

LOUIS DE BROGLIE

Η ΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ

Τὸν τελευταῖο καιρὸ συζητιέται πολὺ ἓνας νέος κλάδος τῆς ἐπιστήμης, ἡ Κυβερνητική, ποὺ χρωστᾷ τὸ ὄνομά της στὶς ἐργασίες τοῦ ἀμερικανοῦ μαθηματικοῦ Norbert Wiener.

Γνωρίζουμε πὼς ἡ Κυβερνητικὴ ἐνοποιεῖ διάφορες περιοχές, ποὺ ὡς τώρα ἐμφανίζονταν διαχωρισμένες, καὶ μπορεῖ νὰ μᾶς ὀδηγήσει σὲ νέες ἀντιλήψεις, ὄχι μόνο γιὰ πολλὰ προβλήματα τῆς φυσικῆς καὶ μηχανικῆς ἀλλὰ καὶ τῆς ψυχολογίας, ἴσως καὶ τῆς κοινωνιολογίας. Προκαλεῖ ἄλλοι, ἓνα εὐλογο ἐνδιαφέρον.

Τὸν ὄρο «Κυβερνητικὴ» δὲν εἶναι εὐκόλο νὰ προσδιορίσουμε μ' ἓνα ἀκριβὴ ὄρισμό. Τὸ ὄνομά της, τὸ χρησιμοποίησε ἤδη ὁ Ampère στὴν ταξινομήσή του τῶν ἐπιστημῶν. Ἐτυμολογικὰ σημαίνει τὴν ἐπιστήμη γιὰ τὸ κάθε τι ποὺ κυβερνᾷ, τοῦ κάθε τι ποὺ ἐλέγχει, μὲ τὴν ἀγγλικὴ ἔννοια τοῦ ὄρου «control». Δηλαδή, εἶναι ἡ ἐπιστήμη ποὺ μᾶς βοηθᾷ νὰ κατανοήσουμε τὴ λειτουργία τοῦ κέντρου ἐντολῶν. Ἐπίσης θὰ μπορούσαμε νὰ ποῦμε πὼς ἡ Κυβερνητικὴ εἶναι ἡ

ἐπιστήμη τῶν «ἀποδεσμεύσεων», δηλ. τῶν δράσεων ποῦ κινητοποιοῦν ἐλάχιστες ποσότητες ἐνέργειας, μὲ τίς ὅποιες δὲν ἀσχολοῦμαστε, ἀλλὰ ἔχουν σὰν ἀποτέλεσμα νὰ προκαλοῦν ἢ νὰ μεταβάλλουν φαινόμενα ἀπείρως μεγαλύτερης ἔκτασης. Προτείνουμε γιὰ παράδειγμα τὸ ρυθμιστὴ ἀτμοῦ ποῦ ἐπαναφέρει συνεχῶς τὴν ταχύτητα περιστροφῆς μιᾶς ἰσχυρῆς ἀτμομηχανῆς στὴν κανονικὴ τῆς τιμὴ ἢ, ἀκολουθώντας ἕναν ἄλλο τρόπο σκέψης, τὸ τηλεγράφημα, ποῦ παίρνει ὁ διοικητὴς μιᾶς στρατιᾶς καὶ ποῦ τὸν κάνει νὰ ἀποφασίσῃ τὴ μάχη, ποῦ ἀπὸ τὴν ἐκβασή της θὰ ἐξαρτηθεῖ ἕνας ὀλόκληρος πόλεμος.

Δίνοντας παράλληλα τὰ δύο αὐτὰ τόσο διαφορετικὰ παραδείγματα, ὑπογραμμίζω ἐνδεικτικὰ ἐκεῖνο ποῦ ἐκφράζει τὴν πρωτοτυπία τῆς Κυβερνητικῆς. Οἱ κλάδοι τῆς ἐπιστήμης ποῦ ἐρευνᾷ ἡ Κυβερνητικὴ ἦταν ἀπὸ πρὶν γνωστοί, καὶ ἀναπτύσσονταν μὲ τρόπο αὐτόνομο. Ἡ ἀξία τῆς Κυβερνητικῆς βρίσκεται ὄχι στὴ δημιουργία τους, ἀλλὰ στὴν ἀποκάλυψη τοῦ ἐσώτερου δεσμοῦ τῶν ἐπιστημονικῶν κλάδων μεταξύ τους.

Ξεκινώντας ἀπ' αὐτὴ τὴ σκέψη, καταλαβαίνουμε τὸ βασικὸ ρόλο ποῦ παίζει στὴν Κυβερνητικὴ ἡ ἔννοια τῆς «πληροφoρῖας» ποῦ ὡς τώρα δὲν μπορούσαμε νὰ κατανοήσουμε ξεκάθαρα τὴ σπουδαιότητά της. Οἱ ἀποδεσμεύσεις, ποῦ ἐμφανίζονται στὰ συστήματα ποῦ μελετᾷ ἡ Κυβερνητικὴ, προκαλοῦνται ἀπὸ τίς πληροφορίες ποῦ προέρχονται ἀπὸ ἄλλα τμήματα τοῦ συστήματος καὶ ἄλλοτε ἀπ' ἔξω. Ἄν σὲ μιὰ ἀτμομηχανὴ ἢ ταχύτητα περιστροφῆς ξεπεράσει τὴν κανονικὴ τιμὴ, ὁ ρυθμιστὴς, ποῦ τὰ σφαιρίδιά του θὰ ἀπομακρυνθοῦν μεταξύ τους ἀπ' τὴν αὔξηση τῆς ταχύτητας, «θὰ πληροφορήσει» γι' αὐτὴν τὴ μεταβολή, μέσο μιᾶς μηχανικῆς μεταβίβασης ποῦ καταναλώνει ἐλάχιστη ἐνέργεια, τὴ δικλείδα ποῦ εἰσάγει τὸν ἀτμὸ στὴ μηχανὴ καὶ ἡ δικλείδα, ἐλαττώνοντας τὴν ποσότητα τοῦ εἰσαγόμενου ἀτμοῦ, θὰ ἐπαναφέρει τὴν ταχύτητα περιστροφῆς στὴν κανονικὴ τῆς τιμὴ. Ἐπίσης τὸ ἴδιο καὶ σὲ μιὰ μάχη : ἂν οἱ προφυλακὲς μηνύσουν μὲ τηλεγράφημα ἢ μὲ τὸ τηλέφωνο στὸν

διοικητὴ πῶς ἓνα τμήμα ἀπ' τὸ ἐχθρικό μέτωπο εἶναι ἀνυπεράσπιστο, ὁ διοικητὴς θὰ ἀποφασίσῃ μιὰ μεγάλη ἐπίθεση ἐναντίον του γιὰ νὰ δημιουργήσῃ μιὰ σφήνα στὶς ἐχθρικές γραμμές.

Ἐνας πρωταρχικός κλάδος τῆς Κυβερνητικῆς εἶναι, λοιπόν, ἡ θεωρία τῶν μεταβιβάσεων ἢ ἐπικοινωνιῶν, δηλαδή ἡ ἐπιστημονικὴ ἔρευνα τῶν μέσων μετάδοσης τῆς πληροφορίας, μ' ὁποιοδήποτε μέσο, μηχανικό, ἀκουστικό, ὀπτικό, ἠλεκτρικό, ραδιοηλεκτρικό κλπ. Ὅλη ἡ τέχνη τῶν μηχανικῶν τηλεπικοινωνίας περιλαμβάνεται σὰν εἰδικὴ περίπτωση στὴν Κυβερνητικὴ. Ἡ ἀνάλυση καὶ ἡ τελειοποίηση τῶν ὀργάνων ἐλέγχου, τῶν σερβομηχανισμῶν, τῶν διαδικασιῶν ἐναντιοδρόμησης στὶς ραδιοηλεκτρικές συσκευές, κλπ., ἀποτελεῖ ἓνα τεράστιο χῶρο ἔρευνας ποὺ προσφέρει σήμερα μεγάλο ἐνδιαφέρον γιὰ πολυάριθμους κλάδους τῆς τεχνικῆς. Ὁλόκληρος αὐτὸς ὁ χῶρος ἐνσωματώνεται στὸ βασίλειο τῆς Κυβερνητικῆς.

Σ' αὐτὸ τὸ βασίλειο ἀνάγεται ἐπίσης καὶ ἡ τελειοποίηση τῶν ὑπολογιστικῶν μηχανῶν. Πρῶτος ὁ Blaise Pascal, ἐδῶ καὶ τρεῖς αἰῶνες, ἔφηβος ἀκόμη, ἀνακάλυψε τὴν πρώτη «ἀριθμομηχανή» γιὰ νὰ διευκολύνῃ τὸν πατέρα του, ἔφορο τῆς Νορμανδίας, στὸ ἔργο του, ὑποχρεωμένο νὰ κάνει μακροσκελεῖς ὑπολογισμούς γιὰ τὸν καθορισμὸ τῶν φόρων στὴν ἐπαρχία του. Κανένας δὲν ἀμφιβάλλει πῶς οἱ φορολογικοὶ ὑπολογισμοὶ σήμερα εἶναι πολὺ πιὸ πολύπλοκοι ἀπ' αὐτοὺς τοῦ 1640, ἀλλὰ αὐτὸς δὲν εἶναι ὁ βασικός λόγος ποὺ σήμερα ἡ χρησιμοποίηση τῶν ὑπολογιστικῶν μηχανῶν ἔχει τόσο πολὺ διαδοθεῖ, ἀλλὰ ἡ ἐξέλιξη τῶν ἐπιστημονικῶν καὶ τεχνικῶν ἐρευνῶν ποὺ ἔχει σὰν συνέπεια μιὰ προοδευτικὴ περιπλοκὴ τῶν προβλημάτων καὶ μιὰ ἐπιτακτικὴ ἀνάγκη ἀκριβείας στὴ λύση τους. Χρησιμοποιώντας ὅλες τὶς δυνατότητες τῆς μηχανικῆς καὶ τῆς σύγχρονης ἠλεκτρονικῆς, ἡ τέχνη τῶν κατασκευαστῶν ὑπολογιστικῶν μηχανῶν ἔφτασε σήμερα σὲ ψηλὸ ἐπίπεδο τελειότητας καὶ δὲν παύει νὰ προοδεύει. Ὅρισμένες ὑπολογιστικὲς μηχανές ἔξακολουθοῦν νὰ εἶναι ἀριθμητικὲς μηχανές, κι ἂν ἀκόμη ὁ μηχανισμὸς τους χρησιμοποιεῖ

νέα μέσα, όπως τή χρήση του δυαδικού συστήματος, είναι πάντοτε απόγονοι εκείνης τής μηχανής του 17ου αιώνα. Αντίθετα άλλες, όπως οί «αναλογικές μηχανές», είναι πραγματικά ένας νέος τύπος, που με τήν εκμετάλλευση του γεγονότος πως κάθε φυσικό φαινόμενο υπακούει σε εξισώσεις, που μπορεί να είναι άλγεβρικές, διαφορικές ή και ολοκληρώματα κλπ., είναι σε θέση να λύσουν τις εξισώσεις αυτές, υπολογίζοντας τις αρχικές συνθήκες ή τις συνθήκες με καθορισμένα όρια, από τή διαπίστωση και μόνον των φαινομένων που τις υπακούουν. Αν και λιγότερο ακριβείς από τις αριθμητικές οί αναλογικές μηχανές προσφέρουν σήμερα ανεκτίμητες υπηρεσίες. Οί εκπληκτικές υπολογιστικές μηχανές που διαθέτουμε σήμερα είναι ικανές να κάνουν δύσκολους και ποικίλους υπολογισμούς όπωςδήποτε με περισσότερη ακρίβεια και πολύ πιο γρήγορα απ' τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Έτσι ο εγκέφαλος ξεπεράστηκε από εκείνα που μπόρεσε να φανταστεί και να δημιουργήσει.

Η θεωρία των υπολογιστικών μηχανών, ή θεωρία τής μετάδοσης «σημάτων» και, γενικότερα, όλες οί θεωρίες που συνθέτουν τήν Κυβερνητική, μπορούν να μᾶς πληροφορήσουν για τή φυσιολογική ή παθολογική λειτουργία του νευρικού συστήματος και ειδικά για τὸ μηχανισμό των ανακλαστικών. Ορισμένοι έρευνητές, όπως ο Couffignal στη Γαλλία, έδειξαν πως οί θεωρίες αυτές μπορούν να μᾶς βοηθήσουν να καταλάβουμε τή λειτουργία τής λογικῆς σκέψης. Τέλος, όπως τὸ υπογράμμισε και ο Wiener πρὸς τὸ τέλος του περίφημου έργου του «Cybernetics», ἀκόμη και ἡ μελέτη των κοινωνικῶν φαινομένων θά μπορούσε να ωφεληθεῖ ἀπὸ τήν ἐφαρμογή των μεθόδων τής νέας ἐπιστήμης.

Φαίνεται, λοιπόν, ἡ ἐπίδραση τής Κυβερνητικῆς να ἐκτείνεται ἀπεριόριστα, και οί δυνατές προεκτάσεις της ἔχουν δημιουργήσει πολλές ἐλπίδες, που μερικές βέβαια, είναι ὑπερβολικές. Για να ἐμβαθύνουμε σ' αὐτὸ τὸ θέμα θά μελετήσουμε πρῶτα λεπτομερικὰ τις

ἐπιτυχίες τῆς Κυβερνητικῆς καὶ ἔπειτα θὰ προσπαθήσουμε νὰ καθορίσουμε τὰ ὅρια τῆς ἐπεξηγηματικῆς τῆς δύναμης.

Μιὰ ἀπὸ τὶς συγκεκριμένες μορφές τῆς Κυβερνητικῆς εἶναι ἡ μαθηματικὴ μελέτη τῶν μεταβιβάσεων, τῶν τηλεπικοινωνιῶν, ἡ ὁποία βασίζεται στὴν ἔννοια τοῦ «σήματος» ποὺ ἀπαιτεῖ τὸν ἀκριβῆ καθορισμό της, καὶ περιλαμβάνει τὴ μελέτη τῆς διάδοσης καὶ τῆς παραμόρφωσης τῶν σημάτων. Ἔχουν γίνῃι πολλές ἐργασίες σ' αὐτὸν τὸν τομέα καὶ μπορεῖ νὰ συμβουλευτεῖ κανένας τὰ πρακτικὰ τῶν συζητήσεων γιὰ τὴν Κυβερνητικὴ ποὺ ὀργάνωσα τὸν Μάϊο τοῦ 1950 καὶ ποὺ δημοσιεύτηκαν στὶς ἐκδόσεις τῆς *Revue d'Optique*.

Ἡ θεωρία τῶν μεταβιβάσεων στὴν πιὸ πρόσφατη μαθηματικὴ τῆς ἐξέλιξη δέχτηκε μ' ἓνα πολὺ ἐπιτυχημένο τρόπο τὴν ἐπίδραση τῶν μεθόδων, ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴ Φυσικὴ τῶν *quanta*. Αὐτὸ φαίνεται ἰδιαίτερα στὶς ἐργασίες τῶν Gabor καὶ Ville. Σ' αὐτὲς ἐμφανίζεται ἡ ἀναπαράσταση τῶν σημάτων ἀπὸ μιὰ μικτὴ συνάρτηση κάπως ἀνάλογη μὲ τὴ συνάρτηση τοῦ μικτοῦ κύματος τῆς Κυματομηχανικῆς καὶ δίνεται μιὰ μεγάλη σημασία στὴν ἀνισότητα :

$$\Delta f \Delta t \geq 1$$

ποὺ ἐκφράζει πὼς ὅσο μικρότερης διάρκειας εἶναι ἓνα σῆμα τόσο περισσότερο ἡ ἀνάλυση κατὰ *Fourier* περιλαμβάνει συνιστώσες μονοχρωμικὲς καί, ἀντίστροφα, ἀπ' ὅπου συνάγεται ἡ ἀναλογία τῆς προηγούμενης ἀνισότητος μὲ τὴν τέταρτη σχέση ἀπροσδιοριστίας τοῦ Heisenberg. Θὰ πρέπει νὰ καθορίσουμε πιὸ κάτω τὴν ἀκριβῆ ἀξία αὐτῶν τῶν «κβαντικῶν» ἀναλογιῶν, ἀλλὰ εἶναι βέβαιον πὼς ὑπῆρξαν δημιουργικὲς καὶ προκάλεσαν μιὰ δραστηριότητα στὴν ἐξέλιξη τῆς θεωρίας τῶν ἐπικοινωνιῶν.

Ἐπειδὴ ἡ παραγωγή, ἡ μετάδοση καὶ ἡ λήψη τῶν σημάτων ὑπόκεινται σ' ὁποιαδήποτε τυχαῖα συμβάντα, ἡ θεωρία τῶν πιθανοτήτων ἔγινε γρήγορα ἓνα ἀπαραίτητο βοήθημα στὴ θεωρία τῶν

μεταβιβάσεων. Σπουδαίες εργασίες μεγάλου ενδιαφέροντος έχουν γίνει σ' αυτόν τον τομέα και θα αναφέρω μόνο αυτές του νεαρού Γάλλου επιστήμονα André Blanc - Lapierre. Η έννοια της συσχέτισης που είναι τόσο σπουδαία στη θεωρία των πιθανοτήτων, χρησιμοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία. Ίδιαίτερα, η πολύ ωραία θεωρία της αυτοσυσχέτισης (autocorrelation) τελειοποιήθηκε εδώ και μερικά χρόνια και απέκτησε μεγάλη σπουδαιότητα για τα προβλήματα μετάδοσης. Μερικά απ' αυτά τα αποτελέσματα, τα είχε ήδη επισημάνει εδώ και δέκα πέντε χρόνια ο Bernamont στις πρωτότυπες έρευνές του στον τομέα των διακυμάνσεων του ρεύματος. Αυτή η θεωρία της αυτοσυσχέτισης οδηγεί σ' άλλα αποτελέσματα και σε ιδιότητες σκέψεις για την πρόβλεψη των σημάτων.

Στις έρευνες τις σχετικές με τη θεωρία των μεταβιβάσεων και με τα συγγενή προβλήματα, όρισμένοι έρευνητές, όπως ο Wiener και ο Shannon, κατέληξαν να εκφράσουν την έννοια «ποσότητα πληροφορίας» και τη συσχέτικη της «ταχύτητα πληροφορίας», και να δείξουν πώς το μέγεθος «πληροφορία», μ' αυτόν τον τρόπο καθορισμένο, παίζει ένα ρόλο στη θεωρία των μεταβιβάσεων ανάλογο μ' εκείνο της έντροπίας στη Θερμοδυναμική. Έδώ βρίσκεται ένα έντελως ένδεικτικό και απροσδόκητο πλησίασμα, που εμπνέει ένα ζωηρό ενδιαφέρον σ' όλους τους θεωρητικούς της φυσικής. Απ' όλους τους νέους τρόπους θεώρησης που προκάλεσε η πρόοδος της Κυβερνητικής, αυτός είναι όπωςσδήποτε από τους πιο περίεργους.

Χωρίς να θέλω βέβαια να αναπτύξω τους μαθηματικούς υπολογισμούς, που δεν έχουν θέση σ' ένα άρθρο γενικού ενδιαφέροντος όπως αυτό, θα ήθελα να δώσω μια ακριβή ιδέα αυτής της αναλογίας ανάμεσα στην έντροπία και την πληροφορία. Γνωρίζουμε από τη στατιστική έρμηνεία της Θερμοδυναμικής, που είναι σήμερα παραδεκτή απ' όλους τους φυσικούς, πώς η έντροπία ενός συστήματος εμφανίζεται (από τον τύπο του Boltzmann $S = k \log P$) να είναι άμεσα συνδεδεμένη με την πιθανότητα που έχει το σύστημα να βρεθεί στη

δεδομένη κατάσταση. Ἡ δεύτερη ἀρχὴ τῆς Θερμοδυναμικῆς, ἀρχὴ Carnot - Clausius, ἢ τῆς αὐξησης τῆς ἐντροπίας, ἐρμηνεύεται ἔτσι ἀπλὰ καὶ σχεδὸν διαισθητικά : ἐκφράζει τὴν τάση ποὺ διακρίνει κάθε σύστημα νὰ ἐξελίσσεται σὲ καταστάσεις μεγαλύτερης πιθανότητας.

Βέβαια αὐτὴ ἡ πιθανολογικὴ ἐρμηνεία τῆς ἐντροπίας δὲν ἀποφεύγει τὴ δημιουργία μιᾶς σειρᾶς προβλημάτων, καὶ συχνὰ ἔχει ὑπογραμμιστεῖ (παράδοξο τοῦ Loschmidt) πόσο εἶναι ἀντιφατικὸ νὰ θέλουμε νὰ ἀνάγουμε σὲ νόμους τῆς κλασικῆς μηχανικῆς, ποὺ εἶναι ἀντιστρεπτοὶ στὸ χρόνο, μιὰ ἀναντίστροφη ἐξέλιξη – σὰν αὐτὴ ποὺ ἐπιβάλλει ἡ ἀρχὴ τοῦ Carnot, – ὅπως προσπάθησε νὰ κάνει ἡ στατιστικὴ μηχανικὴ στὴν κλασικὴ τῆς μορφῆς.

Ἡ μηχανικὴ τῶν quanta καὶ οἱ νέες τῆς ἀντιλήψεις φαίνεται πὼς δίνουν μιὰ ἀρχὴ λύσης στὸ παράδοξο αὐτὸ καὶ εἶναι βέβαιο πὼς τὸ ἀναντίστροφο τοῦ χρόνου, βασικὸ δεδομένο τῆς ἀνθρώπινης ἐμπειρίας μας, συνδέεται μὲ τὴν αὐξηση τῆς ἐντροπίας.

Ὅ,τιδήποτε κι ἂν συμπεράνουμε ἀπὸ τὰ τελικὰ πορίσματα τῶν συζητήσεων αὐτῶν πάνω στὸ ἀναντίστροφο τῶν φυσικῶν φαινομένων, ποὺ καθορίζουν μιὰ κατεύθυνση τοῦ χρόνου, εἶναι τουλάχιστο βέβαιο πὼς ἡ στατιστικὴ ἐρμηνεία τῆς ἐντροπίας καὶ τῆς αὐξήσεώς της, μᾶς βοηθοῦν νὰ ἐμβαθύνουμε στὸ πραγματικὸ νόημα τῆς δευτέρας ἀρχῆς τῆς Θερμοδυναμικῆς.

Ἄς ἐξετάσουμε, λοιπόν, μιὰ ἀπλὴ περίπτωση μετάδοσης σημάτων, π.χ. τὸ μηχανισμὸ μιᾶς μετάδοσης τηλεγραφήματος ἀπὸ ἓνα κοινὸ τηλεγράφο Morse ὅπου ὁ πομπὸς ἠλεκτρικῶν σημάτων συνδέεται μὲ τὸν δέκτη μέσο ἑνὸς ἀγωγοῦ. Ἄν στείλουμε ἓνα μήνυμα εἶναι προφανὲς πὼς ἡ σειρά τῶν σημάτων, ποὺ θὰ τὸ σχηματίσει καὶ θὰ ἀντιστοιχεῖ στὶς λέξεις καὶ τὶς φράσεις του, εἶναι a priori ἄκρως ἀπίθανη. Ἐφόσον τὰ σήματα Morse εἶναι μόνον δύο εἰδῶν, παῦλες καὶ

τελείες, οίτιον πιό πιθανές σειρές σημάτων είναι εκείνες όπου τὰ σήματα θὰ διαδέχονται τὸ ἓνα τὸ ἄλλο στὴν τύχη. Κάθε σήμα πού θὰ μεταδίδεται ἀπὸ τὸν πομπὸ θὰ ἔχει τὴν πιθανότητα 1:2 νὰ εἶναι μιὰ τελεία ἢ μιὰ παῦλα : θὰ πρόκειται γιὰ ἓνα μήνυμα ἀσυνάρτητο καὶ χωρὶς κανένα νόημα, ἓνα μήνυμα πού θὰ μπορούσε νὰ μεταδώσει ἓνας τρελλὸς τηλεγραφετῆς, χτυπώντας χωρὶς διάκριση τελείες καὶ παῦλες. Εἶναι, λοιπόν, προφανές πὼς τὸ μήνυμα, αὐτὸ πού θὰ παρέχει μιὰ πληροφορία, εἶναι φαινόμενο πάρα πολὺ ἀπίθανο καὶ ἐπιβάλλεται ἀπὸ τὴ σκέψη ἐκείνου πού τὸ μεταδίδει καὶ ἀπὸ τοὺς κανόνες τῆς γλώσσας πού χρησιμοποιεῖ γιὰ νὰ τὸ ἀποδώσει. Βλέπουμε ἔτσι πὼς ὑπάρχει ἓνα εἶδος ἀντίθετης σχέσης μεταξὺ τῆς πληροφορίας πού μεταδίδεται ἀπὸ τὰ σήματα καὶ τῆς πιθανότητας τῆς διαδοχῆς τῶν σημάτων στὸ χρόνο, ἀφοῦ ἡ πληροφορία θὰ εἶναι τόσο μεγαλύτερη, ὅσο ἡ πιθανότητα, καὶ συνεπῶς ἡ ἐντροπία αὐτῆς τῆς σειρᾶς σημάτων, θὰ εἶναι ἀσθενέστερη. Ἐάν ὀνομάσουμε, ὅπως ὁ Léon Brillouin, «ἀρνητικὴ ἐντροπία» τὴν ἐντροπία μὲ ἀντίθετο σημεῖο - ποσότητα πού μειώνεται, ὅταν ἡ πιθανότητα αὐξάνει —, θὰ μπορούμε νὰ ποῦμε πὼς ἡ ποσότητα τῆς πληροφορίας εἶναι ἓνα εἶδος ἀρνητικῆς ἐντροπίας.

Αὐτὸ τὸ συμπέρασμα ἐνισχύεται, ἂν σκεφτοῦμε καὶ τὴ δυνατὴ παραμόρφωση τῶν σημάτων στὴ μετάδοση, πού ὀφείλεται σὲ διαταραχές, ἄλλες τυχαῖες καὶ ἄλλες πάλι πού ὀφείλονται λίγο πολὺ στὶς φυσικὲς συνθήκες τῆς διάδοσης, μερικὲς φορές καὶ ἀπὸ τὴ μεταγραφή τοῦ κειμένου στὴν ἀποστολὴ καὶ στὴ λήψη. Ἐτσι τὸ μήνυμα δὲν εἶναι μὲ ἀπόλυτη ἀκρίβεια τὸ ἴδιο μὲ ἐκεῖνο πού στάλθηκε καὶ περιέχει, γενικά, μερικὰ λάθη, πού μπορούν νὰ μειώσουν τὴν πληροφορία πού μεταφέρει. Εἶναι εὐκόλο νὰ καταλάβει κανεὶς πὼς ἡ πληροφορία μ' αὐτὸ τὸν τρόπο μπορεῖ νὰ μειωθεῖ, ἀλλὰ ποτὲ ν' αὐξηθεῖ. Ἐάν σᾶς στείλω τηλεγραφικῶς τὴν ἀπόδειξη ἑνὸς σύνθετου μαθηματικοῦ θεωρήματος, μπορεῖ μιὰ κακὴ μετάδοση τοῦ τηλεγραφήματος, ἀλλοιώνοντας ὀρισμένα βασικὰ μέρη τοῦ συλλογισμοῦ, νὰ σᾶς ἐμποδίσει νὰ καταλάβετε ἢ καὶ νὰ συνθέσετε τὴν ἀπόδειξή

μου. Ἀλλὰ ἂν σᾶς τηλεγραφήσω γιὰ νὰ σᾶς ἐξηγήσω γιατί δὲν κατόρθωσα νὰ ἀποδείξω ἓνα μαθηματικὸ θεώρημα, ποῦ μοῦ φαίνεται ἀκριβές, δὲν θὰ συμβεῖ ποτέ, ἐξ αἰτίας ἀλλοιώσεων στὴ μετάδοση, τὸ τηλεγράφημα ποῦ θὰ λάβετε νὰ περιέχει τὴν ἀπόδειξη ποῦ ζητοῦμε. Αὐτὸ δείχνει καθαρὰ πὼς ἡ πληροφορία ἔχει πάντα τὴν τάση νὰ ἐλαττώνεται, νὰ χάνεται, ἀκριβῶς ὅπως ἡ ἀρνητικὴ ἔντροπία στὴ Θερμοδυναμικὴ, ὅπου ἡ πιὸ εὐνοϊκὴ περίπτωση ποῦ ἀντιστοιχεῖ στοὺς ἀντιστρεπτοὺς μετασχηματισμοὺς ἑνὸς μεμονωμένου θερμοδυναμικοῦ συστήματος εἶναι ἐκείνη ὅπου διατηρεῖται ἡ ἀρνητικὴ ἔντροπία. Αὐτὴ ἡ συσχέτιση ἔχει ἄλλωστε πάρει μιὰ ποσοτικὴ ἔκφραση. Ὁ Shannon καὶ ἄλλοι ἔχουν δείξει πὼς ἡ πληροφορία μπορεῖ νὰ εἶναι τοῦ τύπου : $\sum_1 P_1 \log P_1$ (ὅπου τὰ P_1 εἶναι οἱ πιθανότητες τῶν διαφόρων δυνατῶν διαδοχῶν σημάτων), ταυτόσημη ἔκφραση, μὲ διαφορετικὸ σημεῖο, μὲ τὴν περίφημη συνάρτηση H , ποῦ ἐπέτρεψε στὸν Boltzmann τὴν πρώτη στατιστικὴ ἀναπαράσταση τῆς ἔντροπίας. Ἔτσι, γίνεται μαθηματικὰ προφανὴς ἡ ἀναλογία ἀνάμεσα στὴν πληροφορία καὶ στὴν ἔντροπία μὲ ἀντίθετο σημεῖο. Δημιουργεῖται μ' αὐτὸ τὸν τρόπο ἓνας βαθὺς παραλληλισμὸς μεταξὺ τῆς πληροφορίας καὶ τῆς ἀρνητικῆς ἔντροπίας. Θὰ δοῦμε ὅμως, ὅταν φτάσουμε στὴν κριτικὴ τῶν ἀποτελεσμάτων τῆς Κυβερνητικῆς, πὼς ὑπάρχουν ἀκόμη μεγάλες δυσκολίες στὴν ἀφομοίωσή του.

Ἡ μελέτη τῶν σχέσεων μεταξὺ ἔντροπίας καὶ πληροφορίας ὀδήγησε τὴν προσοχὴ τῶν Φυσικῶν σ' ἓνα ἐκπληκτικὸ μικρὸ πρόσωπο, ποῦ φαντάστηκε ὁ Maxwell στὶς ἔρευνές του τὶς σχετικὲς μὲ τὴν κινητικὴ θεωρία τῶν ἀερίων : τὸν Δαίμονα τοῦ Maxwell.

Ὁ Δαίμονας τοῦ Maxwell εἶναι ἀπ' τὶς καταπληκτικὲς φιγούρες τῆς φαντασίας τῆς θεωρητικῆς φυσικῆς. Ἄς φανταστοῦμε, ἔλεγε ὁ Maxwell, ἓνα δοχεῖο μὲ σταθερὴ θερμοκρασία καὶ ἓνα χωρίσμα, μὲ μιὰ τρύπα, ποῦ τὸ χωρίζει σὲ δύο διαμερίσματα. Γεμίζουμε τὰ δύο διαμερίσματα μ' ἓνα ἀέριο, ποῦ τὰ μόριά του μποροῦν νὰ

περάσουν άπ' τὸ ἕνα διαμέρισμα στὸ ἄλλο άπ' τὴν τρύπα τοῦ χωρίσματος. Τὸ ἀέριο ὅταν βρεθεῖ στὴ θερμοδυναμική του ἰσορροπία ἔχει τὴν ἴδια πίεση καὶ τὴν ἴδια θερμοκρασία καὶ στὰ δύο διαμερίσματα τοῦ δοχείου. Ὁ Maxwell ὑπέθεσε λοιπόν, πὼς ἕνα μικρὸ ὄν μοριακῶν διαστάσεων, προικισμένο μὲ νοῦ, εἶναι ἐγκαταστημένο στὴν τρύπα τοῦ χωρίσματος καὶ μὲ τὴ βοήθεια ἑνὸς μικροῦ φράχτη, ποὺ ἢ χρῆση του δὲν ἀπαιτεῖ καμιὰ ἰδιαίτερη ἐνέργεια, τὸ μικρὸ ὄν μπορεῖ νὰ κλείνει ἢ ν' ἀνοίγει τὴν τρύπα, τῆς ὁποίας εἶναι κάτι σὰν κλειδοῦχος. Θὰ μπορεῖ λοιπόν νὰ ἐπιτρέψει νὰ περνᾶνε άπ' τὰ ἀριστερὰ πρὸς τὰ δεξιὰ τὰ πιὸ γρήγορα μόρια, ἀπαγορεύοντάς τους τὸ ἀντίθετο πέρασμα, καὶ ἐπίσης νὰ ἀφήνει νὰ περνᾶνε τὰ πιὸ ἀργὰ μόρια ἀπὸ τὰ δεξιὰ πρὸς τὰ ἀριστερὰ, χωρὶς νὰ τοὺς ἐπιτρέψει τὸ ἀντίθετο. Ὑστερα ἀπὸ λίγο θὰ ἔχουν συγκεντρωθεῖ στὸ δεξιὸ διαμέρισμα τὰ γρήγορα μόρια καὶ στὸ ἀριστερὸ τὰ ἀργὰ καὶ ὅταν ἐξ αἰτίας τῶν συγκρούσεων οἱ δύο κατηγορίες τῶν μορίων θὰ ἔχουν βρεῖ ξεχωριστὰ τὴ θερμοκή τους ἰσορροπία, θὰ ἔχουμε στὸ δεξιὸ διαμέρισμα ἕνα ἀέριο πιὸ θερμὸ άπ' ὅτι στὸ ἀριστερό. Μ' ἄλλα λόγια δημιουργοῦμε, σὲ ἀντίφαση μὲ τὴ δεύτερη ἀρχὴ τῆς Θερμοδυναμικῆς, χωρὶς νὰ σπαταλήσουμε ἐνέργεια, μιὰ διαφορὰ θερμοκρασίας σ' ἕνα σύστημα, ποὺ πρὶν βρισκόταν σὲ θερμοκή ἰσορροπία. Τίποτα δὲν θὰ ἐμπόδιζε ἄλλωστε τὸν Δαίμονα τοῦ Maxwell νὰ ἀφήσει νὰ περάσουν άπ' τὴν τρύπα ὅλα τὰ μόρια ποὺ κινοῦνται άπ' τ' ἀριστερὰ πρὸς τὰ δεξιὰ καὶ νὰ σταματήσει ὅλα ἐκεῖνα ποὺ κινοῦνται ἀπὸ δεξιὰ πρὸς τὰ ἀριστερὰ. Τότε, ἔπειτα ἀπὸ λίγο, ὅλο τὸ ἀέριο θὰ βρισκόταν συγκεντρωμένο στὸ δεξιὸ διαμέρισμα μὲ τὴν ἀρχική του θερμοκρασία, ἐνῶ τὸ ἀριστερὸ διαμέρισμα θὰ βρισκόταν ἐντελῶς ἄδειο, καὶ οἱ κανόνες τῆς θερμοδυναμικῆς δείχνουν πὼς ἡ ἐντροπία τοῦ ἀερίου θὰ ἔχει ἐλαττωθεῖ αὐτόματα, κάτι ποὺ εἶναι ἐπίσης ἀντίθετο στὴν ἀρχὴ τοῦ Carnot.

Μ' αὐτὸν τὸν τρόπο, ὁ μικρὸς Δαίμονας θὰ μπορούσε νὰ καταφέρει αὐτὸ ποὺ ἐμεῖς οἱ ἄλλοι ἄνθρωποι ἀδυνατοῦμε νὰ πραγματοποιήσουμε : δηλ. νὰ ἀντιστρέψει τὴν ἀρχὴ τοῦ Carnot. Αὐτὸ τὸ κατορ-

θώνει γιατί μπορεί νὰ δράσει γρήγορα σὲ μοριακὴ κλίμακα πάνω σὲ κάθε ἓνα μόριο, ἐνῶ τὰ χονδροειδῆ ἀνθρώπινα μέσα δὲν μᾶς ἐπιτρέπουν νὰ δράσουμε παρὰ σὲ τεράστιες ποσότητες μορίων καὶ σὲ χρόνους ποὺ εἶναι πολὺ μεγάλοι σὲ σχέση μετὰ τὸ ρυθμὸ τῆς μοριακῆς κίνησης.

Ὁ Δαίμονας τοῦ Maxwell ἀντιστρέφει τὴν ἀρχὴ τοῦ Carnot, πράγμα ποὺ ἦταν παραδεκτὸ γιὰ πολὺ καιρό. Ἀλλὰ εἶναι αὐτὸ ἀλήθεια ;

Πρὶν ἀρχίσει τὴν ἐργασία του, ὁ Δαίμονας βρίσκεται μέσα σ' ἓνα χῶρο θερμικῆς ἰσορροπίας, ὅπου ἰσχύει μιὰ ἰσότροπη μέλαινα ἀκτινοβολία. Μὲ τέτοιες συνθῆκες δὲν μπορεί νὰ δεῖ τίποτα. Πῶς θὰ καταλάβει λοιπὸν ὅτι ἓνα μόριο ἔρχεται πρὸς αὐτὸν καὶ ὅτι ἔχει μεγάλη ἢ μικρὴ ταχύτητα ; Ἄλλωστε, καὶ ὁ Δαίμονας, ἀφοῦ εἶναι ἓνα ὄν τῆς ἀτομικῆς κλίμακας, δὲν θὰ παρασυρθεῖ ἀπὸ τὴ μοριακὴ κίνηση καὶ δὲν θὰ πάρει μέρος στὴ κίνηση τοῦ Brown ; Ἀσφαλῶς ναί, κι' αὐτὸ δὲν θὰ διευκολύνει καθόλου τὴ δουλειά του.

Θὰ πρέπει νὰ ἐπανεξετάσουμε τὸ πρόβλημα ἀναλύοντας τὰ πράγματα ἀπὸ πιὸ κοντὰ ἀπ' ὅ,τι ὁ Maxwell. Αὐτὸ προσπάθησαν διάφοροι ἐρευνητές, εἰδικὰ ὁ Léon Brillouin, ποὺ ἔτσι ἐπέκτειναν τὶς πολὺ ἐνδιαφέρουσες ἐρευνες στατιστικῆς Θερμοδυναμικῆς, ποὺ ἀρχισε ἐδῶ καὶ 20 χρόνια ὁ Szilard.

Γιὰ νὰ μπορέσει ὁ Δαίμονας τοῦ Maxwell νὰ διακρίνει τὰ μόρια, ποὺ ἔρχονται πρὸς αὐτὸν, ἔστω κι ἂν ὑποθέσουμε πῶς ἡ κίνηση τοῦ Brown δὲν τὸν ἐμποδίζει, θὰ πρέπει νὰ διαθέτει μιὰ πηγὴ φωτός, ἓνα «πυρσό» ὅπως λέει ὁ Léon Brillouin, μεγαλύτερης θερμοκρασίας ἀπὸ ἐκείνη τοῦ ἀερίου κι ἔτσι δὲν θὰ ὑπάρχει πιά πλήρης θερμικὴ ἰσορροπία. Μὲ τὴ βοήθεια τοῦ πυρσοῦ του, ὁ Δαίμονας θὰ μπορέσει νὰ διακρίνει τὰ μόρια ποὺ ἔρχονται πρὸς αὐτὸν καὶ νὰ ἐκτιμήσει τὴν ταχύτητά τους : θὰ λάβει λοιπὸν πληροφορία, μιὰ πληροφορία ποὺ τοῦ εἶναι ἀναγκαία γιὰ νὰ ἐκτελέσει τὸ ἔργο του.

καί ἐδῶ ἀκριβῶς συναντᾶμε τὴν Κυβερνητικὴν χρησιμοποιώντας τὴν ἔννοια τῆς πληροφορίας.

Ἡ ἀνάλυση αὐτὴ ἀποδεικνύει πῶς ἡ πληροφορία ἀποκτᾶται σὲ βάρος τῆς ἀρνητικῆς ἐντροπίας τοῦ ἐξωτερικοῦ περιβάλλοντος, μέσο τοῦ πυρσοῦ. Ὁ Δαίμονας τοῦ Maxwell, ὅπως ἄλλωστε καὶ ὁ φυσικὸς στὸ ἐργαστήρι του, δὲν μπορεῖ νὰ κάνει παρατηρήσεις πού νὰ τοῦ ἐπιτρέπουν ν' ἀποκτήσει πληροφορίες παρὰ χρησιμοποιώντας τελικὰ τὴν ἀρνητικὴ ἐντροπία τοῦ περιβάλλοντος, καὶ αὐτὴ ἡ ἀνάγκη, νὰ καταναλώσει ἀρνητικὴ ἐντροπία γιὰ νὰ κερδίσει πληροφορία, ἐπιβεβαιώνει τὸ συμπέρασμά μας πῶς ἡ πληροφορία δὲν εἶναι παρὰ μιὰ μορφή τῆς ἀρνητικῆς ἐντροπίας. Διαθέτοντας τὴν πληροφορία ὁ Δαίμονας θὰ μπορέσει νὰ χειριστεῖ τὸ φράχτη του μὲ τρόπο, ὥστε ἡ ἀρνητικὴ ἐντροπία τοῦ ἀερίου νὰ αὐξάνει. Ἀλλὰ τελικὰ, αὐτὴ ἡ αὐξηση ἀρνητικῆς ἐντροπίας τοῦ ἀερίου θὰ ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὴν ἐλάττωση ἐκείνης τοῦ ἐξωτερικοῦ περιβάλλοντος ἔτσι, πού νὰ μὴν ὑπάρχει δημιουργία ἀρνητικῆς ἐντροπίας. Ὄνομάζοντας «ἀπόφαση» τὴν πράξη τοῦ Δαίμονα ὅταν χειρίζεται τὸ φράχτη, μπορούμε νὰ καθορίσουμε πῶς ὁ ὀλοκληρωμένος κύκλος εἶναι :

«Ἀρνητικὴ ἐντροπία - Παρατήρηση - Πληροφορία - Ἀπόφαση - Ἀρνητικὴ ἐντροπία».

Ἡ παρατήρηση μετατρέπει τὴν ἀρνητικὴ ἐντροπία σὲ πληροφορία καὶ ἡ ἀπόφαση μετατρέπει ξανά αὐτὴν τὴν πληροφορία σὲ ἀρνητικὴ ἐντροπία. Μποροῦμε νὰ ποῦμε δηλαδή πῶς κατὰ τὴ διάρκεια αὐτοῦ τοῦ κύκλου ἡ ἀρνητικὴ ἐντροπία ἄλλαξε μορφή, ἀλλὰ διατηρεῖται.

Ἐπέμεινα λίγο περισσότερο στὸ θέμα τὸ σχετικὸ μὲ τὸν Δαίμονα τοῦ Maxwell γιατί δείχνει πολὺ ἐπιτυχημένα τὴν ἀναλογία τῆς πληροφορίας καὶ τῆς ἀρνητικῆς ἐντροπίας καὶ δείχνει πολὺ σωστὰ πῶς οἱ ἀντιλήψεις τῆς Κυβερνητικῆς εἶναι ἱκανὲς νὰ ὀδηγήσουν σὲ νέους τρόπους θεώρησης τῶν παλαιῶν προβλημάτων.

Ἡ θεωρία τῶν σερβομηχανισμῶν, ὅπως καὶ ἡ θεωρία τῶν φαινομένων ἀντιδράσεως, ποὺ εἶναι τόσο σημαντικὲς γιὰ τὴ Ραδιοηλεκτρολογία καὶ τὶς ἐφαρμογές της, μποροῦν νὰ θεωρηθοῦν σὰν κλάδοι τῆς Κυβερνητικῆς καὶ παρ' ὅλο ποὺ μποροῦν νὰ ἀναπτυχθοῦν ἀνεξάρτητα ἀπ' τὶς ἀντιλήψεις τῆς Κυβερνητικῆς, εἶναι σὲ θέση νὰ μᾶς βοηθήσουν νὰ κατανοήσουμε καλύτερα πολλὰ προβλήματα καὶ νὰ ἐμβαθύνουμε στὴν πραγματικὴ τους φύση.

* Ἄλλωστε ἡ Κυβερνητικὴ ἐμφανίζει πολλὰς ἐπιτυχίες στὸ χῶρο τῆς φυσιολογίας καὶ παθολογίας τοῦ νευρικοῦ συστήματος. Ὁ σπουδαῖος μαθηματικὸς Norbert Wiener δὲν δίσταξε, γιὰ νὰ ἀναπτύξει σ' αὐτὸν τὸ τομέα τὴ θεωρία ποὺ δημιούργησε, νὰ γίνῃ λίγο φυσιολόγος καὶ νὰ ζητήσῃ νὰ γίνῃ δεκτὸς σὰν ἐρευνητὴς στὸ Ἐθνικὸ Ἰνστιτοῦτο Καρδιολογίας τοῦ Μεξικοῦ. Ζητῶ συγνώμη ποὺ δὲν ἐξετάζω μὲ περισσότερὴ λεπτομέρεια τὶς φυσιολογικὰς ἀπόψεις τῆς Κυβερνητικῆς γιατί αἰσθάνομαι πολὺ λίγο εἰδικὸς σ' αὐτὸν τὸν τομέα. Οἱ σημερινὲς μᾶς γνώσεις, οἱ σχετικὲς μὲ τὴ λειτουργία τοῦ νευρικοῦ συστήματος, μᾶς ὑπαγορεύουν ὅτι τὰ νευρόνια τοῦ κεντρικοῦ νευρικοῦ συστήματος δέχονται ἀπ' τὸν ἔξωτερικὸ χῶρο «πληροφορίες» ποὺ μέσο τῆς ὁδοῦ τῶν αἰσθητηρίων ὀργάνων κάνουν τὴ διαδρομὴ ἀπὸ τὴν περιφέρεια πρὸς τὸν ἐγκέφαλο χάρις τὰ νευρικὰ κύματα. Τὰ νευρικὰ κέντρα τοῦ ἐγκεφάλου ἢ τοῦ νωτιαίου μυελοῦ μποροῦν νὰ ἀντιδράσουν σ' αὐτὰς τὶς πληροφορίες στέλνοντας πρὸς τὴν περιφέρεια μὲ μιὰ πράξη ἐκούσια ἢ μὲ μιὰ ἀνακλαστικὴ διεργασία, νευρικὰ κύματα ποὺ μεταφράζονται σὲ πράξεις. Εἰδικὰ, τὰ ἐξαρτώμενα ἀνακλαστικὰ ποὺ μὲ τόση ἐπιτυχία ἐρευνηθήκαν ἀπὸ τὸν Ρανιον, ἀνήκουν προφανῶς σ' αὐτὸ τὸ γενικὸ διάγραμμα. Ὅρισμένες ὀργανικὲς παθήσεις, ὅπως ἡ ἀταξία, ἀποδιοργανώνοντας μὲ διάφορους τρόπους τὴ λειτουργία τῶν νευρικῶν κυκλωμάτων προκαλοῦν ἀνωμαλίες, γνωστὰς στοὺς γιατροὺς, ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὶς διαταράξεις τῶν μεταδόσεων μέσα στὸ νευρικὸ σύστημα. Ἔτσι, εἰσάγοντας μ' αὐτὸν τὸν τρόπο τὶς λέξεις «πληροφορία» καὶ «μετάδοση», στὴν περιγραφή τῆς λειτουργίας τῶν νευρικῶν συνδέσεων, καθορί-

ζουμε σωστά τὸ ρόλο πού μποροῦν νὰ παίξουν οἱ ἀπόψεις καὶ τὰ ἀποτελέσματα τῆς Κυβερνητικῆς στὴν ἀνάλυση τῆς φυσιολογίας ἢ παθολογίας τοῦ νευρικοῦ συστήματος.

Σὲ μιὰ σειρά παραπλήσιων σκέψεων ἐπιμείναμε προηγουμένως στὴν ἀναλογία τῆς λειτουργίας τῶν ὑπολογιστικῶν μηχανῶν καὶ τῆς λειτουργίας τοῦ ἐγκεφάλου μας. Οἱ σύγχρονες ὑπολογιστικὲς μηχανὲς δὲν ἐκτελοῦν μόνο μηχανικοὺς ὑπολογισμούς, ἀλλὰ λύνουν δύσκολα προβλήματα μαθηματικῆς ἀνάλυσης, κι αὐτοὶ οἱ ὑπολογισμοὶ ἐπιτυγχάνονται, ὅπως τὸ ὑπογραμμίσαμε, μὲ περισσότερη ἀκρίβεια καὶ ταχύτητα ἀπ' ὅ,τι θὰ μπορούσε ὁ ἐγκέφαλός μας. Ἐπειδὴ πρόκειται γιὰ ὑπολογισμοὺς πού ἀπαιτοῦν λογικὲς πράξεις μπορούμε νὰ ποῦμε περίπου πὼς αὐτὲς οἱ μηχανὲς εἶναι προικισμένες μὲ λογικὲς ἰκανότητες. Μποροῦμε ἐπίσης νὰ τὶς προικίσουμε μὲ «μνήμη», γιατί ἔχουν ἐφευρεθεῖ τὰ ἀπαραίτητα μέσα, ἔτσι πού ἡ μηχανὴ διατηρεῖ σὰν ἀπόθεμα τὰ ἀποτελέσματα πού βρῆκε καὶ πού μπορεῖ νὰ τὰ ξαναχρησιμοποιήσει. Εἶναι βέβαιο, πὼς αὐτὲς οἱ ἀναλογίες μποροῦν νὰ μᾶς διδάξουν πολλὰ γιὰ τὴ λειτουργία τῆς σκέψης καὶ τοῦ λογικοῦ μας. Θὰ μπορούσαμε νὰ πιστέψουμε, πὼς εἶναι δυνατὸ νὰ ἐξηγήσουμε καὶ τὶς πιὸ λεπτὲς ἀκόμη νοητικὲς λειτουργίες ἀπὸ τὶς ἀναλογίες μὲ τὶς ὑπολογιστικὲς μηχανὲς καὶ νὰ δώσουμε μιὰ πλήρη ἐξήγηση σ' αὐτὲς μὲ τὴ βοήθεια τῶν νόμων τῆς Κυβερνητικῆς. Θὰ ἐξηγήσουμε πιὸ κάτω γιατί μιὰ τέτοια γνώμη μᾶς φαίνεται λίγο ὑπερβολικὴ, ἀλλὰ εἶναι ἀναμφισβήτητο πὼς σ' αὐτὸ τὸ σημεῖο ὑπάρχει ἕνας ἀνοιχτὸς χῶρος ἔρευνας.

Ἄφοῦ ἡ Κυβερνητικὴ μᾶς ὀδήγησε ἔτσι σὲ νέες προοπτικὲς πάνω στὴ λειτουργία τοῦ νευρικοῦ συστήματος καὶ στὸ μηχανισμό τῆς νοητικῆς μας δραστηριότητας, μπορεῖ ἐπίσης νὰ μᾶς παρέχει ἀνεκτίμητες ἐνδείξεις γιὰ τὶς ζωϊκὲς διεργασίες γενικά, μιὰ κι αὐτὲς βασίζονται σ' ἕνα πολύπλοκο δίκτυο δράσεων καὶ ἀντιδράσεων, ὅπου οἱ ἔννοιες τοῦ «σήματος», τῆς «μετάδοσης», «πληροφορίας» καὶ «ἀρνητικῆς ἐντροπίας» θὰ πρέπει ὀλοφάνερα νὰ παίξουν ἕνα οὐ-

σιαστικὸ ρόλο. Ἀναπτύσσοντας αὐτὴν τὴν ἰδέα ὡς τὰ ἄκρα-καὶ σ' αὐτὸ τὸ σημεῖο ἔχω ἐπιφυλάξεις – φτάνουμε στὸ σημεῖο ν' ἀναρωτιόμαστε ἂν οἱ ζωντανοὶ ὀργανισμοὶ δὲν εἶναι ἐντελῶς ὅμοιοι μὲ αὐτόματα, ἔτσι πού ἡ Κυβερνητικὴ, βασισμένη σὲ νόμους ἀποκλειστικὰ φυσικοχημικούς, θὰ κατορθώσει, μιὰ μέρα, νὰ ἐξηγήσει ἐντελῶς τὸ μηχανισμό τους.

Πόσο θὰ ἦταν εὐτυχισμένος ὁ de Vaucanson ἂν ἔβλεπε νὰ γίνονται τῆς μόδας τὰ αὐτόματα; αὐτὸς πού στὰ μέσα τοῦ 18ου αἰώνα κατασκεύασε τόσο ἀξιόλογα, εἰδικὰ τὶς πάπιες του πού «λειτουργοῦσαν ἐντελῶς φυσικά»! Πραγματικά, τὰ αὐτόματα πού πρὶν ἀκόμη γίνον τῆς μόδας ὁ κόσμος τὰ θεωροῦσε σὰν περίεργα διασκεδαστικὰ ἀντικείμενα ἀλλὰ χωρὶς μεγάλη ἐπιστημονικὴ ἀξία, εἶναι πάλι στὴν ἡμερησίᾳ διάταξη. Πρόδρομος αὐτῆς τῆς ἀναγέννησης εἶναι ὁ ἰσπανὸς Torres y Quevedo πού ξανάρχισε τὴν κατασκευὴ τῶν αὐτομάτων καὶ κατασκεύασε τὸ διάσημό του «παίκτη σκακιοῦ» πού εἶναι ἱκανὸς νὰ κερδίσει μιὰ ἀπλῆ παρτίδα αὐτοῦ τοῦ εὐγενικοῦ παιχνιδιοῦ παίζοντας ἐναντίον ἑνὸς ἀντίπαλου μὲ «σάρκα καὶ ὀστά» καὶ μπορεῖ ἀκόμη νὰ προβάλλει τὶς ἀντιρρήσεις του, ἂν ὁ ἀντίπαλος δὲν σέβεται τοὺς κανόνες τοῦ παιχνιδιοῦ, χτυπώντας ἕνα κουδοῦνι. Σήμερα, ὁ Grey Walter, ἐρευνητὴς στὸ Bristol ἔχει κατασκευάσει αὐτόματες χελῶνες, πού εἶναι προικισμένες μὲ ἔξαρτώμενα ἀνακλαστικὰ ἐντελῶς ἀνάλογα μὲ ἐκεῖνα τῶν ζωντανῶν ὄντων, καὶ πού ὅπως ἀκριβῶς τὰ ζῶα πηγαίνουν νὰ βροῦν τὴν τροφή τους, μποροῦν νὰ πηγαίνουν νὰ τροφοδοτοῦνται ἀπὸ μιὰ πηγὴ ἐνέργειας, ὅταν τὸ ἀπόθεμά τους ἐξαντλεῖται. Τὸ ζῶο, ὁ ἴδιος ὁ ἄνθρωπος μήπως δὲν εἶναι ἕνα «ρομπότ» πολὺ καλὰ ὀργανωμένο; Τὸ ἐρώτημα εἶναι θεμιτὸ καὶ οἱ ἐπιτεύξεις, πού ἐπιτυγχάνονται στὴν κατασκευὴ αὐτομάτων, προσθέτουν νέα ἐπιχειρήματα γιὰ μιὰ καθαρὰ μηχανικὴ καὶ φυσικοχημικὴ ἐρμηνεία γιὰ ὅλες τὶς διεργασίες τῆς ζωῆς.

Ἐπιμείναμε σὲ μερικὲς ἀπὸ τὶς πιὸ ἐνδιαφέρουσες ἐπινοήσεις καὶ σὲ

μερικές από τις πιο αξιοσημείωτες επιτυχίες της Κυβερνητικής, θα θέλαμε όμως να κάνουμε μερικές κριτικές παρατηρήσεις, που θα μάς βοηθήσουν να χαράξουμε τα όρια της επεξηγηματικής της δύναμης.

Η Κυβερνητική, όπως παρουσιάζεται σήμερα, είναι βασικά ένας τομέας της κλασικής φυσικής, δηλαδή χρησιμοποιεί τις αντιλήψεις και τους κλασικούς νόμους της μηχανικής και του ηλεκτρισμού. Αγνοεί λοιπόν τις νέες αντιλήψεις της θεωρίας των quanta και της Κυματομηχανικής. Αυτό δείχνει πως η Κυβερνητική, στη σημερινή της κατάσταση, δεν μπορεί να μάς αποδόσει μια ακριβή έρμηνεία παρά σε μακροσκοπικά φαινόμενα μεγάλης κλίμακας και δεν μπορεί να διεισδύσει σε φαινόμενα ατομικής κλίμακας που είναι παρ' όλ' αυτά η βάση όλης της Φυσικής.

Μπορούμε να πούμε πως η Κυβερνητική δεν καινοτόμησε τόσο, όσο θα μπορούσε κανείς να πιστέψει. Η θεωρία των μεταδόσεων, ή θεωρία των ρυθμιστών, των σερβομηχανισμών κλπ., βρίσκονταν σ' ένα μεγάλο βαθμό εξέλιξης πριν απ' τη γέννηση της Κυβερνητικής και μπορούν να διακριθούν σαν αυτόνομοι κλάδοι της επιστήμης, δηλ. είναι εύθετες προεκτάσεις της κλασικής φυσικής. Ο ρόλος της Κυβερνητικής, που εισάγει ενδιαφέρουσες νέες γενικές αντιλήψεις, είναι να ένοποιήσει θεωρίες που φαίνονταν ανεξάρτητες, επισημαίνοντας τους βαθύτερους δεσμούς που τις συνδέουν, παρέχοντας ένα είδος γενικού διαγράμματος, που τις περιέχει όλες, σαν ειδικές περιπτώσεις. Δημιουργώντας το η Κυβερνητική μάς άνοιξε νέους ορίζοντες αναμφισβήτητου ενδιαφέροντος, αλλά απέχει αρκετά από το να μάς εισάγει στο βάθος των φυσικών φαινομένων με τρόπο ριζικό, όπως π.χ. η θεωρία των quanta.

Θα ήθελα να επιμείνω λίγο στις σχέσεις της κβαντικής Φυσικής με την Κυβερνητική. Το γεγονός ότι σήμερα η θεωρία των μεταδόσεων χρησιμοποιεί με επιτυχία μια μικτή παράσταση των σημάτων (αναλυτικά σήματα των Gabor και Ville), το γεγονός επίσης ότι χρη-

σιμοποιεῖ τὴν ἀνισότητά $\Delta f \Delta t \geq 1$ ποὺ ἐκφράζει πῶς ἡ παράσταση κατὰ Fourier ἑνὸς σήματος διαρκείας Δt περιέχει συνιστώσες ποὺ καλύπτουν ἓνα διάστημα συχνότητος Δf τουλάχιστο ἴσο πρὸς $1/\Delta t$, ἐρμηνεύτηκαν ὀρισμένες φορές σὰν νὰ δείχνουν ἓνα στενὸ δεσμὸ μεταξὺ τῆς θεωρίας τῶν μεταδόσεων καὶ τῆς Φυσικῆς τῶν quanta. Αὐτὸ δὲν συμβαίνει. Ἡ χρῆση τῶν μικτῶν συναρτήσεων, τῶν σειρῶν τοῦ Fourier καὶ ἡ ἀνισότητά $\Delta f \Delta t \geq 1$ ἦταν γνωστὰ ἀπὸ παλιά στοὺς μαθηματικοὺς καὶ δὲν συνδέονται μὲ καμιὰ εἰδικὴ φυσικὴ θεωρία. Αὐτὸ ποὺ χαρακτηρίζει τὴ Φυσικὴ τῶν quanta δὲν εἶναι ἡ καθαυτὴ χρῆση αὐτῶν τῶν ἀλγορίθμων, ἀλλὰ εἶναι, ὅπως εἶπε ὁ Bohr καὶ τὸ ἐπανέλαβε πολλές φορές, ἡ εἰσαγωγὴ τοῦ quantum ἐνέργειας h , ποὺ ἡ ὕπαρξή του δημιουργεῖ ἀνάμεσα στὴ γεωμετρικὴ καὶ τὴ δυναμικὴ πλευρὰ τῶν φαινομένων τῆς ἀτομικῆς κλίμακας, ἓνα δεσμὸ θεμελιώδη ἀλλὰ καὶ ἀπρόοπτο γιὰ τοὺς κλασικοὺς φυσικοὺς. Ὅποτε δὲν ὑπάρχει τίποτα στὶς θεωρίες τῆς Κυβερνητικῆς – ἔτσι ὅπως τὶς ἀναπτύσσουμε συνήθως – ποὺ νὰ εἰσάγει τὸ quantum ἐνέργειας.

Δὲν εἶναι ὅμως ἀδύνατο νὰ προσπαθήσουμε νὰ εἰσάγουμε τὸ quantum ἐνέργειας, κάπως σὰν ἓνα ἐξωτερικὸ πειραματικὸ δεδομένο, στὸ χῶρο τῆς Κυβερνητικῆς καὶ εἰδικὰ στὴ θεωρία τῶν μεταδόσεων "Ἔως τῶρα δὲν ὑπῆρξε, νομίζω, σ' αὐτὴ τὴν ἔννοια, παρὰ μόνο μιὰ σοβαρὴ προσπάθεια, ἡ προσπάθεια τοῦ Denis Gabor, ποὺ θὰ βροῦμε π.χ. στὴν ἀνακοίνωσή του στὶς συναντήσεις γιὰ τὴν Κυβερνητικὴ, ποὺ ἀνέφερα πιὸ πάνω. Ὁ Gabor ἐπιμένει, καὶ ἔχει δίκιο, στὸ γεγονός πῶς ἡ θεωρία τῶν ἐπικοινωνιῶν δὲν μπορεῖ νὰ ἀναπτυχθεῖ ἀποκλειστικὰ ἀπὸ μιὰ μορφή καθαρὰ μαθηματικὴ. Πρέπει νὰ λάβει ὑπ' ὄψη καὶ τὴ φυσικὴ τῶν σημάτων, τὶς φυσικὲς καταστάσεις τῆς ἐκπομπῆς τους, τῆς διάδοσης καὶ τῆς λήψης τους. Ὅταν ἀναλύουμε ἀπὸ κοντὰ αὐτὰ τὰ φαινόμενα, ἀποδεικνύονται τελικὰ σὰν ἀποτέλεσμα κβαντικῶν μεταλλαγῶν καὶ ἐξαρτῶνται, τουλάχιστο κατ' ἀρχὴν, ἀπὸ τὴ σταθερὴ h . Ἔτσι, θὰ μπορέσουμε νὰ φθάσουμε νὰ

εισάγουμε κβαντικές απόψεις στη θεωρία τῶν ἐπικοινωνιῶν καὶ σὲ συνέχεια στὴν Κυβερνητικὴ.

Ἐνα χαρακτηριστικὸ φαινόμενο, μὲ τὸ ὁποῖο ἡ θεωρία τῶν ἐπικοινωνιῶν πρέπει νὰ ἀσχοληθεῖ εἶναι ὁ «θερμικὸς θόρυβος». Ἄς ἐξετάσουμε προσεκτικὰ μιὰ κεραία ἀσύρματου τηλέγραφου στὴν ὁποία δὲν διοχετεύεται ρεῦμα ἐκπομπῆς καὶ βρίσκεται σὲ θερμικὴ ἰσορροπία μὲ τὴ γύρω ἀτμόσφαιρα. Ἡ θερμικὴ ἀναταραχὴ τῶν ἠλεκτρονίων ποὺ βρίσκονται στὴν κεραία θὰ δημιουργήσῃ μιὰ ραδιοηλεκτρικὴ ἐκπομπή, αὐτὴ θὰ διαταράξῃ τὴ λειτουργία στοὺς γειτονικοὺς δέκτες καὶ θὰ δημιουργήσῃ ἓνα εἶδος «θερμικοῦ θορύβου» τοῦ ὁποίου οἱ ἀκατάπαυστες διακυμάνσεις θὰ εἶναι ἐνοχλητικὲς γιὰ τὴ λήψη τῶν σημάτων. Ἐπειδὴ ἡ κίνηση τῶν ἠλεκτρονίων εἶναι βασικὰ κβαντικὴ, παρατηροῦμε πὼς θὰ πρέπει, σὲ μιὰ αὐστηρὴ ἀνάλυση τοῦ φαινομένου, νὰ ἐμφανιστεῖ ἡ σταθερὴ h . Ὁ Gabor μελέτησε αὐτὰ τὰ θέματα μ' ἓναν τρόπο πολὺ ἐνδιαφέροντα σὲ σχέση μὲ τὴ θεωρία τοῦ τῶν στοιχείων πληροφορίας $\Delta f \Delta t$. Ἀνέλυσε ἐπίσης τὸν τρόπο ποὺ μιὰ δέσμη ἠλεκτρονίων ἀπορροφᾷ ἓνα μέρος τῆς ἐνέργειας ἑνὸς ἠλεκτρομαγνητικοῦ κύματος τὸ ὁποῖο διασχίζει, καὶ ἔδωσε ἐνδιαφέρουσες ἐνδείξεις, σχετικὲς μὲ τὸν τρόπο ποὺ γίνεται ἡ μετατροπὴ τῶν στοιχειωδῶν κβαντικῶν ἀπορροφήσεων στὴ συνεχὴ ἀπορρόφηση ποὺ προβλέπει ἡ κλασικὴ ἠλεκτρομαγνητικὴ θεωρία. Αὐτὰ τὰ ἀποτελέσματα ἀνοίγουν δρόμους γεμάτους ὑποσχέσεις, ἀπ' ὅπου ἡ Φυσικὴ τῶν quanta καὶ εἰδικὰ ἡ κβαντικὴ θεωρία τοῦ ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου θὰ μπορέσουν νὰ ἐπωφεληθοῦν : δείχνουν πὼς μπορεῖ νὰ εἶναι χρήσιμο, ἀκόμη καὶ ἀναγκαῖο, νὰ εἰσάγουμε τὰ quanta σ' ὀρισμένα κεφάλαια τῆς Κυβερνητικῆς. Ἀλλὰ αὐτὴ ἡ εἰσαγωγὴ γίνεται κάπως ἀπ' ἔξω, καθὼς στηρίζεται στὶς ἀπόψεις τῆς κβαντικῆς Φυσικῆς ποὺ ἀπορρέουν ἀπ' τὴν ἐμπειρία καὶ δὲν συμπεραίνεται ἀπ' αὐτὸ πὼς ἡ Κυβερνητικὴ μόνη της θὰ μπορούσε νὰ μᾶς ὀδηγήσῃ στὴ θεωρία τῶν quanta.

Πρέπει ἐπίσης νὰ ἐπιμείνουμε στὸ γεγονός πὼς ἡ ἔξομοίωση τῆς

πληροφορίας με τὴν ἀρνητικὴ ἔντροπία, ὅσο διδακτικὴ καὶ γοητευτικὴ κι ἂν εἶναι, δὲν παύει νὰ δημιουργεῖ ἀκόμη δυσκολίες. Καὶ πρῶτα, ἀκόμη καὶ αὐτὸς ὁ ὀρισμὸς τῆς ποσότητος πληροφορίας, ὀρισμὸς, ποὺ ὅπως εἶναι φυσικὸ πρέπει νὰ εἶναι γενικὸς καὶ ἀκριβής, ἂν θέλουμε νὰ προσπαθήσουμε νὰ ἑξομοιώσουμε τὸ μέγεθος με τὴν ἔντροπία με ἀρνητικὸ σημεῖο, δὲν φαίνεται νὰ ἔχει καθοριστεῖ μ' ἓναν τρόπο ἀναμφισβήτητο. Στὴν ἀνακοίνωσή του, τῆ σχετικὴ με τὴ μεταβίβαση τῶν πληροφοριῶν, στὶς συνεδριάσεις γιὰ τὴν Κυβερνητικὴ ποὺ ἀνέφερα, ὁ Aigrip ἐκφράζει ἀμφιβολίες γιὰ τὴ δυνατότητα νὰ δοθεῖ ἓνας ὀρισμὸς τῆς ποσότητος πληροφορίας, ποὺ νὰ εἶναι ἀνεξάρτητος ἀπ' τὴ χρῆση της. Αὐτὴ ἡ περίπτωση θὰ μπορούσε νὰ εἶναι ἐνοχλητικὴ γιὰ τὴ δημιουργία ἑνὸς πλήρους παραλληλισμοῦ μεταξὺ πληροφορίας καὶ ἔντροπίας. Ἀκόμη, ὁ Léon Brillouin ποὺ μελέτησε τελευταῖα ὅλα αὐτὰ τὰ προβλήματα με πολὺ κριτικὸ πνεῦμα, ἐπέσημανε μιὰ σοβαρὴ δυσκολία. Γνωρίζουμε πράγματι, πὼς ἂν σ' ἓνα ἀπομονωμένο σύστημα δημιουργηθοῦν θερμοδυναμικὲς μεταβολές, ἡ ἔντροπία τοῦ συστήματος δὲν μπορεῖ παρά ν' αὐξηθεῖ (ἢ νὰ διατηρηθεῖ ἔστω σταθερὴ γιὰ τὶς ἀναστρεπτές μεταβολές). Ἄς χρησιμοποιήσουμε τὴν πρόσφορη γλώσσα τῆς ἀρνητικῆς ἔντροπίας, αὐτῆς ποὺ ὅλο καὶ λιγοστεύει. Μποροῦμε νὰ ποῦμε πὼς, ὅταν ἓνα σῶμα ἀφήνει σ' ἓνα ἄλλο σῶμα ἀρνητικὴ ἔντροπία, ἡ ἀρνητικὴ ἔντροπία ποὺ λαμβάνεται ἀπὸ τὸ σῶμα - λήπτῃ εἶναι τὸ πολὺ - πολὺ ἴση με ἐκείνη ποὺ χάνεται ἀπὸ τὸ σῶμα - δότη· εἶναι εὐκόλο νὰ τὸ ἐπαληθεύσει κανεὶς με παραδείγματα. Ὡστε λοιπόν, κάθε ἀπόκτηση ἀρνητικῆς ἔντροπίας ἀπὸ ὀρισμένα σῶματα ἔχει σὰν ἀναγκαῖο ἀντίβαρο μιὰ ἐλάττωση ἀρνητικῆς ἔντροπίας ἄλλων σωμάτων. Δὲν συμβαίνει ὅμως τὸ ἴδιο σ' ὅτι ἀφορᾷ τὴν πληροφορία. Ὅταν ἓνας καθηγητὴς διδάσκει τοὺς νόμους τῆς Φυσικῆς στοὺς μαθητὲς του, τοὺς δίνει «πληροφορία» ἀλλὰ αὐτὸς δὲν χάνει καθόλου, γιὰτὶ τὸ γεγονὸς ὅτι ἔχει διδάξει τοὺς νόμους τῆς Φυσικῆς δὲν ἔχει σὰν συνέπεια ὅτι τοὺς ἔχευσε. Τὸ ἴδιο ἂν σᾶς στείλω ἓνα τηλεγράφημα γιὰ νὰ σᾶς εἰδοποιήσω πὼς μόλις ἔπεσε ἡ

κυβέρνηση, σᾶς δίνω μιὰ «πληροφορία» ἀλλὰ ἕξαιτίας αὐτοῦ τοῦ γεγονότος δὲν χάνω καθόλου τὴ γνώση τῆς ὑπουργικῆς κρίσης, ποὺ μόλις ξέσπασε.

Βλέπουμε λοιπόν, πὼς ἐδῶ ἡ ἀναλογία μεταξὺ πληροφορίας καὶ ἀρνητικῆς ἐντροπίας, ποὺ εἶδαμε τὴν ἑκτασὴ τῆς, δὲν φαίνεται πιά νὰ ἰσχύει. Ἐπειδὴ αὐτὴ ἡ ἀναλογία φαινόταν τέλεια στὴν περίπτωση τῆς μεταβίβασης τῆς πληροφορίας μέσο φυσικῶν διεργασιῶν, μεταβίβαση, ποὺ κατὰ τὴ διάρκειά τῆς ἡ πληροφορία δὲν μπορεῖ παρὰ νὰ ἐλαττώνεται, θὰ μπορούσαμε νὰ πιστέψουμε πὼς ἡ δυσκολία ποὺ συναντᾶμε τώρα προέρχεται ἀπὸ τὴν ἀνθρώπινη μεσολάβηση, ἀπ' αὐτὸν ποὺ δίνει τὴν πληροφορία καὶ ἀπ' αὐτὸν τελικὰ ποὺ τὴν παίρνει. Ἀλλὰ ὅπως ἀποδεικνύεται, δὲν συμβαίνει αὐτό, ἀφοῦ μιὰ ὑπολογιστικὴ μηχανὴ προικισμένη μὲ «μνήμη», (μὲ τὴν ἔννοια ποὺ οἱ κατασκευαστὲς αὐτῶν τῶν μηχανῶν δίνουν σ' αὐτὴ τὴ λέξη) μπορεῖ πάρα πολὺ καλὰ νὰ ἀνακοινώσῃ τὰ ἀποτελέσματα τῶν ὑπολογισμῶν τῆς, δηλ. πληροφορίες, μπορεῖ συγχρόνως καὶ νὰ τὰ ἐναποθηκεύει. Ὁ Léon Brillouin φαίνεται πὼς ὑπολόγισε αὐτὴ τὴ δυσκολία σὰν πολὺ βασικὴ καὶ τέτοια ποὺ νὰ μᾶς κάνει ν' ἀμφιβάλουμε γιὰ τὴν ἀναλογία ἀνάμεσα στὴν πληροφορία καὶ τὴν ἐντροπία, ποὺ ἦταν ἓνα ἀπὸ τὰ πιὸ ἐλκυστικὰ ἀποτελέσματα τῆς Κυβερνητικῆς. Ἴσως μπορέσουμε μὲ κάποιον τρόπο νὰ ὑπερπηδήσουμε αὐτὴ τὴ δυσκολία, ἀλλὰ φαίνεται πὼς τὸ ὅλο θέμα δείχνει πὼς δὲν ἔχει ἀκόμη ὠριμάσει.

Εἶδαμε πὼς ἡ Κυβερνητικὴ προσφέρει στὴ Φυσιολογία καὶ στὴν Παθολογία, καὶ εἰδικὰ στὴ Φυσιολογία τοῦ νευρικοῦ συστήματος, ἀπόψεις καὶ ὑποδείξεις μεγάλου ἐνδιαφέροντος. Φαίνεται ἀκόμη ὅτι πρέπει νὰ μᾶς διαφωτίσῃ πάνω σὲ θέματα ποὺ ἀφοροῦν τὴ λειτουργία τῆς νόησης καὶ τῆς λογικῆς μας. Μήπως προχωρεῖ στὸ σημεῖο νὰ μᾶς δώσει νὰ κατανοήσουμε συνολικὰ τὰ φαινόμενα τῆς ζωῆς ; Ἡ χελώνα τοῦ Gray Walter δὲν εἶναι περίπου ἓνα ζωντανὸ ὄν ;

Μήπως οἱ μεγάλες ὑπολογιστικὲς μηχανές τῆς σύγχρονης ἐποχῆς δὲν ἀποτελοῦν ἓνα εἶδος ἐγκεφάλου σὲ λειτουργία ;

Νομίζω πὼς καὶ ἐδῶ ὑπάρχουν ἀρκετὲς ἐπιφυλάξεις. Βέβαια οἱ ὑπολογιστικὲς μηχανές κατορθώνουν νὰ δώσουν μὲ περισσότερὴ ἀκρίβεια καὶ ταχύτητα ἀπ' ὅ,τι ὁ ἐγκέφαλός μας, ὀρισμένους ὑπολογισμούς, ὀρισμένες λύσεις ἀναλυτικῶν προβλημάτων. Ἀλλὰ αὐτὴ ἡ ἀκρίβεια καὶ ταχύτητα προέρχονται ἀκριβῶς ἀπὸ τὸν αὐτοματισμό τους. Ὑπάρχει σὰν ἀντιστάθμισμα τὸ γεγονός πὼς ἡ μηχανὴ δὲν διαθέτει αὐτὴ τὴ δημιουργικὴ ἰκανότητα, αὐτὴ τὴν ἐπιθυμία τοῦ νὰ θέλει νὰ προχωρήσει περισσότερο ἀπ' ὅ,τι ὡς τώρα, κατόρθωσε, ποὺ εἶναι τὰ βασικὰ χαρακτηριστικὰ τῆς ἀνθρώπινης σκέψης. Ὁ Léon Brillouin, ποὺ ἐπιμένει μὲ πολὺ ἔμφαση σ' αὐτὰ τὰ θέματα, ὑπογράμμισε ἔντονα πὼς οἱ ὑπολογιστικὲς μηχανές, ἔργα τοῦ ἀνθρώπινου πνεύματος, δὲν γνωρίζουν νὰ ἐκτελοῦν παρὰ τὴ δουλειὰ γιὰ τὴν ὁποία κατασκευάστηκαν. Ἐπειδὴ ἐπινοήθηκαν καὶ δημιουργήθηκαν ἀπὸ τὸν ἐπιστήμονα καὶ τὸ μηχανικό, ἔχουν ἀνάγκη τῶν φροντίδων τους γιὰ τὴ συντήρησή τους καὶ τὴν τυχόν ἐπισκευή τους. Τοὺς λείπει ὅπωςδῆποτε ἐκείνη ἡ οὐσιαστικὴ ἰδιότητα τοῦ ἀνθρώπου ποὺ χωρὶς αὐτὴ, ἡ σκέψη εἶναι ἀδιανόητη: ἡ συνείδηση τῆς ὕπαρξης καὶ τῆς προσωπικότητος. Γιατὶ εἶναι ἀδύνατο νὰ τοὺς ἀποδώσει κανεὶς μιὰ συνείδηση ἀνάλογη μὲ τὴ δική μας. Ἡ λειτουργία τῶν ὑπολογιστικῶν μηχανῶν, ὅσο τελειοποιημένες κι ἂν εἶναι, δὲν εἶναι ὅμοια μὲ τὴ δική μας σκέψη. Ἀλλωστε καὶ τὸ ὄνομα «μηχανές» ποὺ τόσο φυσικὰ ὀδηγηθήκαμε νὰ τοὺς δώσουμε, δὲν δείχνει πὼς εἶναι δημιουργήματα τῆς νόησής μας ἀνάλογα μὲ ὅλα τὰ ἐργαλεῖα, ποὺ ἡ ἀνθρωπότητα μπόρεσε σιγά - σιγά νὰ φτιάξει γιὰ νὰ αὐξήσει τὴν ἀποτελεσματικότητα τῆς δράσης της, ἀπὸ τὸ λίθινο πέλεκυ ὡς τὶς πιὸ ἐξελιγμένες ἐπιτεύξεις τῆς σύγχρονης τεχνικῆς ; Ἡ μηχανὴ ἐμφανίζεται, ἀκόμη καὶ ἀπὸ τὴν ἴδια της τὴ φύση, ἀνίκανη γι' αὐτὲς τὶς δημιουργικὲς προσπάθειες, ποὺ ἔχουν σὰν κατάληξη π.χ. τὶς μεγάλες ἐπιστημονικὲς ἀνακαλύψεις ποὺ στέκουν στὸ ὕψος τῆς ἀνθρώπινης νόησης. Σ' αὐτὸ

τὸ εἶδος τῆς προσπάθειας, ἡ νόησή μας δημιουργεῖ τὴν «ἀπόλυτη πληροφορία» (σύμφωνα μὲ τὴν ἔκφραση τοῦ Léon Brillouin) καὶ αὐτὴ ἡ δημιουργία ἔχει ἀξία μόνο γιατί μᾶς εἶναι συνειδητή. Μποροῦμε νὰ φανταστοῦμε μιὰ μηχανὴ νὰ κάνει κάτι ἀνάλογο ;

Ἡ ἐλπίδα, ποὺ φαίνεται νὰ ἔχουν ὀρισμένοι μύστες τῆς Κυβερνητικῆς, νὰ κατορθώσουν νὰ ἐξηγήσουν ὄχι μόνο ὅλη τὴ λειτουργία τοῦ νευρικοῦ συστήματος, ἀλλὰ ἀκόμη κάθε πνευματικὴ δραστηριότητα μὲ τὴ βοήθεια τῆς θεωρίας τῶν ἐπικοινωνιῶν ἢ τῶν προεκτάσεών της, φαίνεται νὰ ἀντιστοιχεῖ μὲ τὴ γνώμη αὐτῶν ποὺ βλέπουν δυνατὴ τὴν ἐξήγηση ὅλων τῶν βιολογικῶν προβλημάτων μὲ τὴ βοήθεια τῶν νόμων τῆς Φυσικοχημείας, ποὺ εἶναι σήμερα γνωστοί. Αὐτὰ μᾶς ὀδηγοῦν στὸ μεγάλο πρόβλημα τῆς Ζωῆς, καὶ παρ' ὅλο ποὺ αὐτὸ τὸ πρόβλημα ξεφεύγει ἀπ' τὰ πλαίσια τῆς Κυβερνητικῆς, θὰ ἤθελα νὰ πῶ δυὸ λόγια, γιατί ἡ ἐξέλιξη τῆς θεωρίας τῶν quanta καὶ τῆς Κυβερνητικῆς ὀδήγησαν ἀρκετοὺς φυσικοὺς, ὅπως τὸν Schrödinger, τὸν Pierre Auger καὶ ἀκόμη τὸν Léon Brillouin, νὰ ἀσχοληθοῦν μ' αὐτὸ τὰ τελευταῖα χρόνια.

Ἐνα σημεῖο, γιὰ τὸ ὁποῖο φαίνεται πῶς ὅλοι εἶναι σύμφωνοι, εἶναι πῶς ἀπὸ τὴν ἄποψη τοῦ φυσικοῦ, καὶ σύμφωνα μὲ μιὰ βαθειὰ σκέψη τοῦ φιλόσοφου Henri Bergson, τὸ χαρακτηριστικὸ στοιχεῖο τῶν βιολογικῶν φαινομένων εἶναι νὰ καθυστεροῦν ὡς ἓνα ὀρισμένο σημεῖο τὴν ἀναπόφευκτη αὐξηση τῆς ἐντροπίας. Πραγματικά, ἡ δεύτερη ἀρχὴ τῆς Θερμοδυναμικῆς μᾶς λέει πῶς ἡ ἐξέλιξη τοῦ κόσμου συνοδεύεται ἀμείλικτα ἀπὸ μιὰ αὐξηση τῆς ἐντροπίας, ἀλλὰ δὲν μᾶς λέει τίποτα γιὰ τὸ θέμα τῆς ταχύτητας μὲ τὴν ὁποία γίνεται ἡ αὐξηση αὐτῆς. Ἄν κατορθώναμε (κι αὐτὸ εἶναι ἀπραγματοποίητο πρακτικά) νὰ ἐξαλείψουμε, γιὰ ἓνα κάποιο χρονικὸ διάστημα, ὅλα τὰ ἀναντίστροφα φαινόμενα, ἡ ἐντροπία θὰ ἔμενε πρὸς στιγμὴ σταθερὴ καὶ μόνο ὕστερα, ἀφοῦ ἐπανεμφανίζονταν μοιραῖα τὰ ἀναντίστροφα φαινόμενα, θὰ ξανάρχιζε ν' αὐξάνει. Τίποτα λοιπὸν δὲν μᾶς ἐμποδίζει, γενικά, νὰ ἐπιβραδύνουμε τὸ ρυθμὸ τῆς αὐξησης τῆς ἐντροπίας

παρ' ὅλο τὸν ἀναπόφευκτο χαραχτῆρα της. Ἐάν καὶ ὑπάρχουν παράγοντες ποὺ ὀνομάζονται «καταλύτες» ποὺ, προκαλώντας ἀναντίστροφες ἀντιδράσεις, ἐπιταχύνουν τὴν αὔξηση τῆς ἐντροπίας, ὑπάρχουν μηχανισμοὶ «ἀρνητικῆς κατάλυσης» ποὺ τείνουν νὰ ἀναχαιτίσουν τὴν ἐντροπία, καὶ τὸ χαρακτηριστικὸ τῆς Ζωῆς φαίνεται νὰ εἶναι ἡ δημιουργία τέτοιων μηχανισμῶν. Ἐνας ἀπαισιόδοξος εἶπε : «Ἡ Ζωὴ εἶναι μιὰ πάλη μὲ τὴ βεβαιότητα ὅτι θὰ νικηθοῦμε». Αὕτῃ ἡ πικρὴ φράση περιέχει μιὰ βαθειὰ ἀλήθεια, γιατί ἡ ζωὴ εἶναι ἀκριβῶς μιὰ πάλη γιὰ νὰ διατηροῦμε τὴν πολὺ ἀπίθανη κατάσταση ποὺ παρουσιάζει ὁ ζωντανὸς ὀργανισμὸς, μὲ τὴ βεβαιότητα πὼς τελικὰ, ἡ αὔξηση τῆς ἐντροπίας θὰ τὸν νικήσει μὲ τὴν ἐπιστροφή στὴν πιὸ πιθανὴν κατάσταση ὅπου ὁ ὀργανισμὸς θὰ διαλυθεῖ καὶ θὰ γίνῃ στάχτη, δηλαδὴ σὲ μιὰ διασπορὰ τῶν μορίων ποὺ δὲν τὰ ἐνώνει πιά κανένας ὀργανικὸς δεσμὸς. Καὶ μήπως ἡ Ζωὴ δὲν ἀνακάλυψε μὲ τὸν μηχανισμό τῆς ἀναπαραγωγῆς ἕναν τρόπο νὰ προεκτείνει στὸ χρόνο αὐτὴν τὴν ἀπεγνωσμένη μάχη ἐναντίον τῆς αὔξεσης τῆς ἐντροπίας ; Ὅταν δοῦμε κάτω ἀπ' αὐτὸ τὸ πρίσμα τῆ Ζωῆ, μὲ τὶς ἱκανότητες ἀφομοίωσης, αὐτόματης ἀνακατασκευῆς καὶ ἀναπαραγωγῆς, μὲ τὶς ἐκδηλώσεις συνείδησης, νόησης, λογικοῦ, ποὺ ἐμφανίζονται στὶς πιὸ ἐξελιγμένες μορφές της, καταλαβαίνουμε ὅτι εἶναι κάτι τὸ καταπληκτικόν.

Γι' αὐτὸ τὸ πρόβλημα τῆς Ζωῆς, ἕνας ἐξέχων φυσικός, ὁ Erwin Schrödinger, ἕνας ἀπὸ τοὺς ἰδρυτὲς τῆς Κυματομηχανικῆς, ἔγραψε τελευταῖα ἕνα βιβλίον πολὺ ἐνδιαφέρον μὲ τίτλον «Τί εἶναι ἡ Ζωή» (What is Life). Ἐκτὸς ἀπ' τὶς σπουδαῖες καὶ πολυάριθμες παρατηρήσεις τοῦ Schrödinger ἀναπτύσσει σ' αὐτὸ τὴ βασικὴν ἰδέαν ὅτι μόνον ἡ ὕπαρξις τῶν quanta μπορεῖ νὰ κάνει πιθανὴν τὴν διάρκειαν τῶν ζωντανῶν ὀργανισμῶν. Γνωρίζουμε πραγματικὰ πὼς ἂν ἡ κλασικὴ φυσικὴ ἦταν ἀκριβής, ἡ ὕλη ἡ ἴδια θὰ ἦταν ἀσταθής. Μόνον ἡ ὕπαρξις κβαντικῶν ἀσυνεχειῶν μᾶς ἐπιτρέπει νὰ κατανοήσουμε τὴν σταθερότητα τῶν ἀτομικῶν καὶ μοριακῶν συγκροτήσεων καὶ ἐπομένως τὴν σταθερότητα τῆς ἀδρανοῦς ὕλης. Ἡ ζωντανὴ ὕλη μᾶς προσφέρει ἀξιοσημεῖωτα

παραδείγματα σταθερότητας : τή σταθερότητα τῶν ζωντανῶν ὀργανισμῶν σ' ὅλη τή διάρκειά τῆς ὑπαρξῆς τους, πού εἶναι πολλές φορές μεγάλη, πού ἔχει σάν συνέπεια τή σταθερότητα τῶν κυττάρων καί τῶν κυτταρικών ἀθροισμάτων πού τοὺς συνθέτουν· τή σταθερότητα, πού μπορεῖ νά διατηρηθεῖ γιά χιλιάδες χρόνια, τῆς μορφῆς τῶν ζωντανῶν εἰδῶν πού ἔχει σάν συνέπεια τήν ἀξιοσημείωτη σταθερότητα τῆς σύστασης τῶν γενετικῶν κυττάρων, τῶν ἱκανῶν νά διατηρήσουν τὰ ἴδια χαρακτηριστικά γιά ἑκατομμύρια διαδοχικές γενεές. "Ὅπως καί στήν ἀδρανῆ ὕλη μιὰ τέτοια σταθερότητα δέν εἶναι δυνατή παρά χάρις στήν ἐπέμβαση τῶν κβαντικῶν ἀσυνεχειῶν. "Ὅπως τὰ ἄτομα, ἔτσι καί τὰ κύτταρα καί τὰ γονίδια μένουν σταθερά, γιατί ἡ δομή τους δέν μπορεῖ νά ὑφίσταται τίς συνεχεῖς παραλλαγές πού παραδέχεται ἡ κλασική φυσική, ἀλλά μόνο ἀπότομες καί σημαντικές μεταβολές. "Ὅπως στήν περίπτωση τῶν μορίων καί τῶν ἀτόμων τῆς ἀδρανοῦς ὕλης, τὸ γεγονός ὅτι εἶναι δυνατές μόνο ἀπότομες μεταβολές, προστατεύει τίς ὑπάρχουσες δομές, τίς σταθεροποιεῖ καί ἀποτελεῖ τήν αἰτία μιᾶς κάποιας τάσης γιά τήν ἀνασύσταση τῶν δομῶν πού καταστράφηκαν. Ἐξάλλου ἡ ἀνακάλυψη τῶν ἀπότομων μεταλλάξεων πού ὀφείλεται ἰδίως στόν de Vries, καί ὅλο τὸ κίνημα τῶν ἰδεῶν τῆς σύγχρονης Βιολογίας πού ξεκίνησε ἀπ' αὐτή, δέν προσπαθεῖ ν' ἀποδείξει πῶς οἱ βιολογικές δομές, ὅπως καί αὐτές τῶν ἀτόμων καί τῶν μορίων τῆς ἀδρανοῦς ὕλης, δέν μποροῦν νά μετασχηματιστοῦν παρά μέ ἀπότομα ἄλματα καί κβαντικές μεταγωγές ;

Αὐτή ἡ σύντομη περίληψη εἶναι ἀρκετή γιά νά μᾶς ἀποδείξει τή σπουδαιότητα τῶν ἰδεῶν τοῦ Schrödinger, καί τὸ ἐνδιαφέρον πού ὑπάρχει γιά τήν κβαντική ἐρμηνεία τῶν βιολογικῶν φαινομένων. Ἄλλὰ κι ἂν παραδεχτοῦμε ἀκόμη πῶς αὐτή ἡ κβαντική Βιολογία θά εἶναι κάποτε σέ θέση νά μπορέσει νά ἐξηγήσει τὸ μυστικὸ τῆς Ζωῆς, δέν θά ἦταν λιγότερο ἀλήθεια πῶς ἡ Κυβερνητική, πού οἱ βάσεις της δέν ἔχουν τίποτα τὸ κβαντικό, δέν θά μπορούσε νά δώσει ἱκανοποιητικές ἀπαντήσεις.

Ὁ Schrödinger ἔχει, χωρὶς καμιά ἀμφιβολία, δίκην νὰ νομίζει πὼς ἡ ἐξήγηση τῶν βιολογικῶν φαινομένων θὰ πρέπει ἀναγκαστικὰ νὰ ἐπιτρέπει τὴν εἰσαγωγή κβαντικῶν ἐννοιῶν. Καὶ φαίνεται νὰ πιστεύει πὼς οἱ κβαντικὲς θεωρίαι θὰ μπορέσουν νὰ ἐξαρκέσουν γιὰ μιὰ διείσδυση στὰ ἔσχατα μυστικά τῆς Ζωῆς. Ὁ Léon Brillouin δὲν τὸ πιστεύει, καὶ ἀνακοίνωσε πάνω σ' αὐτὸ τὸ θέμα ἀπόψεις ποὺ ἐγκρίνω στὸ σύνολό τους. Μᾶς ὑπενθυμίζει πὼς εἶναι μιὰ αὐταπάτη διαρκῶς ἀνανεούμενη καὶ γι' αὐτὸ ἐπικίνδυνη, νὰ νομίζει κανεὶς πὼς ἡ ἐπιστήμη ἔχει πιά σταθεροποιηθεῖ καὶ πὼς μὲ τίς γνώσεις ποὺ μᾶς προσφέρει *σήμερα* θὰ μπορέσουμε νὰ ἐξηγήσουμε ὅ,τιδήποτε ἀπομένει μυστηριώδες. Ὁ Lagrange, ἐδῶ κι ἐνάμιση αἰῶνα, παραπονιόταν, καθὼς λένε, πὼς δὲν ὑπῆρχε παρὰ ἓνα κοσμολογικὸ σύστημα καὶ πὼς μετὰ τὸ ἔργο τοῦ Νεύτωνα, δὲν ἀπόμεινε τίποτα τὸ οὐσιαστικὰ νέο γιὰ νὰ ἀνακαλύψει κανεὶς. Ἔκανε μεγάλο λάθος, καὶ ἂν ζοῦσε ἀκόμη, τὸ θέαμα τῆς σύγχρονης Ἀστρονομίας καὶ Φυσικῆς θὰ τοῦ τὸ ἔδειχνε. Ἀλλὰ καὶ ἐμεῖς πάντοτε βρισκόμαστε μπροστὰ στὸν ἴδιο κίνδυνο, νὰ κάνουμε δηλ. τὸ σφάλμα πιστεύοντας ὅτι χθὲς δὲν ξέραμε τίποτα καὶ σήμερα τὰ ξέρουμε ὅλα ; ἅς εἴστε βέβαιοι πὼς τὸ μέλλον θὰ μᾶς διαφεύσει. Πιστεύω, ὅπως ὁ Léon Brillouin, πὼς ἂν κατορθώσουμε μιὰ μέρα νὰ καταλάβουμε καλύτερα τὴν ἀληθινὴ ἀλλὰ ἀκόμη τόσο μυστηριώδη φύση τῆς Ζωῆς, αὐτὸ θὰ κατορθωθεῖ μόνο ὅταν θὰ γίνουμε γνῶστες νέων νόμων τῆς φύσης καὶ εἰδικὰ ὅταν θὰ ὀδηγηθοῦμε σὲ ἀπόψεις καὶ τρόπους σκέψης ποὺ ἡ νόησή μας δὲν διαθέτει ἀκόμη. Ἴσως, ὅπως φαίνεται νὰ τὸ ὑπαγορεύει ὁ Léon Brillouin, οἱ βιολογικοὶ νόμοι ποὺ γνωρίζουμε, θὰ μᾶς φανοῦν σὰν τοὺς πιὸ γενικοὺς, ἐνῶ οἱ φυσικοχημικοὶ νόμοι τῆς ἀδρανοῦς ὕλης δὲν θὰ εἶναι παρὰ εἰδικὲς περιπτώσεις ἢ ἀλλοιώσεις.

Ἀλλὰ χωρὶς νὰ υἱοθετήσουμε ἀπόψεις πολὺ ὑποθετικὲς μπορούμε νὰ βεβαιώσουμε πὼς τὸ κλειδί τοῦ συνόλου τῶν βιολογικῶν φαινομένων δὲν θὰ μᾶς τὸ δώσει ἡ Κυβερνητικὴ. Ὅσο γιὰ τὴν ἐφαρμογὴ τῆς Κυβερνητικῆς σὲ θέματα οἰκονομικὰ καὶ κοινωνικά, μπορεῖ νὰ γίνονται σπουδαῖες τέτοιες ἐφαρμογὲς ἀπ' τὴ μιὰ μέρα στὴν ἄλλη,

άλλά σ' αυτό τὸ θέμα δὲν ὑπάρχει παρὰ ἓνας προγραμματισμὸς κι αὐτὸ ποὺ λέει στὸ τέλος τοῦ βιβλίου του ὁ Norbert Wiener, μοῦ φαίνεται ἀρκετὰ ἀόριστο.

Καὶ τώρα θὰ ἤθελα νὰ συνοψίσω γρήγορα τὰ συμπεράσματά μου. Ἡ Κυβερνητικὴ μᾶς ἔδωσε ἀποτελέσματα μὲ ἀναμφισβήτητο ἐνδιαφέρον, μεθόδους νέες καὶ ἀπόψεις πρωτότυπες, κάτι ποὺ εἶναι πάντοτε πολύτιμο. Χωρὶς ἀμφιβολία βέβαια δὲν δημιούργησε πραγματικὰ νέους κλάδους ἐπιστήμης γιατί ὅλοι οἱ κλάδοι ποὺ συγκρότησε σ' ἓνα σύνολο, ὑπῆρχαν πρὶν ἀπ' αὐτή, καὶ θὰ μπορούσαν νὰ συνεχίσουν νὰ ἐξελισσονται καὶ χωρὶς τὴν Κυβερνητικὴ. Ἀλλὰ εἰδικὰ συγκροτώντας καὶ ἐνοποιώνοντάς τους, τοὺς ἔδωσε ζωὴ μὲ τὶς προσεγγίσεις ποὺ ὑπέδειξε. Καὶ ὅπως μερικοὶ ἀπ' αὐτοὺς τοὺς ἐπιστημονικοὺς κλάδους, π.χ. ἡ θεωρία τῶν ἐπικοινωνιῶν, ἔχουν μεγάλη σπουδαιότητα ἀπὸ τὴν τεχνικὴ ἄποψη τῆς ἐφαρμογῆς τους, ἡ Κυβερνητικὴ δὲν ἀποτελεῖ μόνο μιὰ ὠραία σύλληψη τοῦ πνεύματος ἀλλὰ μπορεῖ νὰ δημιουργήσῃ πρόοδο σὲ πολλὲς κατευθύνσεις μὲ μεγάλη πρακτικὴ σημασία.

Ἡ πιὸ σπουδαία καὶ ἡ πιὸ ὠραία ἰδέα ἀπ' αὐτὲς ποὺ ὑπόβαλε ἡ Κυβερνητικὴ, εἶναι ἀσφαλῶς ἡ ἰδέα τῆς ἀναλογίας μεταξὺ πληροφορίας καὶ ἐντροπίας, γιατί ρίχνει φῶς σὲ πολλὰ προβλήματα, ποὺ ἦταν ὡς τότε σκοτεινά, ὅπως ἐκεῖνο τοῦ Δαίμονα τοῦ Maxwell. Ἄν αὐτὴ ἡ νέα σύλληψη, τόσο ἐποικοδομητικὴ γιὰ τὴ σκέψη τοῦ ἐπιστήμονα, συναντᾷ ἀκόμη πολλὲς δυσκολίες, ὅπως εἶδαμε, μοῦ φαίνεται πιθανὸ πῶς, ἀφοῦ διευθετηθεῖ σωστά, θὰ καταλήξει νὰ μείνῃ σὰν μιὰ καταπληκτικὴ ἐπίτευξη στὴν παράδοση τῆς ἐπιστημονικῆς γνώσης.

Τὸ πνεῦμα τῆς Κυβερνητικῆς καρποφόρησε καὶ συνεχίζει νὰ ἀποφέρει καρπούς, σὲ πολλοὺς κλάδους τῆς ἐπιστήμης. Ἀλλὰ δὲν πρέπει νὰ περιμένουμε ἀπ' τὴν Κυβερνητικὴ νὰ μᾶς δώσει περισσότερα ἀπ' ὅ,τι μπορεῖ. Δὲν νομίζω πῶς θὰ μπορούσαμε νὰ ἐλπίζουμε πῶς μόνη της θὰ μᾶς δώσει λύσεις, στὸ λίγο - πολὺ ἄμεσο μέλλον, γιὰ τὸ τριπλὸ αἶνιγμα τῆς Ζωῆς, τῆς Συνείδησης καὶ τῆς Σκέψης.