

Εκπαιδευτική Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια

ΤΟΜΟΣ 16

ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ  
ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ  
ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ



ΕΚΔΟΤΙΚΗ ΑΘΗΝΩΝ

πλευσε από τη Μασσαλία στη Βρετανία, και λέγεται ότι ήταν ο πρώτος που αναφέρει την επίδραση των φάσεων της Σελήνης στο εύρος της παλίρροιας.

### Αίτια δημιουργίας της παλίρροιας

Οι παλίρροιας οφείλονται στις ελκτικές δυνάμεις βαρύτητας που ασκεί στην επιφάνεια της θάλασσας η Σελήνη και ο Ήλιος. Η συνεισφορά των υπόλοιπων ουράνιων σωμάτων στην παλίρροια είναι αμελητέα.

Η Γη και η Σελήνη αποτελούν ένα ουράνιο σύστημα που συνδέεται με την επίδραση της κοινής ελκτικής δύναμης βαρύτητας των δύο αυτών ουράνιων σωμάτων. Αυτή η δύναμη έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή των δύο σωμάτων σε σχεδόν κυκλικές τροχιές γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας, με περίοδο 27,3 ημερών. Καθώς η μάζα της Γης είναι 82 περίπου φορές μεγαλύτερη από αυτήν της Σελήνης, το κέντρο μάζας βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γης, σε σταθερό βάθος 1.700 χιλιομέτρων. Η θέση αυτού του σημείου δεν είναι σταθερή, αλλά περιστρέφεται και αυτή με περίοδο 27,3 ημερών, σε σταθερό πάντα βάθος. Έτσι, η Γη εκτελεί έκκεντρη περιστροφική κίνηση, που σημαίνει ότι όλα τα σημεία του εσωτερικού και της επιφάνειάς της διαγράφουν κυκλικές τροχιές με ακριβώς ίδιες ακτίνες. Οι ίδιες τροχιές όμως προυποθέτουν την ίδια φυγόκεντρο δύναμη παντού. Αντίθετα η Σελήνη, λόγω της διαφορετικής απόστασής της από αυτά, ασκεί στα διάφορα σημεία της Γης ελκτική δύναμη η οποία μεταβάλλεται. Για παράδειγμα, η ελκτική δύναμη είναι ισχυρότερη στο σημείο που βρίσκεται στην ευθεία που συνδέει τα κέντρα Γης-Σελήνης και προς την πλευρά της δεύτερης (υποσεληνιακό σημείο) και ασθενέστερη στο αντίδιαμετρικό σημείο (αντίποδας). Επιπλέον, η δύναμη αυτή έχει διευ-

θυσση προς το κέντρο της Σελήνης, που σημαίνει ότι εκτός από τα σημεία πάνω στη γραμμή που ενώνει τα κέντρα Γης - Σελήνης δεν είναι παράλληλη με τις φυγόκεντρες δυνάμεις. Συνέπεια αυτού είναι ότι και το μέγεθος και η διεύθυνση της συνισταμένης ή διαφορικής δύναμης που εξασκείται σε κάθε σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από τη θέση του σε σχέση με τη Σελήνη. Η κατανομή των δυνάμεων που προκαλούνται φαίνεται στο σχήμα 1, από το οποίο προκύπτει ότι στο ημισφαίριο που βρίσκεται το υποσεληνιακό σημείο Α οι δυνάμεις έχουν φορά προς τη Σελήνη, ενώ στο άλλο ημισφαίριο, όπου βρίσκεται ο αντίποδας Β, έχουν αντίθετη φορά. Μια τέτοια κατανομή, όμως, αναγκάζει το θαλάσσιο νερό να μετατοπίζεται προς το υποσεληνιακό σημείο και τον αντίποδα. Έτσι δημιουργούνται δύο υδάτινα κυρτώματα, τα οποία σχετίζονται με την πλήμμη. Ενδιάμεσα, η στάθμη του νερού κατεβαίνει κάτω από την κανονική και αντιστοιχεί στη ρηχία. Η κίνηση των κυρτωμάτων γύρω από τη Γη δημιουργεί την παλίρροια, δηλαδή την ανύψωση και πτώση της στάθμης της θάλασσας. Επειδή η Γη κάνει μία περιστροφή σε σχέση με τη Σελήνη κάθε 24 ώρες και 50 λεπτά, στα περισσότερα μέρη του κόσμου η ανύψωση της στάθμης ή της πτώσης εμφανίζεται κάθε 12 ώρες και 25 λεπτά (ημιμερήσια παλίρροια).

Οι σχετικές θέσεις Γης-Σελήνης δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλονται περιοδικά, δημιουργώντας αντίστοιχες μεταβολές στις δυνάμεις που παράγουν τις παλίρροιας. Μια τέτοια μεταβολή είναι και αυτή της απόκλισης της Σελήνης, η οποία δεν βρίσκεται πάντα πάνω από τον ισημερινό, αλλά έχει μια μεταβαλλόμενη απόκλιση που φτάνει τις 28° κάθε 27,2 ημέρες. Όταν η γωνία αυτή είναι μεγάλη, το επίπεδο των δύο κυρτωμάτων είναι μετατοπισμένο

σε σχέση με τον ισημερινό και η παλίρροια που δημιουργούν σε ένα δεδομένο γεωγραφικό πλάτος είναι ανισομερή, δηλαδή η πλήμμη των ημιμερησίων παλίρροιας έχει ημερησίως ανισοτήτες. Μια άλλη μεταβολή προέρχεται από το είδος της σεληνιακής τροχιάς. Η πραγματική τροχιά της Σελήνης γύρω από το κέντρο μάζας είναι ελλειπτική και όχι κυκλική· όταν η Σελήνη βρίσκεται στο περίγειο, δηλαδή στην πλησιέστερη θέση σε σχέση με τη Γη, η δύναμη που δημιουργεί την παλίρροια είναι 20% ισχυρότερη από τη μέση τιμή· αντίθετα, όταν βρίσκεται στο απόγειο, δηλαδή στη μακρύτερη θέση σε σχέση με τη Γη, η δύναμη είναι 20% ασθενέστερη από τη μέση τιμή. Η περίοδος αυτής της μεταβολής είναι 27,5 ημέρες.

Ο Ήλιος, αν και βρίσκεται αρκετά μακρύτερα από τη Σελήνη (360 περίπου φορές), λόγω της πολύ μεγαλύτερης μάζας του δημιουργεί και αυτός παλίρροιας, που έχουν ύψος περίπου το μισό των σεληνιακών παλίρροιας (46%) και περίοδο 12 ώρες ακριβώς. Κάθε 14 περίπου μέρες, όταν παρατηρείται πανσέληνος ή νέα σελήνη, ο Ήλιος και η Σελήνη βρίσκονται σε συζυγία, δηλαδή στην ίδια ευθεία με τη Γη. Λόγω της πρόσθεσης της ελκτικής επίδρασης των δύο ουράνιων σωμάτων, η ανύψωση και η πτώση της θάλασσας σταθμής αυξάνεται και το εύρος της παλίρροιας αποκτά μέγιστη τιμή. Τότε λέγεται ότι παρατηρούνται **παλίρροιας συζυγιών**. Αντίθετα, όταν η Σελήνη βρίσκεται στο πρώτο ή το τρίτο τεταρτο, ο Ήλιος και η Σελήνη βρίσκονται σε τετραγωνισμό σε σχέση με τη Γη, και τότε οι ελκτικές επιδράσεις των δύο αυτών ουράνιων σωμάτων αντιστέκονται: η μία στην άλλη, οπότε το εύρος της παλίρροιας αποκτά ελάχιστη τιμή. Τότε λέγεται ότι παρατηρούνται **παλίρροιας τετραγωνισμών** (βλ. σχήμα 2β).

### Δυναμική θεωρία της παλίρροιας

Αν και η παλίρροια είναι δυνατό να θεωρηθεί σαν ένα κύμα που μετακινείται στην επιφάνεια της Γης παραμένοντας πάντα στην ίδια ευθεία με τη Σελήνη, καθώς η πρώτη περιστρέφεται (στατική θεωρία της παλίρροιας), αυτή η περιγραφή δεν είναι εντελώς ακριβής, για τους παρακάτω λόγους:

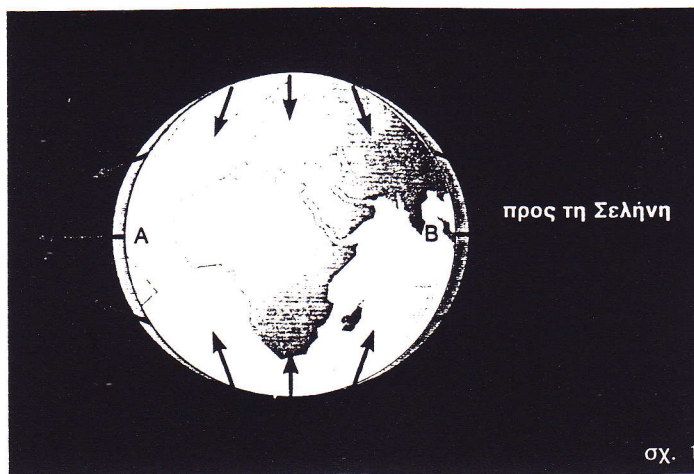
α) Για να μπορέσει αυτό το κύμα να ακολουθήσει τη φαινόμενη κίνηση της Σελήνης, πρέπει να διαδίδεται με ταχύτητα 447 m/s. Δεδομένου ότι η ταχύτητα ενός κύματος είναι συνδεδεμένη με το βάθος της θάλασσας, η παραπάνω τιμή αντιστοιχεί σε μέσο βάθος 20.000 km, που είναι υπερτετραπλάσιο του πραγματικού.

β) Η παρουσία των ηπείρων εμποδίζει τα παλίρροια κύματα να

## Παλίρροιας

Είναι η περιοδική ανύψωση και πτώση της στάθμης της θάλασσας, σε σχέση με την επιφάνεια της Γης. Η ανοδική κίνηση της στάθμης ονομάζεται **πλημμυρίδα** και το μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνει **πλήμμη**, ενώ η πτωτική κίνηση της **άμπωτη** και το αντίστοιχο ελάχιστο ύψος της **ρηχία**. Η διαφορά της στάθμης του νερού μεταξύ πλήμμης και ρηχίας λέγεται **εύρος** της παλίρροιας. Κατά την ανύψωση και την πτώση της η παλίρροια συνοδεύεται και από περιοδική οριζόντια κίνηση του νερού, που ονομάζεται **παλίρροϊκό ρεύμα**. Η ταχύτητα του ρεύματος μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του παλίρροϊκού κυκλώ, περνώντας από δύο μεγίστες τιμές με αντίθετες διευθύνσεις και δύο ελάχιστες κατά τις οποίες δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου ρεύμα (στάσιμο νερό).

Στις ελληνικές θάλασσες το φαινόμενο της παλίρροιας δεν είναι έντονο, αλλά οι Αρχαίοι Έλληνες ήταν από τους πρώτους που το παρατήρησαν και προσπάθησαν να το εξηγήσουν. Ο Ηρόδοτος κατέγραψε παλίρροϊκά φαινόμενα στην Ερυθρά θάλασσα, ο δε Αριστοτέλης συσχέτισε την παλίρροια με την κίνηση της Σελήνης. Ο θαλασσοπόρος και εξερευνητής Πυθέας έ-



Σχηματική απεικόνιση των δυνάμεων που δημιουργούν τις παλίρροιας.

σχ. 1

περιστρέφονται ελεύθερα στην επιφάνεια της Γης.

γ) Η περιστροφή της Γης επιδρά (δύναμη Coriolis) στην οριζόντια κίνηση του νερού, που προέρχεται από τις παλίρροϊκές δυνάμεις, και το αναγκάζει να αποκλίνει προς τα δεξιά στο βόρειο και προς τα αριστερά στο νότιο ημισφαίριο.

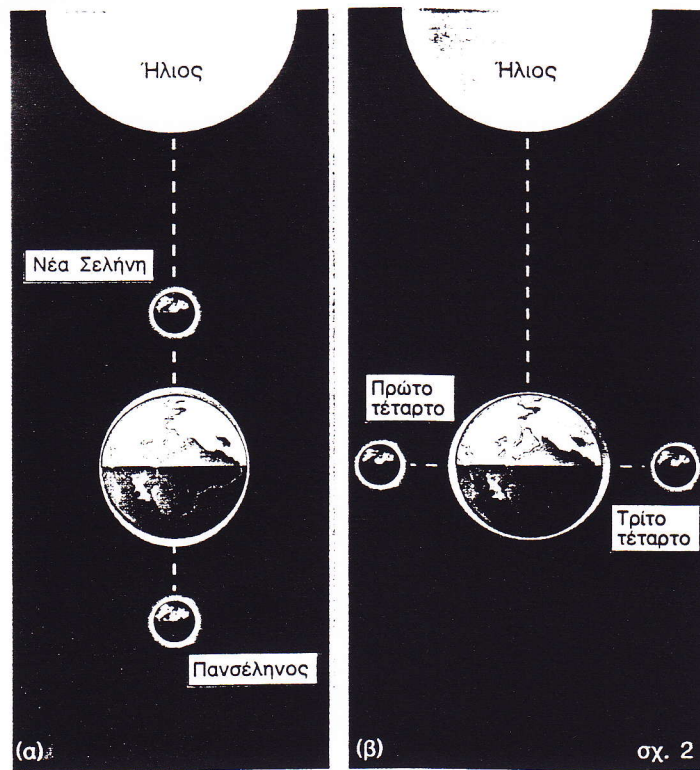
δ) Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πυθμένα επιδρούν στην παλίρροϊκή ροή. Κάθε θαλάσσια λεκάνη συμπεριφέρεται σαν ανεξάρτητη δεξαμενή νερού, με δική της περίοδο ταλάντωσης (ιδιοπερίοδο), που αντιπροσωπεύει το χρόνο που θέλει μια διατάραξη στο νερό να ταξιδέψει από τη μία άκρη στην άλλη. Μια παρόμοια κατάσταση παρατηρείται όταν διαταραχθεί το νερό σε μια μπανιέρα, ώστε αυτό να πάλλεται μπρος και πίσω με μια χαρακτηριστική συχνότητα. Το πλάτος αυτής της διαταραχής μπορεί να αυξηθεί ή να ελαττωθεί με μια ώθηση κατά τη διεύθυνση της κίνησης. Με τον ίδιο τρόπο το νερό σε κάθε θαλάσσια λεκάνη αντιδρά διαφορετικά στην περίοδο της παλίρροϊκής διεγερσης και εξαρτάται από το αν είναι ίδια με την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης της (ή κάποιας αρμονικής της). Έτσι, και το πλάτος του παλίρροϊκού εύρους και η ώρα της πλήμης εξαρτώνται από αυτή την περίοδο. Μερικές κλειστές θαλάσσιες, όπως η Βαλτική και η Μεσόγειος θάλασσα, έχουν λόγω των αρμονικών τους μηδαμινές παλίρροιες. Άλλες πάλι θάλασσες, που ενώνονται με ωκεανούς, όπως η Βόρεια θάλασσα που ενώνεται με τον Ατλαντικό, έχουν πολύ μεγαλύτερα εύρη, συχνά 5 m η και περισσότερο. Σε μερικές περιπτώσεις, όπως στον κόλπο του Φάντι στον ανατολικό Καναδά, το παλίρροϊκό εύρος ξεπερνά τα 15 m.

Σε περιοχές όπου το εύρος της παλίρροιας είναι σχετικά μεγάλο (πάνω από 5 m), μπορεί να παραχθεί οικονομικά συμφέρουσα ηλεκτρική ενέργεια από τις παλίρροιες. Κατά τη διάρκεια της πλήμης κατακρατείται νερό σε φράγματα, και με την απελευθέρωση του τίθενται σε λειτουργία υδροηλεκτρικές γεννήτριες. Τέτοιος σταθμός λειτουργεί στη βόρεια Γαλλία από το 1966 και παράγει 550.000.000 κιλοβατώρες το χρόνο.

Η αναλυση και η περιγραφή του φαινομένου της παλίρροιας, λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παραγοντες, αποτελει τη δυναμική θεωρία της παλίρροιας.

#### Πρόγνωση των παλίρροιών

Στις περιοχές όπου η παλίρροια έχει μεγάλο εύρος, είναι φανερό ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή των κατοίκων αυτών των περιοχών, καθώς και στην ευρύτερη ναυσιπλοία. Σε αυ-



Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας λόγω της έλξης που ασκεί ο Ήλιος και η Σελήνη στο θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα τη δημιουργία παλίρροϊών συζυγιών (α) και παλίρροϊών τετραγωνισμού (β).

τές τις περιοχές, λοιπόν, η δυνατότητα πρόγνωσης της παλίρροιας και των παλίρροϊκών ρευμάτων καθίσταται αναγκαία. Οι αναλυτικές εξισώσεις που περιγράφουν το φαινόμενο της παλίρροιας είναι γνωστές από τη δυναμική θεωρία, αλλά λόγω της πολυπλοκότητάς τους και της δυσκολίας επίλυσης δεν χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση των παλίρροϊών. Στην πράξη, η πρόγνωση της μεταβολής της στάθμης συναρτήσει του χρόνου επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της αρμονικής ανάλυσης, κάνοντας χρήση του γεγονότος ότι η παρατηρούμενη παλίρροια είναι άθροισμα επιμέρους συνιστωσών (μερικές παλίρροιες ή αρμονικές) από τις οποίες καθεμία έχει περίοδο ίδια με την περίοδο κάποιας από τις σχετικές κινήσεις του συστήματος Γη-Σελήνη-Ήλιος. Τέτοιες συνιστώσες είναι περίπου 360 και χωρίζονται σε τρεις ομάδες, τις **ημιημερήσιες**, τις **ημερήσιες** και τις **μακροπεριόδους**. Βασικές ημιημερήσιες συνιστώσες είναι η κύρια σεληνιακή (περίοδος 12,42 ώρες), η κύρια ηλιακή (12 ώρες) και η μεγαλύτερη ελλειπτική της Σελήνης (περίοδος 12,66 ώρες). Ημερήσιες συνιστώσες είναι η ημερήσια σεληνιακή (περίοδος 23,93 ώρες), η κύρια ηλιακή ημερήσια (περίοδος 25,82 ώρες) και η κύρια σεληνιακή ημερήσια (περίοδος 24,07 ώρες). Η πιο ισχυρή μακροπερίοδος συνιστώσα είναι η δεκαπενθήμερη σε-

ληνιακή. Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου η μερική παλίρροια που κυριαρχεί είναι η κύρια σεληνιακή, ενώ αλλού κυριαρχεί η ημερήσια σεληνιακή συνιστώσα.

Κάθε μερική παλίρροια και για κάποιο συγκεκριμένο γεωγραφικό μέρος χαρακτηρίζεται από το **πλάτος** της, που σχετίζεται με το εύρος που συνεισφέρει στην ολική παλίρροια, και τη **φάση** της, που περιγράφει τη χρονική στιγμή κατά την οποία η συγκεκριμένη συνιστώσα αποκτά μέγιστο εύρος. Για να υπολογιστούν αυτές οι παράμετροι για κάθε μερική παλίρροια, χρησιμοποιούνται οι τιμές στάθμης της θάλασσας, που μετρούνται από παλίρροιογράφους, όργανα που καταγράφουν τη στάθμη συναρτήσει του χρόνου. Ανασύσταση της ολικής παλίρροιας από τις υπολογισμένες επιμέρους παραμέτρους δίνει την πρόγνωση.

Πολλές φορές μετεωρολογικοί παράγοντες, όπως η ατμοσφαιρική πίεση και ο άνεμος, έχουν μεγάλη επίδραση στη στάθμη της θάλασσας. Όταν ο άνεμος πνέει προς την ξηρά ή όταν υπάρχει βαρομετρικό χαμηλό, παρατηρείται ανύψωση της στάθμης, ενώ όταν η πίεση αυξάνεται ή ο άνεμος πνέει προς τη θάλασσα παρατηρείται πτώση. Ένας ισχυρός άνεμος μπορεί να εξασθενήσει μια πλήμμη ή να τη δυναμώσει (κύματα καταγίδας). Αυτό μειώνει την ακρίβεια πρόβλεψης της στάθμης και συνήθως χρησιμοποιούνται α-

ριθμητικά μοντέλα για τον υπολογισμό αυτών των φαινομένων.

#### Άλλες παλίρροιες

Ένας τύπος παλίρροιας που δεν οφείλει την ύπαρξή του απευθείας στις αστρονομικές δυνάμεις βαρύτητας, και δεν εκφράζεται με περιοδική ανύψωση και πτώση της στάθμης της θάλασσας είναι η **εσωτερική**. Αυτού του τύπου η παλίρροια δημιουργείται από την αλληλεπίδραση των παλίρροϊκών ρευμάτων με το βυθό. Όπως υπονοεί και η ονομασία, οι εσωτερικές παλίρροιες διαδίδονται με τη μορφή εσωτερικών κυμάτων και γι' αυτό, σε αντιδιαστολή, η κανονική παλίρροια ονομάζεται πολλές φορές και **επιφανειακή**. Επειδή τα εσωτερικά κύματα χαρακτηρίζονται από μεγάλα πλάτη, το εύρος της εσωτερικής παλίρροιας σε μερικά μέρη, όπως ο Βισκαϊκός κόλπος, ξεπερνά τα 200 μέτρα.

Λόγω της ημερήσιας περιστροφής της Γης, η διαστολή και η συστολή της επιφανείας της θάλασσας με τη θέρμανση την ημέρα και την ψύξη τη νύχτα δημιουργούν μεταβολές στη στάθμη, που μοιάζουν με παλίρροιες. Παρόμοιο αποτέλεσμα δημιουργεί η θάλασσα και η απόγεια αύρα. Αυτές οι περιοδικές μεταβολές της θάλασσας ονομάζονται **παλίρροιες ακτινοβολίας** και είναι πολύ δύσκολο να ξεχωριστούν από την αστρονομική παλίρροια. Τέλος, συχνά αλλά λανθασμένα αναφέρονται ως παλίρροϊκά κύματα αυτά που δημιουργούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς (tsunamis).

#### Παλίρροιες των ελληνικών θαλασσών

Στις ελληνικές θάλασσες το μέσο εύρος της παλίρροιας κυμαίνεται από 4 μέχρι 40 εκατοστά. Στο βόρειο λιμένα της Χαλκίδας έχει καταγραφεί μέγιστο εύρος 1,20 μέτρα, με μέσο 0,42 μέτρα. Μεγαλύτερα εύρη υπάρχουν στο βόρειο Αιγαίο και το Ιόνιο πέλαγος. Λόγω όμως της γεωγραφίας και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του βυθού ορισμένων περιοχών, δημιουργούνται εκεί μερικά από τα ισχυρότερα παλίρροϊκά ρεύματα της ανατολικής Μεσογείου. Τέτοια ισχυρά παλίρροϊκά ρεύματα υπάρχουν στον πορθμό του Ευρίπου, όπου πολλές φορές φτάνουν τα 400 cm/s (~8,5 κόμβοι). Η παρουσία τους οφείλεται αφενός μεν στη μορφολογία του πορθμού, που είναι επιμήκης και στενός, αφετέρου δε στη διαφορετική συμπεριφορά της παλίρροιας στο βόρειο και το νότιο τμήμα του. Επίσης, στα στενά του Ρίου, όπου ενώνεται ο Πατραϊκός με τον Κορινθιακό κόλπο, τα παλίρροϊκά ρεύματα έχουν ταχύτητες 100 cm/s (~2

**Παραμόρφωση πετρωμάτων**

κόμβους), το δε ανάγλυφο του βυθού στην είσοδο του Κορινθιακού κόλπου βοηθά στη δημιουργία εσωτερικής παλίρροιας πλάτους 3 m.

Π. ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ