

Εισαγωγή: *Γιατί υπάρχει κάτι και όχι το τίποτα;*

Κρατάτε στα χέρια σας ένα μικρό βιβλίο για το μεγαλύτερο θέμα που μπορεί να συλλάβει ο ανθρώπινος νους — τη Μεγάλη Έκρηξη. Ένα βιβλίο που δεν αφορά κάποια τηλεοπτική εκπομπή, αλλά την κοσμολογία, η οποία, μέσω των ειδικών επιστημόνων που την υπηρετούν, μελετά τη συνολική δομή και εξέλιξη του σύμπαντος. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, η κοσμολογία κατέληξε σταδιακά να σημαίνει τη διερεύνηση του πρώιμου σύμπαντος: την εξέταση της προέλευσης των γαλαξιών, την ανάλυση των ελαφρύτερων χημικών στοιχείων, την παρατήρηση της θερμικής ακτινοβολίας που διαχέεται σε ολόκληρο το Διάστημα, καθώς και την εξερεύνηση εξωτικών φαινομένων που δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε απευθείας — με άλλα λόγια: τη σκοτεινή ύλη και τη σκοτεινή ενέργεια. Ως επί το πλείστον, οι κοσμολόγοι ενδιαφέρονται για το σύμπαν μας κατά τους πρώτους αιώνες, τα πρώτα χρόνια ή ακόμα και τα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου αμέσως μετά τη γέννησή του. Η κοσμολογία είναι, ακριβώς, η θεωρία της απαρχής του σύμπαντος: της Μεγάλης Έκρηξης.

Ορισμένες φορές η κοσμολογία θεωρείται το σημείο συνάντησης της φυσικής με τη φιλοσοφία. Ως έναν βαθμό, αυτό είναι αληθές και συνάμα αναπόφευκτο. Άλλωστε, ο πυρήνας κάθε επιστήμης δεν είναι παρά η διατύπωση ερωτημάτων και εν συνεχεία η αναζήτηση απαντήσεων σε αυτά τα ερωτήματα. Αν ερευνήσουμε

σε βάθος τα ερωτήματα, αναπόφευκτα ξεμένουμε και από απαντήσεις. Η κοσμολογία είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στη συγκεκριμένη δυσκολία. Όταν ανακύπτει μια συζήτηση για τη Μεγάλη Έκρηξη, το πρώτο ερώτημα που σκέφτεται κάποιος ο οποίος δεν είναι κοσμολόγος (δηλαδή οι περισσότεροι άνθρωποι) είναι «τι υπήρχε πριν από τη Μεγάλη Έκρηξη;». Πρόκειται για ένα απολύτως φυσιολογικό και θεμιτό ερώτημα, το οποίο προς το παρόν δεν έχει απάντηση και κατά πάσα πιθανότητα θα συνεχίσει να μην έχει ακόμα και μετά το πέρας της ζωής του γράφοντος.

Παρ' όλα αυτά, το σχέδιό μου είναι να θέσω τα ερωτήματα που παραδοσιακά θέτουν τόσο οι ειδικοί όσο και οι μη ειδικοί, και, επιπροσθέτως, να επιχειρήσω να τα απαντήσω με τον απλούστερο δυνατό τρόπο. Από τη στιγμή που το βιβλίο απευθύνεται κυρίως σε ανθρώπους που ενδιαφέρονται για την επιστήμη αλλά δεν διαθέτουν το κατάλληλο επιστημονικό και μαθηματικό υπόβαθρο, οι συνάδελφοί μου θα θεωρήσουν ότι στερείται αυστηρότητας και πληρότητας. Ο δικός μου σκοπός, ωστόσο, δεν είναι να καλύψω όσο το δυνατόν μεγαλύτερο έδαφος, αλλά, αντίθετα, να αποκαλύψω, ει δυνατόν, μια μικρή μονάχα περιοχή.

Γι' αυτό, προσπάθησα να περιορίσω την τεχνική ορολογία στο ελάχιστο και, παρ' ότι θα υπάρχουν αρκετοί αριθμοί ώστε να είναι όλοι ικανοποιημένοι, καμία εξίσωση στο κείμενο δεν θα είναι περισσότερο πολύπλοκη από εκείνη του ορισμού της ευθείας· οι λίγο πιο σύνθετοι μαθηματικοί όροι παρατίθενται σε ελάχιστες υποσημειώσεις. Επίσης, υποθέτω ότι οι αναγνώστες μπορούν να κατανοήσουν βασικές γραφικές παραστάσεις και ότι είναι πρόθυμοι να παρακολουθήσουν κάποια σχετικά εκλεπτυσμένα επιχειρήματα. Από την άλλη πλευρά, συμφωνώ με έναν από τους αναρίθμητους αφορισμούς που αποδίδεται στον Αϊνστάϊν: «Πρέπει να κάνουμε τα πράγματα όσο πιο απλά γίνεται, αλλά όχι υπερβολικά απλά». Με το πέραςμα των χρόνων έχω πια πειστεί ότι υπάρχει όντως ένα επίπεδο κάτω από το οποίο συγκεκριμένα πράγματα

δεν μπορούν να απλοποιηθούν περαιτέρω. Στην κοσμολογία, αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της εγγενώς μαθηματικής φύσης της. Έτσι, λοιπόν, αν δεν μπορώ να εξηγήσω τα μαθηματικά με τους όρους μιας κατανοητής φυσικής έννοιας, τότε δεν θα το επιχειρήσω καν.

Αν και από το ανά χείρας βιβλίο απουσιάζει οτιδήποτε μοιάζει με πραγματικά μαθηματικά, μία από τις επιδιώξεις του είναι να σας πείσει ότι η σύγχρονη κοσμολογία αποτελεί ένα εντυπωσιακό οικοδόμημα που είναι χτισμένο πάνω σε ακλόνητα θεμέλια και ότι, κατά συνέπεια, θα πρέπει να πιστέψετε σε αυτήν. Γι' αυτό, κάθε κεφάλαιο δομείται, σε γενικές γραμμές, πάνω σε γνώσεις του προηγούμενου. Συνεπώς θα πρέπει να ξεκινήσετε το βιβλίο από την αρχή. Αν ενδιαφέρεστε μονάχα για το τελικό συμπέρασμα, μάλλον θα χάσετε την υπομονή σας.

Όπως είπα, η κοσμολογία εγείρει θεμελιώδη ερωτήματα. Εξερευνώντας τα εννοιολογικά θεμέλια της σύγχρονης θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης, ελπίδα μου είναι ότι τα ερωτήματα αυτά δεν θα τα αποφύγω. Όπως με συμβούλεψε κάποτε ένας μέντοράς μου, «αν κάνεις χαζές ερωτήσεις, ίσως νιώσεις χαζός. Αν δεν κάνεις χαζές ερωτήσεις, θα παραμείνεις χαζός».

Αναπόφευκτα, καθώς θα προχωρά το βιβλίο, τα ερωτήματα θα γίνονται περισσότερα από τις απαντήσεις. Σε τελική ανάλυση, συλλογιζόμενοι το άγνωστο, η απόσταση από το ερώτημα «τι υπήρξε πριν από τη Μεγάλη Έκρηξη;» μέχρι τον έσχατο γρίφο «γιατί υπάρχει κάτι και όχι το τίποτα;» είναι ελάχιστη. Δεδομένου ότι, με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, οι άνθρωποι διατύπωναν το εν λόγω ερώτημα επί χιλιετίες χωρίς να συμφωνούν μεταξύ τους, είναι σαφές πως δεν είναι λογικό να περιμένουμε ότι θα βρούμε την απάντηση εδώ. Αν, μάλιστα, θέσετε το συγκεκριμένο ερώτημα σε οποιοδήποτε κοσμολόγο που διακατέχεται από έναν βαθμό ειλικρίνειας, η μοναδική απάντηση που θα πάρετε είναι το «δεν ξέρω». Μια ευκολότερη ερώτηση είναι η εξής: «σημαίνουν κάτι όλες αυτές

οι εξισώσεις στον πίνακα της τηλεοπτικής εκπομπής *Big Bang Theory*»* Η απάντηση είναι πως ναι, κάτι σημαίνουν. Μάλιστα, από την προσωπική μας εμπειρία μπορούμε να πούμε ότι γι' αυτά ακριβώς τα πράγματα είναι ικανοί να μιλούν οι κοσμολόγοι, και όχι, φέρ' ειπείν, για τα καλλυντικά.



Επειδή το ανά χείρας βιβλίο απευθύνεται στο ευρύ κοινό, δεν θα κάνω χρήση εξισώσεων, αλλά αναλογιών. Εδώ ελλοχεύει κάποιος κίνδυνος αφού, αργά ή γρήγορα, κάθε αναλογία καταρρέει. Οι αναλογίες, όπως και οι θεωρίες, είναι μοντέλα της πραγματικότητας και όχι η ίδια η πραγματικότητα. Στην περίπτωση της Μεγάλης Έκρηξης, μάλιστα, οι κοσμολόγοι συνήθως καταφεύγουν στην έννοια του μπαλονιού για να εξηγήσουν συγκεκριμένες ιδιότητες του διαστελλόμενου σύμπαντος, όμως το πραγματικό σύμπαν δεν είναι μπαλόνι και έτσι η αναλογία είναι ατελής. Ως εκ τούτου, όταν σκεφτόμαστε αναλογίες, έχει καθοριστική σημασία να εντοπίζουμε τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ αυτών και της ίδιας της πραγματικότητας.

Έχω ήδη χρησιμοποιήσει αρκετές φορές τη λέξη *θεωρία*. Επιτρέψτε μου να τονίσω πως όταν ένας επιστήμονας χρησιμοποιεί τον συγκεκριμένο όρο, αυτός φέρει διαφορετικό νόημα από εκείνον που έχει στην καθημερινή ζωή. Το ραδιόφωνο πληροφορεί συχνά τους ακροατές ότι ο εισαγγελέας έχει μια συγκεκριμένη θεωρία για ένα ορισμένο έγκλημα, ενώ ο συνήγορος υπεράσπισης έχει μια θεωρία σύμφωνα με την οποία ο εισαγγελέας είναι παράφρων. Συνήθως, οι παραπάνω ισχυρισμοί είναι υποθέσεις που

* Σ.τ.Ε.: Αναφορά στην εξαιρετικά δημοφιλή αμερικανική σειρά *Big Bang Theory*.

έχουν οικοδομηθεί χωρίς αποδείξεις, ενώ η κάθε κατάσταση αλλάζει τόσο συχνά, που τελικά δεν βγαίνει κανένα απολύτως νόημα.

Αντιθέτως, μια φυσική θεωρία είναι ένα δίκτυο αλληλοσυνδεδεμένων ιδεών και προβλέψεων με μαθηματική θεμελίωση και σταθερή υποστήριξη από πειραματικά και παρατηρησιακά τεκμήρια. Όταν οι κοσμολόγοι μιλούν για τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης, αναφέρονται ακριβώς σε ένα τέτοιο δίκτυο προβλέψεων και παρατηρήσεων. Τα στοιχεία της θεωρίας της Μεγάλης Έκρηξης έχουν μέχρι σήμερα ελεγχθεί εξονυχιστικά κατά τη διάρκεια ενός ολόκληρου αιώνα, και οι παρατηρήσεις ακριβείας που υποστηρίζουν τη συνολική εικόνα είναι τόσο πολλές, ώστε ορισμένοι κοσμολόγοι αισθάνονται ότι ο κλάδος τους μοιάζει όλο και πιο πολύ με την επιστήμη του μηχανικού παρά με βασική έρευνα. Πιστέψτε στη σύγχρονη κοσμολογία.



Παρ' όλα αυτά, μεταξύ της κοσμολογίας και των περισσότερων άλλων επιστημών εξακολουθεί να υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά: το παρατηρήσιμο σύμπαν είναι μόνο ένα. Η ουσία της πλειονότητας των επιστημών είναι η διεξαγωγή πειραμάτων και κατόπιν η αναπαραγωγή τους. Έτσι, ένας κατασκευαστής φαρμάκων δοκιμάζει ένα εμβόλιο διεξάγοντας κλινικούς ελέγχους σε πολλούς ανθρώπους και, αν τα αποτελέσματα δεν μπορούν να αναπαραχθούν από επιστήμονες σε ολόκληρο τον κόσμο, το εμβόλιο δεν θεωρείται αξιόπιστο. Οι κοσμολόγοι, τουλάχιστον επί του παρόντος, δεν έχουν την ευκαιρία να πραγματοποιήσουν πειράματα σε πολλαπλά σύμπαντα και επομένως δεν είναι σε θέση να γνωρίζουν με πλήρη βεβαιότητα με τι θα έμοιαζε το σύμπαν αν τα πράγματα είχαν ξεκινήσει διαφορετικά απ' ό,τι πραγματικά συνέβη.

Ωστόσο, αν και οι κοσμολόγοι δεν μπορούν να έχουν γνώμη για τα πάντα, εντούτοις είναι σε θέση να γνωρίζουν πολύ

περισσότερα από το απόλυτο τίποτα. Το γεγονός ότι έχουμε μόνο ένα σύμπαν στη διάθεσή μας προκαλεί δυσκολίες στη συνολική του θεώρηση, κατά την οποία ερχόμαστε αντιμέτωποι με τα έσχατα ερωτήματα. Πέραν τούτου, οι κοσμολόγοι χρησιμοποιούν δεδομένα και παρατηρήσεις τα οποία συλλέγουν οι πιο στενοί επιστημονικοί συγγενείς τους, οι αστρονόμοι. Οι τελευταίοι παραδοσιακά εξερευνούν τη συμπεριφορά των πλανητών, των αστερών και των γαλαξιών μέσω τηλεσκοπίων που είναι είτε επίγεια είτε βρίσκονται σε κοντινή τροχιά γύρω από τη Γη. Όντως, οι αστρονόμοι είναι στεριανοί· άλλωστε δεν θα μπορούσαν να πράξουν και διαφορετικά, αφού κανένα διαστημόπλοιο ή τηλεσκόπιο δεν έχει ακόμα καταφέρει να διανύσει την απόσταση μέχρι τον επόμενο αστέρα, πόσο μάλλον μέχρι κάποιον άλλον γαλαξία, κάτι που σημαίνει ότι είναι ανέφικτο να διεξαχθούν πειράματα σε αστρονομικά αντικείμενα. Με άλλα λόγια, υπάρχουν σοβαροί λόγοι για τους οποίους η αστρονομία αποκαλείται «επιστήμη της παρατήρησης».

Ωστόσο, η βασική παραδοχή της αστρονομίας είναι ότι οι θεμελιώδεις νόμοι της φυσικής είναι οι ίδιοι σε ολόκληρο το σύμπαν. Οι αστροφυσικοί, επίσης στενοί συγγενείς των κοσμολόγων και των αστρονόμων, έχουν εφαρμόσει αυτούς τους νόμους για να αποκρυπτογραφήσουν τη συμπεριφορά των αστερών και των γαλαξιών. Από τη στιγμή που, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της ζωής ενός πολιτισμού, είναι αδύνατο να σταλεί ένα διαστημικό σκάφος στα πιο απομακρυσμένα μέρη του σύμπαντος, έχουμε αναγκαστικά βασιστεί στο φως και σε άλλους αγγελιαφόρους που μπορούν να μας μεταφέρουν πληροφορίες από το απώτερο σύμπαν. Μάλιστα, ένας από τους μεγαλύτερους θριάμβους της σύγχρονης επιστήμης είναι το γεγονός ότι καταφέραμε να μάθουμε τόσο πολλά για το σύμπαν χωρίς να μετακινηθούμε καθόλου, διατυπώνοντας απλώς την παραδοχή ότι οι νόμοι της φύσης όπως τους γνωρίζουμε ισχύουν παντού. Βέβαια, το ερώτημα που αφορά το κατά πόσο οι

γνωστοί νόμοι της φυσικής ισχύουν σε ολόκληρο το σύμπαν παραμένει ακόμα ανοιχτό.

Οι κοσμολόγοι επιχειρούν να ανακατασκευάσουν την εξέλιξη του σύμπαντος χρησιμοποιώντας την ίδια προσέγγιση με τους αστρονόμους και τους αστροφυσικούς: με μολύβι και χαρτί ή, αντίστοιχα, ηλεκτρονικό υπολογιστή, εφαρμόζουμε τους καθιερωμένους νόμους της φυσικής κατά έναν μαθηματικά συνεπή τρόπο, προκειμένου να μοντελοποιήσουμε το σύστημα που μελετάμε και να ελέγξουμε αν τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με τα δεδομένα της παρατήρησης. Το σύστημα ενδέχεται να είναι ένα σμήνος γαλαξιών ή ακόμα και ολόκληρο το σύμπαν. Αν οι προβλέψεις του μοντέλου μας συμφωνούν με τις παρατηρήσεις μας, τότε μπορούμε απλώς να το ρίξουμε έξω και να βγούμε για μια μπέρα. Αν, πάλι, οι προβλέψεις μας δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα, αναζητάμε τα πιθανά μαθηματικά μας σφάλματα. Στην περίπτωση που δεν βρούμε κανένα, αναζητάμε ενδεχόμενα εννοιολογικά σφάλματα. Αν, τέλος, οι παρατηρήσεις μας δεν συμφωνούν με κανένα μοντέλο, προσθέτουμε νέα φαινόμενα. Εφόσον τα τελευταία βελτιώνουν τα αποτελέσματα, ζητάμε από τους συναδέλφους μας που είναι υπεύθυνοι για τη διεξαγωγή της παρατηρησιακής διαδικασίας να ξεκινήσουν να ερευνούν.

Μία από τις πρακτικές που κάθε επιστήμονας οφείλει να εφαρμόζει με δισταγμό είναι να προσθέτει στο εκάστοτε μοντέλο διάφορα «εξωτικά» φαινόμενα προτού εξαντλήσει τις απλούστερες εξηγήσεις που έχει στη διάθεσή του. Εμπίπτουν άραγε οι πρώτες στιγμές που ακολούθησαν τη Μεγάλη Έκρηξη σε αυτήν την προτροπή;



Σε τούτο το σημείο ενδεχομένως να αναρωτιέστε πού ακριβώς σταματούν η αστρονομία και η αστροφυσική και πού αρχίζει η

κοσμολογία. Δεν υπάρχει συγκεκριμένο σύνορο, ενώ τυπικά ένας επιστήμονας που εργάζεται σε έναν από αυτούς τους κλάδους γνωρίζει αρκετά και για τους άλλους δύο. Η διαφορά έχει να κάνει με την κλίμακα. Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν, η αστρονομία και η αστροφυσική παραδοσιακά ασχολούνται με τη συμπεριφορά των αστερών, των πλανητών και των γαλαξιών, ενώ πιο πρόσφατα και με εκείνη ολόκληρων σμηνών γαλαξιών ή ακόμα και υπερσμηνών — δηλαδή σμηνών που απαρτίζονται από γαλαξιακά σμήνη. Ένας κοσμολόγος ασχολείται με την ευρύτερη δυνατή εικόνα, η οποία αρχίζει περίπου στο μέγεθος ενός υπερσμηνούς, και θέτει το ερώτημα πώς κατέληξαν όλα αυτά να μοιάζουν με το σύμπαν που παρατηρούμε εμείς σήμερα. Μολονότι η φυσική που διέπει τη συμπεριφορά των γαλαξιών είναι ίδια και για τους αστέρες, το ανά χείρας βιβλίο δεν θα ασχοληθεί ούτε με αυτά τα σώματα ούτε με τους πλανήτες, ενώ δεν θα θίξει παρά ελάχιστα τις μαύρες τρύπες, όσο συναρπαστικές κι αν είναι: από τη σκοπιά της κοσμολογίας, τα συγκεκριμένα αντικείμενα είναι πολύ μικρά για να έχουν σημασία.

Οι κοσμολόγοι θεωρούν ιδιαίτερα χρήσιμο να έχουμε κατά νου τις διάφορες κοσμολογικές κλίμακες. Σε ολόκληρο το βιβλίο θα χρησιμοποιώ την καθιερωμένη αστρονομική πρακτική να δηλώνω τις αποστάσεις συναρτήσει του χρόνου που χρειάζεται το φως για να τις διανύσει. Ίσως γνωρίζετε ότι το φως χρειάζεται περίπου οκτώ λεπτά για να ταξιδέψει από τον Ήλιο μέχρι τη Γη. Έστω, χονδρικά, δέκα. Μπορούμε τότε να πούμε ότι η Γη βρίσκεται σε απόσταση περίπου δέκα λεπτών φωτός από τον Ήλιο. Κατά παρόμοιο τρόπο, ένα έτος φωτός είναι απλά η απόσταση που διανύει το φως κατά τη διάρκεια ενός έτους. Οι αστρονόμοι δεν μετατρέπουν ποτέ τα έτη φωτός σε μίλια ή χιλιόμετρα, κάτι, άλλωστε, που ούτε εσείς πρέπει να κάνετε. Αντίθετα, θα πρέπει ενδεχομένως να αναπτύξετε μια αίσθηση για τις διαφορετικές κλίμακες που συναντάμε στο σύμπαν:

Τέσσερα έτη φωτός είναι η απόσταση μέχρι τον κοντινότερο αστέρα πέρα από τον Ήλιο.

Η διάμετρος του Γαλαξία μας είναι σχεδόν 100.000 έτη φωτός.

Η απόσταση από τη μία άκρη ενός σμήνους γαλαξιών μέχρι την άλλη είναι εκατομμύρια έτη φωτός.

Το μέγεθος ενός υπερσμήνους γαλαξιών είναι εκατοντάδες εκατομμύρια έτη φωτός.

Το μέγεθος του παρατηρήσιμου σύμπαντος είναι περίπου δεκατέσσερα δισεκατομμύρια έτη φωτός.



Αυτή είναι η κλίμακα της κοσμολογίας, αυτή δηλαδή με την οποία ασχολείται το παρόν βιβλίο.

**Μπορείτε να μου δώσετε συμβουλές για σκιές ματιών και μάσκα;
Όχι.**

Βαρύτητα, κολοκύθες και κοσμολογία

Η ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ με τον οποίο η βαρύτητα καθορίζει την εξέλιξη ολόκληρου του σύμπαντος· συνεπώς, για να κατανοήσουμε την κοσμολογία, θα πρέπει αρχικά να κατανοήσουμε την έννοια της βαρύτητας.

Η βαρύτητα είναι μακράν η ασθενέστερη από τις γνωστές φυσικές δυνάμεις. Για έναν φυσικό, μια δύναμη δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια άπωση ή, αντίστοιχα, μια έλξη που ασκείται σε κάποιο αντικείμενο —καμία «σκοτεινή πλευρά» δεν εμπεριέχεται στην όλη εικόνα—, και ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους οι φυσικοί θεωρούν το πεδίο τους ως το πιο θεμελιώδες από όλες τις επιστήμες είναι ότι, με το πέρασμα των αιώνων, έχουν μάθει ότι στη φύση υπάρχουν μόνο τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις. Μία από αυτές, η οποία ονομάζεται *ισχυρή πυρηνική δύναμη*, είναι η ισχυρότερη φυσική δύναμη και συγκρατεί ενωμένους τους πυρήνες των ατόμων. Κάθε ατομικός πυρήνας αποτελείται από νετρόνια και πρωτόνια, και η ηλεκτρική άπωση μεταξύ των θετικά φορτισμένων πρωτονίων θα προκαλούσε τη διάλυση του πυρήνα, αν δεν υπήρχε αυτή η ισχυρή δύναμη να τον συγκρατήσει. Η ενέργεια που σχετίζεται με την ισχυρή δύναμη είναι εκείνη που εκλύεται στις ατομικές εκρήξεις. Ωστόσο, η εν λόγω δύναμη δρα μόνο εντός του πυρήνα του ατόμου, ο οποίος είναι εξαιρετικά μικρός σε σύγκριση με τα αντικείμενα που απασχολούν την επιστήμη της κοσμολογίας.

Η δεύτερη θεμελιώδης δύναμη είναι η ασθενής πυρηνική δύναμη. Δισεκατομμύρια φορές ασθενέστερη από την ισχυρή δύναμη, διέπει συγκεκριμένες μορφές της ραδιενεργού διάσπασης. Το τρίτιο, αυτή η εξαιρετικά βαριά εκδοχή του υδρογόνου, είναι ραδιενεργό και διασπάται σε μια μορφή ηλίου, ενώ ο ρυθμός της διάσπασής του καθορίζεται από την ασθενή δύναμη. Ωστόσο, όπως συμβαίνει και με την ισχυρή, έτσι και η ασθενής δύναμη δρα μόνο στο εσωτερικό των ατομικών πυρήνων, γεγονός χωρίς σημασία στην κλίμακα της κοσμολογίας.

Στην καθημερινή ζωή οι πιο σημαντικές δυνάμεις είναι η ηλεκτρική και η μαγνητική, οι οποίες αποτελούν ουσιαστικά τις δύο όψεις της ενιαίας ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Αυτή η δύναμη ευθύνεται για το σύνολο των χημικών διεργασιών και δρα σε οποιαδήποτε ανθρώπινη συσκευή χρειάζεται ηλεκτρικά ρεύματα για τη λειτουργία της, από τις τοστιέρες μέχρι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και οτιδήποτε θεωρούμε τεχνολογικά δεδομένο στις μέρες μας. Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη αποτελεί τη βάση του σύγχρονου πολιτισμού. Όμως, η παραγωγή της ηλεκτρικής ή της μαγνητικής δύναμης προϋποθέτει την ύπαρξη ηλεκτρικών φορτίων. Ωστόσο, τα αστρονομικά σώματα, όπως για παράδειγμα οι πλανήτες, ως μη φορτισμένα ηλεκτρικά σώματα δεν ασκούν το ένα στο άλλο ηλεκτρική ή μαγνητική δύναμη.

Όλα τα σώματα έλκονται μεταξύ τους βαρυτικά. Η βαρύτητα, όμως, είναι αδιανόητα ασθενής — το γεγονός ότι η βαρυτική έλξη ολόκληρης της Γης δεν μπορεί να μετακινήσει έναν μικρό μαγνήτη από το ψυγείο μας μάς δίνει μια ιδέα για το πόσο ασθενής είναι αυτή η δύναμη σε σύγκριση με την ηλεκτρομαγνητική. Ο τρόπος με τον οποίο οι φυσικοί περιγράφουν τούτη τη διαφορά ισχύος είναι ότι η βαρυτική έλξη μεταξύ δύο πυρήνων υδρογόνου, δηλαδή δύο πρωτονίων, είναι περίπου τριάντα έξι τάξεις μεγέθους μικρότερη από τη μεταξύ τους ηλεκτρική άπωση. Ως εκ τούτου, κατά τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών

καταναλωτικών αγαθών, οι μηχανικοί δεν δίνουν καμία σημασία στη βαρύτητα.

Ωστόσο, επειδή οι πυρηνικές δυνάμεις δρουν μόνο στο εσωτερικό ατομικών πυρήνων και επειδή τα αστρονομικά σώματα είναι ηλεκτρικώς ουδέτερα, εναπόκειται στην ασθενέστερη δύναμη της φύσης να καθορίσει τη μοίρα του σύμπαντος.



Η σύγχρονη θεωρία της βαρύτητας είναι η γενική θεωρία του Αϊνστάιν για τη σχετικότητα, η οποία συχνά αποκαλείται η πιο όμορφη επιστημονική θεωρία. Πράγμα αληθές.

Σε επιφανειακό επίπεδο, ενδεχομένως θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τη γενική σχετικότητα ως μία βελτιωμένη εκδοχή, απλώς, της θεωρίας του Νεύτωνα για τη βαρύτητα, η οποία επινοήθηκε από τον τελευταίο πριν από σχεδόν τετρακόσια χρόνια. Αυτή η θεωρία αποτελείται από μία και μοναδική θρυλική εξίσωση που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο η βαρυτική δύναμη που δρα μεταξύ δύο σωμάτων εξαρτάται αφενός από τις μάζες αυτών των σωμάτων και αφετέρου από τη μεταξύ τους απόσταση. Δεν είναι καν απαραίτητο να γράψουμε την εξίσωση προκειμένου να κατανοήσουμε τι σημαίνει: γνωρίζοντας απλώς τις μάζες των σωμάτων και την απόσταση που τα χωρίζει, μπορούμε να προσδιορίσουμε επακριβώς τη βαρυτική δύναμη που ασκεί το ένα σώμα στο άλλο.*

Πιο πάνω ισχυρίστηκα ότι, υπό το πρίσμα της φυσικής, μια δύναμη δεν είναι τίποτα άλλο από μια άπωση ή μια έλξη.

* Ο νόμος του Νεύτωνα δίνει τη βαρυτική δύναμη F μεταξύ δύο μαζών, m_1 και m_2 ως $F = Gm_1m_2/r^2$, όπου r η μεταξύ τους απόσταση και G η βαρυτική σταθερά, ένας αριθμός που πρέπει να μετρηθεί στο εργαστήριο και καθορίζει την ισχύ της δύναμης.

Ακριβέστερα, μια δύναμη προκαλεί την αλλαγή της ταχύτητας ενός σώματος — με άλλα λόγια, προκαλεί στο σώμα επιτάχυνση. Αν ένα πιάνο επιταχύνεται ή επιβραδύνεται, τότε επάνω του ασκείται κάποια δύναμη. Αν το πιάνο κινείται με σταθερή ταχύτητα, τότε δεν ασκείται καμία δύναμη σε αυτό.

Σύμφωνα με τον Νεύτωνα, αν γνωρίζουμε τις δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αντικείμενο, τότε ξέρουμε και την επιτάχυνσή του και μπορούμε να προβλέψουμε πλήρως τη μελλοντική συμπεριφορά του. Συνεπώς, αν γνωρίζαμε τις μάζες και τις σημερινές αποστάσεις μεταξύ όλων των αστέρων του σύμπαντος, θα είχαμε και πλήρη γνώση του μέλλοντος του σύμπαντος — όπως άλλωστε και του παρελθόντος του. Γι' αυτόν τον λόγο, το νευτώνειο σύμπαν συχνά θεωρείται ότι διέπεται από την ακρίβεια ωρολογιακού μηχανισμού. Και πράγματι, ως επί το πλείστον, κάτι τέτοιο ισχύει.



Η θεωρία του Νεύτωνα για τη βαρύτητα δίνει τόσο καλά αποτελέσματα σε συνήθεις συνθήκες ώστε επί δύο αιώνες οι αστρονόμοι πίστευαν ότι εξηγεί πλήρως τις κινήσεις του ηλιακού μας συστήματος. Όμως, στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα εμφανίστηκαν οι πρώτες ενδείξεις ότι τα πράγματα μπορεί να μην είναι τόσο ρόδινα. Όπως όλοι οι πλανήτες, έτσι και ο Ερμής κινείται γύρω από τον Ήλιο σε ελλειπτική τροχιά. Αν ο Ερμής και ο Ήλιος αποτελούσαν ολόκληρο το ηλιακό σύστημα, τότε το σημείο της μικρότερης απόστασης του Ερμή από τον Ήλιο, το οποίο ονομάζεται *περιήλιο*, θα παρέμενε σε μια σταθερή θέση στον χώρο. Αντ' αυτού, οι αστρονόμοι παρατήρησαν ότι, με την πάροδο του χρόνου, η θέση του περιηλίου βαθμιαία μετατοπιζόταν. Υπολογισμοί υπέδειξαν ότι, ενώ η βαρυτική έλξη από τους υπόλοιπους πλανήτες του ηλιακού συστήματος μπορούσε να εξηγήσει το μεγαλύτερο μέρος της μετατόπισης αυτής, εντούτοις ένα πολύ μικρό ποσοστό παρέμενε

πεισματικά ανεξήγητο. Πολλές θεωρίες προτάθηκαν ως ερμηνεία της συγκεκριμένης ανωμαλίας, αλλά αυτή παρέμενε μυστήριο επί τουλάχιστον μισό αιώνα. Όταν, στις αρχές του εικοστού αιώνα, ο Αϊνστάϊν άρχισε να επεξεργάζεται τη θεωρία της γενικής σχετικότητας, εκτός από τη μετατόπιση του περιηλίου του Ερμή δεν υπήρχε καμία άλλη παρατηρησιακή ένδειξη ότι η νευτώνεια βαρύτητα ενδεχομένως να ήταν ανεπαρκής. Υπήρχε, ωστόσο, η θεωρία του Τζέιμς Κλαρκ Μάξγουελ για το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Αρχικά θα πρέπει να συνειδητοποιήσετε ότι η θεωρία του Νεύτωνα είναι μια θεωρία που αφορά σωματίδια και δυνάμεις. Δύο κολοκύθες βρίσκονται σε ένα χωράφι με κολοκύθες. Μπορούμε να τις φανταστούμε ως δύο σωματίδια που ασκούν το ένα στο άλλο βαρυτική δύναμη μέσα στο χωράφι. Ομοίως, μπορούμε να εξιδανικεύσουμε τη Γη και τη Σελήνη ως δύο σωματίδια που ασκούν αμοιβαία βαρυτική έλξη στον χώρο. Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις η θεωρία του Νεύτωνα δεν εξηγεί πώς η δύναμη μεταδίδεται από το ένα σωματίδιο στο άλλο. Γι' αυτόν τον λόγο, η νευτώνεια βαρύτητα αποκαλείται συχνά και θεωρία της δράσης από απόσταση, όπου η λέξη δράση περιέγραφε τη δύναμη την εποχή του Νεύτωνα.

Εξίσου σημαντικό είναι ότι η βαρυτική δύναμη μεταξύ των δύο αντικειμένων μεταδίδεται προφανώς *ακαριαία*. Αν εξαφανιζόταν ο Ήλιος, δεν θα υπήρχε τίποτε γύρω από το οποίο να περιφέρονται οι πλανήτες και αυτοί θα χάνονταν στο Διάστημα χωρίς την παραμικρή καθυστέρηση.



Αντί για ένα χωράφι με κολοκύθες, φανταστείτε τώρα ότι οι κολοκύθες επιπλέουν σε μια λιμνούλα. Αμέσως νιώθουμε πώς η εικόνα άλλαξε. Το νερό στη λιμνούλα αποτελείται από ένα τεράστιο πλήθος μορίων, αλλά αυτά είναι τόσο μικροσκοπικά, που στο τέλος τα

ξεχνάμε και σκεφτόμαστε το νερό σαν να έχει σε κάθε σημείο του κάποια συγκεκριμένη πυκνότητα και πίεση. Η πυκνότητα και η πίεση είναι μεγέθη που περιγράφουν ολόκληρο το σώμα, δίχως καμία αναφορά σε μεμονωμένα σωματίδια. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός πεδίου. Ο αέρας σε μια αίθουσα μπορεί να θεωρηθεί ως πεδίο. Το ίδιο και η ελαστική επιφάνεια ενός τραμπολίνου. Ένα σμήνος μελισσών μοιάζει από πολλές απόψεις με πεδίο.

Η εικόνα του πεδίου παρέχει έναν φυσικό μηχανισμό για τη μετάδοση των δυνάμεων. Αν οι κολοκύθες αρχίσουν να κινούνται πάνω κάτω, θα δημιουργήσουν μικρές διαταραχές που θα διαδοθούν σε ολόκληρη τη λιμνούλα ως κύματα στο νερό. Αυτά τα κύματα είναι τοπικές διαταραχές που διαδίδονται στο πεδίο του νερού με πεπερασμένες ταχύτητες. Αντίθετα, στη νευτώνεια βαρύτητα, πρέπει να φανταζόμαστε δυνάμεις που με κάποιον τρόπο μεταδίδονται απείρως γρήγορα σε τεράστια κενά.

«Ένσταση!» αναφωνείτε ευγενικά: η βαρυτική έλξη μεταξύ της Γης και της Σελήνης δεν περιλαμβάνει κύματα. Αυτό είναι αλήθεια. Όλες οι αναλογίες κάποτε καταρρέουν. Όταν σκεφτόμαστε τη μόνιμη βαρυτική έλξη μεταξύ σωμάτων, δεν έχει μεγάλη σημασία αν φανταζόμαστε δυνάμεις ή πεδία. Ωστόσο, τα πεδία υπάρχουν. Αν κάποια στιγμή στη ζωή σας πασπαλίσατε με ρινίσματα σιδήρου ένα κομμάτι χαρτί πάνω από έναν μαγνήτη, θα αντιληφθήκατε αμέσως το σχήμα του μαγνητικού του πεδίου. Γενικά, η εικόνα του πεδίου είναι τόσο ισχυρή, ώστε ουσιαστικά όλες οι σύγχρονες θεωρίες της βασικής φυσικής επί της ουσίας συνιστούν θεωρίες πεδίου. Δίχως την έννοια του πεδίου είναι ουσιαστικά αδύνατο να περιγράψουμε ηλεκτρομαγνητικά και βαρυτικά κύματα.

Βεβαίως, όταν ο Μάξγουελ διατύπωσε τους νόμους που διέπουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο, κατάφερε να δείξει ότι αυτά τα πεδία μπορούσαν να διαδίδονται στον κενό χώρο υπό τη μορφή ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος που κινείται με

ταχύτητα 3×10^8 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.* Η ανακάλυψή του, δημοσιευμένη το 1865, εξέπληξε ακόμα και τον ίδιο, επειδή αυτός ο αριθμός ήταν σχεδόν η ακριβής τιμή της ταχύτητας του φωτός, η οποία εκείνη την εποχή είχε ήδη μετρηθεί με ακρίβεια. Το συμπέρασμα ήταν «σχεδόν αναπόφευκτο», έγραψε: το ίδιο το φως θα πρέπει να είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διαδίδεται όχι απείρως γρήγορα αλλά με την πεπερασμένη ταχύτητα των 3×10^8 μέτρων ανά δευτερόλεπτο. Η πρόβλεψη του Μάξγουελ, του μεγαλύτερου θεωρητικού θριάμβου της φυσικής του δέκατου ένατου αιώνα, επιβεβαιώθηκε αρκετές δεκαετίες αργότερα, με την ανακάλυψη των ραδιοκυμάτων.

Στις αρχές του εικοστού αιώνα, πλήθος φυσικών αποπειράθηκαν να διατυπώσουν θεωρίες πεδίου για τη βαρύτητα βασισμένες στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Μάξγουελ. Απέτυχαν όλοι, επειδή η βαρύτητα δεν συμπεριφέρεται ακριβώς όπως ο ηλεκτρομαγνητισμός. Ο Αϊνστάιν ήταν ο πρώτος που κατάλαβε τη διαφορά και αντιμετώπισε σωστά τη βαρύτητα. Προκειμένου να εκτιμήσουμε τον τρόπο με τον οποίο η θεωρία του, την οποία ονόμασε γενική σχετικότητα, περιγράφει το βαρυτικό πεδίο, πρέπει πρώτα να πάρουμε μια γεύση της θεωρίας που ανέπτυξε νωρίτερα και η οποία λειτουργεί ως σημείο εκκίνησης της γενικής σχετικότητας: την ειδική θεωρία της σχετικότητας.

Τι είναι σχετικό και τι δεν είναι;

* Η επιστημονική σημειογραφία είναι απαραίτητη τόσο στη φυσική όσο και στην αστρονομία. Για όσους δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτήν, οφείλουμε να αποσαφηνίσουμε ότι ο εκθέτης υποδεικνύει το πλήθος των δυνάμεων του δέκα, ή πόσα μηδενικά ακολουθούν τη μονάδα. Επομένως, το 10 μπορεί να γραφεί ως 10^1 , το 100 ως 10^2 και το 1.000 ως 10^3 . Η τιμή 3×10^8 ισούται με 300.000.000, οπότε καταλαβαίνετε γιατί χρησιμοποιούμε την επιστημονική σημειογραφία.