

Κυριακή 5 Μαρτίου 1989, απόγευμα.

**Η** εβδομάδα της κορομηλιάς. Με τα πράσινα σέπαλα και τη λευκή στεφάνη, το άνθος της, τούτες τις μέρες προκαλεί.

Οι βερικοκιές καθυστερούν αλλά όπου νά 'ναι θα «ανάψουν» κι εκείνες τα ασπρομώβ χαμηλά τους φώτα. Η διάθεσή μου είναι αφόρητα ερωτική, εμπειρέχει και απαίτηση για συγκεκριμένο ραντεβού με τη φετιγή πρώιμη άνοιξη. Υπάρχει, όμως, και το «όμως». Αύριο έχω μάθημα στην κρατική σχολή επιμόρφωσης και δεν έχω ακόμα προετοιμάσει το θέμα που θα συζητήσουμε. Αύριο πρέπει να μιλήσουμε για θερμοδυναμική και δεν είναι τόσο απλό το ζήτημα, κυρίως εξαιτίας μιας βασικής έννοιας για την οποία χρόνια τώρα αναζητώ ακροατήριο προκειμένου να τη φωτίσω όπως εγώ θέλω. Τη βρήκα σαγηνευτική από την πρώτη στιγμή που τη γνώρισα. Εκείνη μου συστήθηκε ως «εντροπία», κόρη του Ροδόλφου Κλαούζιους, υιοθετημένη από τον αυστριακό Λουδοβίκο Μπόλτσμαν. Ήταν μια γνωριμία από εκείνες που σε διδάσκουν. Μ' έμαθε πολλά πράγματα αλλά το ιδιαίτερα σημαντικό ήταν ένα. «Για την αδυναμία μας να περιγράψουμε την ύλη εφόσον δεν ξεπεράσουμε την πρακτική του να μένουμε ερμητικά κλεισμένοι μέσα στο αδιαφανές όστρακο της άμεσης εμπειρίας».

Η ιδέα ήρθε και με βρήκε αργά το απόγευμα. Αύριο θα παρουσιάσω το «ρομάντσο της εντροπίας σε τρεις πράξεις». Το ακροατήριο έτσι κι αλλιώς θα υπάρχει. Όλοι τους καθηγητές των φυσικών επιστημών και αρκετοί από αυτούς και από αυτές να δείχνουν ότι συγκινούνται κάθε φορά που επιχειρούμε την οποιαδήποτε απογείωση πάνω από τα εδάφη των αυστηρών διατυπώσεων και των αφυδατωμένων τυπολογιών.

## Πρώτη πράξη

[Το σκηνικό. Ένα επιστημονικό εργαστήριο, μια ατμομηχανή που έχει τεθεί σε λειτουργία κι ένας νεαρός Γάλλος καλοντυμένος με ρούχα, εννοείται, της εποχής. Παρακολουθεί την ατμομηχανή χωρίς να μιλάει. Είναι καθιστός. Έχει και ορισμένα χαρτιά στα οποία καταγράφει τις σκέψεις του. Παρίσι 1824.]

*Μαθαίνουμε για το πραγματικό  
με το να στοχαζόμαστε για το αδύνατο.*

Το κάρβουνο γεννούσε τη φωτιά. Εκείνη ζέσταινε το νερό μέσα στο μεγάλο καζάνι. Ο ατμός εισέβαλλε στον κύλινδρο κι έσπρωχνε το μεταλλικό πιστόνι. Σ' ένα ξεχωριστό θάλαμο γινόταν η συμπύκνωση του «κουρασμένου» ατμού. Ο κύλινδρος διετηρείτο συνέχεια ζεστός και ο θάλαμος συμπύκνωσης διαρκώς κρύος, ενώ το πιστόνι παλινδρομούσε. Πέρα-δώθε, πέρα-δώθε, πέρα-δώθε. Η «δύναμη» που κρυβόταν στο κάρβουνο γινόταν πολύτιμη κίνηση. Στα 1824 το κεντρικό πρόβλημα ήταν η απόδοση αυτού του μηχανήματος. Γιατί μ' αυτό το μηχανήμα οι άνθρωποι εκμεταλλεύονταν τα ορυχεία τους, κινούσαν τα πλοία τους, έσκαβαν τα λιμάνια τους, σφυρηλατούσαν το σίδηρο, κατεργάζονταν το ξύλο, άλεθαν το σιτάρι, κλώθαν και ύφαιναν τα ρούχα τους και μετέφεραν τα βαρύτερα φορτία τους.

Ο Σαντί Καρνό ήταν διορατικός πράγματι. Παρακολουθεί το πιστόνι να πηγαиноέρχεται, προσέχει τον ατμό που συμπυκνώνεται και καταλαβαίνει ότι πρέπει να σκύψει με προσοχή στην ατμομηχανή και να εμβαθύνει. Τα αποστάγματα του εμπειρισμού είχαν επιτέλους κλείσει ραντεβού με την αφηρημένη σκέψη. Η εμπειρία έφερνε μαζί της τη λειτουργία της καινούριας μηχανής και ο θεωρητικός προβληματισμός είχε κουβαλήσει τη διορατικότητα του Καρνό και τις δυνατότητές του σε αφαιρετική σκέψη. Το ραντεβού κατέληξε σε αρραβώνα, σ' ένα βιβλίο δηλαδή που κυκλοφόρησε στα γαλλικά τη χρονιά εκείνη. *Reflections sur la force motrice du feu* (Σκέψεις πάνω στην κινητήρια δύναμη της φωτιάς) έγραφε στο εξώφυλλο.

*Το ουσιώδες της πραγματικότητας και το έξω από τα σύνορά της. Αντιμετωπίζοντας με περίσκεψη τη λειτουργία της ατμομηχανής*

ο Σαντί Καρνό κατάφερε δύο πράγματα: (α) Να διακρίνει μέσα από το ομιχλώδες «πραγματικό» εκείνο που ήταν ουσιώδες αλλά και (β) να επινοήσει ένα εξωπραγματικό μοντέλο καταφεύγοντος, εννοείται, στη φαντασία του.

*Το ουσιώδες.* Μέσα από το βραζόμενο νερό, το καιόμενο κάρβουνο, τον διαρκώς διατηρούμενο ζεστό κύλινδρο, τις επιβραδύνσεις και τις επιταχύνσεις του εμβόλου, τα μοχλικά συστήματα που μεταβίβαζαν την κίνηση και τη συμπύκνωση του ατμού στον ειδικό θάλαμο, ο Καρνό διέκρινε τα ουσιώδη. Ένα από αυτά ήταν το γεγονός ότι ο κύλινδρος έπρεπε να διατηρείται συνέχεια ζεστός και ο συμπυκνωτής διαρκώς κρύος. Η λειτουργία μάλιστα της μηχανής φαινόταν να σημαδεύεται από το πόσο ζεστός ήταν ο κύλινδρος και το πόσο κρύος ο συμπυκνωτής. Ένα άλλο ήταν ότι ένα μόνο κλάσμα από τη θερμική ενέργεια που προσφερόταν στη μηχανή ήταν δυνατόν να «μετατραπεί» σε ενέργεια κίνησης κι αυτό φαινόταν να μην οφείλεται σε τεχνολογική ανεπάρκεια αλλά να αποτελεί ένα είδος μυστικού της φύσης. Τα πράγματα, μ' άλλα λόγια, έδειχναν ότι κάθε φορά που μια ποσότητα θερμικής ενέργειας θα μετατρεπόταν σε ενέργεια κίνησης ένα ποσό θερμικής ενέργειας θα ξεφορτωνόταν υποχρεωτικά στον κρύο συμπυκνωτή.

Γρήγορα ο Καρνό κατάλαβε ότι το «μηχάνημα» ήταν ένας πολύ καλός «καθηγητής» της ανθρωπότητας. Την είχε ήδη διδάξει ότι πολλά πράγματα μπορούσαν να γίνουν, όμως κι ένα σωρό άλλα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν. Κι αυτά όχι μόνο για τη δική της λειτουργία αλλά και για το πώς παίζεται τελικά το παιχνίδι της ενέργειας μέσα κι έξω απ' αυτήν, στο Σύμπαν δηλαδή το υπόλοιπο.

*Το εξωπραγματικό μοντέλο.* Γιατί ο Σαντί Καρνό δεν ήταν κάποια τυχαία περίπτωση. Ήταν ένα από τα διαυγέστερα πνεύματα που έβγαλε η Ecole Polytechnique (Πολυτεχνική Σχολή) και μαζί όμως ένας θετικιστής που ήθελε να εντάξει ολόκληρη τη μηχανολογία στην επιστήμη. Αυτά που φαντάστηκε για τη λειτουργία της ατμομηχανής βρίσκονταν λίγο πιο πέρα από το σύνορο της πραγματικότητας.

Φαντάστηκε μια ιδανική μηχανή που λειτουργούσε με ένα τέ-

λείο αέριο σε αντιστρεπτή μεταβολή. Ιδανική μηχανή, τέλειο αέριο, αντιστρεπτή μεταβολή. Τρία νοητικά κατασκευάσματα που η πραγματικότητα τα απελαύνει έξω από τα σύνορά της. Μια μηχανή χωρίς την παρέμβαση των τριβών, ένα πρότυπο αερίου που υπακούει πιστά στους σχετικούς ανθρώπινους νόμους και μια μεταβολή η οποία στη φύση δεν υπάρχει. Η έννοια ειδικά της αντιστρεπτής μεταβολής ήταν για την εποχή εκείνη κάτι σαν την έννοια της αδρανειακής κίνησης στη νευτωνική δυναμική του 17ου αιώνα. Ήταν κι αυτή ένα μοντέλο. Καμιά πραγματική κίνηση δε θα μπορούσε να συνεχίζεται σε ευθεία γραμμή και επ' άπειρον. Καμιά πραγματική διαδικασία δε θα μπορούσε να είναι αντιστρεπτή.

*«Η αντιστρεπτή μεταβολή πραγματοποιείται ως μια συνεχής σειρά καταστάσεων θερμοδυναμικής ισορροπίας. Κατά την αντιστρεπτή μεταβολή ενός αερίου, λόγω χάρη, τα πράγματα εξελίσσονται έτσι ώστε το αέριο να προλαβαίνει να αποκαθιστά μια ενιαία πίεση και μια ενιαία θερμοκρασία σ' όλη την έκτασή του. Μια τέτοια περιπέτεια μπορεί να περιγραφεί σ' ένα διάγραμμα P-V, είναι μ' άλλα λόγια δυνατόν να «κρατήσουμε ένα ημερολόγιο» αυτής της περιπέτειας, πράγμα που με τη σειρά του σημαίνει ότι είναι δυνατόν να επιστρέψουμε από το ίδιο μονοπάτι στην αρχική κατάσταση. Η φύση, όμως, αρνείται τέτοιου είδους μεταβολές».*

Ο Σαντί Καρνό επιμένει. Αναζητά την εικόνα του πραγματικού στοχαζόμενος πάνω στο αδύνατο. Δημιουργεί με τη σκέψη του μοντέλα και αφουγκράζεται καθετί που συμβαίνει σ' αυτά. Προεκτείνει στη συνέχεια νοητικά τα συμπεράσματά του και καταλήγει σ' αυτό που πραγματικά συντελείται.

Σχεδιάζει μια ιδανική θερμική μηχανή να λειτουργεί «στα χαρτιά» μέσα από μια αντιστρεπτή κυκλική μεταβολή ισόθερμης εκτόνωσης σε υψηλή θερμοκρασία  $T_1$ , αδιαβατικής εκτόνωσης, ισόθερμης συμπίεσης σε χαμηλή θερμοκρασία  $T_2$  και αδιαβατικής, τέλος, συμπίεσης οπότε το τέλειο αέριο επιστρέφει στην αρχική κατάστασή του. Ο κύκλος έκλεινε εκεί και επαναλαμβανόταν με απόλυτα όμοιο τρόπο.

Η θεωρία έδειχνε ότι στο μοντέλο αυτό η φύση υπαγόρευε ορισμένα πράγματα και απαγόρευε κάποια άλλα.

Η απόδοση της ιδανικής αυτής μηχανής ήταν ανεξάρτητη από το είδος του «εργαζόμενου» αερίου, ανεξάρτητη από το υλικό και τις διαστάσεις της μηχανής, ανεξάρτητη από οτιδήποτε εκτός από το λόγο της ψηλής προς τη χαμηλή θερμοκρασία. Σε κάθε κύκλο της ιδανικής αυτής μηχανής ήταν εξαρχής προσδιορισμένο το ποσό θερμότητας που όφειλε να ξεφορτώνεται σε μια χαμηλής θερμοκρασίας «δεξαμενή». Τροφοδοτώντας δηλαδή τη μηχανή μέσω θερμότητας στη θερμή δεξαμενή της, η μηχανή μπορούσε να παράγει έργο κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό (απόδοση) ενώ το υπόλοιπο ενεργειακό ποσό θα ξεφορτωνόταν υποχρεωτικά ως θερμότητα στην ψυχρή δεξαμενή της. Κάθε τι άλλο η θεωρία το απαγόρευε και σ' αυτό ακόμα το ιδανικό μηχανήμα.

Βάζοντας στη συνέχεια —νοερά εννοείται πάντοτε— τη μηχανή αυτή να δουλέψει αντίστροφα, διαγράφοντας δηλαδή τον κύκλο κατά την αντίθετη φορά, έφτανε σε ένα επίσης σημαντικό συμπέρασμα. Σ' αυτή την περίπτωση τροφοδοτούσε την ψυχρή δεξαμενή με θερμότητα οπότε προσφέροντας και μηχανικό έργο μπορούσε να μεταβιβάζει θερμότητα στη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμότητα μπορούσε λοιπόν να μεταβιβάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες προς τις ψηλότερες αντίθετα δηλαδή από το «κλασικό μονοπάτι» της ανθρώπινης ροής της με κάποιο όμως πρόστιμο. Την υποχρεωτική προσφορά μηχανικού έργου.

Αυτά συνέβαιναν στο χώρο του «ιδανικού». Προεκτείνοντάς τα νοητικά μέσα στο έδαφος της πραγματικότητας, όπου υπήρχαν και οι γνωστές επιπλέον δυσκολίες, κατέληξε στα ανάλογα συμπεράσματα για το τι υπαγορεύει και για το τι αρνείται η πραγματικότητα αυτή καθ' εαυτή.

## Δεύτερη πράξη

Σκηνή πρώτη, Γερμανία 25 χρόνια μετά.

[Το σκηνικό είναι μια ζωγραφική σύνθεση με ανεμόμυλο, ένα ρυάκι, στο βάθος αριστερά η θάλασσα και ψηλά ο Ήλιος. Δεξιά ένα εργοστάσιο κλωστοϋφαντουργίας και ορισμένα δέντρα, στα φύλλα των οποίων ο καλλιτέχνης παριστάνει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Ένα σμάρι από παρόνια πετάει σχετικώς χαμηλά. Στη σκηνή ο αφηγητής και μόνο.]

**Κ**ατά τα τέλη της δεκαετίας του 1840 οι Ευρωπαίοι φυσικοί έχουν αρχίσει να δείχνουν εμπιστοσύνη σ' ένα νέο επιστημονικό μανιφέστο που κυκλοφορεί την εποχή εκείνη με τίτλο «η αρχή της διατήρησης της ενέργειας».

Η θερμότητα, υποστηρίζει το μανιφέστο, είναι μια μορφή ενέργειας όπως και η ενέργεια κίνησης. Αλλά και η «δύναμη» που απελευθερώνεται κατά τις χημικές αντιδράσεις, όπως και οι δυνατότητες του ηλεκτρικού ρεύματος και της ηλιακής ακτινοβολίας, αποτελούν μορφές ενέργειας και αυτές. Η ενέργεια είναι μια οντότητα με πολλές μορφές και όλες οι μορφές είναι ποσοτικά ισοδύναμες. Ένα ορισμένο δηλαδή ενεργειακό ποσό δεν μπορεί να εξαφανιστεί χωρίς να εμφανιστεί στη θέση του ένα ισοδύναμο ποσό ενέργειας με κάποιο άλλο ίσως πρόσωπο. Κάθε μηχανή που μας προσφέρει ενέργεια δεν μπορεί να κάνει τίποτα αν δεν πάρει ενέργεια από κάποια πηγή. Η ενέργεια μεταβιβάζεται και μετασχηματίζεται αλλά δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται.

Η διατήρηση της ενέργειας περιγράφεται και με μια ειδική διατύπωση που έχει επικρατήσει να θεωρείται ως «ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής». Είναι μια διατύπωση κατά την οποία αναγνωρίζεται ότι κάθε συγκεκριμένο σύστημα ανταλλάσσει ενέργεια με το περιβάλλον του μέσα από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς: (α) με έργο και (β) με θερμότητα. Το έργο δηλαδή και η θερμότητα αποτελούν μορφές ενέργειας, ενέργειας όμως η οποία δεν ανήκει σε ένα σύστημα αλλά μεταβιβάζεται από το σύστημα προς το περιβάλλον και αντίστροφα. Δεν μπορούμε λόγου χάριν να λέμε ότι το τάδε σύστημα έχει έργο ή ότι έχει θερ-

μότητα, επιτρέπεται όμως να λέμε ότι στο σύστημα μεταβιβάστηκε ενέργεια μέσω έργου ή μέσω θερμότητας. Με το έργο μεταβιβάζουμε ενέργεια από ένα εξωτερικό περιβάλλον το οποίο δρα σαν σύνολο χωρίς να κάνει χρήση του ατομικού χαρακτήρα της δομής του. Σε μια τέτοια περίπτωση η επίδρασή του στο σύστημα μπορεί να εκφραστεί με μια μακροσκοπική «νευτωνική» δύναμη, και η ποσότητα της μεταβιβαζόμενης ενέργειας να μετρηθεί με το έργο της δύναμης αυτής. Η θερμότητα αντίθετα είναι ο μηχανισμός με τον οποίο μεταβιβάζεται ενέργεια σε επίπεδο μικρόκοσμου μέσα από την ξεχωριστή αλληλεπίδραση κάθε ατόμου (ή μορίου) του περιβάλλοντος σε κάθε άτομο ή μόριο του συστήματος!

Η μεταβολή της ενέργειας του συστήματος θα είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα έργου και θερμότητας. Αυτή είναι και η διατύπωση που αναφέρεται ως «πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής». Εξυπακούεται ότι η ενέργεια κάθε συστήματος το οποίο δεν ανταλλάσσει έργο και θερμότητα με το περιβάλλον του διατηρείται σταθερή ανεξάρτητα από το τι συμβαίνει μέσα στο σύστημα. Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το Σύμπαν.

Η ιδέα για τη διατήρηση της ενέργειας δε φύτρωσε στα καλά καθούμενα. Ολόκληρη η ευρωπαϊκή κοινωνία της εποχής είναι μοπλιασμένη από την εμπορευματική λογική που κυριάρχησε κατά τον 19ο αιώνα. Και η λογική αυτή αναζητά το «ένα κοινό νόμισμα για τα διαφορετικά μεταξύ τους αγαθά που διακινεί το εμπόριο» το οποίο οι επιστήμονες θα μεταφράσουν σε «μια κοινή μονάδα για να μετράμε τις διαφορετικές μεταξύ τους μορφές ενέργειας».

Άλλοι πάλι που βρίσκονται έξω από τη λογική της παντοδυναμίας της οικονομίας, οδηγούνται από εντελώς διαφορετικούς δρόμους στην ίδια σύλληψη. Είναι αυτοί που στηρίζουν το κίνημα των ρομαντικών κυρίως, φιλόσοφοι, ποιητές και ζωγράφοι που έχουν κυριαρχηθεί από την ιδέα ότι η φύση είναι μια «πηγή» από την οποία αναβλύζει «δύναμη» σε διάφορες μορφές. Και όλες αυτές οι μορφές αποτελούν πρόσωπα της ίδιας κεντρικής οντότητας, της ενέργειας. Μπορούν ακόμα και αναγνωρίζουν ότι ο άνεμος, το ρυάκι, το κύμα και το κάρβουνο έχουν όλα δη-

μιουργηθεί από τη θερμότητα του Ήλιου και πως η ίδια η θερμότητα είναι κι αυτή μια μορφή ενέργειας.

### Σκηνή δεύτερη

[Το σκηνικό. Ένα δωμάτιο όχι ιδιαίτερα τακτοποιημένο που χρησιμοποιείται ως γραφείο. Έπιπλα εποχής. Ένας άντρας, γύρω στα σαράντα, καθισμένος στο γραφείο μελετάει προσεκτικά σκυμμένος σ' ένα λεξικό της αρχαίας ελληνικής γλώσσας, λίγο πιο πέρα ανοιχτό ένα βιβλίο του Σαντί Καρνό. Ζυρίχη, αρχές της δεκαετίας του 1860. Το λόγο έχει ο αφηγητής.]

Μπορούμε να διατυπώσουμε τους θεμελιώδεις νόμους του Σύμπαντος με τις παρακάτω δύο απλές προτάσεις:

1. Η ενέργεια του Σύμπαντος είναι σταθερή.
2. Η εντροπία του Σύμπαντος τείνει προς ένα μέγιστο.

Ροδόλφος Κλαούζιους, Annalen der Physik, 1865.

Ο Γερμανός Ροδόλφος Κλαούζιους έπιασε το νήμα ουσιαστικά εκεί που το είχε αφήσει ο Καρνό. Διατύπωσε κατ' αρχήν αφοριστικά και με σαφήνεια αυτό που η φύση μας απαγορεύει να κάνουμε. Είναι αδύνατον να μεταβιβάσουμε ένα ποσό θερμότητας από σώμα χαμηλής θερμοκρασίας σε άλλο σώμα με θερμοκρασία ψηλότερη, χωρίς ταυτόχρονα να καταναλώσουμε έργο. (Δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής)

Συγκρίνοντας αυτή τη διαδικασία με την αντίστροφη της (με τη μεταβίβαση δηλαδή της θερμότητας από το θερμό σώμα στο ψυχρότερο) η οποία συντελείται αυθόρμητα και χωρίς κανένα αντάλλαγμα οδηγείται σ' ένα σημαντικό συμπέρασμά του. Η θερμική ενέργεια είναι τόσο πιο πολύτιμη όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία του σώματος που την περιέχει.

Η ιδέα μπορεί να μην ήταν καινούρια, φωτίστηκε όμως τόσο έντονα για πρώτη φορά. Η αξία της θερμικής ενέργειας δεν καθορίζεται μόνο από την ποσότητά της, υπάρχει και κάποιο ποιοτικό στοιχείο μέσα στην έννοια αυτή. Σ' ένα αυθόρμητο μάλιστα φαινόμενο όπως η ροή θερμότητας από το ζεστό σώμα προς το κρύο, η ποιότητα της θερμικής ενέργειας υποχωρεί, η θερμική ενέργεια υποβαθμίζεται. Η οξυδέρκειά του όμως τον βοήθησε να προχωρήσει ακόμα πιο πέρα. Υπάρχει ένα ζήτημα ποιότητας για την ενέργεια συνολικά, ισχυρίστηκε.



Μπορούμε να φανταστούμε ένα βράχο να κατακυλάει από την κορυφή ενός βουνού προς τα κάτω. Σε λίγο έχει φτάσει χαμηλά. Για το σύστημα «βράχος-Γη» η ολική ενέργεια διατηρήθηκε σταθερή. Η μηχανική ενέργεια ελλατώθηκε αλλά αυξήθηκε ισόποσα η θερμική ενέργεια. Διαθέτουμε τώρα θερμική ενέργεια. Μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να πάρουμε τη μηχανική ενέργεια που είχαμε στην αρχή; Μπορεί δηλαδή ο βράχος να ξαναπάει μόνος στο σημείο από το οποίο ξεκίνησε; Ξέρουμε πώς αυτό δεν μπορεί να γίνει. Μήπως θα μπορούσε να γίνει με κάποια μηχανή; Να τροφοδοτήσουμε δηλαδή τη μηχανή με τη θερμική ενέργεια που διαθέτουμε και να πάρουμε μηχανική ενέργεια ισοδύναμη. Ο Καρνό όμως μας έμαθε ότι αυτό δεν μπορεί να γίνει ούτε με ιδανική μηχανή. Είναι, λοιπόν, αναπόφευκτο να οδηγηθούμε σε κάποια σύγκριση ανάμεσα στη μηχανική και τη θερμική ενέργεια. Ας το ομολογήσουμε. Βλέπουμε τη μηχανική ενέργεια να υπερέχει σε σχέση με τη θερμική. Να είναι πιο πολύτιμη. Η φύση της επιτρέπει να μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμική χωρίς στον υπόλοιπο Κόσμο να αλλάζει τίποτε, ενώ από την άλλη η φύση απαγορεύει στη θερμική ενέργεια να μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε μηχανική.

Το «μανιφέστο» βέβαια διακηρύσσει ότι οι διάφορες μορφές ενέργειας είναι ποσοτικά ισοδύναμες. Ο Ροδόλφος Κλαούζιους συμπληρώνει. Ποσοτικά ισοδύναμες ναι, αλλά όχι το ίδιο πολύτιμες. Ποια θα διαλέγαμε αν επρόκειτο κάποια να αγοράσουμε και την τιμή τους την καθόριζε μόνο η ποσότητα μηχανική ενέργεια ή θερμική;

Είναι προφανής η απάντηση που ετοιμαζόμαστε να δώσουμε. Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε ότι κάθε φορά που η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική, η ολική ενέργεια διατηρείται αλλά υποβαθμίζεται. Καθώς ο βράχος κυλάει «αυθόρμητα» από την κορυφή του βουνού προς τα κάτω, η ενέργεια διατηρείται αλλά και υποβαθμίζεται. Όταν η θερμότητα ρέει αυθόρμητα από το ζεστό σώμα προς το κρύο η ποσότητα της ενέργειας διατηρείται αλλά η ποιότητά της υποβαθμίζεται.

Ο Ροδόλφος Κλαούζιους δε σταμάτησε εκεί. Προχώρησε σε μια νοητική καινοτομία επινοώντας ένα νέο μέγεθος που θα ήταν

ικανό να βαθμολογήσει την πολυτιμότητα/ποιότητα της ενέργειας. Την καινούρια λέξη/όνομα για το μέγεθος που είχε φανταστεί την ανεξήτησε στις δεξαμενές της αρχαίας ελληνικής γλώσσας. *Εντροπία*. Τη λέξη την έπλασε ο ίδιος. «Προτιμώ να ανατρέχω στις αρχαίες γλώσσες για τα ονόματα σημαντικών επιστημονικών εννοιών, έτσι ώστε να σημαίνουν το ίδιο πράγμα σε όλες τις ζωντανές γλώσσες. Σκόπιμα έπλασα τη λέξη εντροπία. Το έκανα και για να μοιάζει με την ενέργεια. Οι δυο έννοιες είναι τόσο συγγενικές ώστε η ομοιότητα στο όνομά τους μου φάνηκε χρήσιμη», είπε κάποτε. *Όσο μικρότερη εντροπία έχει ένα σύστημα τόσο πιο πολύτιμη ενέργεια διαθέτει.*

Όσο για τον ορισμό του νέου μεγέθους, ο Κλαούζιους υποστήριξε ότι —όπως και στην ενέργεια— δεν μπορούμε να αναφερόμαστε παρά μόνο στις μεταβολές του. Η μεταβολή της εντροπίας θα πρέπει να δίνεται από μια τέτοια τιμή ώστε, τόσο κατά την αυθόρμητη ροή θερμότητας όσο και κατά το κατρακύλημα του βράχου από το βουνό, η ολική εντροπία να αυξάνει.

Αν δεχτούμε ότι σε μια αντιστρεπτή μεταβολή ένα σύστημα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του, η μεταβολή της εντροπίας ορίζεται ως πηλίκο της θερμότητας αυτής προς τη θερμοκρασία του συστήματος. Εύκολα μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι

(α) Κατά την αυθόρμητη ροή θερμότητας από το ζεστό σώμα προς το κρύο η εντροπία του συστήματος των δύο σωμάτων αυξάνει.

(β) Καθώς το αέριο διαγράφει τον κύκλο στην ιδανική μηχανή του Καρνό κατά τη συμπλήρωση κάθε κύκλου η εντροπία παραμένει σταθερή. Η μεταβολή όμως αυτή θεωρείται αντιστρεπτή. Σε μια αντίστοιχη πραγματική μεταβολή η εντροπία αυξάνει.

Αν ρίξουμε μια προσεκτική ματιά στο σύνολο των γεγονότων του Σύμπαντος, θα δούμε ότι στα αυθόρμητα γεγονότα, υπάρχει μια «προτίμηση» προς κάποια κατεύθυνση. Είναι ένα δρομολόγιο χωρίς επιστροφή. Η φυσική ροή της θερμότητας γίνεται από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα. Οι άνθρωποι βαδίζουν ανεπίστρεπτα προς τις ρυτίδες και τα γηρατειά, οι στάχτες δεν μπορούν να ξαναγίνουν κούτσουρο. Γενικότερα, τόσο δηλαδή

στα αυθόρμητα όσο και στα μη αυθόρμητα γεγονότα, η Φύση δείχνει μια συνολική προτίμηση προς μία κατεύθυνση. Από την πολύτιμη ενέργεια προς τη λιγότερο πολύτιμη. Από τη μικρότερη εντροπία προς τη μεγαλύτερη. Η εντροπία του Σύμπαντος τείνει προς μία μέγιστη τιμή, υποστήριξε ο Ροδόλφος Κλαούζιους κι η διατύπωσή του ενσωματώθηκε μέσα στο λεγόμενο «δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής».

Σε κάθε πνοή ανέμου, σε κάθε υδατόπτωση, κάθε φορά που ανεβαίνει ένα ασανσέρ, κάθε φορά που κλαίει ένα παιδί ή πετάει ένα ψαρόνι, ένα μέρος από το ενεργειακό αποθεματικό του Σύμπαντος καταναλίσκεται αναπόφευκτα και, χωρίς να καταστρέφεται, μετατρέπεται σε ισοδύναμη ενέργεια χαμηλότερης ποιότητας.

Στα τέλη του περασμένου αιώνα η έννοια της εντροπίας είχε γίνει βασικό στοιχείο της αόριστης κοσμικής απαισιοδοξίας των προφητών του ολέθρου, για τους οποίους η ιδέα της πρόοδου είχε γίνει συντρίμια και οι ίδιοι στοχάζονταν το θερμικό θάνατο του Σύμπαντος.

Η τάση όμως για αποσύνθεση μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να αναχαιτιστεί και η ανάσχεση αυτή δεν είναι αποκλειστικό προνόμιο των πολιτισμών και μόνο. Τη συναντάμε στο Σύμπαν σε διάφορες μορφές, σε διάφορες «νησίδες».

Η υποβάθμιση της ενέργειας θυμίζει το αργό ξετύλιγμα ενός ελατηρίου. Καθώς η ποιότητα της ενέργειας υποβαθμίζεται, το ελατήριο του Σύμπαντος ξετυλίγεται. Η αυθόρμητη υποβάθμιση κυβερνά τα αλληλεξαρτώμενα φαινόμενα που συντελούνται γύρω μας και μέσα μας σαν τα αλληλεμπλεκόμενα γρανάζια των τροχών μιας πολύπλοκης μηχανής. Είναι τέτοια η πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων ώστε «εδώ κι εκεί» είναι δυνατόν να υποχωρήσει το χάος και να λάμψει ή ποιότητα, όπως όταν χιτίζεται ένας καθεδρικός ναός ή όταν εκτελείται ένα μουσικό έργο<sup>2</sup>. Αυτά όμως είναι πρόσκαιρα και τοπικά ξεγελάσματα, γιατί αν «καταδυθούμε» περισσότερο θα δούμε ότι συνολικά μέσα στο Σύμπαν το ελατήριο ξετυλίγεται αναπόφευκτα. Το «συνολικό» κατευθύνεται από τη χωρίς σκοπό και κίνητρο υποβάθμιση της ενέργειας.

Τόσο η ενέργεια όσο και η εντροπία είναι συναρτήσεις μάλλον της κατάστασης των πραγμάτων παρά της μάζας, της θέσης ή της έκτασής των. Καμιά από τις δύο δεν είναι σημειακή συνάρτηση. Και οι δύο έχουν σημασία μόνο σε σύγκριση με μια προηγούμενη τιμή. Και οι δύο αντιπροσωπεύουν με εκλεπτυσμένο και αφηρημένο τρόπο ορισμένες στοιχειώδεις εμπειρίες από τον Κόσμο αλλά και ορισμένες σοβαρές διαισθήσεις.

Η ενέργεια αντιπροσωπεύει τη διαίσθηση ότι μέσα στα πράγματα υπάρχει μια δραστηριότητα, μια «δύναμη» μέσα στην αδιάκοπα μεταβαλλόμενη ύλη. Η εντροπία από την άλλη, αντιπροσωπεύει τη συμπληρωματική εμπειρία ότι τα ζεστά σώματα κρυώνουν, οι πηγές στερεύουν, ο Κόσμος γερνάει και εξαντλείται.

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής ονομάστηκε από τον Αρθούρο Έντινγκτον «βέλος του χρόνου». Ο χαρακτηρισμός επισημαίνει ότι με αυτό το νόμο η Φυσική βρήκε για πρώτη φορά μια διαφορά ανάμεσα στο παρελθόν και το μέλλον. Η αυξανόμενη εντροπία είναι ένας φυσικός δείκτης της μονόδρομης ροής του χρόνου. Μπορεί δηλαδή κανείς να ξεχωρίζει το «πριν» και το «μετά» προσφεύγοντας στη μεταβολή της εντροπίας. Αν μια φωτογραφία δείχνει ένα φλιτζάνι με καφέ και μια άλλη το φλιτζάνι σπασμένο και χυμένο τον καφέ, είναι πρακτικά σίγουρο ότι η πρώτη φωτογραφία τραβήχτηκε πριν από τη δεύτερη.

### Τρίτη πράξη

[Το σκηνικό. Ένα δωμάτιο παραλιακού πανδοχείου. Πίσω από τις κουρτίνες διακρίνεται το Αδριατικό πέλαγος. Στο κέντρο του δωματίου ένας κρεμασμένος με σκοινί. Είναι ο Λουδοβίκος Μπόλτσμαν. Τεργέστη 1906. Το λόγο έχει ο αφηγητής.]

#### Εντροπία και αταξία

Ο Λουδοβίκος Μπόλτσμαν ήταν ένας οξέθυμος, ιδιόρρυθμος αλλά και απολαυστικός τύπος που από νωρίς έγινε οπαδός της ατομικής θεωρίας, την οποία υποστήριξε με πάθος. Σ' αυτήν τον οδηγούσε όχι μόνο η φαντασία του αλλά κι ένα είδος πίστης στην ύπαρξη των αδιάκοπα κινουμένων ατόμων. Βρισκόταν σε διαρκή αντιπαράθεση με όσους δεν αποδέχονταν την ατομικότητα της ύλης θεωρώντας ότι η ενέργεια είναι μια συνεχής ροή και δε σχετίζεται με την κίνηση κάποιων αόρατων σωματιδίων του μικρόκοσμου. Οι «αντιατομικιστές» πίστευαν ότι η μόνη δυνατή γνώση στην επιστήμη είναι η γνώση που προέρχεται από την αισθητηριακή αντίληψη και από ορισμένες μαθηματικές σχέσεις ανάμεσα στα διάφορα είδη αντιλήψεων. Είναι πλάνη διεκήρυσσε ο Μπόλτσμαν να πιστεύουμε ότι θα μπορέσουμε να περιγράψουμε την ύλη κλεισμένοι πεισματικά μέσα στο αδιαφανές όστρακο της άμεσης εμπειρίας. Η σκέψη προσθέτει πάντοτε κάτι στην εμπειρία και δημιουργεί μια νοητική εικόνα που αποτελεί μια ευρύτερη περιοχή εμπειριών.

Την έννοια της εντροπίας τη βρήκε συναρπαστική. Η νοητική εικόνα με την οποία επιχείρησε να ερμηνεύσει την υποβάθμιση της ενέργειας ήταν η εικόνα των αόρατων ατόμων μέσα στο μικρόκοσμο. Στο μοντέλο αυτό θεώρησε ότι η εντροπία είναι μια στατιστική ιδιότητα ενός τρομακτικού αριθμού σωματιδίων και ότι η αύξησή της σημαίνει *αύξηση της αταξίας των σωματιδίων αυτών*.

Την ιδέα του τη δεχόμαστε. Καθώς ο βράχος κατακυλάει από το βουνό η «οργανωμένη» κινητική ενέργεια των μορίων του μετατρέπεται σε ενέργεια θερμική που σημαίνει πάλι κινητική ε-

νέργεια των μορίων του αλλά τώρα πια ανοργάνωτη. Ο Ροδόλφος Κλαούζιους περιγράφει το γεγονός «ρίχνοντας τον προβολέα» στο ότι μειώθηκε η χρησιμότητα της ενέργειας. Ο Λουδοβίκος Μπόλτzman, χωρίς αυτό να το αρνείται, μας προβάλλει τη νοερή εικόνα του μικρόκοσμου, προσθέτοντας ότι μεγάλωσε η αταξία των μορίων του βράχου. Και μας καλεί να δεχτούμε ότι είναι εντελώς απίθανο το να οργανωθούν τα μόρια του βράχου από μόνα τους και να αποκτήσουν τις ίδιες κατευθύνσεις ταχύτητας, έτσι που ο βράχος ν' αρχίσει να τρέχει μόνος του κατά την ανηφοριά. Αυτό δεν είναι κάτι που το απαγορεύει ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής. Θα είχαμε μια επιτρεπόμενη αύξηση της μηχανικής ενέργειας εις βάρος της θερμικής. Η θερμοκρασία του θα έπεφτε αλλά ο βράχος θα «έπαιρνε την ανηφόρα» χωρίς να τον βοηθάει κανείς. Θα ήταν μια οργάνωση της ενέργειας, μια αυθόρμητη διαδικασία από την αταξία στην τάξη. Η φύση όμως δε φαίνεται να συγκινείται ιδιαίτερα από τέτοιες αυθόρμητες οργανώσεις. Οι χιονοστιβάδες μάς παίρνουν από πίσω κατά την ανορθόδοξη κατεύθυνση μόνο σε χαριτωμένα κινηματογραφικά έργα, σε σκίτσα ή σε άσχημα όνειρα.

Αλλά και το σπίρτο που ανάβουμε δεν υπάρχει τρόπος να ξαναγίνει σπίρτο. Τα άτομα που το συγκροτούσαν βρίσκονταν σε μια σχετικά οργανωμένη δομή. Ύστερα από τη συγκλονιστική τους συνάντηση με τα άτομα του οξυγόνου, η ολική μάζα παρέμεινε σταθερή και η ολική ενέργεια πειθάρχησε στον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής. Κάτι, όμως, έχει αλλάξει οριστικά και αμετάκλητα. Η νέα διάταξη είναι λιγότερο τακτοποιημένη από πριν. Από μια σχετικά οργανωμένη δομή περάσαμε σε χαμηλότερο επίπεδο οργάνωσης. Αν μαζέψουμε όλα τα υλικά που προέκυψαν και τα τροφοδοτήσουμε με τη θερμότητα και μόνο που απελευθερώθηκε δε θα βρούμε «μονοπάτι» για την επιστροφή. Το σπίρτο δε θα ξαναγίνει σπίρτο. Αν ο Ροδόλφος Κλαούζιους αναφερόταν στην καύση του θα μας έλεγε ότι ένα ποσό χρησιμής ενέργειας μετατράπηκε σε ενέργεια λιγότερο χρήσιμη και η εντροπία αυξήθηκε. Αν μίλαγε για το ίδιο ζήτημα ο Λουδοβίκος Μπόλτzman θα το περιέγραφε λέγοντας ότι από μια οργανωμένη διάταξη ατόμων προέκυψε μια διάταξη λιγότερο οργανωμένη,

και ότι η εντροπία αυξήθηκε.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η σε μακροσκοπικό επίπεδο χρησιμότητα αντανακλά την εικόνα της οργάνωσης του μικρόκοσμου. Η μια έννοια ενδιαφέρει τους μηχανικούς, τους μελετητές της μακροσκοπικής εικόνας και τους οικολόγους, ενώ η άλλη ενδιαφέρει όσους ερευνούν το μικρόκοσμο της ύλης. Η εντροπία μπορεί και εκφράζει και τα δυο. Όσο μικρότερη εντροπία έχει ένα σύστημα τόσο πιο χρήσιμη ενέργεια διαθέτει αλλά και τόσο πιο μεγάλη είναι η τάξη την οποία εμφανίζουν τα σωματιδιά του στη νοερή εικόνα του μικρόκοσμου. Στο σχήμα του Λουδοβίκου Μπόλτσμαν ο μονόδρομος που προτιμάει να παίρνει το Σύμπαν, η πορεία δηλαδή προς μεγαλύτερη εντροπία, είναι μια κατεύθυνση προς το χάος, προς τη μεγαλύτερη αταξία των σωματιδίων του. Τα πράγματα, γι' αυτόν, οδηγούνται σε μια κατάσταση μέγιστης εντροπίας όπου επικρατεί η μεγαλύτερη αταξία που θα μπορούσε να υπάρξει. Ένα μεγαλύτερο ανακάτεμα των σωματιδίων θα οδηγήσει απλώς στην ίδια «ποσότητα» αταξίας για τον ίδιο λόγο που δεν έχει κανένα νόημα να συνεχίζουμε να ανακατεύουμε μια καλά ανακατεμένη τράπουλα.

### *Εντροπία και πιθανότητα*

*Η τάξη δεν είναι μόνο πολύτιμη.  
Είναι και απίθανο να δημιουργηθεί.*

Πώς όμως θα μπορούσαμε να ιεραρχήσουμε λογικά τα επίπεδα αταξίας των σωματιδίων; Ο Λουδοβίκος Μπόλτσμαν έδωσε και σ' αυτό το ζητούμενο μια απάντηση καταφεύγοντας στη μαθηματική λογική. Εισήγαγε την έννοια «πιθανότητα ενός συστήματος». Ο όρος αυτός υπονοεί τον αριθμό των τρόπων με τους οποίους μπορεί ένα σύστημα να συναρμολογηθεί από τα συστατικά του. Ο αριθμός αυτός είναι δυνατόν να εκφράσει το επίπεδο αταξίας των σωματιδίων του συστήματος και να βαθμολογήσει την εντροπία του, ισχυρίστηκε. Λογικό αλλά και ιδιοφυές ταυτόχρονα. Ο Μπόλτσμαν πρότεινε και τη σχετική εξίσωση. Η εντροπία ενός συστήματος είναι ανάλογη του λογάριθμου της πιθανότητάς του.  $S = k \cdot \log W$ . Μείωση λοιπόν της εντρο-

πίας σημαίνει (εκτός από υποχώρηση της αταξίας) και μείωση της πιθανότητας. Ούτε η δυναμική του Νεύτωνα ούτε ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής εμποδίζουν τα μόρια του βράχου να οργανωθούν αυθόρμητα έτσι που να αρχίσει να ανεβαίνει προς την κορυφή. Ένα όμως τέτοιο γεγονός έχει απειροελάχιστη πιθανότητα να συμβεί και η φύση δείχνει αρνητικά προδιατεθειμένη μπροστά σε καταστάσεις σαν κι αυτήν. Προτιμάει το πιο πιθανό.

Η αταξία είναι οπωσδήποτε πιο πιθανή από την τάξη. Έτσι «κατά κανόνα» οποιαδήποτε τακτοποιημένη διάταξη οδηγείται στην αταξία. Όμως «κατά κανόνα» δε σημαίνει και πάντα. Δεν είναι δηλαδή αλήθεια ότι η τάξη καταλήγει σε αταξία οπωσδήποτε, οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Αυτά που υποστήριξε ο Λουδοβίκος Μπόλτσμαν διέπονται από μια στατιστική λογική, και η στατιστική επιτρέπει να δημιουργηθεί τάξη σε ορισμένες νησίδες του Σύμπαντος. Κάτι τέτοιο λόγου χάρη συμβαίνει κατά τη δημιουργία ενός άστρου, κατά τη διατροφή μιας τριανταφυλλιάς, όπως και κατά τη λειτουργία της σκέψης μου και της συνείδησής μου τώρα που γράφω όλα αυτά. Και εννοείται βέβαια ότι στη μεγάλη πλειοψηφία γεγονότων αλλά και στη συνολική λειτουργία του Σύμπαντος η πορεία προς το πιθανό κυριαρχεί.

Η πιθανότητα διείσδυσε στο εσωτερικό της θερμοδυναμικής, αγγίζοντας μέχρι και τον πυρήνα της φιλοσοφίας της, έτσι που στο ερώτημα: *Γιατί τα γεγονότα προτιμούν το μονόδρομο της εντροπικής αύξησης;* να αποτολμηθεί η απάντηση: *Τα γεγονότα εξελίσσονται όπως εξελίσσονται, επειδή το μονοπάτι οδηγεί σε μια κατάσταση που είναι πιο πιθανό να υπάρξει από την προηγούμενη.*

### *Εντροπία και πληροφορία*

Ο ίδιος ο Λουδοβίκος Μπόλτσμαν, το 1894, έβαλε μια διανοητική ωρολογιακή βόμβα με την παρατήρηση ότι η εντροπία σχετίζεται με τη χαμένη πληροφορία. Με τη διατύπωση αυτή διέσχισε ίσως άθελά του τη γέφυρα που συνέδεσε την εντροπία του δέκατου ένατου αιώνα με τον πληροφορία, μία από τις κυρίαρχες έννοιες του δικού μας αιώνα, του εικοστού<sup>3</sup>.



Μεγάλη εντροπία σημαίνει ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να συναρμολογηθούν τα μέρη του συστήματος και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο λιγότερες πληροφορίες μπορούμε να έχουμε για το μικρόκοσμο του συστήματος αυτού.

Αν κάποιος πάει σε μια δημόσια βιβλιοθήκη και ζητήσει ένα αντίτυπο της «Φόνισσας» του Παπαδιαμάντη θα χρειαστούν μόνο λίγα λεπτά για να βρει αυτό που θέλει, εφόσον τα βιβλία είναι σωστά ταξινομημένα. Πληροφορίες μπορεί επίσης να πάρει για ένα σωρό βιβλία, εφόσον η εντροπία της βιβλιοθήκης είναι μικρή. Σε μια ακατάστατη όμως βιβλιοθήκη, όπως η δική μου, είναι συνήθως αδύνατο να βρω κάποιο βιβλίο που θέλω. Σ' αυτή την περίπτωση μεγάλη εντροπία σημαίνει μειωμένη πληροφορία. Σ' ένα θερμοδυναμικό σύστημα μεγάλη εντροπία θα πει —εκτός απ' όλα τα άλλα— και έλλειψη πληροφορίας σε σχέση με την εσωτερική του δομή.

Στον αιώνα μας το γόητρο της εντροπίας ανέβηκε. Ίσως γιατί η επιστήμη και η φιλοσοφία κατέληξαν να ασχολούνται όλο και περισσότερο με προβλήματα οργάνωσης και πληροφόρησης και να ενδιαφέρονται όλο και λιγότερο για τα κλασικά πρότυπα της ύλης, του χώρου και της κίνησης.

Το ρομάντσο της εντροπίας —που ξεκίνησε με τον Σαντί Καρνό και με αυτά που μπόρεσε να διακρίνει «πίσω» από την ατμομηχανή, πέρασε μέσα από την ανερχόμενη εμπορευματική λογική της ευρωπαϊκής κοινωνίας και σηματοδεύτηκε από την εμπιστοσύνη των φυσικών στους δύο νόμους της θερμοδυναμικής αλλά και από τις διαφωνίες τους στο ζήτημα της δομής της ύλης— ολοκληρώνεται 80 περίπου χρόνια αργότερα με το Λουδοβίκο Μπόλτσμαν. Και ειδικά στο φινάλε το ανθρώπινο στοιχείο βαραίνει ιδιαίτερα. Γιατί ο Λουδοβίκος Μπόλτσμαν διέθετε «κάτι» το οποίο δε χαρακτήριζε ούτε το Ροδόλφο Κλαούζιους ούτε το Σαντί Καρνό. Κι αυτό το «κάτι» ήταν το πάθος. Μ' αυτό έζησε και μ' αυτό πέθανε. Το 1906, στα 62 του, νιώθοντας ηττημένος και απομονωμένος (ακριβώς τη στιγμή που η θεωρία της ατομικότητας θα κέρδιζε τη μάχη) πιστεύοντας, όμως, ότι όλα είχαν χαθεί κι ότι ξόδεψε ολόκληρη τη ζωή του στην αναζήτη-

ση κάποιου ανύπαρκτου πράγματος, αυτοκτόνησε. Η αυλαία έμελλε να κλείσει μ' ένα τραγικό φινάλε σ' ένα πανδοχείο της Τεργέστης που έβλεπε στη θάλασσα.

---

1. Η διατύπωση αυτή γίνεται από τον καθηγητή Λευτέρη Οικονόμου στο «Η Φυσική σήμερα». Ο ίδιος συμπληρώνει: Το έργο και η θερμότητα είναι σαν τα δύο είδη συναλλαγών ανάμεσα σε δύο χώρες. Όσες γίνονται σε κυβερνητικό επίπεδο αντιστοιχούν σε «έργο». Οι υπόλοιπες που γίνονται σε ατομικό επίπεδο, ανάμεσα δηλαδή στους οποιουσδήποτε πολίτες της μιας χώρας και της άλλης, είναι γνωστές μόνο σε στατιστικό επίπεδο και αντιστοιχούν σε «θερμότητα».

2. Περιγράφεται εξαιρετικά από τον P. Atkins στο βιβλίο «Η Δημιουργία».

3. Από το βιβλίο του Campbell «Grammatical Man».

4. Στη διατύπωση ορισμένων κομματιών με βοήθησαν ιδιαίτερα το «Grammatical Man» του Jeremy Campbell, το «Η δημιουργία» (τίτλος της ελληνικής μετάφρασης) του P.W. Atkins και το «The Edge of Objectivity» (στην ελληνική μετάφραση ο τίτλος αποδόθηκε «Στην κόψη της Αλήθειας») του Charles Coulston Gillispie.