



Οι Βασικές Επιστήμες σε ένα Τεχνολογικό Ίδρυμα

Αριστείδης Αραγεώργης

Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Ε.Μ.Π., arage@central.ntua.gr

Η Επιστημονική Επανάσταση του 17ου αιώνα και η Βιομηχανική Επανάσταση του 18ου-19ου αιώνα στήριξαν δύο κύριους πυλώνες πάνω στους οποίους οικοδομήθηκαν οι σύγχρονες δυτικές κοινωνίες. Από τη μια, η τάση του ανθρώπου να κατανοήσει και να γνωρίσει τον «κόσμο»: τον φυσικό κόσμο, την κοινωνία ή και τον ίδιο τον ανθρώπινο νου. Από την άλλη, η ανάγκη ικανοποίησης πρακτικών σκοπών και κοινωνικών επιθυμιών. Και τους δύο στόχους μαζί έχει υπηρετήσει, και εξακολουθεί να υπηρετεί, η παράδοση των μεγάλων τεχνολογικών ιδρυμάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Ο συνδυαστικός στόχος φαίνεται να συνοψίζεται στη βακωνική άποψη ότι, για να ελέγξουμε τη φύση, πρέπει να την κατανοήσουμε.

Στον 21ο αιώνα, όμως, βιώνουμε την αμφισβήτηση και την έκπτωση των αξιών του Διαφωτισμού και βρισκόμαστε αντιμέτωποι με μια στενά «οικονομίστικη» αξιολόγηση των αναγκών της εκπαίδευσης και των προϊόντων της έρευνας, η οποία συνήθως περιβάλλεται με το ένδυμα ιδεολογημάτων κρυμμένων κάτω από εκφράσεις-κλειδιά όπως «εξωστρέφεια» ή «κοινωνική και οικονομική λογοδοσία». Έτσι δημιουργείται εκ νέου η ανάγκη υποστήριξης της σημασίας της βασικής έρευνας για την εφαρμοσμένη έρευνα και την τεχνολογική ανάπτυξη, καθώς και η σύστοιχη ανάγκη δικαιολόγησης της ύπαρξης σχολών που θεραπεύουν τις βασικές επιστήμες στο εσωτερικό τεχνολογικών ιδρυμάτων.

Βέβαια κάθε εγχείρημα σε αυτή την κατεύθυνση έχει εξαρχής να αντιμετωπίσει μια δυσκολία. Η διάκριση μεταξύ «βασικής» και «εφαρμοσμένης» έρευνας δεν είναι σαφής, όπως δεν είναι σαφές και το ποιοι κλάδοι συμπεριλαμβάνονται κάθε φορά στις «βασικές επιστήμες»¹. Ωστόσο, όπως συμβαίνει συχνά στην καθημερινή γλώσσα, αλλά και στις γλώσσες των ειδικών επιστημών, μια ασαφής διάκριση μπορεί να εξακολουθεί να είναι χρήσιμη. Και τη *χρήσιμη* διάκριση μεταξύ βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας, θα αποπειραθώ να σκιαγραφήσω τώρα με συντομία², ώστε να μπορέσω να πραγματευθώ με μεγαλύτερη σαφήνεια το καθεστώς των βασικών επιστημών σε ένα τεχνολογικό ίδρυμα.

Κίνητρο της βασικής έρευνας είναι η απόκτηση νέας γνώσης που δεν αποβλέπει σε καμία *συγκεκριμένη* πρακτική εφαρμογή. Εδώ πρέπει να δοθεί έμφαση στη χρήση των προσδιορισμών «συγκεκριμένη» και «πρακτική». Δίνεται έμφαση στον προσδιορισμό «συγκεκριμένη», διότι ένα πρόγραμμα βασικής έρευνας

¹ Για την ασάφεια και την αμφισημία του όρου «βασική έρευνα» στις χρήσεις του από τους ίδιους τους επιστήμονες, βλ. Calvert, J. (2006): "What's Special about Basic Research?" *Science, Technology, and Human Values* **31** (2): 199-220.

μπορεί να διενεργείται με την προσδοκία να παραγάγει ένα *ευρύ* πλαίσιο γνώσης, το οποίο ενδέχεται να αποτελέσει τη βάση για την αντιμετώπιση αναγνωρισμένων ή αναμενόμενων, σύγχρονων ή μελλοντικών, πρακτικών προβλημάτων. Πρόκειται για την *προσανατολισμένη βασική έρευνα* που περιλαμβάνει την έρευνα στο εσωτερικό *γεγονικών μηχανοτεχνικών θεωριών* [factual engineering theories]³ όπως η ρευστομηχανική, η εδαφομηχανική, η θεωρία του αυτομάτου ελέγχου, η θεωρία της κινητικής και της κατάλυσης σε χημικούς αντιδραστήρες κ.ά. Από την άλλη, δίνεται έμφαση στον προσδιορισμό «πρακτική», διότι ένα πρόγραμμα βασικής έρευνας μπορεί να συνίσταται στην επιστράτευση μεθόδων ή εννοιών μιας επιστημονικής περιοχής για την επίλυση προβλημάτων μιας άλλης –παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή της θεωρίας των διαφορικών εξισώσεων στη μελέτη δυναμικών συστημάτων, η εφαρμογή της θεωρίας ομάδων στη στερεοχημεία ή την κρυσταλλογραφία κ.λπ.

Ταυτόχρονα, οι γνωσιακοί ισχυρισμοί που υπεισέρχονται στη βασική έρευνα περιγράφουν, προβλέπουν αλλά και *εξηγούν* επιμέρους γεγονότα ή κανονικότητες του κόσμου. Έτσι, δεν εντάσσονται στη βασική έρευνα προγράμματα τα οποία περιορίζονται σε περιγραφικούς ισχυρισμούς που στερούνται εξηγητικής ισχύος, όπως είναι οι εμπειρικές γενικεύσεις τεχνολογικών κλάδων. Επίσης δεν εντάσσεται στη βασική έρευνα ο *μηχανοτεχνικός σχεδιασμός* [engineering design], του οποίου ο στόχος δεν είναι η περιγραφή και η εξήγηση του πώς έχουν τα πράγματα, αλλά η επιδίωξη κατευθύνσεων δράσης που υπόσχονται να μετατρέψουν υπάρχουσες καταστάσεις πραγμάτων σε επιθυμητές.

Τέλος, τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βασική έρευνα τίθενται συνήθως από την *εσωτερική δυναμική* είτε μεμονωμένων θεωριών είτε οικογενειών θεωριών που όμως δεν έχουν συγκροτηθεί ad hoc με σκοπό την επίλυση μόνο των συγκεκριμένων προβλημάτων. Αντίθετα, τα *αμιγώς* τεχνολογικά προβλήματα τίθενται από κάποιο εξωτερικό κοινωνικό φορέα, ο οποίος προσδιορίζει και τα κριτήρια αξιολόγησης των προτεινόμενων λύσεων. Τέτοια κριτήρια ομαδοποιούνται σε μια κανονιστική αρχή *οικονομίας*: η λύση πρέπει να είναι τέτοια ώστε να πραγματώνει ένα αποδεκτό επίπεδο ικανοποίησης του εντολέα, χωρίς να υπερβαίνει ένα ανεκτό για αυτόν κόστος (οικονομικό, κοινωνικό, αισθητικό κ.λπ.). Η κανονιστική αυτή αρχή προσιδιάζει στις *επιχειρησιακές μηχανοτεχνικές θεωρίες* [operational engineering theories], των οποίων το αντικείμενο είναι να διατυπώνουν κανόνες που υπαγορεύουν τον βέλτιστο τρόπο δράσης κατά τη διαδικασία της τεχνολογικής υλοποίησης. Από αυτή τη σκοπιά, ούτε τέτοια προβλήματα «βελτιστοποίησης» εντάσσονται στη βασική έρευνα.

Με βάση αυτή τη σκιαγράφηση της διάκρισης μεταξύ βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας, η βασική έρευνα

² Για μια αναλυτικότερη ανάπτυξη, βλ. Αραγεώργης, Α. (2010): «Βασική και Εφαρμοσμένη Έρευνα: Μια χρήσιμη ασάφεια» στο Ι. Μηλιός και Κ. Θεολόγου (επιμ.), *Οι Ανθρωπιστικές και Κοινωνικές Επιστήμες στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο: Γόνιμες Εξακτινώσεις*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 397-414.

διενεργείται *κατεξοχήν* στις φυσικές επιστήμες (φυσική, χημεία, βιολογία, γεωλογία), στα μαθηματικά και στις ανθρωπιστικές και κοινωνικές επιστήμες ή σπουδές (οικονομικά, κοινωνιολογία, ιστορία, φιλοσοφία). Και τα ερωτήματα που τίθενται έχουν πλέον ως εξής: Ποια η αξία, τελικά για την τεχνολογική ανάπτυξη, της έρευνας που γεννάται από την *εσωτερική δυναμική* ενός από αυτούς τους κλάδους και που στοχεύει στην απόκτηση νέας περιγραφικής και εξηγητικής γνώσης, χωρίς να αποσκοπεί σε κάποια *συγκεκριμένη πρακτική εφαρμογή*; Και ποια τα οφέλη για ένα τεχνολογικό ίδρυμα να φιλοξενεί στο εσωτερικό του προσωπικό και ακαδημαϊκές μονάδες που ασχολούνται με τέτοια έρευνα;

Ο πιο σημαντικός λόγος που τεκμηριώνει την αξία της βασικής έρευνας για την τεχνολογική ανάπτυξη είναι απλός: οι περισσότερες εφαρμογές δεν μπορούν να προβλεφθούν και η χρονική περίοδος που μεσολαβεί ανάμεσα σε μια «θεμελιώδη ανακάλυψη» και τις ενδεχόμενες εφαρμογές της είναι συχνά μακρά. Την εποχή που ο Faraday, ο Maxwell και ο Hertz πρωτοστατούσαν στην πειραματική και θεωρητική θεμελίωση της έννοιας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, ούτε ο πιο ευφάνταστος νους δεν οραματιζόταν την ευρύτατη χρήση ραδιοφώνων, τηλεοράσεων κ.λπ. στις κοινωνίες του δεύτερου μισού του 20ού αιώνα. Και το 1736, έτος δημοσίευσης της εργασίας του Euler πάνω στο πρόβλημα των γεφυρών του Königsberg, κανείς δεν θα μπορούσε να αναγνωρίσει ότι η εν λόγω εργασία έθετε τον θεμέλιο λίθο για μια νέα μαθηματική θεωρία, τη θεωρία γραφημάτων ή γράφων, που σήμερα βρίσκει εφαρμογές στο σχεδιασμό υπολογιστικών και επικοινωνιακών συστημάτων, στη μελέτη των μορίων, στη γλωσσολογία, την κοινωνιολογία κ.ά.

Αυτή η αδυναμία πρόβλεψης τεχνολογικών εφαρμογών οφείλεται μερικές φορές στο ότι τα πρώτα βήματα στη βασική έρευνα ενδέχεται να έχουν «αόριστες» ή «εσφαλμένες» (όταν κριθούν *εκ των υστέρων*) αφετηρίες. Το πρώτο βήμα προς την υπολογιστική θεωρία του νου, και από εκεί προς την τεχνητή νοημοσύνη, ήταν η δήλωση του φιλοσόφου του 17ου αιώνα Thomas Hobbes ότι κάθε συλλογισμός «δεν είναι παρά υπολογισμός [reckoning] (δηλαδή, πρόσθεση και αφαίρεση) των συνεπειών των γενικών ονομάτων που έχουν συμφωνηθεί, για τη διάκριση και σήμανση των σκέψεών μας»⁴ – περίπου τρεις αιώνες προτού εμφανιστούν οι πρώτες αυστηρές επεξηγήσεις του όρου «υπολογισμός». Από την άλλη, η ανακάλυψη της ραδιενέργειας, με το τεράστιο σήμερα εύρος τεχνολογικών εφαρμογών, από τον Becquerel το 1896, φαίνεται να στηρίχθηκε εν μέρει στην *ψευδή* πεποίθηση ότι ο νόμος του Stokes για φθορίζοντα σώματα επιδέχεται εξαιρέσεις⁵.

Ένας δεύτερος λόγος που τεκμηριώνει την αξία της βασικής έρευνας για την τεχνολογική ανάπτυξη είναι ότι η βασική έρευνα καλλιεργεί την έφεση προς *γενίκευση, αφαίρεση και ιδανίκευση* – τάσεις απαραίτητες για

³ Οι όροι “factual engineering theories” και “operational engineering theories” (βλ. παρακάτω) οφείλονται στον Walentynowicz, B. (1968): “On the Methodology of Engineering Design”, *Proceedings of the XIV International Congress of Philosophy* (Vienna, September 2-9, 1968), vol. 2, 586-590.

⁴ Hobbes, T. ([1651] 1985): *Leviathan*. Edited with an introduction by C. B. Macpherson. London: Penguin Books, 111.

⁵ Βλ. κεφ. 3 στο Kragh, H. (2002): *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton, NJ:



την πρόοδο σε επιστημονικά πεδία με πλούσιες τεχνολογικές εφαρμογές. Ο Sadi Carnot κατόρθωσε το 1824 να εισαγάγει τις θεμελιώδεις κατηγορίες της θερμοδυναμικής σκέψης («ιδανική θερμομηχανή», «αντιστρεπτός κύκλος» κ.λπ.) –κατηγορίες που σήμερα αποτελούν «κτήμα» κάθε μηχανολόγου και κάθε χημικού μηχανικού– μόνο επειδή απομόνωσε το πρόβλημα της παραγωγής κινητήριας δύναμης από τη θερμότητα από τα επιμέρους χαρακτηριστικά των ατμομηχανών και του έδωσε γενική και αφηρημένη διατύπωση, ανάγοντάς το στις υποθετικές ιδιότητες *ιδανικών* θερμομηχανών. Και σε αυτό το επίτευγμα του Carnot συνέβαλε ιδιαίτερα το γεγονός ότι η École Polytechnique εκπαίδευε τους φοιτητές της σε ένα τέτοιο «στιλ σκέψης».

Ένας επιπλέον λόγος που δικαιώνει την ανάπτυξη των βασικών επιστημών στο εσωτερικό ενός τεχνολογικού ιδρύματος έχει να κάνει με μια ιδιαιτερότητα των σύγχρονων τεχνολογικών προβλημάτων. Σε αντίθεση με ό,τι ίσχυε πριν από τον 19ο αιώνα, η επίλυση ενός νέου τύπου τεχνολογικού προβλήματος στην εποχή μας απαιτεί συνήθως εξειδικευμένες συνδρομές από τις βασικές επιστήμες. Αυτό είναι ιδιαίτερα φανερό σε «κλάδους αιχμής» όπως η νανοτεχνολογία: κανείς δεν μπορεί να προσδοκά πρόοδο στη νανοτεχνολογία χωρίς την ενεργό συνδρομή φυσικών, χημικών ή βιολόγων. Αντίστοιχα, η παράθεση ανάλογων παραδειγμάτων από άλλους κλάδους με σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές είναι εξίσου εύκολη. Εντυπωσιακές εξελίξεις στην κρυπτογραφία –με τις σημαντικές εφαρμογές της στις συναλλαγές μέσω ATM, στο ηλεκτρονικό εμπόριο και στην προστασία του απορρήτου των επικοινωνιών μέσω υπολογιστών– ενδέχεται να προέλθουν από τη συμβολή της μαθηματικής θεωρίας των αριθμών ή της κβαντικής μηχανικής. Και για να παραθέσω ένα τελευταίο παράδειγμα: οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, που βρίσκουν εφαρμογές από την ιατρική και την αστρονομία μέχρι τα βίντεο και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, έχουν θέσει αξιοσημείωτες προκλήσεις στους μαθηματικούς που ασχολούνται με τις μερικές διαφορικές εξισώσεις, το λογισμό των μεταβολών και τη θεωρία αλγορίθμων.

Συνεπώς, το σύγχρονο τεχνολογικό περιβάλλον απαιτεί την όλο και στενότερη διασύνδεση της εφαρμοσμένης έρευνας και ανάπτυξης με τις βασικές επιστήμες. Και αυτό το γεγονός συνηγορεί υπέρ της καλλιέργειας των βασικών επιστημών στο *εσωτερικό* τεχνολογικών ιδρυμάτων. Έτσι ενθαρρύνονται οι γόνιμες συνεργίες μεταξύ τεχνολογικών, μηχανοτεχνικών και επιστημονικών κλάδων. Έτσι επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερα η μύηση των νέων μηχανικών στους τρόπους σκέψης που προσιδιάζουν στις βασικές επιστήμες και που συχνά είναι χρήσιμοι και στην εφαρμοσμένη έρευνα. Η «ιδέα» δεν είναι καινούργια. Έχει αποτελέσει τη βάση συγκρότησης σπουδαίων τεχνολογικών ιδρυμάτων στην Ευρώπη και την Αμερική, όπως η École Polytechnique, το Caltech ή το MIT. Απλώς, για να παραφράσω τον George Orwell, «έχουμε βυθιστεί



σε τέτοιο βάθος ώστε η επαναδιατύπωση του προφανούς αποτελεί πρώτο καθήκον»⁶.

⁶ Από τη βιβλιοκρισία που δημοσίευσε ο George Orwell για το έργο του Bertrand Russell, *Power: A New Social Analysis* στο περιοδικό *Adelphi* **15** (4): 375-377 τον Ιανουάριο του 1939. Διαθέσιμη στο <http://www.lehman.edu/deanhum/philosophy/BRSQ/06may/orwell.htm>