

ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Θεοδόσιος Π. Τάσιος
Πολιτικός Μηχανικός

Μ' έναν σύντομο αλλά ατελή ορισμό, Τεχνολογία θα ονομάζεται η *σκόπιμη μετατροπή υλικών και γνώσεων σε χρήσιμα προϊόντα* (καθώς και κάθε σύνολο «τεχνογνωσίας» που αφορά αυτή την μετατροπή). Αξίζει να σχολιασθούν τα «στατιστικά μέρη» αυτού του ορισμού.

- *Σκόπιμη δουλειά* σημαίνει ότι ο τεχνίτης έχει συλλάβει εκ των προτέρων έναν σκοπό τον οποίον θέλει να υπηρετήσει. (Η κατασκευή βιολιού γίνεται με σκοπό να παραχθεί μουσική.)

- *Χρήσιμο* θα είναι το προϊόν, εάν ικανοποιεί μian ανάγκη. Και η επιθυμία της μουσικής, στο προηγούμενο παράδειγμα, συνείδηση ανάγκης ήταν. Κι ακόμα σαφέστερα, η ανάγκη για τροφή θεραπεύεται όταν κατασκευάζεται ένα ξύλινο αλέτρι κατάλληλου σχήματος.

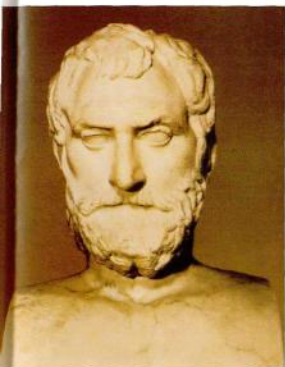
- *Προϊόν τεχνολογίας* είναι το ψωμί, αλλά κι ένα ασημένιου όγκου ηλεκτρονικό κύκλωμα. Έτσι, εξαρχής, το ποσοστό συμμετοχής «υλικών» και «γνώσεων» δεν είναι δεσμευτικό του ορισμού της Τεχνολογίας. Γι' αυτό και η βαθμιαία επιστημονικοποίηση ήταν ένας δρόμος τον οποίο νομοτελειακά σχεδόν θα ακολουθούσε η Τεχνολογία: για να γίνει οικονομικότερη, αποδοτικότερη και γενικότερη.

Γιατί χρειάζονται και οι γνώσεις; Ο χιμπαντζής που πεινάει, αλλά το χέρι του δεν φτάνει την μπανάνα (βαλμένη λίγο μακρύτερα έξω απ' το κγκλιδίωμα),ιώθει την ανάγκη (πεινάει), βάζει σκοπό να φθάσει την τροφή, προσπαθεί (ματάνις). Ξάφνου, αν έχει κάπου ξαναδεί τη σκηνή (ανάμνηση, γνώση), θα κόψει ένα κλαρί, θα το περάσει απο τα κάγκελα, και με αυτό θα σύρει προς τα μέσα την μπανάνα: Τα υλικά ήταν διαθέσιμα, αλλά αν έλειπε η γνώση δεν θα μπορούσε να ικανοποιηθεί η ανάγκη. Ο χιμπαντζής αυτός κατασκεύασε «εργαλείο» (την προέκταση του χεριού του, κατά κάποιον τρόπο) και, ουσιαστικά, κάλυψε όλα τα στατιστικά στοιχεία του ορισμού-μας για την Τεχνολογία.

Κι αν ο φυλακισμένος χιμπαντζής δεν είχε ξαναδεί το τέχνασμα: Θα πέθαινε απο την πείνα; Εν γένει, ναι. Λέγεται όμως πως ένας στους τóσους νεαρούς άπειρους χιμπαντζήδες εφευρίσκει την γνώση: Έχει, δηλαδή, την αναγκαία φα-

ντασία να σπάσει τον φυσικό κώδικα «κλαρί = μέρος του δέντρου όπου σκαρφαλώνω», και να παραγάγει μiάν ακόμα τεχνητή έννοια (ριζικής διαφορετικής κατηγορίας) «κλαρί = άγκιστρο». Ή αργότερα, μισημένος στο μεταποιητικό νόημα της Τεχνολογίας, να παραγάγει μiάν ακόμα τεχνητή χρήση «κλαρί = όπλο», και να αρχίσει να κοπανάει τους αντιπάλους του.

Έτσι παρατηρείται ότι η γνώση που χρειάζεται για την άσκηση Τεχνολογίας μπορεί μεν να είναι δεδομένη, ενδέχεται όμως να παραχθεί (σκοπικός κι αυτή) κατά τη διάρκεια επιλύσεως του τεχνικού προβλήματος «πως θα ικανοποιησω την ανάγκη». Ο μύθος δηλοι εδώ ότι η Τεχνολογία έχει διφυή σχέση με την Επιστήμη: είτε την «εφαρμόζει» έτοιμη, είτε, πολύ συχνότερα, (εφαρμόζοντας την επιστημονική μεθοδολογία) παράγει επιστήμη, με συγκεκριμένον χρηστικό σκοπό αυτή τη φορά.



Η Διαλεκτική σχέση Επιστήμη/Τεχνολογία

Λοιπόν, κατά τον ορισμό, η παραγωγή του τεχνικού αγαθού απαιτεί «γνώση». Είναι δε ενδιαφέρον να διακριθούν τρεις κατηγορίες τέτοιων γνώσεων.

- Γνώση υπάρχουσα από προγενέστερη εμπειρία, και εφαρμοζόμενη «εμπειρικά» σε εντελώς όμοιες περιπτώσεις στο μέλλον. Τεχνολογία γίνεται, τεχνολογική πρόοδος όμως δεν συντελείται με τέτοια γνώση.
- Γνώση διευρυνόμενη με τη βεβαιότητα σκόπιμων δοκιμών και πειραματισμού. Στην περίπτωση αυτή (όταν και εάν οι προσπάθειες πετύχουν), η Τεχνολογία προοδεύει. Πολλές φορές, ένα τυχαίο γεγονός πάνω στη δουλειά, ή μια εμπειρία ενός παράξενου τεχνίτη μπορούν να υποκαταστήσουν τον πειραματισμό και την «τυφή» αναζήτηση. Είναι ακριβώς ό,τι γινόταν για χιλιάδες χρόνια, στην Ελλάδα μέχρι περίπου τον 6ο π.Χ. αιώνα: Η Τεχνολογία ανθούσε στην Ελλάδα, αλλά δεν είχε ακόμη συναντηθεί με την Επιστήμη.
- Ενδέχεται όμως να είχε προηγηθεί (ή να έχει εφαρμοσθεί επί τούτου) μια άλλη μεθοδολογία: Να έχει αναζητηθεί μια ορθολογική συσχέτιση αιτίου/αποτελέσματος σε ένα πλήθος φαινομένων όπου κείται το προς επίλυση τεχνολογικό πρόβλημα. Τότε, είτε η λύση θα προκύψει αμέσως, είτε ο πειραματισμός θα είναι πιο περιορισμένος και λιγότελες φορές. Φαίνεται ότι στις ελληνίδες χώρες, μαζί με τις δύο πρώτες κατηγορίες «τεχνονομίας», άρ-

χιζε για πρώτη φορά να εφαρμόζεται δευτέρευτα η τελευταία αυτή κατηγορία τεχνονομίας. Δύο, τουλάχιστον, σπουδαίες συνέπειες αυτού του φαινομένου οφείλουν να παρατηρηθούν. Πρώτη, η ίδια η Τεχνολογία γίνεται παραγωγικότερη (οικονομικότερη, ευρύτερη εφαρμογής), η δε τεχνολογική καινοτομία γίνεται ευχερέστερη (γρήγορη τεχνολογική πρόοδος). Δεύτερον, καθώς τώρα αλληλοσυμπληρώνονται Επιστήμη και Τεχνολογία, ένα νέο είδος αναγκών περιμένει να υπηρετηθεί από την Τεχνολογία: πρόκειται για την ίδια την Επιστήμη, η οποία έχει ανάγκη από ποικίλα όργανα παρατηρήσεων και μετρήσεων. Τα «τεχνολογικά» αυτά προϊόντα θα είναι το αντίδωρο της Τεχνολογίας για όσα διωρήματα έλαβε από την Επιστήμη! Στην αρχαία Ελλάδα, η πολλαπλή σχέση «Τεχνολογία → Επιστήμη → Τεχνολογία → Επιστήμη» θα παρατηρηθεί πολλές φορές.

Πώς η Επιστήμη ενδυνάμωσε την Τεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα

α. Τα σχετικά φαινόμενα παρατηρούνται πρώτον κατά τον 6ο αιώνα π.Χ., όταν η εμπειρική τεχνική της μετρήσεως των χωραφιών μετεξελίσσεται στην επιστήμη της Γεωμετρίας. Έτσι, ο μέγας μαθηματικός Θαλής ο Μιλήσιος ήταν και Μηχανικός σπουδαίος, αφού βοήθησε τον Κρόισο να περάσει τον στρατό του τόν «Άλιον ποταμόν (...) κατά την διώρυχα έκτραπόμενος εκ των αρχαίων ρεέθρων (Ηρόδ. Ι, 75). Είναι μάλλον χαρακτηριστικό ότι ο Πλάτων δεν θαυμάζει τον Θαλήν ως Μαθηματικόν, αλλά ως Μηχανικόν. Άλλ' οία δή εις τὰ έργα σοφού άνδρος πολλὰ επίνοιαι και εύμήχανοι εις τέχνας ή τινας άλλας πράξεις λέγονται ώσπερ αύ Θαλεώ τε περί τού Μιλήσιου (Πολιτεία 600α).

Εικόζομε βασίμως ότι το γιγαντιαίο εκείνο υδραυλικό έργο του Θαλή κατέστη εφικτόν χάρις στο γεγονός ότι η «θεωρητική» Γεωμετρία επιτρέπει τη μέτρηση της απόστασης μη προσελάσμων σημείων, επιτρέπει τη χάραξη παραλλήλων γραμμών και καμπυλών στο έδαφος – χωρίς εμπειρικές δοκιμές και διορθώσεις.

Κάτι ανάλογο είχε γίνει, την ίδια εποχή (6ος αι. π.Χ.), και με τη χάραξη της σήραγγας του Ευπαλίνου: Μόνον μια γιγαντιαία γεωμετρική κατασκευή γύρω απ' το βουνό μπορούσε να επιτρέψει την υλοποίηση των ίσων γωνιών καταβύσεως της διάτρησης απ' τα δύο μέρη!

β. Στην ίδια κατηγορία ανήκει κι η τερπασία διεκκόλυση κατασκευής υκτών μουσικών οργάνων – όχι «με τ' αυτί», αλλά μέσω μαθηματικών. Ο Αρχύτας έδωσε οδηγίες για τις διαίρεσεις των τετράχορδων πάνω στον φθόγγο «δε» (fa), επειδή ήδη οι Πυθαγόρειοι είχαν εκφράσει τους ήχους «αριθμητικώς».

γ. Η λεγόμενη αντλία του Αρχιμήδους (Διόδ. Ι.34.2) – μια έλικα Έλληνη ή μεταλλική, κερφωμένη πάνω σ' έναν έξιγων περιστρεφόμενο άξονα – ανέβαζε νερό απ' τα πηγάδια, επί δύο χιλιάδες χρόνια. Αυτή η πολύτιμη μηχανή προϋποθέτει

1. Ο Θαλής ο Μιλήσιος.
Ρωμαϊκό αντίγραφο
προτομής του 4ου αι. π.Χ.
Μουσείο Βατικανού.

βέβαια τη γνώση της μαθηματικής καμπύλης της έλικας – αρχιμήδεια συμβολή και αυτή.

δ. Κάπως έτσι εξηγείται και η ουδερεκεστατή παρατήρηση του Βιτρούβιου, κατά τον οποίον: «Ο Αρίσταρχος, ο Ερατοσθένης, ο Αρχιμήδης και ο Σκωπίνας κληροδότησαν στις επόμενες γενιές πολλές μηχανές, οι οποίες επινοήθηκαν και κατασκευάστηκαν με βίαιη του Αριθμούς και τους Φυσικούς Νόμους» (De Architectura I.1.17). Δηλαδή, σε σημερινή διατύπωση, η Τεχνολογία των Αρχαίων Ελλήνων στηρίχθηκε στην Επιστήμη! **ε.** Πόλυ αργότερα (Συν. VIII 1.3), ο Πάππος καταγράφει την ίδια ακριβώς τάση λέγοντας: «Η επιστήμη της Μηχανικής είναι χρήσιμη για πολλές εφαρμογές της καθημερινής ζωής [...] και επιζητείται εμμένως από όλους τους μαθηματικούς».

Το αντίδωρον της Τεχνολογίας προς την Επιστήμη στην αρχαία Ελλάδα

Σ' αυτήν τη διαλεκτική Επιστήμη και Τεχνολογία, είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε τώρα και μια **αντίστροφη** λειτουργία: Την υποβοήθηση στην οποία προσφέρουν ορισμένα τεχνήματα προς την ανακάλυψη μαθηματικών αληθειών. Ο Αρχιμήδης ο ίδιος ομολογεί λαμβάνειν *αφορμάς εις τό δύνασθαι τινα των έν τοίς μαθήμασι θεωρεϊν διά των μηχανικών. Ταύτο δέ πέπεισμαι χρήσιμον είναι ουδέν ησαν και εις την απόδειξιν εν αυτών των θεωρημάτων (Ερατοσθένειος έφοδοι Η.429.20)*. Πρόκειται ουσιαστικά για την επιβεβαίωση του διανοητικού λήρου ο οποίος συνδέει την παραγωγή καινοτομίας και την επιστημονική μεθοδολογία (βλ. παραπάνω, «διφυής σχέση Τεχνολογίας με την Επιστήμη»).

Σ' ένα πρακτικότερο επίπεδο τώρα, χάρις στην τεχνολογική ανάπτυξη, οι αρχαίοι Έλληνες ήσαν σε θέση να παραγάγουν μια ειδική κατηγορία τεχνολογικών προϊόντων, τα οποία είχαν

ως μόνον σκοπό την εξυπηρέτηση της Επιστήμης: Πρόκειται για τα μετρητικά ή επιστημονικά όργανα:

Οι αποστάσεις μετρίονταν με «**οδόμετρα**» (τα γραναζωπά ταξίμετρα του Ήρωνος του Αλεξανδρέως, «Διόπτρα», 34), ή μέσω γεωδαιτικών μεθόδων σάν αυτήν που χρησιμοποιήσε ο Ερατοσθένης για να μετρήσει τη διάμετρο της γης – όπου όμως αξιοποίησε **γνώμονα** (Ευδόξος 4ος αι. π.Χ.). Οι δυνάμεις μετρίονταν μέσω ζυγών (βλ. Πρόταση του Αρχιμήδους). Ο χρόνος μετρίονταν με ακρίβεια μέσω «υδρίων υδροσκοπιών» (Κτησιβίος και Αρχιμήδης). Οι χαράξεις γίνονται με χυροβάτες.

Κοντολογίες, οι τεχνικές εξελίξεις (στη μεταλλοτεχνική κυρίως) επέτρεψαν γρήγορα στους Έλληνες να κατασκευάσουν μετρητικά όργανα, ακολουθώντας ίσως την θεμελιώδη επιστημολογική παρακατάθεση του Πλάτωνα: *Όταν πασών τεχνών άν τις άριθμητικήν χωρίξη και μετρητικήν και στατικήν, φαύλον τό καταλειπόμενον έκάστης άν γίγναιτο (Φύλλος 55Ε)*.

Κορυφίωμα αυτής της τεχνολογικής συμβολής στην Επιστήμη ήσαν οι «Αστρονομικοί Προσομοιωτήρες» – εκείνοι δηλαδή οι πρόδρομοι των Αναλογικών Υπολογιστών, μέσω των οποίων οι Έλληνες μπορούσαν να αναπαράγουν (άρα και να προβλέπουν) την κίνηση ουρανίων σωμάτων. Ο Κικέρων (*Tusculanum Disputationes*) εξήγησε πως ο Αρχιμήδης είχε συνδυάσει πάνω σε μία σφαίρα τις κινήσεις πέντε ουρανίων σωμάτων «θεία εμπνεύσει». Για νά 'ρθει αργότερα ο Μηχανισμός των Αντικυθέρων, μέσω του οποίου αναπαράγονταν με ακρίβεια οι κινήσεις των πλανητών και της σελήνης. Πρόκειται για ένα τεχνικό αριστούργημα από τριάντα περίπου λειτουργημένους οδοντωτούς τροχούς, αλληλοεμπλεκόμενους σ' ένα κουρδισμένο επιστημονικό όργανο καμωμένο από κρατέρισμα (μπροντζιτό).

Αυτό ήταν περίπου το **αντίδωρον** της αρχαιοελληνικής Τεχνολογίας προς την ελληνική επιστήμη, για όσο η πρώτη γονιμοποιήθηκε από τη δεύτερη.

Ήταν ο Πλάτων αντι-τεχνικός;

Οι Αθηναίοι της κλασικής εποχής δέν ήσαν «αντίθετοι» προς την τεχνολογία – το αργυροφόρον Λαύριον, η πρωωθημένη ναυπηγική των τριηρέων και τα υδραυλικά έργα στις αθηναϊκές κτήσεις καλά κρατούσαν. Ο Πλάτων είναι ίσως ένα πρόσωπο χαρακτηριστικό της εποχής. Αν θεωρήσουμε τον Πλάτωνα ως εκπρόσωπο μιας κατεξοχίτην «θεωρητικής» στάσεως επί των ανθρωπίνων, θα ήταν σκόπιμο να εξετάσουμε και την (μάλλον παρεξηγημένη) στάση-του απέναντι στην Τεχνολογία. Ακούσαμε πόσο τιμητικά χαρακτήριζε τον Θαλήν τον Μιλήσιο ως Μηχανικό! Κι είδαμε τον επιστημολογικό ρεαλισμό του Πλάτωνα υπέρ των μετρήσεων ως βάσεως πάσης Τέχνης. Ναι, αλλά τότε γιατί ενοχλήθηκε από την «πρακτική» λύση του δηλίου προβλήματος από τον Αρχία; Επιπρότερο-μυ να υπενθυμίσω το επεισόδιο. Ο πολυς Αρχίας επέτυχε μια «μηχανική» (ας την πούμε) λύση για το άλυτο πρόβλημα του διπλασιασμού του κύβου. Η λύση βρισκόταν δέ' αλληλοτομίας κώνου, ημικυλίνδρου και της



2. Οροίμοιο ΕΜΑΕΤ του οδομέτρου του Ήρωνος του Αλεξανδρέως (γύρω στον 1ο αι. π.Χ.), ενός μηχανολογικού οδοντωτών τροχών, σάν τα σημερινά ταξίμετρα, που μετρούσε με ακρίβεια τις άδικες αποστάσεις.



3. Ομοίωμα EMAET του υδραυλικού ρολογιού του Κτηγόριου.

κού»: Επιστήμη και Τεχνική μαζί (χωρίς ακραίες προκαταλήψεις) ός δώσουν τις λύσεις που χρειαζόμαστε για οποιοδήποτε πρόβλημα. Με το ίδιο πνεύμα άλλωστε, ο μέγας εκείνος Ταραντίνος (ο Leonardo da Vinci του 4ου αι. π.Χ.), ο μαθηματικός, μηχανικός, φιλόσοφος, πολιτικός, κι εφτά φορές στρατηγός, ο Αρχύτας, πραγματώνει τα τρία γνωστά γένη της μουσικής (το εναρμόνιον, το χρωματικόν και το διατονικόν), και δίνει και οδηγίες για τις διαμερήσεις των τετραχόρδων πάνω στον φθόγγο «δε», όπως είπαμε.

Αν μάλιστα είχε σωθεί το «περί μηχανής» σύγγραμμά-του, θα μπορούσαμε ίσως να θεωρούμε τον Αρχύτα εφευρέτη της πηχτικής μηχανής. Ο Cellius (10.12.5) την περιγράφει: Ξύλινο περιστέρι, που πετούσε μέσω ενός συνδυασμού ελατηρίων και πεπεσμένου αέρα.

Κι οι Ρωμαίοι;

Κλείνοντας, δικαιούται ίσως κανείς ν' αναφερθεί και στην «αποθετική» πλευρά του ζητήματος: Όταν η ελληνική επιστήμη έπαυσε να αρδεύει την Τεχνολογία, όταν το «εθνικό ίδρυμα ερευνών» (το Μουσείο της Αλεξάνδρειας) έπαυσε να λειτουργεί, κι όταν κατακάηκε η Βιβλιοθήκη-της, το έλεγο ρωμαϊκό πρακτικό πνεύμα θα πάρει τη σκυτάλη, και θα δώσει στην ανθρωπότητα μια μεγέθυνση της Τεχνολογίας. Μεγέθυνση σπουδαίαν, όχι όμως καινοτομίαν. Γιατί: Διότι, υποθέτω, δεν πίστευαν στον αρδευτικό ρόλο της Επιστήμης πάνω στην Τεχνολογία: Ο Σενέκας (Litterae 90.10-13), αντικρούοντας τον Ποσειδώνιο, υποστηρίζει σε οι τεχνολογικές εφευρέσεις δεν είναι προϊόν Σοφίας, αλλά Αγγίχνοιας – δηλαδή μιας **κατώτερης** (λέει) μορφής γνώσης...

Γι' αυτό ίσως κι η Τεχνολογία, επί 1500 χρόνων, δεν πήγε πολύ μακριά. Τα βιβλία του Ήρωου του Αλεξανδρέως θα ανατυπώνονταν στην Ιταλία μέχρι το 1578 (Βενετία). Ίσως διότι μόνον τότε η αναγεννώμενη Ευρωπαϊκή Επιστήμη θα ξανασυναντήσει την Τεχνολογία, για να την οδηγήσει στην βιομηχανική Επανάσταση.

Relations Between Technology and Science in Ancient Greece

Theodosios P. Tassios

Empirical Technology has always existed in Greece as in many other countries. It seems, however, that from the time Science is born in the land of Ionia, the insemination and development of ancient Greek Technology is faster and wider. Needless to say that such a fertilisation of Technology by Science was bound to happen one way or another. The particular evidences which verify this happy hymeneaus of Technology and Science in ancient Greece are pin-pointed in this article: they range from the years of Thales and Eupalinos (surveys for the materialization of important technical works) to the Alexandrian culmination of Greek Technology the mathematical helix as base for Archimedes' helical pump, the sound numeration by the Pythagoreans that facilitated the manufacturing of musical instruments, etc).

As a matter of fact it also occurred a "cross-insemination": Technology payed back its debt to Science, as a gift in return, by building measuring scientific instruments – protractor, chorobates (leveling device), hodometer, astrolabe, hydraulic clock, astronomical simulator of Antikythera and others – which have contributed to the progress of Greek Science of that age.

εκ περιστροφής επιφανείας σπειροειδούς δακτυλίου. Προσοχή δε: Η λύση δεν ήταν καθόλου εμπειρική· αντιθέτως, στριζόταν στη γνώση των εξισώσεων τριών υπερφανειών εκ περιστροφής. Απαιτούσε όμως να γίνει κάτι και με τα χέρια: Να πάρεις στα χέρια-σου τις τρεις επιφάνειες, και να μετρήσεις τις αποστάσεις των σημείων της τριπλής-των αλληλοτομίας.

Κι εδώ ακριβώς σκάνονται ο Πλάτων και, παρά την μεγάλη-του προς Αρχύταν φιλία (την ίδια-του τη ζωή χρυσότου, ο Πλάτων στον Αρχύτα), παρα ταύτα, λέει (Πλουτ., Συμποσιακά προβλήματα Β/2): *Ἀπόλλυσθαι γὰρ οὕτω καὶ διαφθείρεσθαι τὸ γεωμετρίας ἀγαθόν, αὐθις ἐπὶ τὰ αἰσθητὰ παλινδρομούσης*. Εποῦτι η τελευταία πλατωνική ένσταση είναι κι η σημαντικότερη. Τρομάξαμε, σου λέει, να βγάλομε τη Γεωμετρία απ' το εμπειρικοπρακτικό-της στάδιο («τα αισθητά»), κάνοντάς-την ἄλλογον επιστήμην – θα την ξανακλήρωσε τώρα προς τα 'κεί με τις μηχανικές-σας κατασκευές. Ποιός μπορεί να τον αδικήσει γι' αυτήν την εύλογη ανησυχία; Άρα, απ' αυτήν την άποψη, ο Πλάτων δεν ελέγχεται ως αντιτεχνικός ἀλλ' ως καθαρόλόγος επιστήμων.

Απλώς δεν μπόρεσε να συλλάβει τα σημάδια των καιρών. Διότι απ' την άλλη μεριά, πώς να μη θαυμάζεις τον Αρχύτα καθώς μας οδηγεί στη γένεση ενός νέου πνεύματος – θα έλεγα «υβριδι-