

Η Υδρο-γεωλογική δραστηριότητα της Ευρώπης

Ιωάννης Θ. Γογωνάς

Μέλος του Συλλόγου
Ερασιτεχνικής Αστρονομίας Αργολίδας (Σ.Ε.Α.Α.),

Φοιτητής Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

e - mail : ioa.gogonas@yahoo.gr

Περίληψη

Στο επιστημονικό αυτό άρθρο, το οποίο είναι βιβλιογραφικής ανασκόπησης, γίνεται αναφορά στην Υδρο-γεωλογική δραστηριότητα της Ευρώπης (Europa), του 2^{ου} σε σειρά τροχιάς από τους μεγάλους φυσικούς δορυφόρους του πλανήτη Δία. Αρχικά, και στο πρώτο μέρος της εργασίας, αναπτύχθηκε μια εισαγωγή, όπου ο συγγραφέας στο άρθρο του, προσπαθεί να προβάλλει την πορεία των ερευνών που έγιναν τις προηγούμενες δεκαετίες από την National Aeronautics and Space Administration (N.A.S.A.) και την European Space Agency (E.S.A.), ακόμα, γίνεται λόγος για την εσωτερική δομή που έχει η Ευρώπη, καθώς και για την σύσταση της επιφάνειάς της. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, γίνεται λόγος για την Γεωμορφολογία της Ευρώπης (ανάλυση των βασικών επιφανειακών χαρακτηριστικών της Ευρώπης - Ράχες, Γραμμώσεις, Χαοτικές δομές, Στιγματισμένες περιοχές,) καθώς επίσης και για την συμπεριφορά του φλοιού όταν διάπυρο υλικό ανεβαίνει από τον θερμό μανδύα και κατευθύνεται προς την παγωμένη επιφάνεια (άνω μέρος του φλοιού) μέσω του ωκεανού από υγρό Νερό. Στο τρίτο μέρος, ο συγγραφέας προσπαθεί να προβάλλει, κάποια συμπεράσματα που απορρέουν από την ανάλυση όλων των πηγών και των επιστημονικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Πιο αναλυτικά, στο πρώτο μέρος, γίνεται αναφορά στα βασικά δομικά χαρακτηριστικά του εσωτερικού της Ευρώπης, που είναι ένας βραχώδης δορυφόρος με πυρήνα, μανδύα και φλοιό. Επίσης, γίνεται αναφορά στα μοντέλα που έχουν επικρατήσει στον επιστημονικό κόσμο για την δομή του εσωτερικού της Ευρώπης (βλέπε πιο αναλυτικά στο ακόλουθο τμήμα της εργασίας “ Βιβλιογραφία, Επιστημονικές Αναφορές και Πηγές Internet “ : N.A.S.A. / JPL, 1999 - Billings και Kattenhorn, 2005 – N.A.S.A. / JPL, 2010). Τέλος, προβάλλονται τα κυριότερα συστατικά από τα οποία αποτελείται η επιφάνεια (Υπεροξειδίο του υδρογόνου, Οξυγόνο, Ανθρακικό οξύ, Διοξειδίο του άνθρακα, ένυδρα Θειικά άλατα, ένυδρο Θεικό οξύ). Στο δεύτερο μέρος, γίνεται αναφορά στα ειδικά γραμμικά σημάδια του φλοιού με κατάλληλες εικόνες από την αποστολή Galileo, καθώς και στις φυσικο-μαθηματικές σχέσεις που συνδέονται με τον φλοιό.

Λέξεις κλειδιά : Ευρώπη, μίραβιλίτης, Ράχες, Γραμμώσεις, Χαοτικές δομές, Στιγματισμένες περιοχές, θερμός πάγος, διάπυρο υλικό.

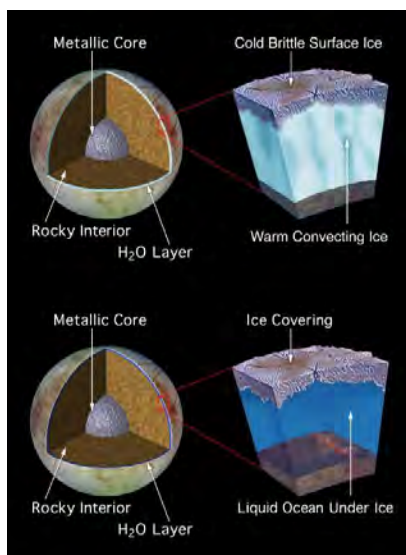
1.1. Εισαγωγή Εργασίας

Τις τελευταίες δεκαετίες το Ηλιακό μας σύστημα εξερευνήθηκε από την National Aeronautics and Space Administration (N.A.S.A.) και την European Space Agency (E.S.A.), με την Αστρονομία και την Διαστημική να γνωρίζουν ιδιαίτερη άνθηση. Οι Η.Π.Α. και η Ευρώπη, στόχευσαν στην εξερεύνηση των Πλανητών αλλά και των δορυφόρων τους. Σημαντικές επιτυχίες είχαμε στην εξερεύνηση του Κρόνου και των δορυφόρων του με την αποστολή Cassini - Huygens (εκτόξευση 1997). Στον Δία, είχαμε επιτυχίες με την αποστολή Pioneer 10 και 11 (εκτόξευση 1972-73), ακόμη με τις αποστολές Voyager 1 και 2 (εκτόξευση 1977), επίσης με την αποστολή Galileo (εκτόξευση 1989) και τέλος με την αποστολή New Horizons (εκτόξευση 2006). Τα στοιχεία από τις αποστολές Pioneer, Voyager, Galileo και New Horizons σε συνδυασμό με το Διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble (HST), μας έδειξαν πως το σύστημα του Δία είναι πολύ ενδιαφέρον, με στοιχεία που έχουν να κάνουν τόσο με τον Δία όσο και με τους δορυφόρους του. Στους δορυφόρους του Δία, παρατηρούνται γεωλογικά φαινόμενα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται φαινόμενα στην Ιώ, στην Ευρώπη και στον Γανυμήδη. Η Ευρώπη (Europa), είναι ένας από τους τέσσερις μεγάλους δορυφόρους του Δία και είναι ένα σώμα με ιδιαίτερη γεωλογία και Υδρο-γεωλογική δραστηριότητα. Διαθέτει ενδιαφέρουσα εσωτερική δομή, έχει παγωμένη επιφάνεια, επιφανειακές ρωγμές και πολλά επιφανειακά χαρακτηριστικά. Μάλιστα, τα συμπεράσματα από τα στοιχεία του προγράμματος Galileo, υποδεικνύουν ότι κάτω από την επιφάνειά της, υπάρχει ένας ωκεανός με υγρό νερό. Οι επιστήμονες ενδιαφέρονται για αυτό το σώμα, για αυτό το ενδιαφέρον φεγγάρι του Δία και το μελετούν κυρίως με τα δεδομένα που υπάρχουν από τις αποστολές Voyager και Galileo. Ωστόσο, υπάρχει και το Hubble, αλλά και η επίγεια αστρονομική παρατήρηση. Πολλά είναι τα αναπάντητα ερωτήματα μέχρι σήμερα, όμως υπάρχει το μέλλον για να δοθούν απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα από τους ερευνητές - μελετητές. Η Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για να πραγματοποιηθεί το παρόν άρθρο είναι ξενόγλωσση και οι σκέψεις που αναπτύχθηκαν μέσα στην εργασία, μπορούν να βοηθήσουν τον αναγνώστη να καταλάβει τα βασικά επιφανειακά χαρακτηριστικά της Ευρώπης, καθώς και το πώς αυτά συνδέονται με την Υδρο-γεωλογία της.

1.2. Η εσωτερική δομή της Ευρώπης

Η Γεωλογία της Ευρώπης είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα όπως και εκείνη της Ιούς, του Γανυμήδη και της Καλλιστού. Στοιχεία και υπολογισμοί σε σχέση με τη βαρύτητα της Ευρώπης, έγιναν από την διαστημοσυσκευή Galileo και με βάση αυτά τα στοιχεία, η Ευρώπη, φαίνεται να είναι ένα διαφοροποιημένο σώμα, το οποίο διαφοροποιείται σε στρώματα όπως και ο πλανήτης μας, η Γη. Η Ευρώπη, φαίνεται σύμφωνα με τα μέχρι τώρα δεδομένα, να αποτελείται από ένα βραχώδη υλικό σαν αυτό της Ιούς ή της Σελήνης (**Committee on Planetary and Lunar Exploration**, 1999). Η ακτίνα της Ευρώπης είναι 1561 km (**Davies et al.**, 1998) και το εσωτερικό της διαφοροποιείται σε ένα πυκνό μεταλλικό πυρήνα 700 km (**Greenberg**, 2005), έναν βραχώδη μανδύα και έναν παγωμένο φλοιό ο οποίος φτάνει μαζί με το στρώμα του θερμού πάγου τουλάχιστον τα 30 km σε βάθος (**N.A.S.A.**, 2010). Η “υπογραφή” της Ευρώπης στις ηλεκτρομαγνητικές μελέτες υποδεικνύει ένα στρώμα κοντά στην επιφάνεια του δορυφόρου που να αποτελείται κυρίως από Νερό (H_2O) και από κάποια άλατα. Το στρώμα αυτό είναι 105 – 140 km σε βάθος (**Kuskov και Kronrod**, 2003). Η Ευρώπη, είναι αρκετά μακριά από τον Ήλιο και σε περιοχή με χαμηλές θερμοκρασίες, όμως λόγω του φαινομένου της παλιρροιακής θέρμανσης (φαινόμενο tidal heating), που δημιουργείται εξαιτίας του Δία και των άλλων δύο μεγάλων δορυφόρων του (την Ιώ – τον Γανυμήδη), η Ευρώπη είναι δυνατό να θερμαίνεται εσωτερικά και να κυριαρχεί μέσα της ένας εσωτερικός αναβρασμός. Έτσι, το στρώμα του Νερού κάτω από την επιφάνεια της βρίσκεται μάλλον σε υγρή μορφή. Υπάρχουν δύο διαφορετικά μοντέλα που εξηγούν την δομή που έχει το εσωτερικό της Ευρώπης :

- 1) το πρώτο μοντέλο δείχνει ένα θερμό στρώμα πάγου (warm convective ice) κάτω από τον παγωμένο φλοιό, ενώ
- 2) το δεύτερο μοντέλο, δείχνει ένα υγρό ωκεανό από Νερό (H_2O) κάτω από τον παγωμένο φλοιό (**Εικόνα 1**).



Εικόνα 1 : Η εσωτερική δομή της Ευρώπης και τα 2 βασικά μοντέλα που αφορούν το στρώμα του Νερού (H_2O) (**N.A.S.A. / JPL**, 1999).

Το πρόβλημα που εμφανίζεται, καθώς μελετάμε το πρώτο ή το δεύτερο μοντέλο, έχει να κάνει με το αν υπάρχει θερμό στρώμα πάγου, καθώς και το πόσο πυκνό και βαθύ είναι. Έχουν προταθεί τα εξής :

- α) το μοντέλο του λεπτού και μικρού βάθους θερμού στρώματος πάγου
- β) το μοντέλο του πυκνού και μεγάλου βάθους θερμού στρώματος πάγου.

Μάλιστα επιπλέον και όπως υποστηρίζεται από την διεθνή βιβλιογραφία, μπορεί να ισχύει ότι το στρώμα του Νερού (H_2O) χωρίζεται σε 3 υποστρώματα (**Εικόνα 2**) :

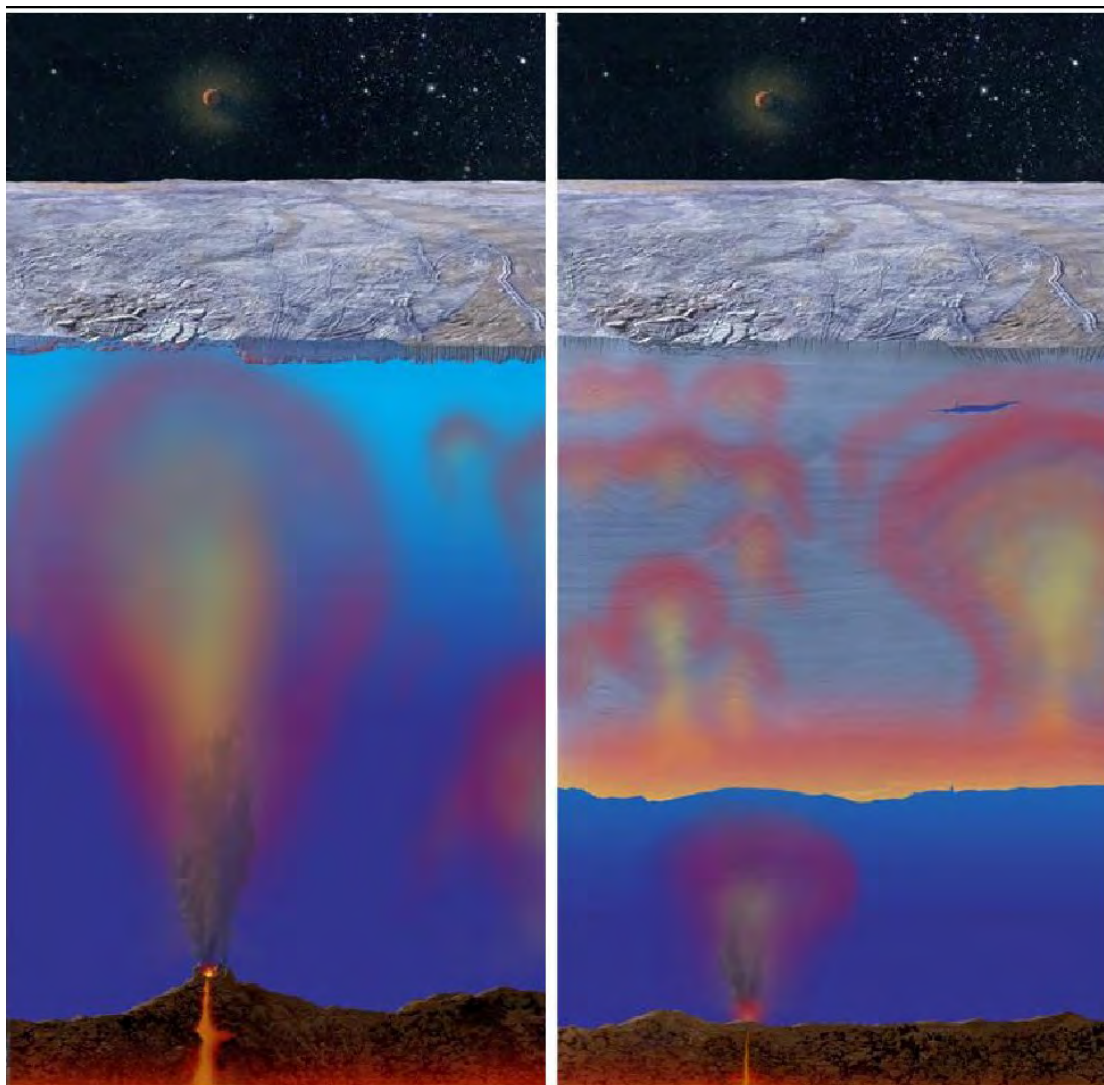
- 1° : το εξωτερικό υπόστρωμα στερεού πάγου,
- 2° : το ενδιάμεσο υπόστρωμα με το θερμό στρώμα πάγου και
- 3° : το κατώτερο-εσωτερικό υπόστρωμα με το υγρό Νερό (ωκεανός Νερού) (**Billings και Kattenhorn**, 2005).

Τα παραπάνω λεγόμενα των **Billings και Kattenhorn** (2005), τα υποστηρίζει και η **N.A.S.A.** (2010), με συγκεκριμένο σχήμα της (**Εικόνα 2**).

Και στα δύο μοντέλα της **Εικόνας 2**, φαίνεται ότι εσωτερικά βρίσκουμε το Νερό σε δύο καταστάσεις ισορροπίας. Στην πρώτη κατάσταση το Νερό βρίσκεται ως θερμός πάγος, ενώ στην δεύτερη κατάσταση το Νερό βρίσκεται σε υγρή μορφή (ωκεανός από Νερό).

Στα αριστερά της **Εικόνας 2**, έχουμε μοντέλο της εσωτερικής δομής με 3 βασικά εσωτερικά στρώματα πριν τον μανδύα : το εξωτερικό υπόστρωμα στερεού πάγου, το ενδιάμεσο υπόστρωμα με το θερμό στρώμα πάγου και το κατώτερο-εσωτερικό υπόστρωμα με υγρό Νερό (δηλαδή υπάρχει ο φλοιός ο οποίος ακολουθείται από λεπτό στρώμα θερμού πάγου, που στο σύνολο τους αυτά τα δύο στρώματα, φαίνεται να φτάνουν μόνο μερικά χιλιόμετρα σε πάχος (άρα έχουμε λεπτό φλοιό).

Στα δεξιά της **Εικόνας 2**, έχουμε μοντέλο της εσωτερικής δομής της Ευρώπης με 3 στρώματα και πάλι, αλλά το στρώμα του θερμού πάγου φαίνεται να είναι πιο παχύ (έχουμε παχύ φλοιό).



Εικόνα 2 : Μοντέλο της εσωτερικής δομής της Ευρώπης από το οποίο φαίνεται ότι εσωτερικά έχουμε κρυοηφαιστειακή δραστηριότητα με το υγρό Νερό να θερμαίνεται από τον τιγμένο μανδύα (θερμαίνεται ο υγρός ωκεανός Νερού). Με την αποστολή Europa Jupiter System Mission (EJSM) της N.A.S.A. και της E.S.A. η οποία προγραμματίζεται για το έτος 2020 θα μάθουμε την εσωτερική δομή της Ευρώπης και θα λύσουμε πιθανά, το μυστήριο που αφορά το πόσο πάχος έχει ο φλοιός της (δηλαδή για το αν είναι σε πάχος μόνο μερικά χιλιόμετρα ή για το αν είναι περισσότερο (> 30 km)) (N.A.S.A., 2010).

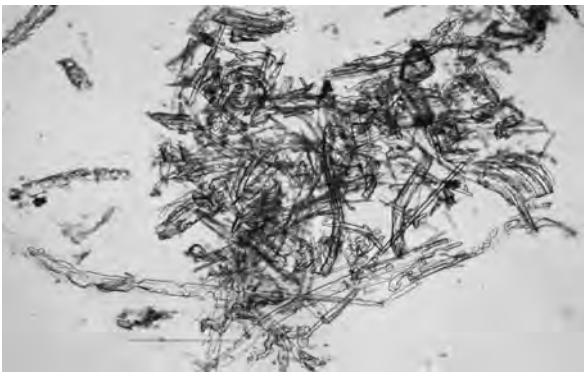
1.3. Σύσταση επιφάνειας

- Όσο αφορά την σύσταση της επιφάνειας έχουν προταθεί τα εξής :

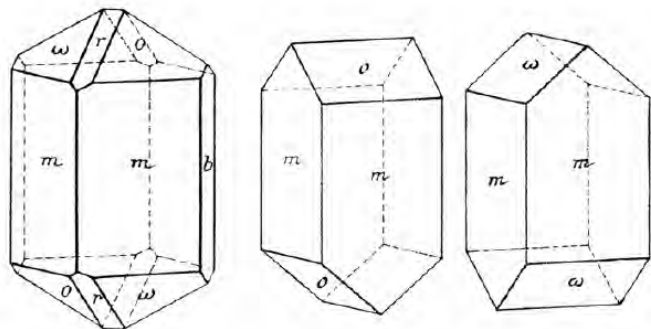
- 1) H_2O_2 (Υπεροξειδίο του υδρογόνου)
- 2) O_2 (Οξυγόνο), H_2CO_3 (Ανθρακικό οξύ), CO_2 (Διοξειδίο του άνθρακα)
- 3) ιόντα S να εισέρχονται στην Ευρώπη από την Μαγνητόσφαιρα του Δία λόγω της έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας της Ιούς. Αποτελέσματα του φαινομένου αυτού, σύμφωνα με τους **McCord et al.** (1999), είναι η πιθανή δημιουργία :

- α) ένυδρων Θεικών αλάτων όπως :
- κισερίτη : $MgSO_4 \cdot H_2O$ (Ένυδρο Θεικό Μαγνήσιο)
 - εξαυδρίτη : $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ (Ένυδρο Θεικό Μαγνήσιο)
 - επσομίτη : $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Ένυδρο Θεικό Μαγνήσιο)
 - μιραβιλίτη : $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (Ένυδρο Θεικό Νάτριο)
- (**Εικόνα 3** και **4**)

β) ένυδρου Θεικού οξέως : $H_2SO_4 \cdot nH_2O$.



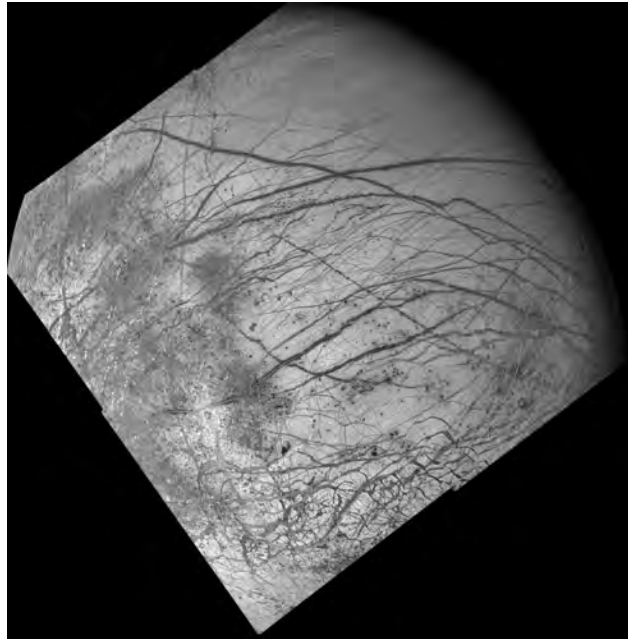
Εικόνα 3 : Φωτομικρογραφία φρέσκου μιραβιλίτη – mirabilite (**Zehnder** και **Schoch**, 2008).



Εικόνα 4 : Συνηθισμένες μορφές κρυσταλλικής μορφολογίας (δομής) του μιραβιλίτη (**Cardoso**, 1930).

2.1. Γεωμορφολογία επιφάνειας

Η Ευρώπη έχει τέσσερις βασικούς Γεωμορφολογικούς σχηματισμούς (Επιφανειακά χαρακτηριστικά – **Πίνακας 1**) που είναι εύκολο να παρατηρηθούν μελετώντας τις φωτογραφίες των αποστολών Voyager και Galileo. Παρατηρούνται κυρίως ανοιχτόχρωμες και καφετί περιοχές, με τις καφετί να είναι διάσπαρτες σε όλο το μήκος και το πλάτος του δορυφόρου (οι καφετί περιοχές ονομάζονται και lineae). Οι ανοιχτόχρωμες οφείλονται στην παρουσία πάγου, ενώ οι καφετί πιθανώς στην παρουσία διάπυρου υλικού που υπάρχει κάτω από τον πάγο, αλλά και λόγω της ύπαρξης των προαναφερθεισών ενώσεων (π.χ. ύπαρξη επσομίτη ή μιραβιλίτη). Παρατηρούνται ευδιάκριτα “**γραμμικά σημάδια (Ράγες, Γραμμώσεις, Χαοτικές δομές)**” που μπορούν και φτιάχνουν ένα περίπλοκο δίκτυο, καθώς και “**στιγματισμένες περιοχές (σκοτεινά κομμάτια της επιφάνειας)**”. Εικόνες από τις αποστολές Voyager και Galileo δείχνουν ελάχιστους κρατήρες, με τον πιο νέο σε ηλικία να βρίσκεται στο νότιο-ανατολικό ημισφαίριο με την ονομασία Pwyll και με διάμετρο 26 km. Αυτή, η μη ύπαρξη κρατήρων πρόσκρουσης, δηλώνει ότι η επιφάνεια της Ευρώπης είναι νέα σε ηλικία και πιθανώς να αναδιαμορφώνεται συχνά. Οι χαμηλότερης ανάλυσης φωτογραφίες (~ 2 – 4 km / pixel) των προγραμμάτων Voyager και Galileo δείχνουν 2 τύπους γεωλογικών σχηματισμών, τις πεδιάδες και τις Στιγματισμένες περιοχές, ενώ οι υψηλότερης ανάλυσης φωτογραφίες (10 – 200 m / pixel) δείχνουν μια ποικιλία από γεωλογικούς σχηματισμούς (**Greeley et al.**, 1998).



Εικόνα 5 : Εικόνα της Ευρώπης από την διαστημοσυσκευή Galileo που φανερώνει τα εκληκτικά επιφανειακά χαρακτηριστικά της. Εδώ φαίνεται αρκετά μεγάλο μέρος του Βόρειου ημισφαιρίου με Ράχες που φτάνουν μέχρι και τα 1600 km σε μήκος (N.A.S.A. / JPL / USGS, 1998).

Proposed name	Feature type	Length or diameter (km)	Location
Agave Linea	linea	1250	7.8 N 267.9 W
Callanish	ring	100	16.3 S 333.5 W
Chthonious Linea	linea	1850	3.8 N 288.2 W
Conamara Chaos	chaotic terrain	99 x 110	9.5 N 273.3 W
Govannan	crater	10	37.5 S 302.6 W
Harmonia Linea	linea	925	28.5 N 168.3 W
Hyperenor Linea	linea	2200	15.1 N 303.1 W
Ino Linea	linea	1400	6.2 N 161.2 W
Manann'an	crater	30	2.0 N 240.0 W
Moytura Regio	mottled terrain	235 x 65	47.9 S 297.1 W
Pelagon Linea	linea	800	33.7 N 170.6 W
Pwyll	crater	50	25.5 S 271.0 W
Tyre	ring	155	30.0 N 145.1 W

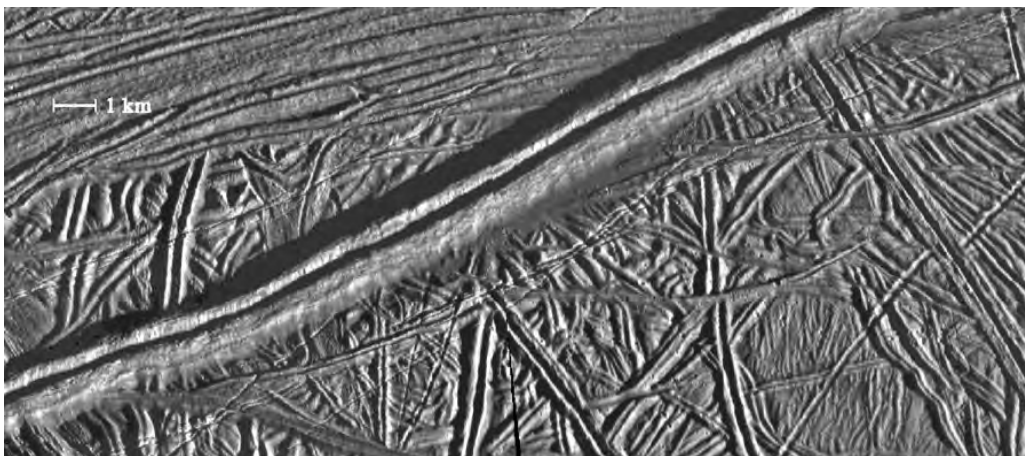
Πίνακας 1 : Ονόματα βασικών Επιφανειακών χαρακτηριστικών της Ευρώπης (Pappalardo et al., 1998).

Η επιφάνεια της Ευρώπης έχει τα εξής 4 βασικά χαρακτηριστικά :

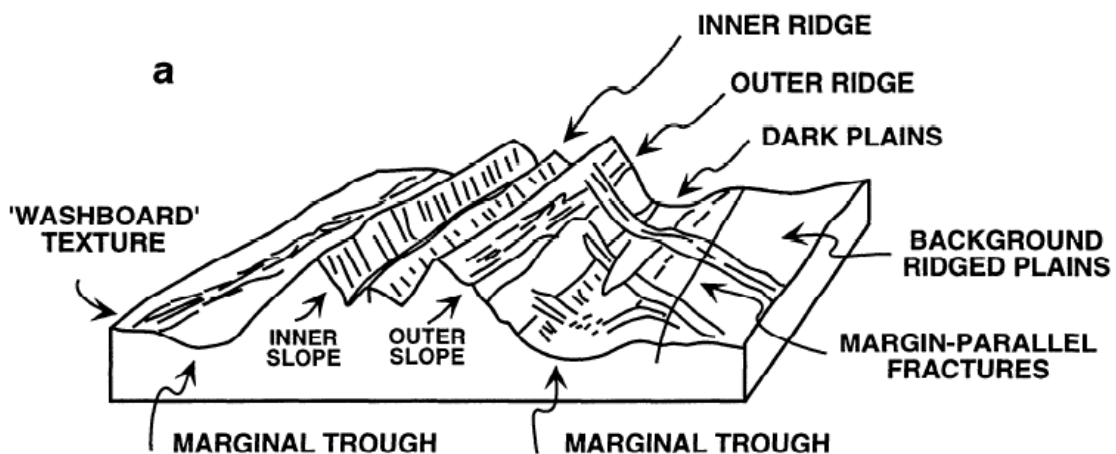
- 1) τις Ράχες (Ridges)
- 2) τις Γραμμώσεις (Bands)
- 3) τις Χαστικές δομές (Chaos) και
- 4) τις Στιγματισμένες περιοχές (Mottled terrain – Lenticulae).

- Ράχες (Ridges) :

Οι Γεωμορφολογικές Ράχες, μπορεί να είναι μονές, διπλές ή τριπλές. Οι διπλές ράχες, κυριαρχούν σε πολλά σημεία στην επιφάνεια της Ευρώπης. Γενικά, μπορούν να επεκταθούν από 2 km έως και > 100 km κατά μήκος της επιφάνειας. Οι μονές είναι γενικά από 100 έως 300 m σε πλάτος. Σε αντίθεση, οι διπλές (**Εικόνα 6** και **7**) έχουν πλάτος από μερικές εκατοντάδες μέτρα (> 2,3,4 x 100 m) μέχρι 2 km (**Collins et al., 2009**). Ο **Greenberg** (2005), υποστηρίζει ότι οι ράχες δημιουργούνται όταν οι ρωγμές επαναλαμβανόμενα ανοίγουν και κλείνουν κατά την διάρκεια ημερήσιων αλλαγών, στο ‘πεδίο στρεσαρίσματος - πίεσως’ του δορυφόρου. Ο πάγος πιέζεται πάνω στην επιφάνεια και οι ρωγμές κλείνουν με ένα λεπτό στρώμα παγωμένου Νερού. Οι **Pappalardo et al. (1999)**, υποστήριξαν ότι οι ράχες είναι το αποτέλεσμα της συμπίεσης ή της εκτόξευσης λιωμένης ύλης μέσα σε ρηχές ρωγμές. Το ζήτημα είναι, αν υπάρχει διάπυρο υλικό που βρίσκει διέξοδο στην επιφάνεια. Οι δεύτερη ιδέα, συνδέεται με αυτόν τον παράγοντα καθώς και για το αν υπάρχει υγρό νερό κάτω από την παγωμένη επιφάνεια. Μάλιστα προτείνουν, ότι διάπυρο υλικό, ανεβαίνει και πιέζει ήδη υπάρχουσες ρωγμές πάνω στον παγωμένο και εύθραυστο φλοιό. Εκτός από τις μονές, τις διπλές και τις τριπλές ράχες υπάρχουν και οι κυκλοειδείς ράχες (**Εικόνα 8**). Οι **Hoppa et al. (1999c)**, πρότειναν ότι οι κυκλοειδείς ράχες προέκυψαν από τις έντονες παλιρροιακές πιέσεις, που προκύπτουν καθώς οι Ευρώπη γυρίζει γύρω από τον Δία.



Εικόνα 6 : Διπλή ράχη στην επιφάνεια της Ευρώπης από φωτογραφία του Galileo. Παρατηρούνται δίπλα από αυτή παράπλευρες ρωγμές (cracks) δείγμα ότι η επιφάνεια πιέζεται (**Greenberg et al., 1998**).



Εικόνα 7 : Σχεδιάγραμμα που δείχνει την μορφή που έχει μία ράχη στην επιφάνεια της Ευρώπης. Παρατηρούνται παράλληλες ρωγμές (parallel fractures) στα περιθώρια της Ράχης η οποία διαθέτει εσωτερική αλλά και εξωτερική πλαγιά (inner and outer slope) (**Head et al., 1999**).



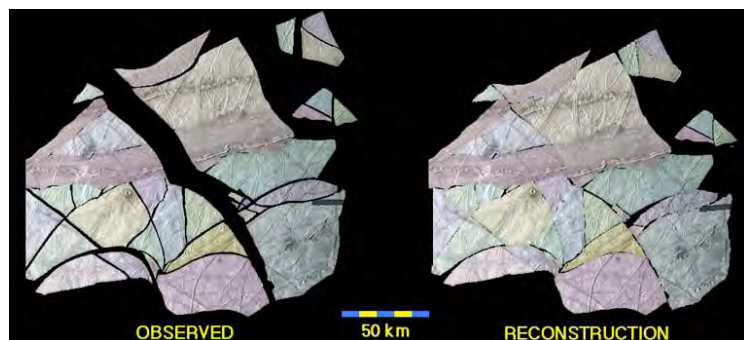
Εικόνα 8 : Κυκλοειδής ράχες στην επιφάνεια της Ευρώπης από φωτογραφία του Galileo. Εμφανίζονται ως μονές ράχες, διπλές ράχες ή ράχες που περιπλέκονται μεταξύ τους (Collins et al., 2009).

- Γεωμορφολογικές Γραμμώσεις (Bands) :

Οι Γεωμορφολογικές Γραμμώσεις που παρατηρούνται στην Ευρώπη (**Εικόνα 9** και **10**), είναι πολυγωνικές περιοχές από εύθραυστο πάγο με μυτερά εξωτερικά όρια (Collins et al., 2009). Μπορεί να έχουν ξεκινήσει ως ρωγμές στην επιφάνεια της Ευρώπης, όπως ακριβώς και οι διπλές Ράχες. Οι Γραμμώσεις που έχουν υποστεί διαστολή (Dilational Bands), φαίνεται πως έχουν ξεκινήσει ως κυκλοειδής ρωγμές. Έχουν συμμετρική ανάπτυξη και δημιουργούνται όταν πιέζεται ο παγωμένος φλοιός και κομμάτια του αποχωρίζονται το ένα από το άλλο δημιουργώντας μία ρωγμή. Στη συνέχεια, το θερμό στρώμα πάγου που υπάρχει κάτω από τον φλοιό, ανεβαίνει προς τα πάνω και ψύχεται ώσπου να παγώσει και έτσι να δημιουργηθεί μια Γράμμωση στην περιοχή της ρωγμής.



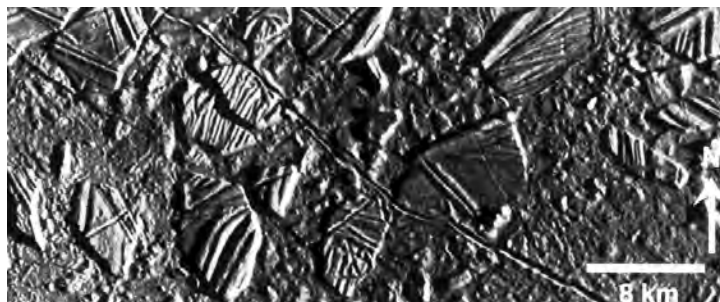
Εικόνα 9 : Γράμμωση στην επιφάνεια της Ευρώπης από φωτογραφία του Galileo (Sullivan et al., 1998).



Εικόνα 10 : Σχήμα προσομοίωσης για το πώς θα ήταν το συγκεκριμένο σημείο χωρίς την Γράμμωση (Sullivan et al., 1998).

- Γεωμορφολογικές Χαοτικές δομές (Chaos) :

Οι Γεωμορφολογικές Χαοτικές δομές (**Εικόνα 11**), είναι περιοχές όπου παρατηρείται χαοτική κατανομή παγωμένων κομματιών. Ο παγωμένος φλοιός σπάει σε πολλά κομμάτια με αποτέλεσμα την δημιουργία μίας περιοχής που δεν μπορείς να ξεχωρίσεις εύκολα το τί συμβαίνει με παρελθοντικές Γραμμώσεις και Ράχες. Είναι σαν τα παγόβουνα της Γης, με μία ιδιαίτερη και ξεχωριστή δομή, μιας και τα κομμάτια έχουν γραμμικά σημάδια. Αυτές οι περιοχές, δημιουργούνται σύμφωνα με τους **Greenberg et al.** (1999), σε περιοχές όπου ο παγωμένος φλοιός λιώνει (θερμοκρασιακή αλλαγή). Μάλιστα, υποστηρίζουν ότι το 18 % της επιφάνειας της Ευρώπης είναι καλυμμένο από φρέσκες Χαοτικές δομές.



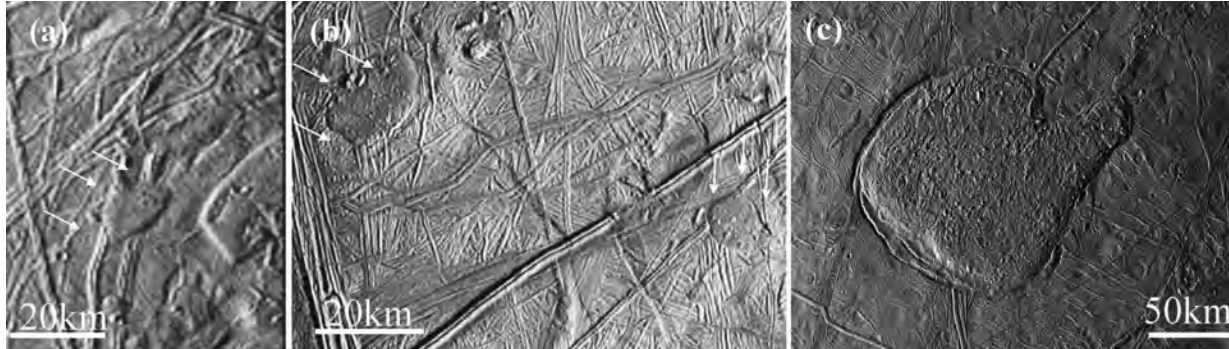
Εικόνα 11 : Χαοτική δομή με την ονομασία Conamara Chaos στην επιφάνεια της Ευρώπης από φωτογραφία του Galileo (**Greeley et al.**, 1998).

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί η παρακάτω σκέψη του συγγραφέα της παρούσας μελέτης που προέκυψε έπειτα από την μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των επιστημονικών αναφορών και πηγών που στόχο έχει να βοηθήσει στην κατανόηση του πως φτιάχτηκαν οι Χαοτικές δομές :

<< Ίσως οι Χαοτικές δομές να δημιουργήθηκαν από κάποια πολύ έντονη θερμοκρασιακή αλλαγή που πραγματοποιήθηκε στον δορυφόρο Ευρώπη λόγω κάποιας αστάθειας στον βασικό κορμό πάγου (φλοιός). Ίσως να έλιωσε ο πάγος και να δημιουργήθηκε περισσότερο υγρό Νερό από το κανονικό. Αυτή η σκέψη, μπορεί να στηριχτεί στον συλλογισμό ότι : όπως μία μπάλα επιπλέει και μετακινείται στο νερό, έτσι και τα παγόβουνα μπορούν πιθανά να μετακινούνται σε άλλα γεωγραφικά πλάτη από την αρχική τους θέση. Αυτό που πιθανώς συνέβη, είναι ότι υπήρχαν οι δύο πόλοι της Ευρώπης και ο Ισημερινός της, με πολλές και διάφορες παρελθοντικές Γραμμώσεις ή Ράχες. Στην μονάδα του χρόνου, φτάνει λιγότερη θερμότητα από τον Ήλιο στους πόλους από ότι στον Ισημερινό και στα υπόλοιπα γεωγραφικά πλάτη. Έτσι, οι πόλοι έχουν περισσότερη πιθανότητα να διαθέτουν παγωμένα κομμάτια και συμπαγή επίπεδα πάγου από ότι έχουν οι άλλες περιοχές. Αν σκεφτούμε, ότι τα συμπαγή αυτά κομμάτια πάγου, είχαν παρελθοντικές Γραμμώσεις – ανήκαν σε δίκτυα Γραμμώσεων ή μονών ή διπλών Ράχων και ξαφνικά λόγω κάποιας θερμοκρασιακής αλλαγής (π.χ. λόγω του ότι ο δορυφόρος δέχθηκε κάποιο χτύπημα αστεροειδή ή απλά γιατί ο δορυφόρος περνάει περιόδους πήξης – τήξης), ο φλοιός της Ευρώπης άλλαξε μορφολογικά, δηλαδή έγινε περισσότερο υγρός και λιγότερο στερεός, τα συμπαγή κομμάτια πάγου των πόλων που έφεραν κάποιες παρελθοντικές Γραμμώσεις θα μετακινήθηκαν προς άλλα γεωγραφικά μήκη και πλάτη. Εκεί, μετά πάγωσε ξανά ο δορυφόρος και αυτά τα παγόβουνα τελικά έμειναν στις θέσεις που σήμερα αναγνωρίζουμε ως Χαοτικές δομές. Αν και η παραπάνω ιδέα, στηρίζεται στο γεγονός μεγάλων μετακινήσεων των συμπαγών κομματιών πάγου (έντονη μετακίνηση), θα μπορούσε να ισχύει και ένας συνδυασμός γεγονότων που διαμορφώνουν τις Χαοτικές δομές. Δηλαδή, θα μπορούσε να υπάρχει λιγότερο έντονη μετακίνηση, σε συνδυασμό με την εμφάνιση αυτών που αποκαλούμε δέσμες ηφαιστειακής έκρηξης (volcanic plumes). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, υπάρχουν κρυο-ηφαιστειακές εκρήξεις (cryo-volcanic eruptions), που ανοδικά ως διάπυρο υλικό μπορούν και λιώνουν τις διάφορες περιοχές της επιφάνειας ή ακόμα και να πάρουν μεγάλες διαστάσεις και να μετατραπούν σε αυτό που αποκαλούμε δέσμη ηφαιστειακής έκρηξης (cryo-volcanic plume). Αν σκεφτούμε ότι παράλληλα, ισχύει η ύπαρξη ελάχιστων κρατήρων πρόσκρουσης (βλέπε Pwyll), τότε συμπεραίνουμε ότι ο δορυφόρος αναδιαμορφώνεται συνέχεια και ίσως περιοδικά να έχει υφέσεις και εξάρσεις στην δραστηριότητα του αυτή (δηλαδή το να έχει ο δορυφόρος περιόδους τήξης – πήξης είναι πιο πιθανό, από το να έχει δεχτεί κάποιο χτύπημα αστεροειδή χωρίς βέβαια να αποκλείεται αυτό το ενδεχόμενο). Υπάρχουν άλλωστε μοντέλα, όπως των **Hussman** και **Spohn** (2004), που υποθέτουν ότι υπάρχει περιοδική ανακατανομή στο πάχος του φλοιού, δηλαδή ότι είναι πιθανό το βασικό στρώμα πάγου να περνάει περιόδους αύξησης του πάχους του και μείωσης του πάχους του. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε πως η Γεωλογική χαρτογράφηση της Ευρώπης (βλέπε **Dogget et al.**, 2009), μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μπορεί να ισχύει η παραπάνω ιδέα, μιας και η χαρτογράφηση που έγινε από τους επιστήμονες, δείχνει ότι οι Χαοτικές δομές είναι γενικά νεότερες από ότι είναι άλλες περιοχές. Ίσως οι Χαοτικές δομές συνέχεια να αναδιαμορφώνονται, καθώς ο δορυφόρος βράζει εσωτερικά και εκπέμπει κρυο-ηφαιστειακές δέσμες (**Schmidt et al.**, 2011) >>.

- Γεωμορφολογικές Στιγματισμένες περιοχές (Mottled terrain – Lenticulae) :

Οι Γεωμορφολογικές Στιγματισμένες περιοχές (**Εικόνα 13, 14 και 15**) είναι σκουρόχρωμα σημάδια – σημεία στην επιφάνεια του δορυφόρου από 7 – 15 km σε διάμετρο (**Carr et al., 1998**). Γενικά, αυτές οι περιοχές τροποποιούν και διακόπτουν τις ήδη υπάρχουσες περιοχές Ράχων – πεδιάδων οι οποίες είναι πολύ διαδεδομένες στην επιφάνεια και πολλές φορές αυτές οι πεδιάδες περιέχουν παράλληλες Ράχες. Η βασική αιτία δημιουργίας των Στιγματισμένων περιοχών (Lenticulae), φαίνεται να είναι η κρυο-ηφαιστειακή δραστηριότητα (cryo-volcanic activity) (**Fagents et al., 1998**) με άνοδο διάπυρο υλικού (diapirism) που καθώς ανεβαίνει προς την επιφάνεια ψύχεται (ακολουθούν οι **σχέσεις 1 – 13** που συνδέονται με την κρυο-ηφαιστειακή δραστηριότητα). Είναι σαν να ανεβαίνει μια φυσαλίδα από διάπυρο υλικό και κατά την προσκόλληση της στην επιφάνεια (Φλοιό) να αλλοιώνει τις ήδη υπάρχουσες Γραμμώσεις ή Ράχες.



Εικόνα 13, 14 και 15 : Παραδείγματα Στιγματισμένων περιοχών στην επιφάνεια της Ευρώπης από φωτογραφίες του Galileo. Τα βέλη δείχνουν ότι τα Lenticulae αλλοιώνουν ήδη υπάρχουσες Γραμμώσεις και Ράχες (**Miyamoto et al., 2005**).

2.2. Ο φλοιός και τα διάπυρα υλικά

- Οι προηγούμενες εικόνες μας δείχνουν ότι η Ευρώπη έχει μια πολύ ιδιαίτερη Υδρο-γεωλογική δραστηριότητα, που συνδέεται με το επιφανειακό της στρώμα (παγωμένο φλοιό), καθώς και με το υπο-επιφανειακό στρώμα πάγου που πιθανώς διαθέτει. Στη βιβλιογραφία και σε επιστημονικές αναφορές, γίνεται λόγος για την θερμοκρασία που έχει ο συνολικός φλοιός στη βάση του με ή χωρίς το υπο-επιφανειακό στρώμα θερμού πάγου, για την σταθερότητα ενάντια στη θέρμανση του, για το βάθος του, καθώς και για την πίεση που μπορεί να δεχτεί από ένα ανοδικό διάπυρο υλικό του μανδύα (κρυο-ηφαιστειακή δραστηριότητα).

- Όσο αφορά την **θερμοκρασία στη βάση του φλοιού** (T_b) υπάρχουν σύμφωνα με τους **Ruiz και Tejero (2003)** οι παρακάτω 2 σχέσεις :

$$T_b = T_s \exp\left(\frac{F \cdot b}{k_0}\right) \quad (1)$$

$$T_b = 273.16 \left(1 - \frac{\rho g b}{395 \cdot 2MPa}\right)^{\frac{1}{9}} \quad (2)$$

όπου T_s είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας που σύμφωνα με το μοντέλο των **Ruiz και Tejero (2003)** είναι ίση με 100 – 130 K, αντίθετα, με το μοντέλο των **Spohn και Schubert (2003)** είναι ίση με 105 K, F είναι η κάθετη ροή θερμότητας μέσα από το στρώμα πάγου που σύμφωνα με το μοντέλο των **Ruiz και Tejero (2003)** είναι ίση με $\sim 6 - 8 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$, επίσης b είναι η συνολική πυκνότητα του στρώματος πάγου που σύμφωνα με το μοντέλο των **Ruiz και Tejero (2003)**

είναι ίση με $\sim 50 - 90$ km και τέλος k_0 είναι μία σταθερά που σύμφωνα με τον **Klinger** (1980) είναι ίση με την τιμή των 567 Wm^{-1} . Επίσης στην σχέση (2), ισχύει ότι : ρ είναι ίσο με πυκνότητα που έχει ο τύπος πάγου με την ονομασία ‘water ice I’ ο οποίος είναι ίσος με την τιμή $930 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας της Ευρώπης ίση με $1.3 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}$.

Επιλύοντας τις σχέσεις (1) και (2) ταυτόχρονα, για μία δεδομένη τιμή στην κάθετη ροή θερμότητας (F), αποκτούμε τιμή όσο αφορά την μεταβλητή T_b .

- Όσο αφορά τη σταθερότητα ενάντια στη μετάδοση θερμότητας, ενός σταθερού και συμπαγούς στρώματος (stagnant lid) που θερμαίνεται από κάτω, δηλαδή τη **σταθερότητα του φλοιού ενάντια στη θέρμανση του από θερμότερο υλικό (διάπυρο υλικό)**, μπορεί να την περιγράψουμε με τον αριθμό Rayleigh προσδιορισμένο στη ρευστότητα της βάσης του στρώματος πάγου. Σύμφωνα με το μοντέλο των **Showman** και **Han** (2004) ισχύει η παρακάτω σχέση :

$$Ra_b = \frac{a\rho gh^3 \Delta T}{\kappa \eta_b} \quad (3)$$

όπου a είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής που είναι ίσος με

$1.65 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, ρ είναι η πυκνότητα που εφαρμόζεται στο μοντέλο ίση με $917 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας της Ευρώπης ίση με $1.3 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}$, h είναι το βάθος του φλοιού (το βάθος του στρώματος πάγου) που στο μοντέλο των **Showman** και **Han** (2004) λαμβάνει την τιμή $15 - 50$ km, αντίθετα σύμφωνα με τους **Pappalardo et al.** (1998) αυτό το βάθος είναι από $2 - 8$ km στην αρχή θερμοαγωγίσις του στρώματος.

Επίσης, ισχύει η επόμενη σχέση : $\Delta T = T_b - T_s$ (4), όπου ΔT είναι η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στη βάση του φλοιού και της επιφάνειας που σύμφωνα με το μοντέλο των **Showman** και **Han** (2010) είναι ίση με 175 K , ενώ οι ίδιοι σε άλλο τους προηγούμενο μοντέλο (**Showman** και **Han** (2004)) είναι ίση με 170 K .

Τέλος, κ είναι ο συντελεστής θερμικής διάχυσης που σύμφωνα με τους **Showman** και **Han** (2010) είναι ίσο με $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$ και η_b είναι η δυναμική ρευστότητα στη βάση του φλοιού ίση με 10^{13} ή $10^{14} \text{ Pa} \cdot \text{sec}$. Με βάση την τιμή της μεταβλητής Ra_b προσδιορίζεται το κατά πόσο ο φλοιός είναι σταθερός ενάντια στην θέρμανσή του. Αν είναι μεγαλύτερη η τιμή που προκύπτει από μια κρίσιμη τιμή Ra_b^* , τότε ο φλοιός είναι ασταθής και καταρρέει.

- Όσο αφορά την **μέγιστη πίεση που δέχεται ο φλοιός** από ένα ανοδικό, σφαιρικό και θερμότερο υλικό ακτίνας r (διάπυρο υλικό) δίνεται από την Αρχή του Αρχιμήδη η οποία λέει πως η πίεση που ασκεί ένα σώμα μάζας m σε ένα ρευστό υπολογίζεται αν γνωρίζουμε 2 στοιχεία :

- A. την δύναμη που ασκείται στο ρευστό από το σώμα μάζας m
- B. την επιφάνεια του ρευστού.

Έτσι, ισχύει η παρακάτω σχέση :

$$S = \frac{F}{A} \quad (5)$$

όπου S είναι η μέγιστη πίεση που δέχεται ο φλοιός από ένα ανοδικό, σφαιρικό και θερμότερο

υλικό ακτίνας r (διάπυρο υλικό) και μάζας m , F είναι η δύναμη που ασκεί το διάπυρο υλικό καθώς ανεβαίνει στην επιφάνεια του ρευστού, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το Νερό του ωκεανού της Ευρώπης, τέλος A είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνει το Νερό της Ευρώπης που το αντιστοιχίζουμε με την γεωμετρική επιφάνεια που έχει το πάνω μέρος ενός κύβου – η επάνω πλευρά $(2r)^2$.

$$A = (2r)^2 \quad (6)$$

Για να βρούμε την δύναμη F εφαρμόζουμε τον 2^ο Νόμο του Newton ο οποίος είναι :

$F = m \cdot g$ (7) και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας της Ευρώπης ίση με $1.31 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2}$

Η μάζα m βρίσκεται με βάση την σχέση της πυκνότητας.

$$\Delta\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (8) \quad \text{όπου } \Delta\rho \text{ είναι η διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στο διάπυρο υλικό και στον φλοιό και } \Delta m$$

είναι η διαφορά μάζας ανάμεσα στο διάπυρο υλικό και στον φλοιό, άρα :

$$m = \rho \cdot V \quad (9)$$

άρα από την σχέση (9) στη σχέση (7) προκύπτει : $F = \rho \cdot V \cdot g$ (10).

Ακόμη, ισχύει λόγω του ότι έχουμε την περίπτωση σφαιρικού διάπυρου υλικού ακτίνας r η παρακάτω σχέση :

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad (11)$$

Έτσι, από τη σχέση (6) και (10) στη σχέση (5) προκύπτει ότι :

$$S = \frac{\Delta\rho \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot g}{(2r)^2} \quad (12) \quad \text{έπειτα λύνουμε το παρακάτω κλάσμα και απλοποιούμε}$$

$$= \frac{\Delta\rho \frac{4}{3} \pi \cdot r \cdot g}{4} \quad \text{έπειτα γίνεται το σύνθετο κλάσμα απλό}$$

$$= \Delta\rho \frac{4}{12} \pi \cdot r \cdot g \quad \text{στη συνέχεια απλοποιούμε}$$

$$= \Delta\rho \frac{2}{6} \pi \cdot r \cdot g \quad \text{απλοποιούμε}$$

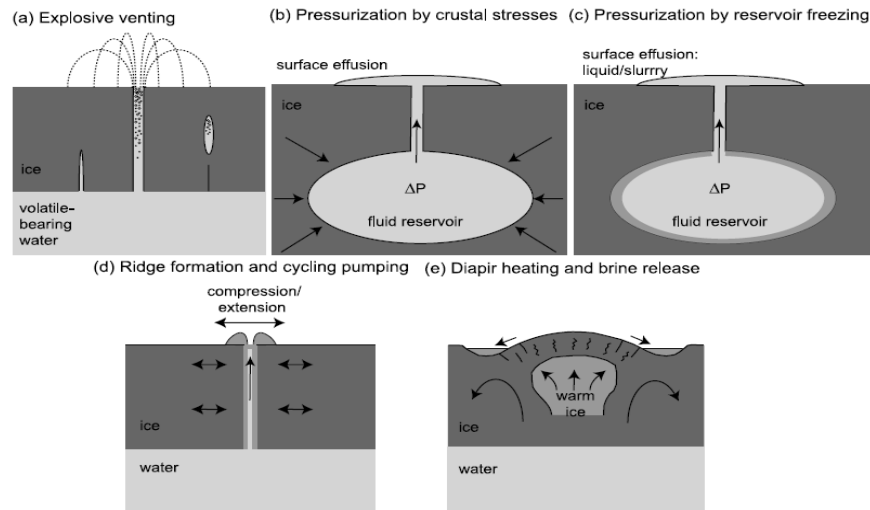
$$= \Delta\rho \frac{1}{3} \pi \cdot r \cdot g \quad \text{απλοποιούμε}$$

$$= \Delta\rho \frac{1}{3} \pi \cdot r \cdot g \quad \pi = 3.14 \approx 3$$

$$\approx \Delta\rho \cdot r \cdot g$$

Τελικά, αλλάζει η σχέση (12) και ισχύει ότι : $S \approx \Delta\rho \cdot r \cdot g$ (13).

Τελικά και έπειτα από τις παραπάνω σχέσεις, αξίζει να αναφερθούν 5 πιθανοί τρόποι που μπορεί να αναδυθεί υγρό Νερό και διάλυρο υλικό στην επιφάνεια της Ευρώπης :



Εικόνα 16 : Πέντε πιθανοί μηχανισμοί με τους οποίους ανεβαίνει υγρό Νερό και διάλυρο υλικό στην επιφάνεια της Ευρώπης (**Fagents**, 2003).

3. Συμπεράσματα

- A) φαίνεται πως υπάρχει μεγάλη σχέση ανάμεσα στα επιφανειακά χαρακτηριστικά και στην ύπαρξη διάλυρου υλικού.
- B) αν συμβαίνει η παραδοχή να υπάρχει ωκεανός Νερού (H_2O) και έπειτα ένα θερμό στρώμα πάγου, τότε λόγω του θερμού στρώματος πάγου τα διάλυρα υλικά δυσκολεύονται να φτάσουν στην επιφάνεια. Αν όμως δεν ισχύει αυτή η δομή και απλά υπάρχει μόνο ωκεανός Νερού (H_2O) και έπειτα ο φλοιός, τότε μπορεί να υπάρχει ακόμα και η εμφάνιση εκρηκτικής δραστηριότητας (ύπαρξη geyser) στην επιφάνεια από κάποιο ανοδικό διάλυρο υλικό.
- Γ) το διάλυρο υλικό δεν ανεβαίνει τυχαία προς τα πάνω, αντίθετα ανεβαίνει με συγκεκριμένη μορφή και σε μορφή γραμμής. Αυτό συμβαίνει, καθώς ο μανδύας της Ευρώπης παρουσιάζει γραμμική τήξη με αποτέλεσμα να αναδύεται διάλυρο υλικό σε μορφή γραμμής από αυτόν, φτιάχνοντας ως αποτέλεσμα αυτά τα γραμμικά σημάδια (τις Γραμμώσεις και τις Ράχες) που βλέπουμε στην επιφάνεια. Αν σκεφτούμε στη συνέχεια, το πώς φτιάχνεται ένα ηφαιστειακό τόξο στην Γη και την γραμμική τήξη που εμφανίζει ο μανδύας της Ευρώπης και έπειτα κάνουμε την αναλογία, τότε προκύπτει ότι πιθανόν τα γραμμικά σημάδια της επιφάνειας, να είναι αποτέλεσμα της γραμμικής αυτής τήξης του μανδύα της Ευρώπης. Όπως στην Γη το ηφαιστειακό τόξο δημιουργεί νησάκια, έτσι και στην περίπτωση της Ευρώπης δημιουργούνται περιοχές με έντονες ρωγμές (Γεωμορφολογικές Γραμμώσεις, Γεωμορφολογικές Ράχες) ή περιοχές με στίγματα (Γεωμορφολογικές Στιγματισμένες περιοχές).

Το να είναι γραμμική η άνοδος διάλυρου υλικού, υποστηρίζεται στη βιβλιογραφία και από τους **Head**, **Pappalardo** και **Sullivan** (1999), στην εργασία τους με τίτλο: Europa : Morphological characteristics of ridges and triple bands from Galileo data (E4 and E6) and assessment of a linear diapirism model. Από την άλλη η εύρεση ενός κρυο-ηφαιστειακού σημείου με εκρηκτική δραστηριότητα (geyser) στην επιφάνεια της Ευρώπης υποστηρίζεται από τους **Crawford** και **Stevenson** (1988), στην εργασία τους με τίτλο : Gas-driven water volcanism in the resurfacing of Europa. Οι Crawford και Stevenson υποστηρίζουν ότι οι σκουρόχρωμες πλευρές σε τριπλές Γεωμορφολογικές Ράχες της Ευρώπης δημιουργούνται από απόθεση υλικού που προέρχεται από κρυο-ηφαιστειακή έκρηξη. Τελικά, υπάρχουν αρκετές πιθανότητες που συνδέουν τα γραμμικά σημάδια της επιφάνειας με τις κρυο-ηφαιστειακές εκρήξεις, καθώς και ότι η δημιουργία κάποιων από τις Γεωμορφολογικές Ράχες να συνδέεται με την άνοδο διάλυρου υλικού. Ίσως, το μοντέλο που να ταιριάζει καλύτερα με τα δεδομένα των αποστολών Voyager και Galileo και από τα συμπεράσματα που καταλήγουμε ερμηνεύοντας αυτά τα δεδομένα, να είναι αυτό που υποστηρίζει την ύπαρξη ωκεανού με παράλληλη ύπαρξη κρυο-ηφαιστειακής δραστηριότητας, δηλαδή το σχήμα που βρίσκεται στα *Αριστερά* της **Εικόνας 2**. Με την έγκριση νέων

εξερευνητικών διαστημικών αποστολών προς την Ευρώπη, σίγουρα θα υπάρξουν και νέα δεδομένα αλλά και νέα συμπεράσματα για την Σύσταση της επιφάνειας, την Γεωλογία και την Γεωμορφολογία της Ευρώπης, καθώς και για την συνολικότερη Γεωλογική δραστηριότητα της (πόσο ενεργή είναι η επιφάνεια της και πόσο ενεργός είναι ο μανδύας της) καθώς και για το αν υπάρχει μορφή ζωής σε αυτό το μέρος του Ηλιακού μας συστήματος.

Ευχαριστίες

Η εργασία υλοποιήθηκε μετά από την συγκέντρωση πολύτιμης ξένης βιβλιογραφίας και μετά από την υποστήριξη της Δρ Πλανητικής Γεωλογίας Ανεζίννας Σολωμονίδου (Ph.D. – NASA Postdoctoral Fellow – Planetary Science Group - JPL) που με την συνεισφορά της και τις παρατηρήσεις της έγινε δυνατή η διόρθωση του κειμένου.

Γλωσσάρι

- **πυρήνας** : είναι το κέντρο ενός πλανήτη, δορυφόρου, ή αστεριού. Στην περίπτωση ενός πλανήτη, ο πυρήνας μπορεί να αποτελείται είτε από βράχο (άρα μιλάμε για αέριο πλανήτη όπως είναι ο Δίας, δηλαδή υπάρχει ένας βραχώδης πυρήνας και γύρω του τον περιβάλλει κάποιο αέριο) είτε από μέταλλο (άρα μιλάμε για βραχώδη πλανήτη όπως είναι η Γη, δηλαδή υπάρχει ο μεταλλικός πυρήνας που τον περιβάλλει κάποιο στρώμα (ένας μανδύας) από βραχώδη υλικό. Στην περίπτωση ενός δορυφόρου, όπως η Ευρώπη, που μοιάζει με τους Γήινους πλανήτες (Ερμής, Αφροδίτη, Γη, Άρης), ο πυρήνας αποτελείται από μέταλλο και περιβάλλεται από βραχώδη μανδύα. Τέλος, στην περίπτωση ενός κοινού αστεριού, όπως ο Ήλιος μας, ο πυρήνας αποτελείται από Υδρογόνο (H).
- **μανδύας** : είναι το εσωτερικό στρώμα ενός πλανήτη ή ενός δορυφόρου που περικλείει τον πυρήνα του. Στην περίπτωση ενός πλανήτη, ο μανδύας μπορεί να αποτελείται είτε από αέριο (αέριος πλανήτης όπως ο Δίας, δηλαδή υπάρχει ένας βραχώδης πυρήνας και γύρω του τον περιβάλλει κάποιο αέριο) είτε από βραχώδη υλικό πυριτικής σύστασης (Si) (βραχώδης πλανήτης όπως η Γη, δηλαδή υπάρχει ο μεταλλικός πυρήνας που τον περιβάλλει κάποιο στρώμα (ένας μανδύας) από βραχώδη υλικό). Στην περίπτωση ενός δορυφόρου, όπως η Ευρώπη, που μοιάζει με τους Γήινους πλανήτες (Ερμής, Αφροδίτη, Γη, Άρης), ο μανδύας αποτελείται από βραχώδη υλικό πυριτικής σύστασης (πετρώματα από πυρίτιο (Si)).
- **φλοιός** : είναι το στρώμα που περικλείει τον μανδύα ενός πλανήτη ή ενός δορυφόρου. Στην περίπτωση ενός πλανήτη, όπως η Γη, ο φλοιός μπορεί να αποτελείται από βραχώδη υλικό πυριτικής σύστασης (Si), δηλαδή υπάρχει ο βραχώδης μανδύας που τον περιβάλλει κάποιο στρώμα (ένας φλοιός) από επίσης κάποιο βραχώδη υλικό. Στην περίπτωση ενός δορυφόρου, όπως η Ευρώπη, που διαθέτει στρώμα από Νερό πριν από το στρώμα του φλοιού, ο φλοιός αποτελείται από παγωμένο Νερό και πιθανά από κάποια ορυκτά.
- **διάπυρο υλικό** : είναι το υλικό που προέρχεται από την τήξη του μανδύα ενός πλανήτη ή ενός δορυφόρου που διαθέτει βραχώδη υλικό, ικανό να θερμανθεί και να λιώσει, να αποκτήσει δηλαδή ημίρρευστη μορφή. Κυρίως είναι πυριτικής σύστασης (Si) στους πλανήτες ή τους δορυφόρους με βραχώδη μανδύα. Ωστόσο, μπορεί το πυριτικό υλικό να συνοδεύεται από θερμό Νερό και να εκτοξεύεται μαζί με αυτό σε μία κρυο-ηφαιστειακή έκρηξη (geyzer).
- **θερμός πάγος** : είναι ένας ημίρρευστος πάγος στον οποίο τα μόρια του Νερού που τον αποτελούν βρίσκονται σε ημίρρευστη φάση. Όταν μιλάμε για την φάση που το Νερό είναι στερεός πάγος (στερεή μορφή του Νερού), τα μόρια του Νερού είναι πιο συμπαγή μεταξύ τους, από ότι όταν μιλάμε για τα μόρια του θερμού πάγου. Ο θερμός πάγος προκύπτει όταν έχουμε παγωμένο στρώμα Νερού και από κάτω του ωκεανό από υγρό Νερό. Το περιβάλλον της Ευρώπης, είναι τέτοιο που πυροδοτεί την ύπαρξη μιας τέτοιας μορφής Νερού, μιας και αυτός ο δορυφόρος, συνδέεται με κρυο-ηφαιστειακή δραστηριότητα όπου το στρώμα πάγου (φλοιός) θερμαίνεται στην βάση του και μετατρέπεται σε θερμό πάγο (δημιουργία δύο στρωμάτων πάγου – ενός με στερεή μορφή και ενός με ημίρρευστη). Ο θερμός πάγος δηλαδή προκύπτει λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας (θέρμανση του στερεού στρώματος πάγου).
- **θερμό στρώμα πάγου** : είναι το υποεπιφανειακό στρώμα που δημιουργείται όταν θερμαίνεται η βάση ενός στερεού στρώματος πάγου. Στην Ευρώπη, το στρώμα αυτό φαίνεται πως βρίσκεται σε όλο το μήκος και πλάτος του δορυφόρου και είναι εκείνο το στρώμα που επικοινωνεί τόσο με τον υγρό ωκεανό όσο και με τον φλοιό (στερεό στρώμα πάγου).
- **κρυο-ηφαιστειακή έκρηξη** : είναι η έκρηξη που προκύπτει όταν υπάρχει σε έναν πλανήτη ή σε έναν δορυφόρο κρυο-ηφαιστειακή δραστηριότητα. Κατά την κρυο-ηφαιστειακή έκρηξη εκτοξεύεται με μεγάλη δύναμη θερμό Νερό. Στην περίπτωση που μιλάμε για έναν πλανήτη ή δορυφόρο που έχει βραχώδη μανδύα και που βρίσκεται σε τήξη (ενεργός μανδύας) εκτός από θερμό Νερό πιθανό είναι να εκτοξεύεται και διάπυρο υλικό πυριτικής σύστασης (Si).

Βιβλιογραφία, Επιστημονικές Αναφορές και πηγές Internet

- Baker V. R., Dohm J. M., Fairén A. G., Ferré Ty P. A., Ferris J. C., Miyamoto H., Schultze – Makuch D.**, 2005, *Extraterrestrial Hydrogeology*, 13:51 – 68, Springer – Verlag.
- Billings S.E. and Kattenhorn S.A.**, 2005, The great thickness debate : Ice shell thickness models for Europa and comparisons with estimates based on flexure at ridges, *Icarus* 177, 397 – 412.
- Cardoso G. M.**, 1930, Los modernos métodos roentgenográficos aplicados en la determinación de la estructura cristalina de la epsomita. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias naturales.*, Serie Geológica 37, 5-133, Madrid.
- Carr M. H., Belton M. J. S., Chapman C. R., Davies M. E., Geissler P., Greenberg R., McEwen A. S., Tufts B. R., Greeley R., Sullivan R., Head J. W., Pappalardo R. T., Klaasen K. P., Johnson T. V., Kaufman J., Senske D., Moore J., Neukum G., Schubert G., Burns J. A., Thomas P. and Veverka J.**, 1998. Evidence for a subsurface ocean on Europa, *Nature* 391, 363 – 365.
- Collins G. C., McKinnon W.B., Moore J. M., Nimmo F., Pappalardo R. T., Prockter L. M. and Schenk P. M.**, 2009, Tectonics of the outer planet satellites, In : Schultz R. A., Watters T. R. (Eds.), *Planetary Tectonics*, Cambridge University Press, pp. 264 – 350.
- Committee on Planetary and Lunar Exploration**, 1999, *A Science Strategy for the Exploration of Europa*, National Academy Press, Washington D.C.
- Crawford G. D. and Stevenson D. J.**, 1988, Gas-driven water volcanism in the resurfacing of Europa, *Icarus* 73, 66 – 79.
- Davies M. E., and 11 colleagues**, 1998, The control networks of the Galilean satellites and implications for global shape, *Icarus* 135, 372 – 376, ScienceDirect, Elsevier.
- Doggett T., Greeley R., Figueredo P., Tanaka K.**, 2009, Geological stratigraphy and evolution of Europa's surface, In : Pappalardo R. T., McKinnon W. B., Khurana K. (Eds.), *Europa*. University of Arizona Press, Tucson, AZ, pp.137 – 159.
- Fagents S., Kadel S. D., Greeley R., Kirk R. L. and the Galileo SSI Team**, 1998, Styles of cryovolcanism on Europa: Summary of evidence from the Galileo nominal mission, *Lunar Planet. Sci.*, XXIX, 1721.
- Fagents, S. A.**, 2003, Considerations for effusive cryovolcanism on Europa: The post-Galileo perspective, *Journal of Geophysical Research.*, Vol. 108, N. E12, 5139, doi:10.1029/2003JE002128.
- Greeley, R., Sullivan, R., Coon, M. D., Geissler, P. E., Tufts, B. R., Head, J.W., Pappalardo, R. T., and Moore, J. M.**, 1998, Terrestrial sea ice morphology : Considerations for Europa. *Icarus*, 135, 25 – 40.
- Greenberg R., Geissler P., Hoppa G., Tufts B. R., Durda D. D., Pappalardo R., Head J. W., Greeley R., Sullivan R., Carr M. H.**, 1998, Tectonic Processes on Europa: Tidal Stresses, Mechanical Response, and Visible Features, *Icarus* 135, 64 – 78, ScienceDirect, Elsevier.
- Greenberg R., Hoppa G. V., Tufts B. R., Geissler P. and Riley J.**, 1999, Chaos on Europa, *Icarus* 141, 263 – 286.
- Greenberg R.**, 2005, *Europa The Ocean Moon : Search for an Alien Biosphere*, Springer Praxis Books, Chichester.
- Head J. W., Pappalardo R. T. and Sullivan R.**, 1999, Europa : Morphological characteristics of ridges and triple bands from Galileo data (E4 and E6) and assessment of a linear diapirism model, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, N. E10.
- Hoppa G. V., Tufts B. R., Greenberg R., and Geissler P. E.**, 1999c, Formation of cyloidal features on Europa, *Science*, 285.
- Hussmann H., Spohn T.**, 2004, Thermal-orbital evolution of Io and Europa. *Icarus* 171, 391 – 410.
- Klinger J.**, 1980, Influence of a phase transition of the ice on the heat and mass balance of comets, *Science* 209, 271–272.
- Kuskov O.L., Kronrod V.A.**, 2003, Chemical differentiation of the Galilean satellites of Jupiter - Interior structure of Europa, *Geochemistry International* 41, 984 – 1001.
- McCord T. B., Hansen G. B., Matson D. L., Johnson T. V., Crowley J. K., Fanale F. P., Carlson R. W., Smythe W. D., Martin P. D., Hibbitts C. A., Granahan J. C., Ocampo A., and the NIMS Team**, 1999, Hydrated salt minerals on Europa's surface from the Galileo NIMS investigation. *J. Geophys. Res.*, 104, 11827–11851.
- Michaut C. and Manga M.**, 2014, Domes, pits and small chaos on Europa produced by water sills, *Journal of Geophysical Research : Planets*, 119, 550 – 573.
- Miyamoto, H., Mitri, G., Showman, A.P., Dohm, J.M.**, 2005, Putative ice flows on Europa: Geometric patterns and relation to topography collectively constrain material properties and effusion rates, *Icarus* 177, 413 – 424.
- NASA / JPL / USGS**, 1998, PIA00295, διαθέσιμο στο : <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00295>.
- NASA / JPL**, 1999, PIA01669, διαθέσιμο στο : <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01669>.
- NASA / JPL**, 2010, *Planetary Science Decadal Survey, Jupiter Europa Orbiter Component of EJSM, Mission Concept Study*, p. viii .
- Nimmo F.**, 2004, Non-newtonian topographic relaxation on Europa. *Icarus*, 168, 205 – 208, ScienceDirect, Elsevier.
- Pappalardo R.T., Head J.W., Greeley R., Sullivan R.J., Pilcher C., Schubert G., Moore W.B., Carr M.H., Moore J.M., Belton M. J. S.**, 1998, Geological evidence for solid-state convection in Europa's ice shell, *Nature* 391, 365 – 368.

- Pappalardo R. T., Belton M. J. S., Breneman H. H., Carr M. H., Chapman C. R., Collins G. C., Denk T., Fagents S., Geissler P. E., Giese B., Greeley R., Greenberg R., Head J. W., Helfenstein P., Hoppa G., Kadel S. D., Klaasen K. P., Klemaszewski J. E., Magee K., McEwen A. S., Moore J. M., Moore W. B., Neukum G., Phillips C. B., Prockter L. M., Schubert B., Senske D. A., Sullivan R. J., Tufts B. R., Turtle E. P., Wagner R. and Williams K. K.**, 1999, Does Europa have a subsurface ocean ? Evaluation of the geological evidence, *Journal of Geophysics Research.*, Vol. 104, N. E10.
- Ruiz J. and Tejero R.**, 2003, Heat flow, lenticulae spacing, and possibility of convection in the ice shell of Europa, *Icarus* 162, 362 – 373, ScienceDirect, Elsevier.
- Schmidt B. E. and Blankenship D. D. and Patterson G. W. and Schenk P. M.**, 2011, Active formation of ‘chaos terrain’ over shallow subsurface water on Europa, *Nature* 479, 502 – 505.
- Schulson E. M.**, 2001, Brittle failure of ice, *Eng. Fracture Mech.*, 68, 1839 – 1887.
- Showman A. P. and Han L.**, 2004, Numerical simulations of convection in Europa’s ice shell : Implications for surface features, *Journal of Geophysics Research.*, Vol. 109, N. E01010.
- Spohn T. and Schubert G.**, 2003, Oceans in the icy Galilean satellites of Jupiter ?, *Icarus* 161, pp. 456 -467, ScienceDirect, Elsevier.
- Sullivan R., Greeley R., Homan K., Klemaszewski J., Belton M. J. S., Carr M. H., Chapman C. R., Tufts R., Head J. W., Pappalardo R., Moore J., Thomas P.**, 1998, Episodic plate separation and fracture infill on the surface of Europa, *Nature* 391, 371 – 373.
- Watts A.B.**, 2001, *Isostasy and Flexure of the Lithosphere*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, p. 458.
- Zehnder K. και Schoch O.**, 2008, Efflorescence of mirabilite, epsomite and gypsum traced by automated monitoring on-site, *Journal of Cultural Heritage* 10, 319 – 330, ScienceDirect, Elsevier.