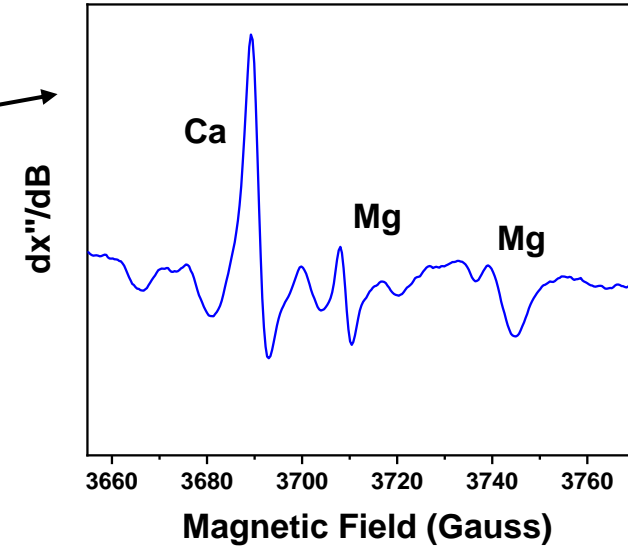
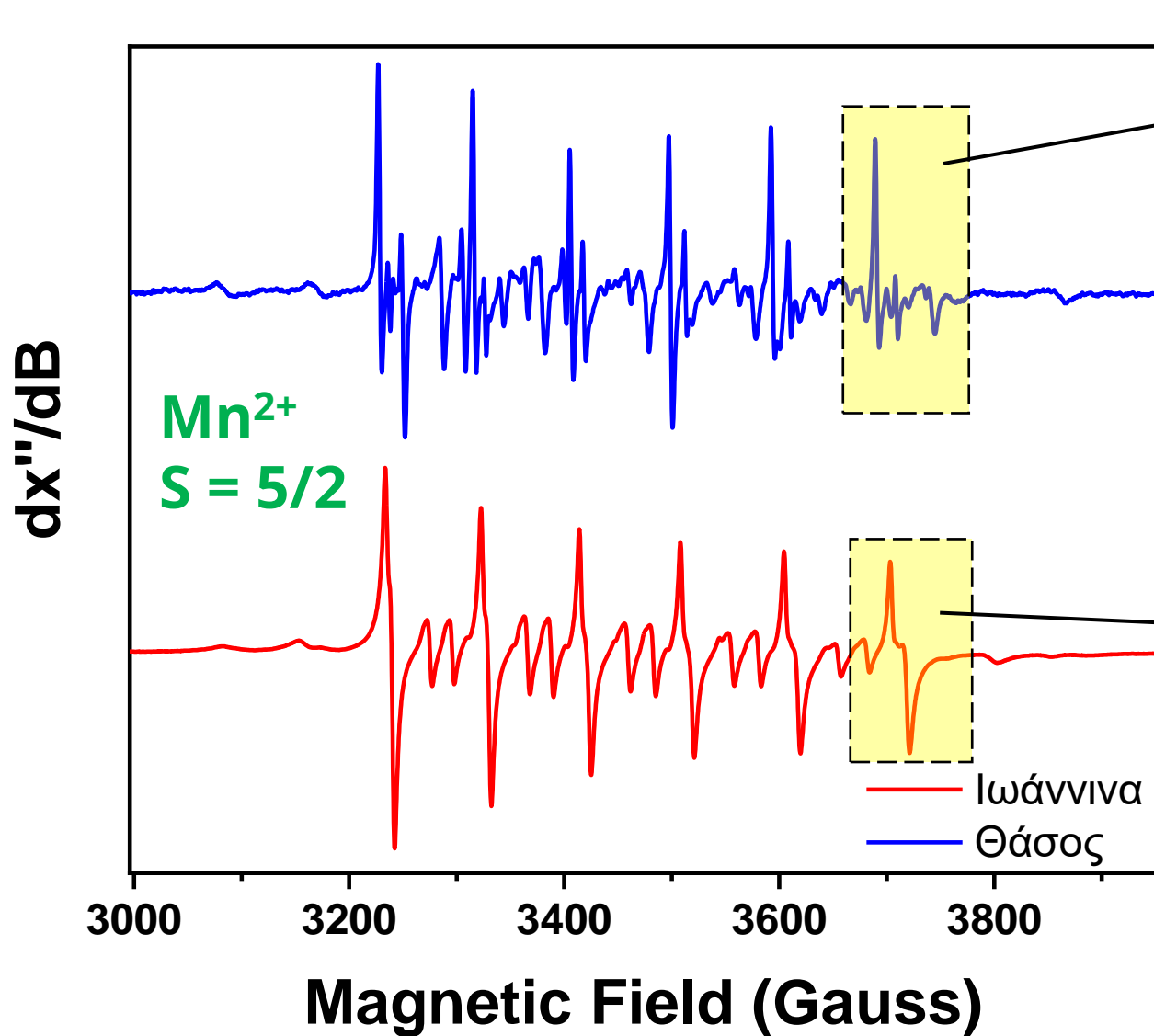
Mn^{2+}
 $S = 5/2$



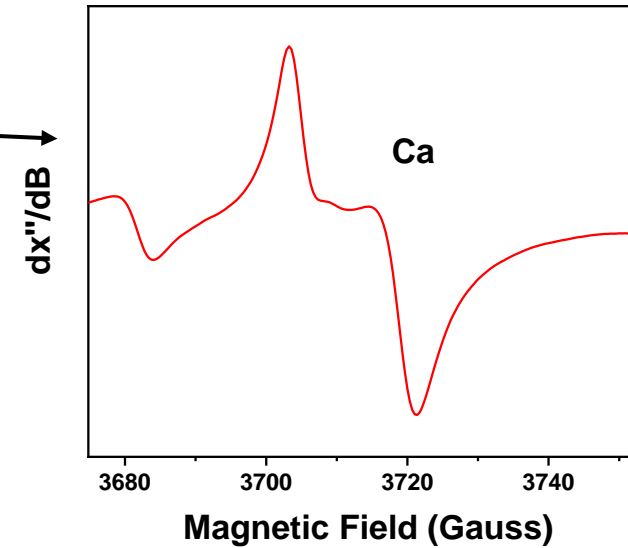
dx''/dB



Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΟΥ ΜΙΚΡΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Δολομίτης
 $CaMg(CO_3)_2$

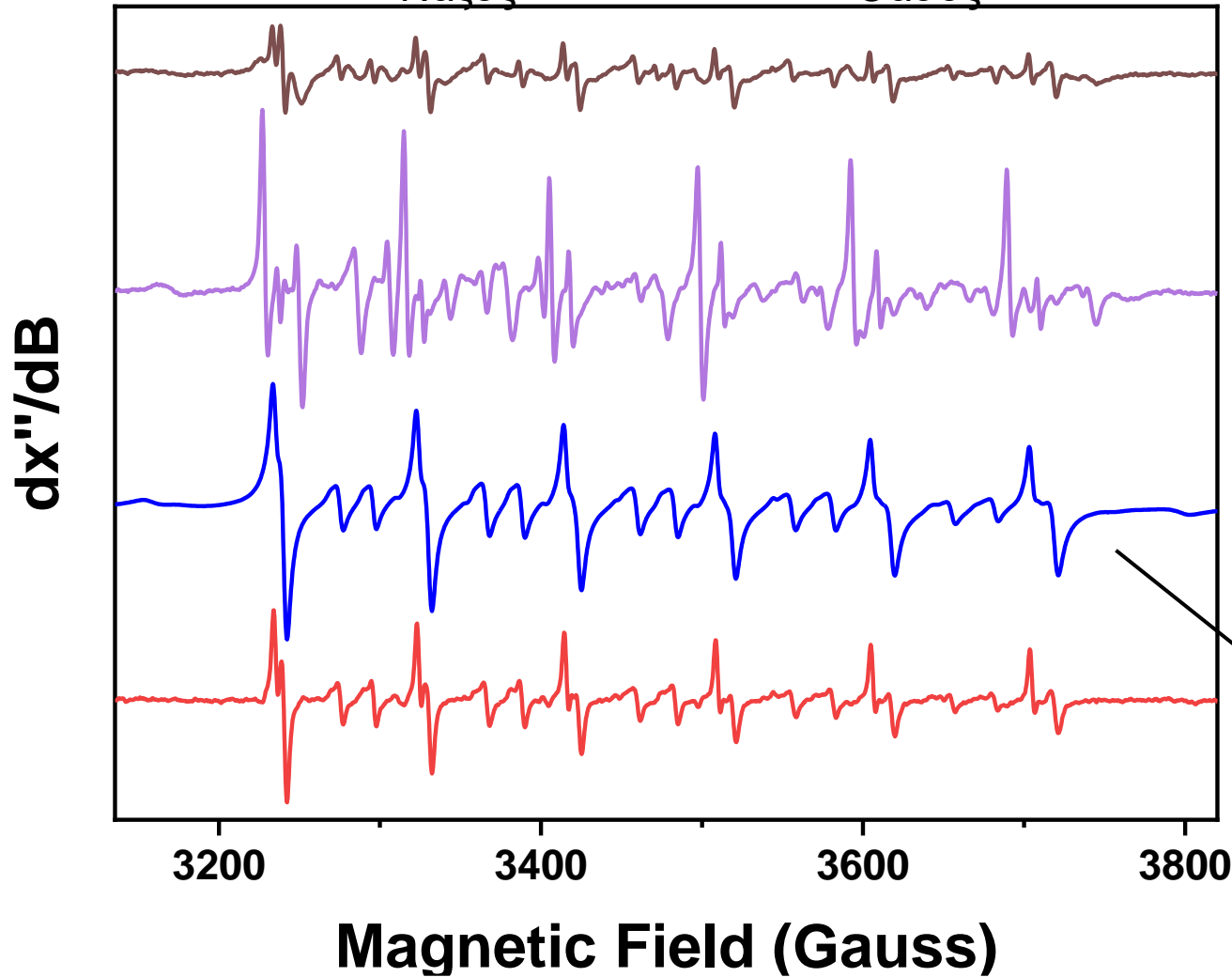


Ασβεστίτης
 $CaCO_3$

Schindler, P., Ghose, S. Electron paramagnetic resonance of Mn^{2+} in dolomite and magnesite, and Mn^{2+} distribution in dolomites. *The American Mineralogist* 1970, 55 (11-12): 1889-1896.

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

— Εύβοια — Ιωάννινα
— Νάξος — Θάσος

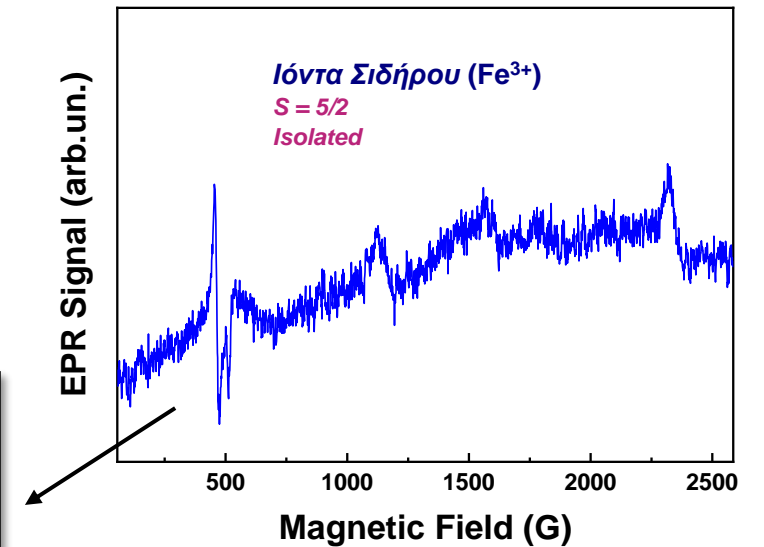


Η κβαντομηχανική Χαμιλτονιανή του συστήματος για το μαγγάνιο Mn^{2+} ($S = 5/2$):

$$\hat{H} = \frac{\mu_B}{h} (\vec{B} \cdot g \cdot \vec{S}) + \vec{S} \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{S} + \vec{S} \cdot \mathbf{A} \cdot \vec{I}$$



Ιωαννίνων

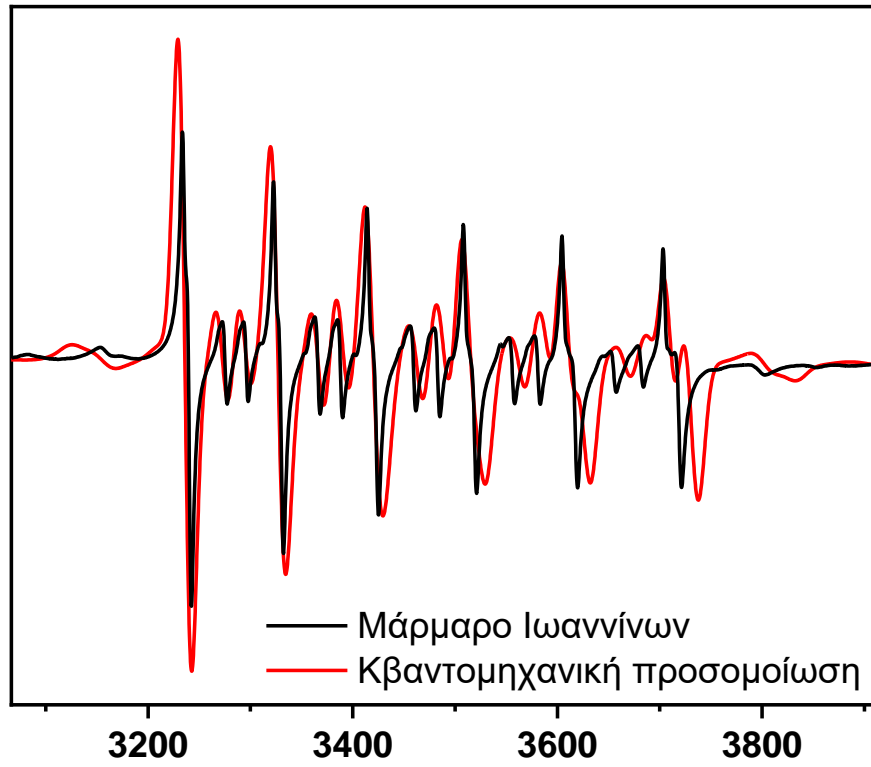


Παράδειγμα των δομικών τεχνικών

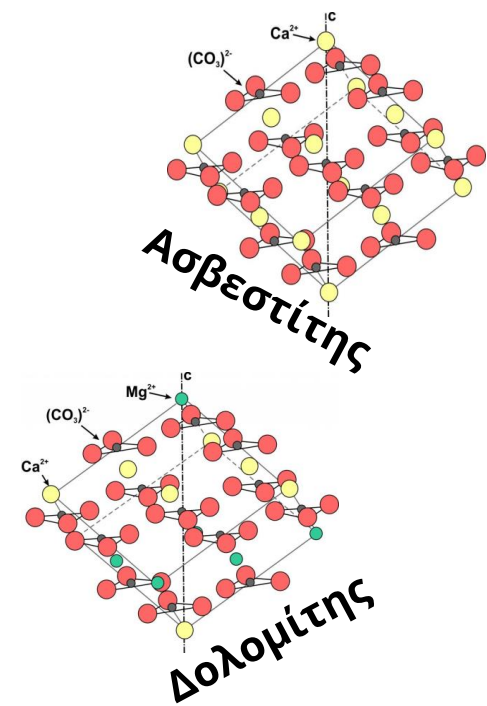


EPR

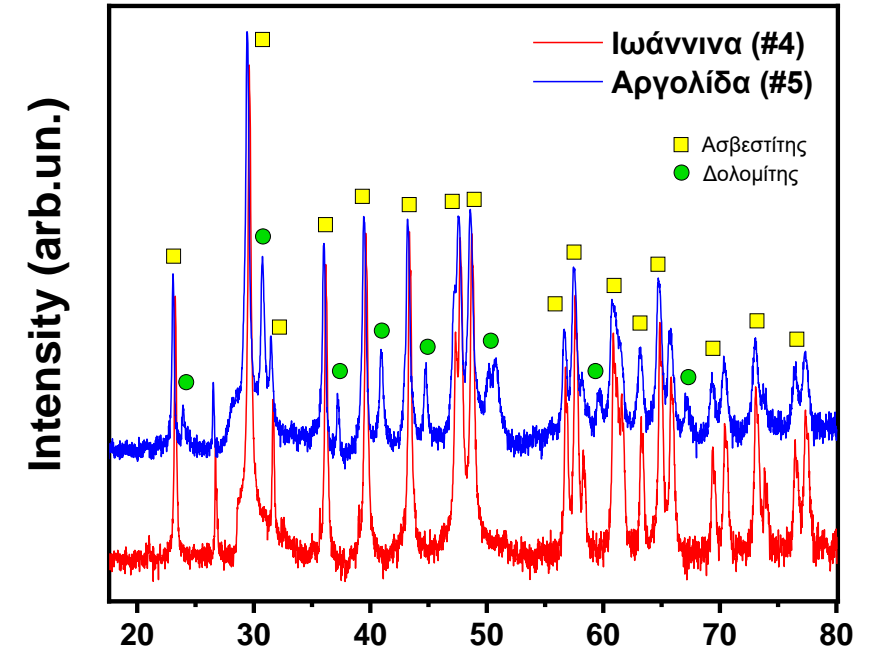
dx''/dB (arb.un.)



Magnetic Field (Gauss)



XRD



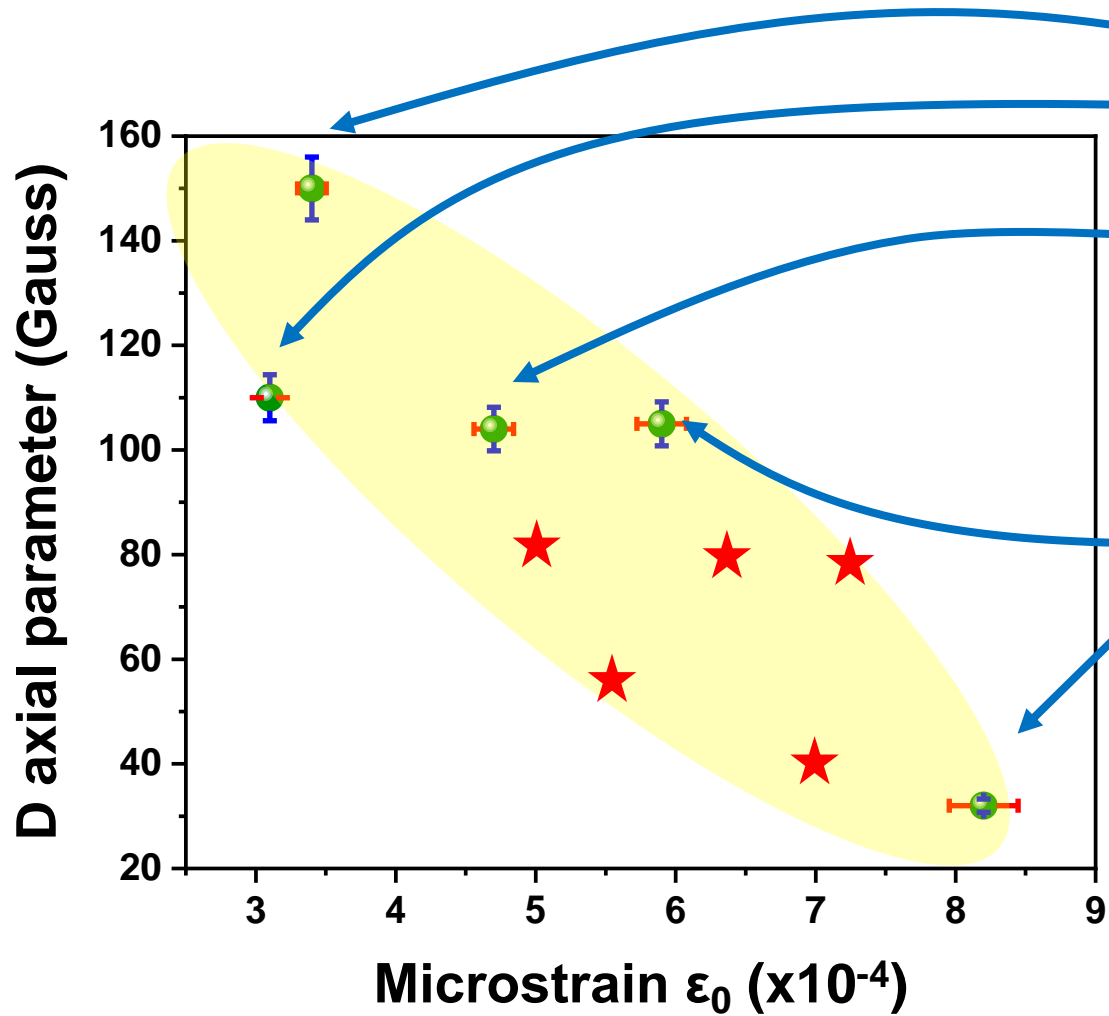
Diffraction 2θ angle (deg.)

Marble materials	D (Gauss)		E/D		D strain (Gauss)		A (Gauss)	
	Ca-site	Mg-site	Ca-site	Mg-site	Ca-site	Mg-site	Ca-site	Mg-site
Ιωάννινα (#4)	104 ± 1	-	0.052 ± 0.001	-	50 ± 1	-	[95 96 98] ± 1	-
Αργολίδα (#5)	32 ± 1	150 ± 1	0.170 ± 0.001	0.036 ± 0.001	10 ± 1	10 ± 1	[94 95 96] ± 1	[97 95 98] ± 1

Μάρμαρο	d_{XRD} (ασβεστίτης) (μm)	d_{XRD} (δολομίτης) (μm)	Strain ϵ_0 (ασβεστίτης)	Strain ϵ_0 (δολομίτης)
Ιωάννινα (#4)	1.9	-	5.1×10^{-4}	-
Αργολίδα (#5)	1.8	1.3	10.2×10^{-4}	19.4×10^{-4}



Συσχέτιση των τεχνικών XRD-EPR



1. ΝΕΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-Χ (XRD): Υπολογισμός του βαθμού παραμόρφωσης ϵ_0 (microstrain).

2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ: Συνδυασμός XRD και EPR τεχνικών.

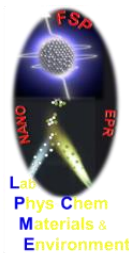
3. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ: Καινούργια μεθοδολογία για την αποτύπωση προέλευσης και δομικής εξέλιξης των υλικών πολιτισμικής κληρονομιάς.



- Αυτή η νέα μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα [πολιτισμικά] υλικά, αλλά και στην έρευνα σε υλικά υψηλής νανοτεχνολογίας.
- Επικείμενη επιστημονική συνεργασία μεταξύ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και τοπικών φορέων πολιτισμού και παράδοσης (μουσεία, εκκλησίες, μνημεία, προστατευμένοι πολιτιστικοί χώροι) με σκοπό την συντήρηση και διαφύλαξη τους.
- Κατασκευή διαδικτυακού ιστότοπου (Ελληνικά-Αγγλικά) ώστε ο μέσος πολίτης να ενημερώνεται σχετικά με τις δράσεις αυτές με σκοπό την ανάδειξη των πολιτισμικής κληρονομιάς της Ελλάδας.



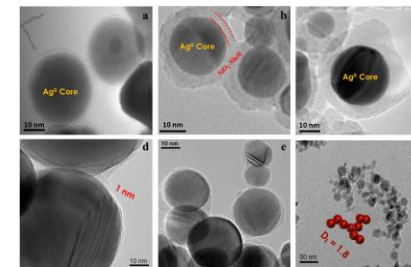
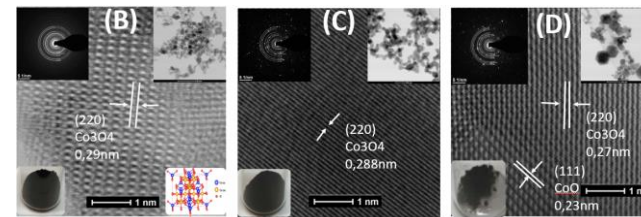
Η επιστημονική ομάδα μας



Surface Modification



Perovskites

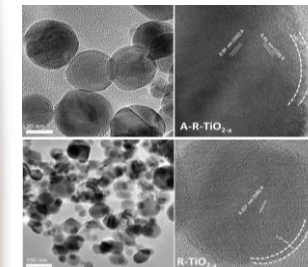


Defect Engineering

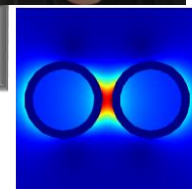
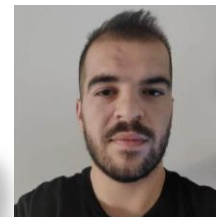
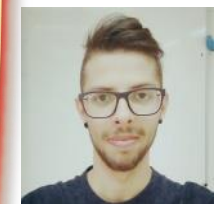
Interface Engineering



Quantum Dots



Plasmonics



PHOTOCATALYSIS



Η εργασία αυτή υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Πράξης «Κέντρο Έρευνας, Ποιοτικής Ανάλυσης Υλικών Πολιτισμικής Κληρονομιάς και Επικοινωνίας της Επιστήμης» (MIS 5047233) που εντάσσεται στη Δράση «Ενίσχυση των Υποδομών Έρευνας και Καινοτομίας» και χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ 2014-2020, με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΠΠΑ & ΤΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΑΝΕΚ

ΕΠΑΝΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

<http://nanomaterials.physics.uoi.gr/>

2η Ημερίδα Κέντρου Έρευνας Υλικών Πολιτισμικής Κληρονομιάς, 20 Μαρτίου 2023

Εργαστήριο Φυσικοχημείας Υλικών και Περιβάλλοντος
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



EPR Υψηλών Θερμοκρασιών

